



รลช.01

ทะเบียนข้อมูลเลขที่ ว. 41945

หนังสือรับรองการแจ้งข้อมูล

ลิขสิทธิ์

ออกให้เพื่อแสดงว่า

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ได้แจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์ ประเภทงาน วรรณกรรม

ลักษณะงาน งานนิพนธ์อื่น ๆ

ชื่อผลงาน คู่มือการใช้โปรแกรมจำลองการทำงานของระบบทำความร้อนแบบดูดกลืน

ไว้ต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญา ตามคำขอแจ้งข้อมูลลิขสิทธิ์ เลขที่ 370691

เมื่อวันที่ 19 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2561

ให้ไว้ ณ วันที่ 26 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2561

ลงชื่อ.....**ปรีธดาพ.**.....

(นายปรีธดา ไพโรจน์กุลมณี)

นักวิชาการพาณิชย์ชำนาญการพิเศษ

ปฏิบัติราชการแทนผู้อำนวยการสำนักลิขสิทธิ์

**หมายเหตุ**

1. เอกสารนี้มิได้รับรองความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์
2. การเปลี่ยนแปลงรายการข้างต้น ให้ดูด้านหลัง

---

 คำนำ

บทที่ 1	หลักการและทฤษฎี.....	1
1.1	หลักการทางานของเทคโนโลยี.....	2
1.2	อุปกรณ์หลักตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน .....	3
1.3	สารทำงานในตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน .....	5
1.4	หลักการของตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน .....	6
1.5	การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม .....	8
1.6	ศักยภาพการประหยัดพลังงาน .....	12
1.7	การประยุกต์ใช้งาน.....	15
1.8	การลงทุน .....	15
1.9	ตัวอย่างกรณีศึกษา .....	17
1.10	การบำรุงรักษา.....	18
1.11	Specification ชุดอุปกรณ์สาธิต .....	18
บทที่ 2	คู่มือการใช้งาน.....	24
2.1	การจำลองเลือกสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน .....	24
2.1.1	Vapor Compression Heat Pump .....	26
2.1.2	The Normal AHT .....	31
2.1.3	3 Loops of the Normal AHT .....	37
2.1.4	Solar Heat Combined with the CAHT .....	46
2.1.1	Solar Heat Combined with the AHT .....	71
2.2	การคัดลอกข้อมูลในโปรแกรมลงสู่โปรแกรม Microsoft office excel.....	72
	แหล่งข้อมูลอ้างอิง.....	75
	ตัวย่อและสัญลักษณ์ .....	77

## สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 การขับเคลื่อนด้านความร้อนของตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน [1] .....	2
รูปที่ 1.2 ไดอะแกรมการทำงานตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน [1].....	7
รูปที่ 1.3 PTX ไดอะแกรมของตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน (X ปริมาณสารทำงาน/ปริมาณสารละลาย) [1] .....	7
รูปที่ 1.4 การใช้ปั๊มความร้อนแบบคาสเคด ในการเพิ่มคุณภาพความร้อนจากระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์.....	9
รูปที่ 1.5 การผลิตไอน้ำโดยหม้อไอน้ำที่ 35 Ton/day. ....	10
รูปที่ 1.6 การผลิตไอน้ำโดยหม้อไอน้ำที่ 30 Ton/day และน้ำร้อนโดยระบบร่วมที่ 5 Ton/day .....	10
รูปที่ 1.7 การเปรียบเทียบระยะคืนทุนจากการลงทุนติดตั้งระบบปั๊มความร้อนร่วมเพื่อผลิตน้ำร้อนร่วมกับหม้อไอน้ำในปริมาณต่างๆ .....	12
รูปที่ 1.8 การเปรียบเทียบค่า COP ของตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนก่อนการปรับปรุงและหลังปรับปรุง โดยทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน [4] .....	13
รูปที่ 1.9 ตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนชั้นเดียว [4-8] .....	13
รูปที่ 1.10 ตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนสองชั้น [4-8] .....	14
รูปที่ 1.11 ราคาต่อหน่วยขนาดความสามารถทำความร้อนและความเย็นของ Absorption heat pump [9].....	16
รูปที่ 1.12 การติดตั้งตัวแปลงความร้อนในโรงงานยางสังเคราะห์ของประเทศจีน .....	17
รูปที่ 1.13 ปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน .....	21
รูปที่ 1.14 ปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนพร้อมชุดระบายความร้อน .....	22
รูปที่ 1.15 ปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนและรายละเอียดอุปกรณ์ย่อย .....	23
รูปที่ 2.1 หน้าแรกของโปรแกรม AHT .....	24
รูปที่ 2.2 การเลือกจำลองการทำงานของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนแบบต่างๆ.....	25
รูปที่ 2.3 การป้อนข้อมูลการทำงานของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ .....	27
รูปที่ 2.4 ผลการจำลองปั๊มความร้อนแบบอัดไอ .....	28
รูปที่ 2.5 อัตราการถ่ายเทความร้อนของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ .....	28
รูปที่ 2.6 อัตราส่วนความดันและความดันด้านสูงของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ.....	29
รูปที่ 2.7 ECOP ของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ.....	29
รูปที่ 2.8 COP ของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ .....	30
รูปที่ 2.9 การป้อนข้อมูลให้แก่ระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน .....	32
รูปที่ 2.10 การแสดงผลจำลองระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน .....	33
รูปที่ 2.11 การแสดงผลอุณหภูมิที่อุปกรณ์ต่างๆ ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน .....	33
รูปที่ 2.12 การแสดงผลอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์หลักในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน .....	34
รูปที่ 2.13 การแสดงผลอัตราการถ่ายเทความร้อนของ Solution heat exchanger ในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน.....	34
รูปที่ 2.14 การแสดงผล COP ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน .....	35
รูปที่ 2.15 การแสดงผลอัตราส่วนการไหลของสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน.....	35

รูปที่ 2.16 การแสดงผล ECOP ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน .....	36
รูปที่ 2.17 การแสดงผลอุณหภูมิที่สามารถเพิ่มขึ้นของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน .....	36
รูปที่ 2.18 การป้อนข้อมูลของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนแบบสำหรับศึกษาผลอุณหภูมิ Condensing temperature .....	38
รูปที่ 2.19 การป้อนข้อมูลอุณหภูมิ Condensing temperature ของแต่ละ Loop .....	38
รูปที่ 2.20 ผลการจำลองการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน .....	40
รูปที่ 2.21 อัตราการถ่ายเทความร้อนอุปกรณ์หลักของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน .....	40
รูปที่ 2.22 อัตราส่วนความดันและความดันด้านสูงของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน .....	41
รูปที่ 2.23 ค่า ECOP ของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน .....	41
รูปที่ 2.24 ค่า COP ของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน .....	42
รูปที่ 2.25 ผลการจำลองของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ .....	42
รูปที่ 2.26 อุณหภูมิสารทำงานที่อุปกรณ์หลักในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ .....	43
รูปที่ 2.27 อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์หลักในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ .....	43
รูปที่ 2.28 อัตราการถ่ายเทความร้อนของ Solution heat exchanger ในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ .....	44
รูปที่ 2.29 ค่า ECOP ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ .....	44
รูปที่ 2.30 ค่า Heat ratio, COP และ Heat rate ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ .....	45
รูปที่ 2.31 การป้อนข้อมูลระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ .....	47
รูปที่ 2.32 ตัวอย่างการเลือกจังหวัดที่ตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Province) เดือน (Select Month) และสภาพพื้นที่ติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (reflection) .....	47
รูปที่ 2.33 การจำลองค่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมรายชั่วโมงของเดือนที่เลือก .....	48
รูปที่ 2.34 การแสดงค่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมโดยละเอียดของเดือนที่เลือก .....	49
รูปที่ 2.35 การเลือกชนิดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์และค่าตัวแปรต้นที่ใช้ในการจำลอง .....	49
รูปที่ 2.36 ตัวอย่างการเลือกชนิดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat-plate) และการป้อนค่าตัวแปรต้นที่ใช้ในการจำลองพฤติกรรมของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ .....	50
รูปที่ 2.37 การป้อนค่าขนาดของถังเก็บสะสมความร้อนและวิธีการเชื่อมต่อกันของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ .....	51
รูปที่ 2.38 ตัวอย่างวิธีการป้อนค่าขนาดของถังเก็บสะสมความร้อนและวิธีการเชื่อมต่อกันของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ .....	52
รูปที่ 2.39 การป้อนค่าตัวแปรต้นของระบบทำน้ำร้อนด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม .....	53
รูปที่ 2.40 ตัวอย่างการป้อนค่าตัวแปรต้นของระบบทำน้ำร้อนด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม .....	54
รูปที่ 2.41 การเลือกเวลาที่ระบบทำงาน .....	55

รูปที่ 2.42 ตัวอย่างการเลือกเวลาที่ระบบทำงาน.....	56
รูปที่ 2.43 ผลการจำลองค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมง.....	56
รูปที่ 2.44 ค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ .....	57
รูปที่ 2.45 อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ได้รับจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ .....	57
รูปที่ 2.46 ค่าอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน.....	58
รูปที่ 2.47 อัตราการให้ความร้อนของความร้อนเสริมเพื่อให้อุณหภูมิน้ำมีค่าตามความต้องการ.....	58
รูปที่ 2.48 อัตราการรับความร้อนจากแหล่งความร้อนเสริม .....	59
รูปที่ 2.49 ค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากถังเก็บน้ำร้อน.....	59
รูปที่ 2.50 การป้อนข้อมูลระบบ Solar-CAHT.....	61
รูปที่ 2.51 ผลการจำลองระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอของระบบ Solar-CAHT .....	61
รูปที่ 2.52 อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์หลักในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอในระบบ Solar-CAHT .....	62
รูปที่ 2.53 อัตราส่วนความดันและความดันด้านสูงของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอในระบบ Solar-CAHT .....	62
รูปที่ 2.54 ผลการจำลองของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนในระบบ Solar-CAHT.....	63
รูปที่ 2.55 อุณหภูมิสารทำงานของอุปกรณ์หลักในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนในระบบ Solar-CAHT ...	63
รูปที่ 2.56 อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์หลักในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนในระบบ Solar-CAHT .....	64
รูปที่ 2.57 อัตราการถ่ายเทความร้อนของ Solution heat exchanger ในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนในระบบ Solar-CAHT .....	64
รูปที่ 2.58 ค่า COP ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงโดยทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบอัดไอ.....	65
รูปที่ 2.59 อัตราส่วนการไหลของสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนในระบบ Solar-CAHT .....	65
รูปที่ 2.60 ค่า ECOP ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงโดยทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบอัดไอ.....	66
รูปที่ 2.61 การเพิ่มอุณหภูมิของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนในระบบ Solar-CAHT.....	66
รูปที่ 2.62 การป้อนข้อมูลราคาของระบบต่างๆ เพื่อคำนวณผลด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบ Solar-CAHT...	67
รูปที่ 2.63 การป้อนข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อคำนวณ Annual cost ของระบบ Solar-CAHT .....	68
รูปที่ 2.64 การคำนวณ Annual cost ของระบบ Solar-CAHT.....	68
รูปที่ 2.65 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อความร้อนที่ได้รับของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนในระบบ Solar-CAHT.	69
รูปที่ 2.66 ค่า Exergy costing ของระบบ Solar-CAHT.....	70
รูปที่ 2.67 การทำงานร่วมของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่รับพลังงานความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ .....	71
รูปที่ 2.81 การวางข้อมูลลงในโปรแกรม Microsoft office excel .....	72
รูปที่ 2.82 การจัดเรียงข้อมูล.....	73
รูปที่ 2.83 การจัดเรียงข้อมูล (ต่อ).....	73
รูปที่ 2.84 การจัดเรียงข้อมูลโดยการเว้นวรรค.....	74
รูปที่ 2.85 ข้อมูลที่ถูกจัดเรียงแล้วเสร็จ .....	74

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	การทำงานของอุปกรณ์หลักในตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน [2] .....	3
ตารางที่ 1.2	คุณสมบัติทางกายภาพสารทำงานในตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน [3].....	5
ตารางที่ 1.3	ผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	11
ตารางที่ 1.4	ข้อดีและข้อด้อยของระบบ Absorption heat pump Type I และ Type II [1].....	15
ตารางที่ 1.5	รายละเอียดอุปกรณ์ต่างๆ ของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนขนาด 10 kW.....	19

## บทที่ 1

### หลักการและทฤษฎี

ความร้อนเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน การได้มาซึ่งพลังงานความร้อนที่พบมาก คือ การใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าและการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง ดังนั้นความต้องการประหยัดพลังงานจึงเป็นที่มาของ “ปั๊มความร้อน” โดยเทคโนโลยีดังกล่าวสามารถให้ปริมาณความร้อนได้เทียบเท่ากับการใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า

ปั๊มความร้อนมีหลักการทํางาน คือ ป้อนความร้อนอุณหภูมิต่ำให้แก่ระบบ พร้อมทั้งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน โดยจะให้ความร้อนอุณหภูมิสูงออกจากระบบ ปั๊มความร้อนที่พบมากมีด้วยกันอยู่ 2 ระบบ คือ Vapor compression heat pump และ Absorption heat pump ทั้งนี้ระบบแรกใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนหลักของระบบมีประสิทธิภาพการทํางาน (COP) สูงประมาณ 3 ในขณะที่ระบบที่สองใช้พลังงานความร้อนเป็นตัวขับเคลื่อนหลัก มีการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมด้วยเล็กน้อยและมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับระบบแรกหรือประมาณ 0.5

Absorption heat pump มีการศึกษาและวิจัยมาตั้งแต่อดีต แต่ไม่ได้รับการพัฒนาและนำมาใช้งานอย่างจริงจัง เนื่องจากการเข้ามาของ Vapor compression heat pump ที่มีขนาดเล็กกว่า ประสิทธิภาพดีกว่าและใช้งานง่ายเนื่องจากใช้ไฟฟ้าในการทํางาน จึงทำให้ Absorption heat pump ไม่ได้รับการสนใจ จนมาถึงปัจจุบันที่ทั่วโลกประสบกับวิกฤตด้านพลังงาน การนำพลังงานสิ้นเปลืองที่ใช้แล้วหมดไป เช่น ก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน มาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มีแนวโน้มที่จะหมดไปในอนาคตอันใกล้ ทำให้ระบบ Absorption heat pump ถูกให้ความสนใจอีกครั้ง เนื่องจากระบบดังกล่าวใช้พลังงานจากความร้อนในการทํางาน สามารถนำความร้อนทั้งจากแหล่งต่างๆ มาป้อนให้กับระบบได้ อีกทั้งความร้อนทั้งเป็นพลังงานสะอาดและไม่มีการจ่ายในการได้มาซึ่งพลังงานดังกล่าวอีกด้วย (Clean and Free Energy)

Absorption heat pump ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในหลากหลายวงการแต่ที่นิยมมากที่สุด คือ นำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากกระบวนการผลิตมักเหลือความร้อนทั้งเป็นจำนวนมาก โดยความร้อนทั้งดังกล่าวมีอุณหภูมิไม่สูงมากนักและนำกลับไปใช้ประโยชน์ได้ค่อนข้างยาก ทั้งนี้ Absorption heat pump มีด้วยกันอยู่ 2 ประเภท คือ Type I Absorption chiller และ Type II Absorption heat transformer

Absorption chiller มีการขับเคลื่อนด้านความร้อน คือ ความร้อนอุณหภูมิต่ำเข้าสู่ระบบและทำให้เกิดการดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Cooling) พร้อมทั้งการคายความร้อนออกสู่ภายนอกที่อุณหภูมิปานกลาง (Condensing) ซึ่งจะเห็นได้ว่า Type I Absorption heat pump สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้ง Cooling และ Heating การใช้ประโยชน์ด้านความเย็น เช่น ห้องเย็น ห้องปรับอากาศ เป็นต้น ส่วนการใช้ประโยชน์ด้านความร้อนนั้นไม่ค่อยเป็นที่นิยมนัก เนื่องจากความร้อนที่ได้มีอุณหภูมิปานกลางนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก

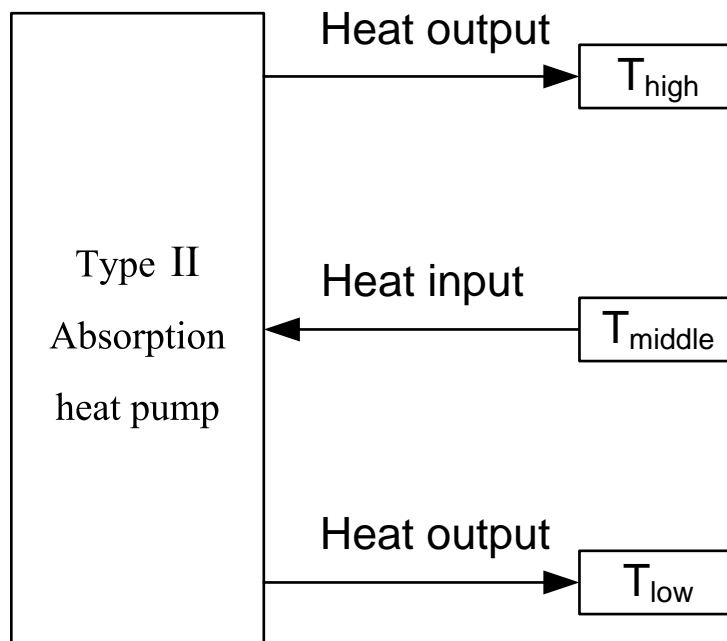
Absorption heat transformer มีการขับเคลื่อนทางความร้อน คือ ความร้อนอุณหภูมิต่ำปานกลางเข้าสู่ระบบ และทำให้เกิดการคายความร้อนออกจากระบบที่อุณหภูมิสูง (Heating) พร้อมทั้งระบายความร้อนออกสู่ภายนอกที่อุณหภูมิต่ำ (Condensing) ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบ Type II Absorption heat pump สามารถใช้ประโยชน์ได้เฉพาะด้าน Heating เท่านั้น ทั้งนี้ในเอกสารฉบับนี้จะกล่าวถึงเฉพาะ Absorption heat

transformer เพียงอย่างเดียว โดยรายละเอียดของระบบและแนวทางการนำเทคโนโลยีดังกล่าวไปใช้ในอุตสาหกรรมมีดังต่อไปนี้

### 1.1 หลักการทำงานของเทคโนโลยี

Absorption heat transformer หรือ ตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนมีการขับเคลื่อนทางความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ความร้อนอุณหภูมิมานกลางเข้าสู่ระบบ และทำให้เกิดการคายความร้อนออกจากระบบที่อุณหภูมิสูง (Heating) พร้อมทั้งระบายความร้อนออกสู่ภายนอกที่อุณหภูมิต่ำ (Condensing) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนสามารถใช้ประโยชน์ได้เฉพาะด้านความร้อนเพียงอย่างเดียว

การนำตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนมาใช้ประโยชน์ด้านความร้อน โดยการเพิ่มคุณภาพความร้อนให้แก่ของไหล ซึ่งรับความร้อนจากแหล่งความร้อนที่ระดับอุณหภูมิมานกลางและจ่ายความร้อนออกไปที่อุณหภูมิสูง ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานกลน้อยมากในการหมุนเวียนสารทำงานเมื่อเทียบกับปริมาณความร้อนที่ได้รับจากอุปกรณ์ดังกล่าว



รูปที่ 1.1 การขับเคลื่อนด้านความร้อนของตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน [1]



1.2 อุปกรณ์หลักตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน

อุปกรณ์หลักในตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนประกอบด้วย 7 อุปกรณ์หลักดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การทำงานของอุปกรณ์หลักในตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน [2]

อุปกรณ์	หน้าที่	ลักษณะการทำงาน
1. เครื่องทำระเหย (Evaporator)	ทำหน้าที่รับความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ระบบ	
2. เครื่องควบแน่น (Condenser)	ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกสู่สภาวะภายนอก	
3. เจนเนอเรเตอร์ (Generator)	ทำหน้าที่รับความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนและถ่ายเทความร้อนที่ได้รับเข้าสู่ระบบ	

อุปกรณ์	หน้าที่	ลักษณะการทำงาน
<p>4. แอ็บซอร์บเบอร์ (Absorber)</p>	<p>ทำหน้าที่ดูดกลืนสารทำงานในสถานะไอ ที่ไหลออกมาจากอีแวปเพอเรเตอร์ให้กลายเป็นของเหลวในรูปแบบของสารละลาย</p>	
<p>5. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)</p>	<p>ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากของไหลอุณหภูมิสูง ไปยังของไหลอุณหภูมิต่ำ</p>	
<p>6. ปั๊มสารละลาย (Solution Pump)</p>	<p>ทำหน้าที่หมุนเวียนสารทำงานและสร้างความดันให้แก่ระบบ</p>	
<p>7. วาล์วลดความดัน (Expansion valve)</p>	<p>ทำหน้าที่ลดระดับความดันของสารทำงานให้แก่ระบบ</p>	

### 1.3 สารทำงานในตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน

สารทำงานในตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยทั่วไปแล้วสารทำงานดังกล่าวควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. สารทำงานมีความร้อนแฝงของการระเหยสูง
2. สารทำงานมีความสามารถในการดูดกลืนสูง
3. สารดูดกลืนมีความดันไอต่ำ
4. สารดูดกลืนมีช่วงความเข้มข้นกว้างและมีเสถียรภาพเชิงเคมีในช่วงอุณหภูมิใช้งาน
5. สารดูดกลืนมีค่าความร้อนจำเพาะต่ำ
6. ไม่หนืด ไม่กัดกร่อน ไม่เป็นกรด
7. ราคาถูกและหาซื้อได้สะดวก
8. สารคู่ผสมต้องมีความปลอดภัย

สารคู่ผสมที่ใช้ในตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนเป็นสารชนิดเดียวกับที่ใช้ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption chiller) ซึ่งมีสารคู่ผสมที่รู้จักกัน คือ น้ำ-ลิเทียมโบรไมด์ ( $\text{H}_2\text{O}-\text{LiBr}$ ) น้ำ-ลิเทียมคลอไรด์ ( $\text{H}_2\text{O}-\text{LiCl}_2$ ) แอมโมเนีย-น้ำ ( $\text{NH}_3-\text{H}_2\text{O}$ ) โดยที่สารลิเทียมโบรไมด์และลิเทียมคลอไรด์เป็นสารดูดกลืน ส่วนน้ำเป็นสารทำงาน ยกเว้นคู่สารทำงาน  $\text{NH}_3-\text{H}_2\text{O}$  ที่มีน้ำเป็นตัวดูดกลืนและแอมโมเนียเป็นสารทำงาน สารคู่ผสมเหล่านี้ส่วนใหญ่มีคุณสมบัติที่กัดกร่อนโลหะจึงส่งผลให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหายในเวลาไม่นาน แต่สารทำงานที่ใช้งานกันแพร่หลายในปัจจุบันมีอยู่ 2 คู่สารอันประกอบไปด้วย สารละลาย  $\text{NH}_3-\text{H}_2\text{O}$  และสารละลาย  $\text{H}_2\text{O}-\text{LiBr}$  โดยคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของสารละลายทั้งสองแสดงดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 คุณสมบัติทางกายภาพสารทำงานในตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน [3]

Property	Ammonia-Water	Water-LiBr
<b>Refrigerant</b>	Ammonia	Water
High latent heat	Good	Excellent
Moderate vapor pressure	Too high	Too low
Low viscosity	Good	Good
Cost	Expensive	Non-expensive
<b>Absorbent</b>	Water	LiBr
Low vapor pressure	Poor	Excellent
Low viscosity	Good	Good
Low heat capacity	Poor	Good
<b>Mixture</b>		
No solid phase	Excellent	Limited application
Low toxicity	Poor	Good

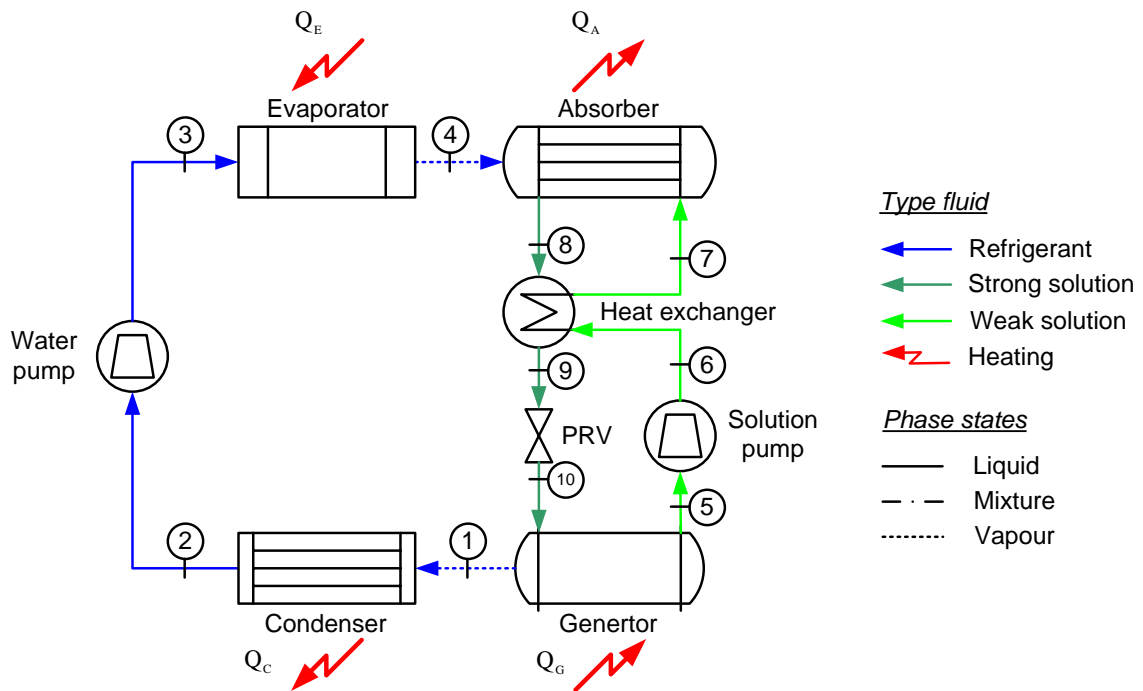
Property	Ammonia-Water	Water-LiBr
High affinity between refrigerant and absorbent	Good	Good
Low temperature of waste heat	Poor	Good
System pressure	High	Low

#### 1.4 หลักการของตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน

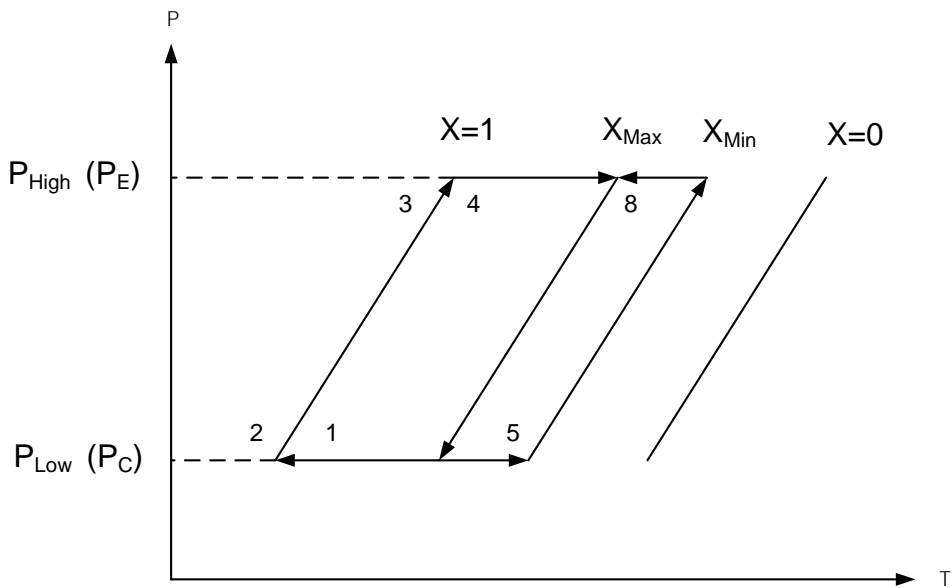
ตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนมีหลักการทำงานแสดงในรูปที่ 1.2 และรูปที่ 1.3 ดังนี้ คือ เจนเนอเรเตอร์รับความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอก และเมื่ออุณหภูมิของเจนเนอเรเตอร์สูงถึงระดับหนึ่ง สารละลายในเจนเนอเรเตอร์ที่มีสารทำงาน (Absorbate) จุดเดือดต่ำกว่าสารดูดกลืน (Absorbent) ก็จะเปลี่ยนสถานะเป็นไอโดยแยกตัวออกจากสารดูดกลืนไปที่เครื่องควบแน่น (จุดที่ 1) ที่ความดันต่ำ ส่วนสารละลายเมื่อสารทำงานระเหยไปแล้วทำให้มีความเข้มข้นของสารทำงานน้อยลง (จุดที่ 5) แล้วถูกปั๊มสารละลายเพิ่มความดันและหมุนเวียนไปยังแอบซอร์พเบอร์ (จุดที่ 7) ที่ระดับความดันสูงผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (จุดที่ 6) ไอสารทำงานที่ไหลไปยังเครื่องควบแน่น เพื่อควบแน่นเป็นของเหลวที่ความดันต่ำ (จุดที่ 5) และถูกปั๊มสารทำงานเพิ่มความดันให้สูงขึ้น (จุดที่ 2) และหมุนเวียนไปยังเครื่องทำระเหย เพื่อรับความร้อนและเปลี่ยนเป็นสารทำงานสถานะไอ (จุดที่ 3) ที่ความดันสูงและไหลไปยังแอบซอร์พเบอร์ เมื่อไอสารทำงานรวมตัวกับสารดูดกลืนที่ระดับความดันสูง ทำให้เกิดการคายความร้อนเนื่องจากการดูดกลืนสารทำงาน และความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ให้ความร้อนในกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิสูงต่อไปได้ ส่วนสารละลายความเข้มข้นต่ำ (ความเข้มข้นสารทำงาน, จุดที่ 7) จะถูกส่งผ่านวาล์วลดความดันไปยังเจนเนอเรเตอร์อีกครั้ง

ความร้อนที่เกิดขึ้นที่แอบซอร์พเบอร์ เกิดจากการคายความร้อนของสารดูดกลืนเมื่อรวมกับไอของสารทำงาน และเกิดจากการคายความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลวของสารทำงาน ซึ่งจากความร้อนที่เกิดดังกล่าวภายใต้ความดันสูงทำให้มีอุณหภูมิสูงมากพอที่จะนำความร้อนที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์ โดยการเพิ่มอุณหภูมิให้กับของไหลให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วนำไปใช้ในกระบวนการทางความร้อนต่อไป

ตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนสามารถเพิ่มคุณภาพให้แก่ความร้อนได้ และยังช่วยลดการใช้พลังงานสิ้นเปลืองและทรัพยากรธรรมชาติลงได้ รวมทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน จะพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้น้อยกว่ามาก ในขณะที่ได้ปริมาณความร้อนออกมาเท่ากัน แต่ข้อด้อยของตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน คือ ขนาดของอุปกรณ์ค่อนข้างใหญ่และมีราคาสูงเมื่อเทียบกับปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน



รูปที่ 1.2 ไดอะแกรมการทำงานตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน [1]



รูปที่ 1.3 PTX ไดอะแกรมของตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน (X ปริมาณสารทำงาน/ปริมาณสารละลาย) [1]

จากแผนภูมिरูปที่ 1.3 จะพบว่ามีการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วงความดัน โดยที่แอบซอร์บเบอร์และเครื่องทำระเหยทำงานที่ความดันสูง ส่วนเจเนอเรเตอร์และเครื่องควบแน่นทำงานที่ความดันต่ำ ซึ่งอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่อุปกรณ์เครื่องควบแน่น ( $T_C$ ) และอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่แอบซอร์บเบอร์ ( $T_A$ ) โดยที่เจเนอเรเตอร์ ( $T_G$ ) จะมีอุณหภูมิลดลงมาจากแอบซอร์บเบอร์ ส่วนอุณหภูมิเครื่องทำระเหย ( $T_E$ ) จะมีอุณหภูมิลดลงจากที่เจเนอเรเตอร์

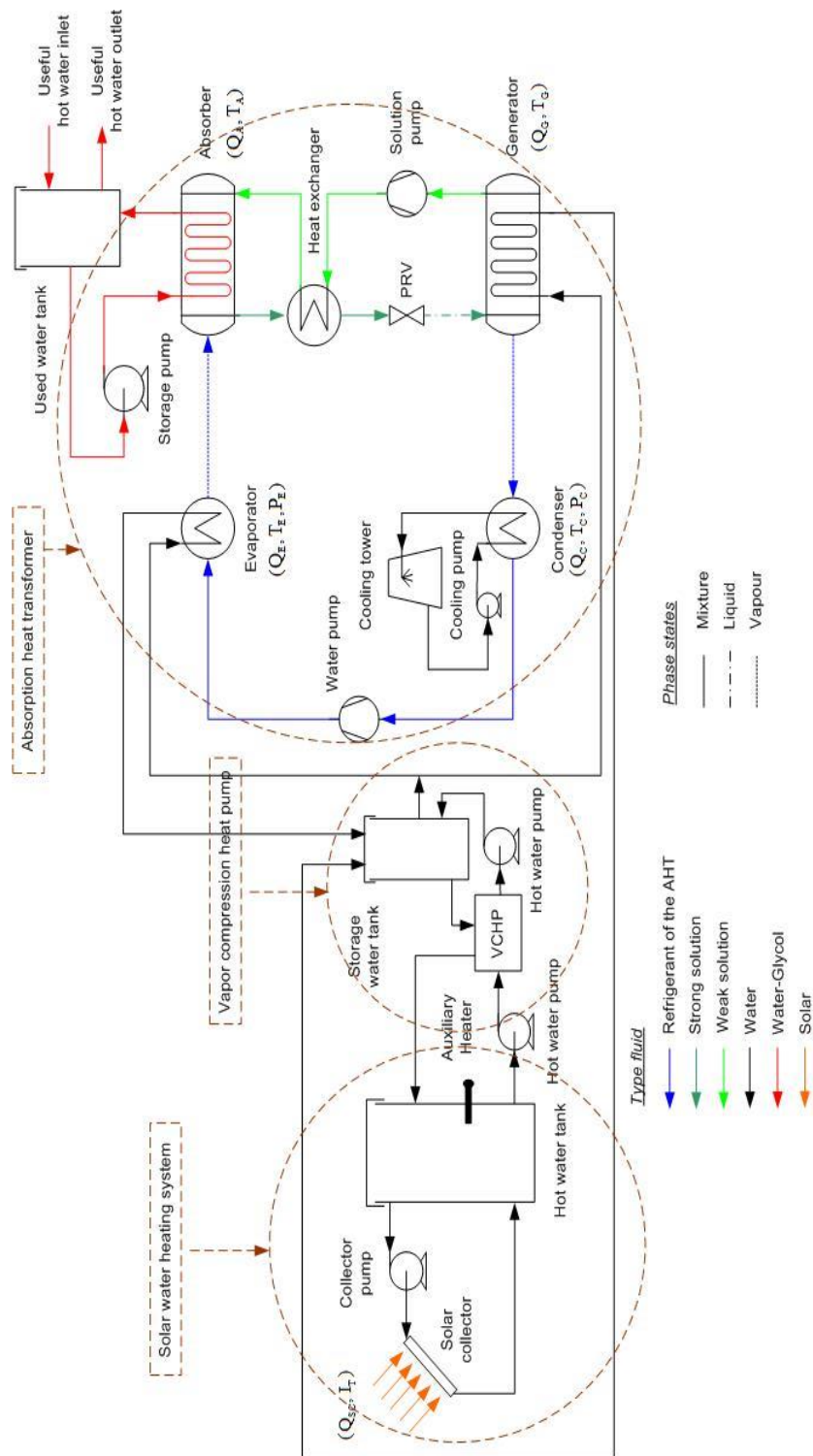
### 1.5 การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

การใช้งานตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนต้องมีแหล่งความร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบมากพอ โดยมากมักนิยมใช้แหล่งความร้อนที่มากเป็นแหล่งพลังงานให้แก่ระบบ ซึ่งสถานที่ที่มีความร้อนที่ซึ่งเป็นโรงงานหรือสถานประกอบการขนาดใหญ่ ดังนั้นการใช้ตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนจึงมักใช้เพิ่มคุณภาพความร้อนที่ และนำความร้อนคุณภาพสูงที่ได้จากระบบไปใช้งานในบางกระบวนการ ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถนำมาทดแทนการผลิตความร้อนที่อุณหภูมิสูง เช่น การผลิตน้ำร้อนโดยหม้อไอน้ำใช้ในการซักผ้า ในโรงแรม โรงพยาบาล และในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหาร ช่วยลดปัญหาด้านพลังงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้พลังงาน

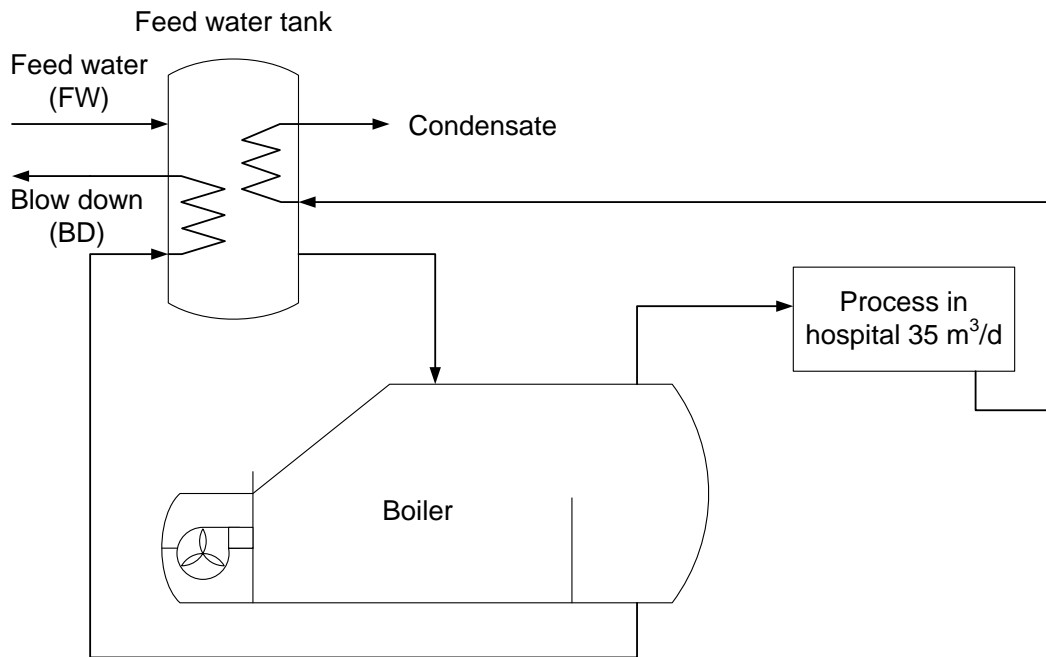
ตัวอย่างการใช้ตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนทดแทนเทคโนโลยีเดิม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ [10] ได้นำเสนอแนวทางการเพิ่มคุณภาพความร้อนแสงอาทิตย์อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนและแบบดูดกลืนในรูปแบบคาสเคดดังแสดงในรูปที่ 1.4 ได้นำข้อมูลอัตราการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงของโรงพยาบาลมหาสารนครเชียงใหม่ สำหรับการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำ (Boiler) เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ ของทางโรงพยาบาลมาทำการวิเคราะห์ โดยการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์มีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ชั่วโมงการทำงาน 12 h/d.
- อัตราการใช้เชื้อเพลิงของโรงพยาบาลก่อนการปรับปรุง คือ น้ำมันดีเซล 10,100 L/m และน้ำมันเตา 78,200 L/m
- อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นในถังเก็บน้ำร้อนของระบบหลังการปรับปรุง ( $T_{HW,S}$ ) มีค่า 30 °C และอุณหภูมิน้ำร้อนที่ต้องการผลิตสูงสุดมีค่า 85 °C
- อัตราการผลิตไอน้ำของโรงพยาบาลก่อนการปรับปรุง คือ 35,000 L/d

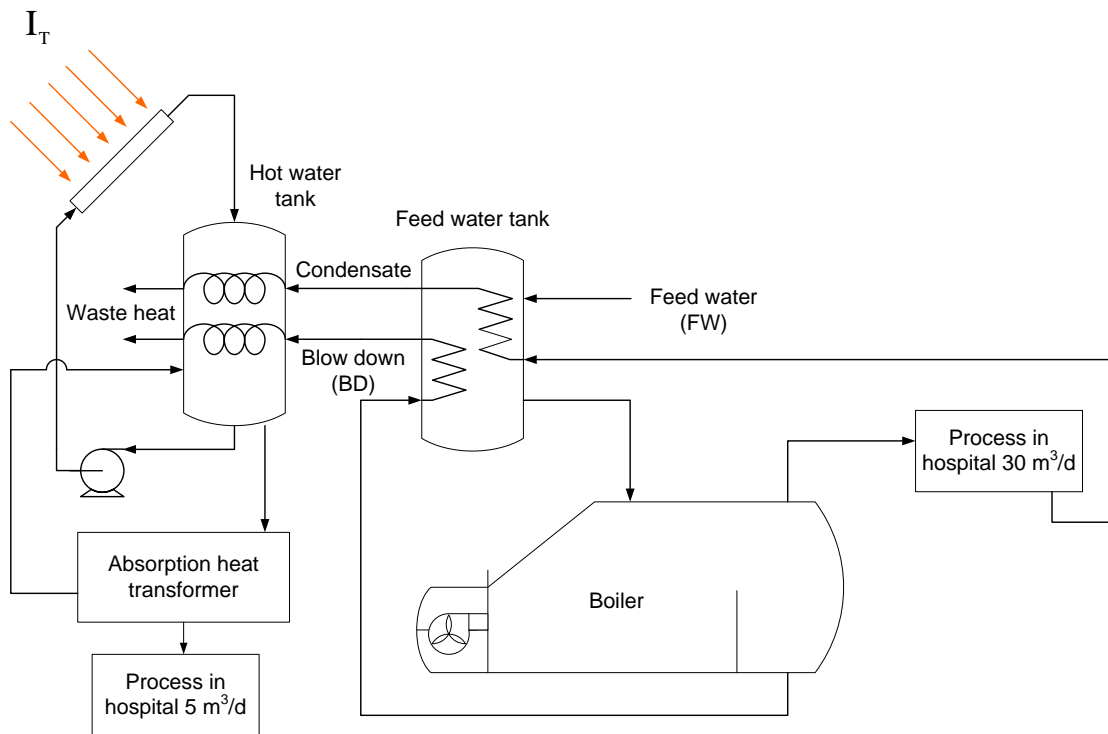
การวิเคราะห์เลือกใช้ระบบร่วมขนาดการผลิตความร้อน 10 kW จำนวน 2 ชุด สำหรับการผลิตน้ำร้อน 5 Ton/day ที่อุณหภูมิ 85 °C ร่วมกับการผลิตไอน้ำ 30 Ton/day ของหม้อไอน้ำ โดยไดอะแกรมระบบก่อนปรับปรุงและระบบหลังปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 1.5 และรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.4 การใช้ปั๊มความร้อนแบบคาสเคด ในการเพิ่มคุณภาพความร้อนจากระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์



รูปที่ 1.5 การผลิตไอน้ำโดยหม้อไอน้ำที่ 35 Ton/day.



รูปที่ 1.6 การผลิตไอน้ำโดยหม้อไอน้ำที่ 30 Ton/day และน้ำร้อนโดยระบบรวมที่ 5 Ton/day



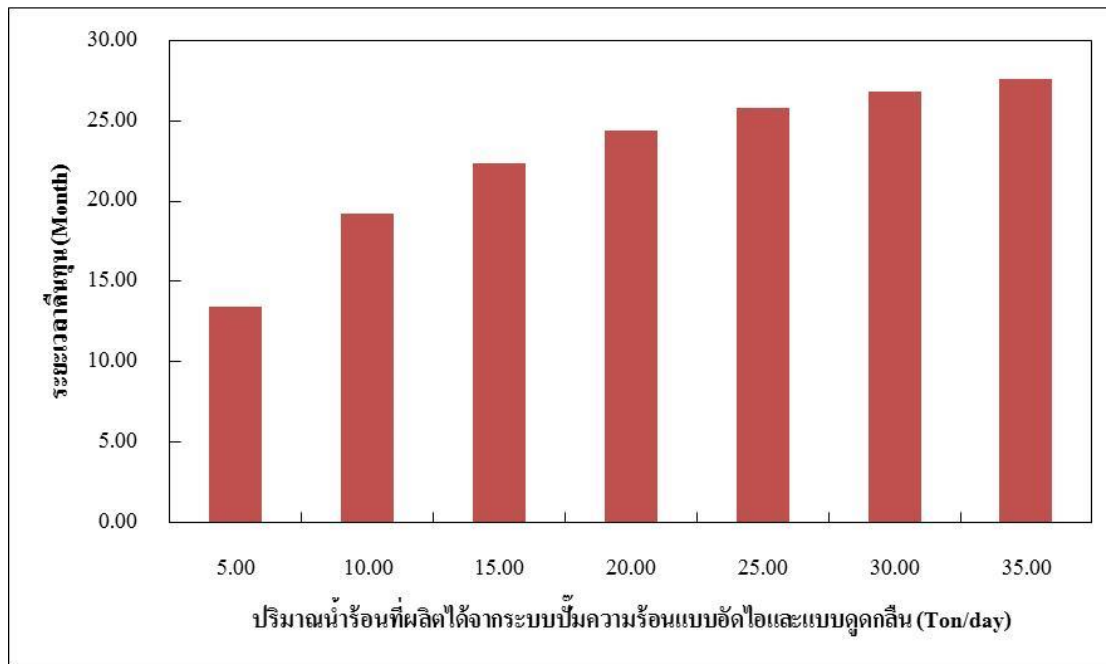
ผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 ผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

รายละเอียดของระบบ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ชั่วโมงการทำงาน (h/d)	15	15
• 9.00 - 22.00 (h/d)	8	8
• 22.00 - 9.00 (h/d)	4	4
ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง		
• ดีเซล (l/d)	373	316
• น้ำมันเตา (l/d)	2,475	2,097
• รวม (l/d)	2,848	2,413
ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิง (Baht/y)	11,306,123	8,288,9906
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า [18] (Baht/y)	38,477.33	380,176.09
ราคาแผงรับรังสีอาทิตย์แสงอาทิตย์ขนาด 2.3 ตารางเมตร [36 units] (Baht)	-	900,000
ราคาปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนขนาด 20 kW [2 units] (Baht)	-	1,000,000
ราคาปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนขนาด 10 kW (2 units) (Baht)	-	1,000,000
ระยะเวลาการคืนทุน (y)	1.12	

ผลการศึกษาพบว่า ระบบการเพิ่มคุณภาพความร้อนแสงอาทิตย์อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนและแบบดูดกลืนในรูปแบบคาสเคด เพื่อช่วยลดอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีความคุ้มค่าค่อนข้างสูง คือ มีระยะเวลาการคืนทุนประมาณ 1 ปี 2 เดือน

เพื่อศึกษาแนวโน้มของการผลิตน้ำร้อนในปริมาณที่สูงขึ้นเพื่อใช้ในโรงพยาบาล ที่อุณหภูมิน้ำร้อน 85 °C อัตรา 10,000-35,000 l/d โดยใช้ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนและแบบดูดกลืนในรูปแบบคาสเคด ผลการศึกษาพบว่า แนวโน้มของระยะการคืนทุนมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้ระบบร่วมผลิตน้ำร้อนในปริมาณที่มากขึ้น เนื่องจากราคาของระบบเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ประหยัดได้ เมื่อมีการเพิ่มอัตราการผลิตน้ำร้อนที่สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.7

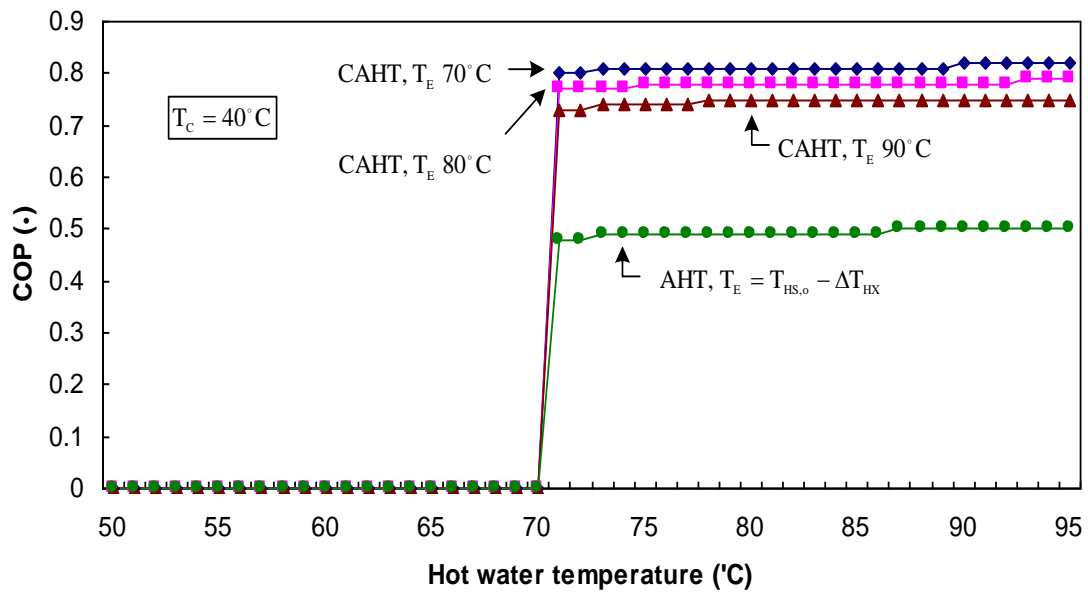


รูปที่ 1.7 การเปรียบเทียบระยะคืนทุนจากการลงทุนติดตั้งระบบปั๊มความร้อนร่วมเพื่อผลิตน้ำร้อนร่วมกับหม้อไอน้ำในปริมาณต่างๆ

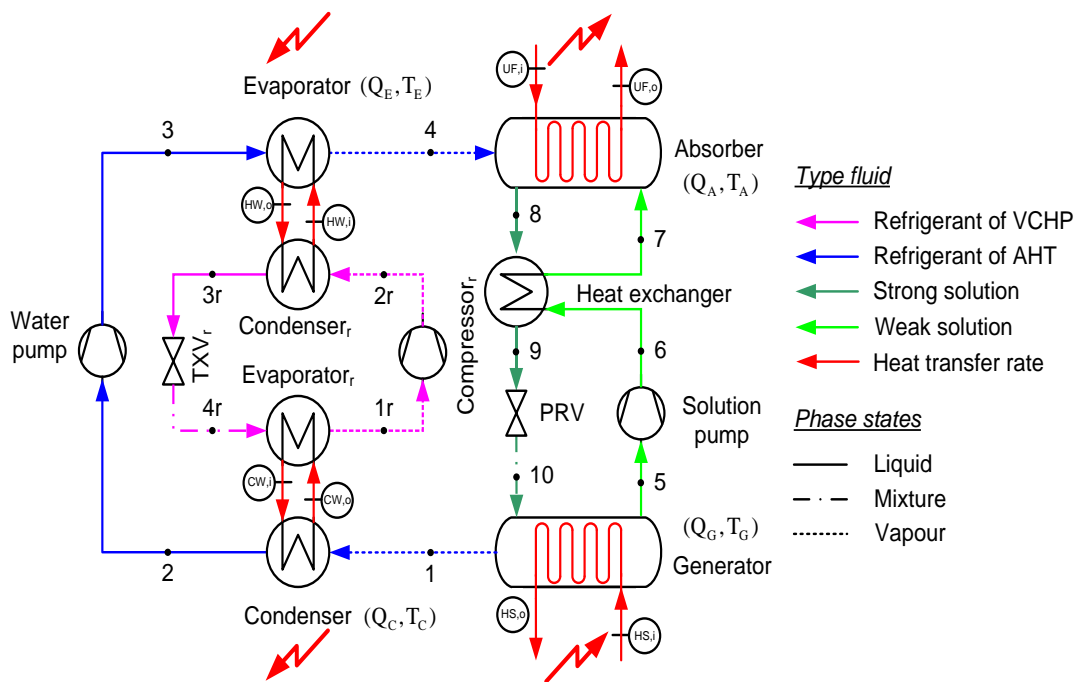
### 1.6 ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

นอกจากตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนแบบขั้นเดียวดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา ตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนยังมีการทำงานแบบประยุกต์เพื่อให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้นดังต่อไปนี้

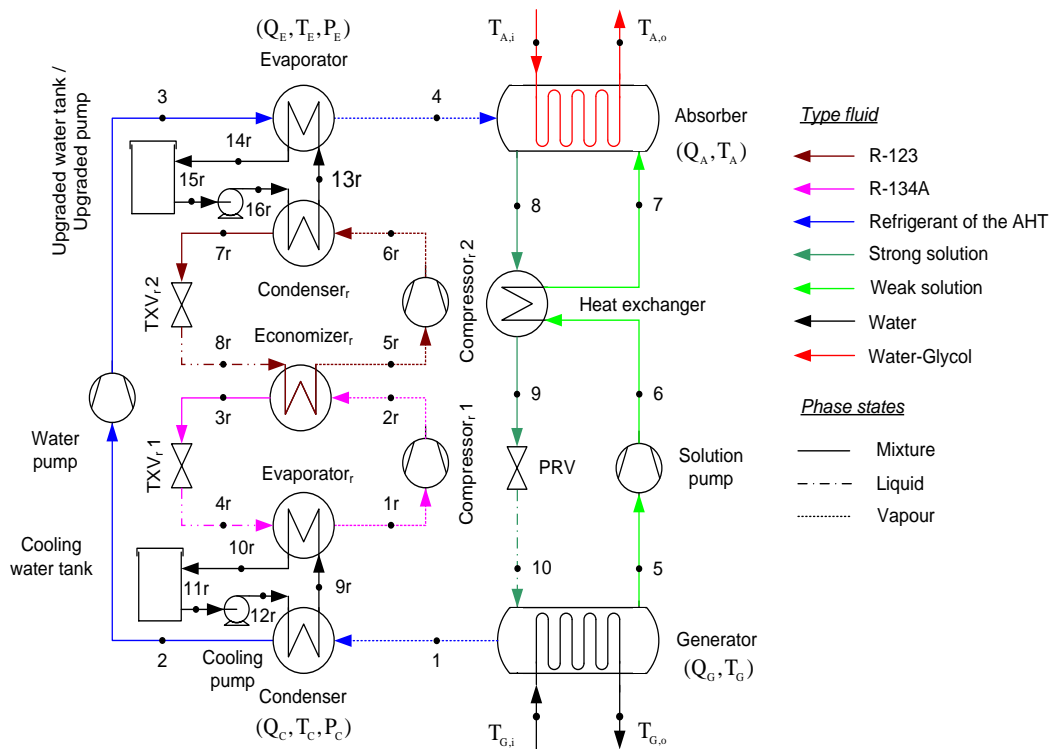
Nattaporn Chaiyat and Tanongkiat Kiatsiriroat [4-8] นำเสนอการนำความร้อนทิ้งที่เกิดขึ้นภายในระบบของตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนกลับมาใช้งาน โดยนำความร้อนทิ้งคุณภาพต่ำ (อุณหภูมิประมาณ 40-50 °C) ที่เครื่องควบแน่นมาเพิ่มคุณภาพทางความร้อนให้สูงขึ้น (อุณหภูมิประมาณ 70-80 °C) โดยระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนและจ่ายคืนให้แก่เครื่องทำระเหย ซึ่งจากเดิมตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนแบบขั้นเดียวต้องการแหล่งความร้อนป้อนให้แก่ระบบ 2 อุณหภูมิ คือ เจนเนอเรเตอร์และเครื่องระเหย แต่การปรับปรุงดังกล่าวทำให้ระบบต้องการแหล่งพลังงานความร้อนเพียงอุณหภูมิเดียว คือ เจนเนอเรเตอร์ ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงาน (COP) เพิ่มขึ้นประมาณ 60% หรือจากเดิม COP ไม่เกิน 0.5 สามารถเพิ่มได้เป็น 0.8 ดังแสดงผลการเปรียบเทียบค่า COP ของตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงในรูปที่ 1.8 โดยระบบร่วมดังกล่าวเรียกว่า Compression-absorption heat transformer หรือเรียกแบบย่อว่า CAHT



รูปที่ 1.8 การเปรียบเทียบค่า COP ของตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนก่อนการปรับปรุงและหลังปรับปรุง โดยทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน [4]



รูปที่ 1.9 ตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนชั้นเดียว [4-8]



รูปที่ 1.10 ตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนสองชั้น [4-8]

นอกจากนี้ Nattaporn Chaiyat and Tanongkiat Kiatsiriroat [4-8] ยังนำเสนอการนำความร้อนทิ้งจากเครื่องควบแน่นกลับมาใช้ประโยชน์โดยปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน 2 ประเภท คือ ปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนชั้นเดียวและสองชั้น ดังแสดงในรูปที่ 1.9 และรูปที่ 1.10 ตามลำดับ

ในกรณีปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนชั้นเดียวเลือกใช้สารทำงาน คือ R-123 และ Propane ทั้งนี้การเลือกใช้ R-123 เหมาะสำหรับการใช้งานอุณหภูมิสูง (ประมาณ 80 °C) และ Propane เหมาะสำหรับการเลือกใช้สารทำงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิไม่เกิน 65 °C ในกรณีของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนสองชั้นเลือกใช้สารทำงาน คือ R-134A และ R-123 ในวงจรด้านอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูงตามลำดับ

การเพิ่มประสิทธิภาพด้านความร้อน (Thermal efficiency) ของตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนโดยทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนแบบ 2 ชั้น สามารถเพิ่มค่า COP ได้สูงกว่าปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนชั้นเดียวเล็กน้อย เนื่องจากระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน 2 ชั้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบชั้นเดียว แต่ทั้งนี้การปรับปรุงโดยใช้ปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนทั้งสองแบบ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านความร้อนรวมของตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนได้ประมาณ 60% ใกล้เคียงกัน

## 1.7 การประยุกต์ใช้งาน

นอกจากรูปแบบการปรับปรุงตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนดั่งที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นต้น ยังมีการใช้งานระบบอีกหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน และเงื่อนไขต่างๆ เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการใช้งานและการออกแบบ เช่น นำตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนแบบขั้นเดียวมาต่อรวมกันในลักษณะตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนแบบสองขั้น เพื่อนำความร้อนทั้งจากแอบซอร์พเบอร์ ที่ระดับความดันสูงมาป้อนให้แก่เจนเนอเรเตอร์ที่ระดับความดันปานกลาง เพิ่มปริมาณสารทำงานที่เข้าสู่เครื่องควบแน่น และเครื่องทำระเหยให้มากขึ้น เป็นต้น

จากตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของ Absorption heat pump Type I และ Type II แบบต่างๆ ที่ผ่าน มา สามารถสรุปคุณลักษณะข้อดีและข้อด้อยของระบบทั้ง 2 ประเภทได้ดังตารางที่ 1.4

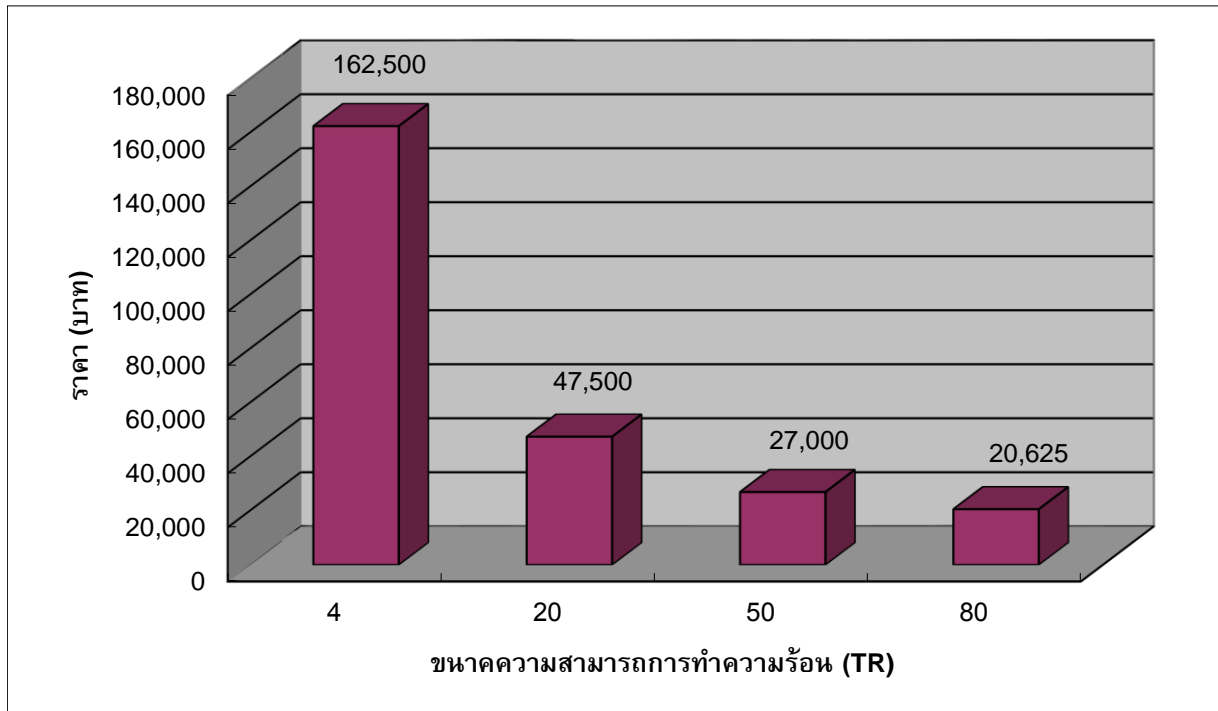
ตารางที่ 1.4 ข้อดีและข้อด้อยของระบบ Absorption heat pump Type I และ Type II [1]

Property	Absorption heat pump	
	Type I	Type II
<b>Single-Stage</b>		
● Inlet temperature	High (90-120 °C)	Intermediate (70-90 °C)
● Useful	Cooling/Heating	Heating
	0-20 °C /40-60 °C	90-120 °C
● COP	0.6-0.7	0.4-0.5
<b>Double-Stage</b>		
● Inlet temperature	Higher 120 °C	High (90-120 °C)
● Useful	Cooling/Heating	Heating
	0-20 °C /50-80 °C	100-120 °C
● COP	1.0-1.2	0.8-1.0

## 1.8 การลงทุน

ในปัจจุบันระบบทำความเย็นแบบดูดซึมและตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนยังไม่เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย เมื่อเปรียบเทียบกับระบบแบบดูดกลืน สาเหตุมาจากในอดีตระบบแบบดูดกลืนใช้แหล่งพลังงานจากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ทำให้มีความสะดวกสบายต่อการใช้งาน อีกทั้งพลังงานไฟฟ้าถือว่ามีระดับปริมาณเพียงพอต่อการใช้งานและมีราคาถูก ทำให้ระบบ Absorption heat pump ไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก ต่อมาเมื่อทั่วโลกประสบภาวะวิกฤตด้านพลังงาน หลายฝ่ายจึงหันมาให้ความสำคัญต่อการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น เทคโนโลยีต่างๆ ที่เคยถูกคิดค้นไว้ในอดีตได้รับความสนใจและนำมาพัฒนาเพื่อใช้งานอย่างจริงจังอีกครั้ง รวมทั้งระบบ Absorption heat pump ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย และให้ประสิทธิภาพไม่ต่างจากระบบแบบดูดกลืน แต่ราคาของระบบ Absorption heat pump ในปัจจุบันมีราคาค่อนข้างสูง ยังมีระบบขนาดเล็กราคาก็จะสูงตามรูปร่างที่เล็กนั้นไปด้วย อีกทั้งในขนาดที่ต่ำกว่า 10 TR อุปกรณ์ภายในระบบ Absorption heat pump ต้องออกแบบและสร้างขึ้นใหม่ทั้งหมดไม่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด ทำให้

มีราคาต่อตันความเย็นที่ค่อนข้างสูง แต่ถ้าในขนาดที่ใหญ่ขึ้น (มากกว่า 20 TR) ราคาต่อตันความสามารถลดลง ดังสังเกตได้จากปัจจุบันมีหลายบริษัท ได้ทำการผลิต Absorption heat pump แบบชุดออกมาจำหน่ายทำให้ราคาถูกลง ซึ่งในรูปที่ 1.11 แสดงการเปรียบเทียบราคาต่อตันความสามารถการทำงานของระบบ Absorption heat pump ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน ดังนั้นหากมีปริมาณความร้อนมากพอสำหรับป้อนเป็นแหล่งพลังงานให้แก่ Absorption heat pump ขนาดใหญ่ การใช้ระบบดังกล่าวจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1.11 ราคาต่อหน่วยขนาดความสามารถทำความร้อนและความเย็นของ Absorption heat pump [9]

### 1.9 ตัวอย่างกรณีศึกษา

Xuehu et al [11] ทดสอบตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนที่ใช้คู่สาร Water-LiBr ในประเทศจีนในการดึงความร้อนทิ้งจากไอสารอินทรีย์ของโรงงานยางสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 98 °C มาใช้ในการเพิ่มน้ำร้อนในช่วงอุณหภูมิ 95-110 °C โดยระบบสามารถผลิตความร้อนได้ประมาณ 5,000 kW มี COP ประมาณ 0.47 และสามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำได้ประมาณ 25 °C ดังแสดงในรูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 การติดตั้งตัวแปลงความร้อนในโรงงานยางสังเคราะห์ของประเทศจีน

### 1.10 การบำรุงรักษา

- ดูดอากาศหรือก๊าซที่อยู่ในระบบทุกอาทิตย์โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) เพื่อการเคลื่อนที่ของสารละลายในปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนจะเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดก๊าซตลอดเวลา รวมทั้งระดับความดันในระบบที่ใช้สารทำงานเป็น Water-LiBr จะอยู่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ทำให้มีอากาศแทรกซึมเข้าไปได้ตลอดเวลาอีกด้วย
- เปิดวาล์วระบายน้ำในหอระบายความร้อน (Cooling Tower) ทั่วทุกสัปดาห์ เพื่อลดการเกิดตะกรันในระบบระบายความร้อน
- ตรวจสอบวาล์วลูกกลอยในหอระบายความร้อนว่ายังทำงานได้ดีหรือไม่ โดยการเปิดวาล์วระบายน้ำที่ลูกกลอยจะต้องทำงานจ่ายน้ำเข้าหอระบายความร้อน
- ทำความสะอาดไส้กรองน้ำหล่อเย็น ทุก ๆ เดือน
- น้ำที่ใช้เติม Cooling Tower ควรเป็นน้ำสะอาดไม่มีตะกอน
- ปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ใช้สารทำงานในระบบ คือ Ammonia-water หากเกิดการรั่วขึ้นจะได้กลิ่นฉุนของแอมโมเนีย ให้รีบออกห่างจากบริเวณเครื่อง แล้วแจ้งผู้รับผิดชอบเครื่อง ไม่ต้องกังวลว่าจะเกิดอันตรายรุนแรง เนื่องจากแอมโมเนียในระบบส่วนมากอยู่ในรูปสารละลาย ซึ่งมีความปลอดภัยสูงกว่าเครื่องทำความเย็นในโรงงานน้ำแข็งที่ใช้ระบบอัดไอ ซึ่งใช้แอมโมเนียบริสุทธิ์
- หากร่างกายสัมผัสกับแอมโมเนีย หรือสารละลายแอมโมเนีย ให้ล้างด้วยน้ำสะอาดปริมาณมากๆ

### 1.11 Specification ชุดอุปกรณ์สาธิต

Specification ของชุดสาธิตได้ใช้แบบแปลนของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนขนาด 10 kW ที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้ทำการศึกษาและวิจัย [10] ดังแสดงในรูปที่ 1.13-รูปที่ 1.15 มาเป็นต้นแบบในการจัดทำชุดสาธิต ซึ่งรายละเอียด Specification ของต้นแบบดังกล่าวแสดงในตารางที่ 1.5 ทั้งนี้ชุดสาธิตได้จัดทำขึ้นมาเพื่อให้ง่ายต่อการสอนและความเข้าใจของผู้เข้าอบรม ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงย่อส่วนของอุปกรณ์ต่างๆ โดยยึดตามขนาดของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

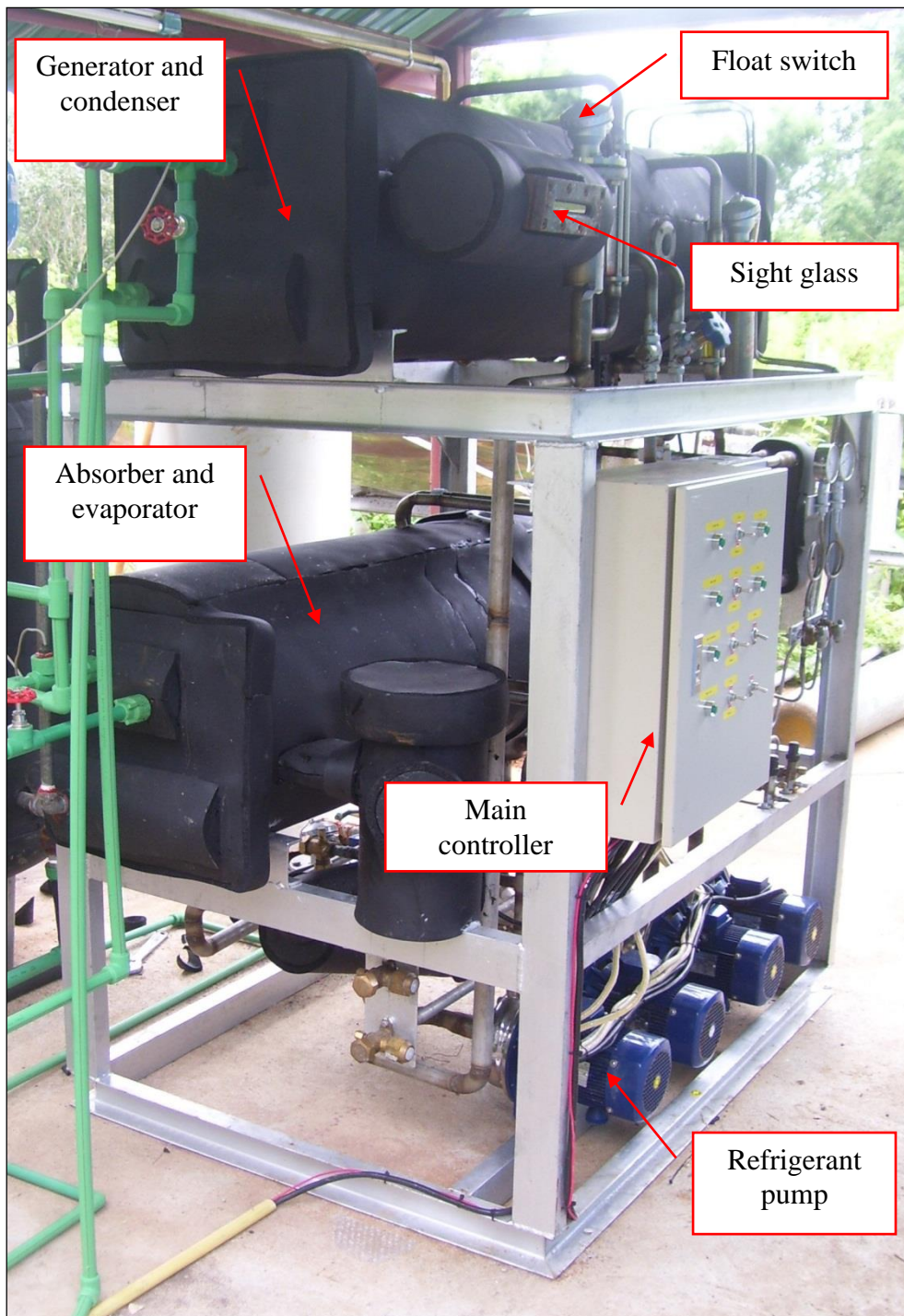
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ [10] ศึกษาการใช้ตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืนเพิ่มคุณภาพความร้อนจากน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 60-80 °C จากระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนมาที่ 90-110 °C เพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิสูง โดยปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนมีความสามารถการผลิตความร้อนประมาณ 10 kW [15] และใช้สารทำงานในระบบ คือ สารละลาย Water-LiBr ซึ่งระบบดังกล่าวจะถ่ายเทความร้อนให้แก่สารละลาย Glycol-water ความเข้มข้น 40% โดยปริมาตรของ Glycol (การเพิ่มจุดเดือดของน้ำให้สูงขึ้นประมาณ 120 °C) และเก็บสะสมความร้อนไว้ในถังเก็บขนาด 200 l โดยไดอะแกรมการทำงานของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนแสดงในรูปที่ 49 และรายละเอียดของอุปกรณ์ย่อยต่างๆ ในระบบแสดงในตารางที่ 1.5 และรูปที่ 1.13 ถึงรูปที่ 1.15



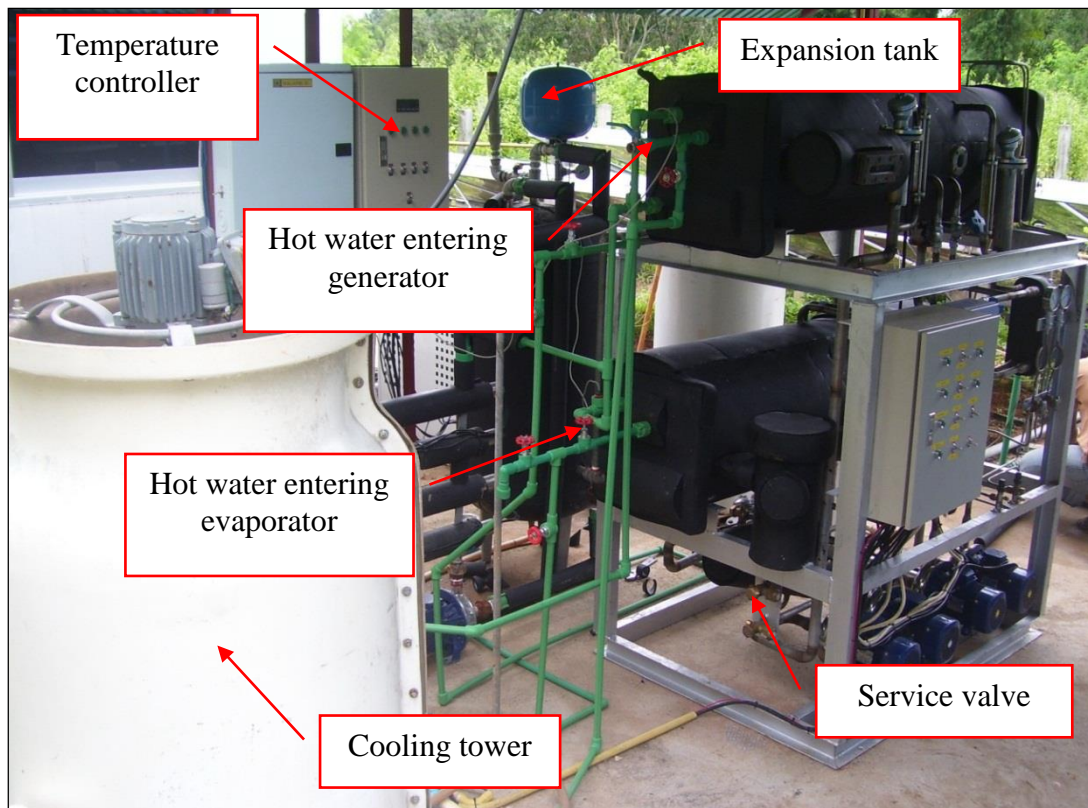
ตารางที่ 1.5 รายละเอียดอุปกรณ์ต่างๆ ของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนขนาด 10 kW

อุปกรณ์	ประเภท	คุณลักษณะ
1. Generator	Flooded shell and tube heat exchanger	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacity 10.3 kW</li> <li>● Weak solution 50 %LiBr</li> <li>● Strong solution 55 %LiBr</li> <li>● Generator temperature 85 °C</li> <li>● Tube diameter 4/8 in</li> <li>● Number of Tube passes 4</li> <li>● Length 1.24 m</li> <li>● Area 1.02 m<sup>2</sup></li> </ul>
2. Condenser	Shell and tube heat exchanger	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacity 10.6 kW</li> <li>● Condenser temperature 55 °C</li> <li>● Tube diameter 4/8 in</li> <li>● Number of Tube passes 2</li> <li>● Length 1.01 m</li> <li>● Area 0.42 m<sup>2</sup></li> </ul>
3. Absorber	Flooded shell and tube heat exchanger	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacity 10 kW</li> <li>● Weak solution 50 %LiBr</li> <li>● Strong solution 55 %LiBr</li> <li>● Absorber temperature 115 °C</li> <li>● Tube diameter 3/4 in</li> <li>● Number of Tube passes 6</li> <li>● Length 1.1 m</li> <li>● Area 1.44 m<sup>2</sup></li> </ul>
4. Evaporator	Shell and tube heat exchanger	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacity 10.8 kW</li> <li>● Evaporator temperature 85 °C</li> <li>● Tube diameter 4/8 in</li> <li>● Number of Tube passes 9</li> <li>● Length 0.94 m</li> <li>● Area 1.16 m<sup>2</sup></li> </ul>
5. Pressure relief device	Orifice type	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Capacity 10 kW</li> <li>● Pressure ratio 6.00</li> </ul>
6. Lithium bromide	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Main content 50-55%</li> </ul>

อุปกรณ์	ประเภท	คุณลักษณะ
		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Light yellow transparent liquid</li> <li>● Chloride = 0.05% max</li> <li>● Sulphate = 0.05% max</li> <li>● Bromate = Non reaction</li> <li>● Ca = 0.0001% max</li> <li>● Mg = 0.0001% max</li> <li>● Na = 0.03% max</li> <li>● PH = 9.0-10.5</li> <li>● Lithium chromate = 0.2-0.3%</li> </ul>
7. Solution pump	Inline pump	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Flow rate 0.6-3.7 m<sup>3</sup>/h</li> <li>● Maximum head 6 m</li> <li>● Maximum temperature 110 °C</li> <li>● Maximum pressure 10 bar</li> <li>● Capacity 78 W</li> <li>● Current 0.34 A</li> <li>● Voltage 230 V</li> </ul>

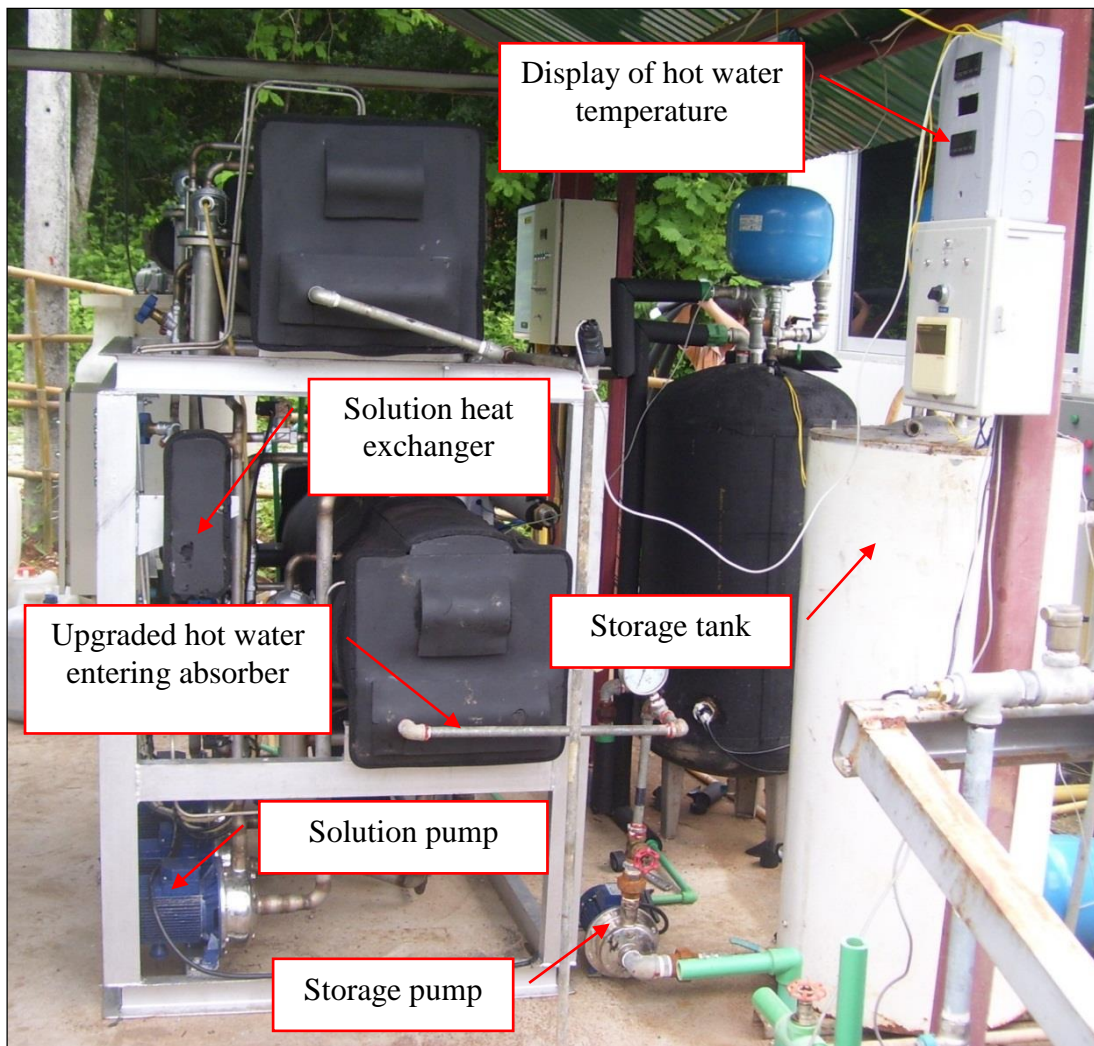


รูปที่ 1.13 ปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน



รูปที่ 1.14 ป้อนความร้อนแบบดูดกลืนพร้อมชุดระบายความร้อน





รูปที่ 1.15 ป้มความร้อนแบบดูดกลืนและรายละเอียดอุปกรณ์ย่อย

## บทที่ 2

### คู่มือการใช้งาน

#### 2.1 การจำลองเลือกสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน

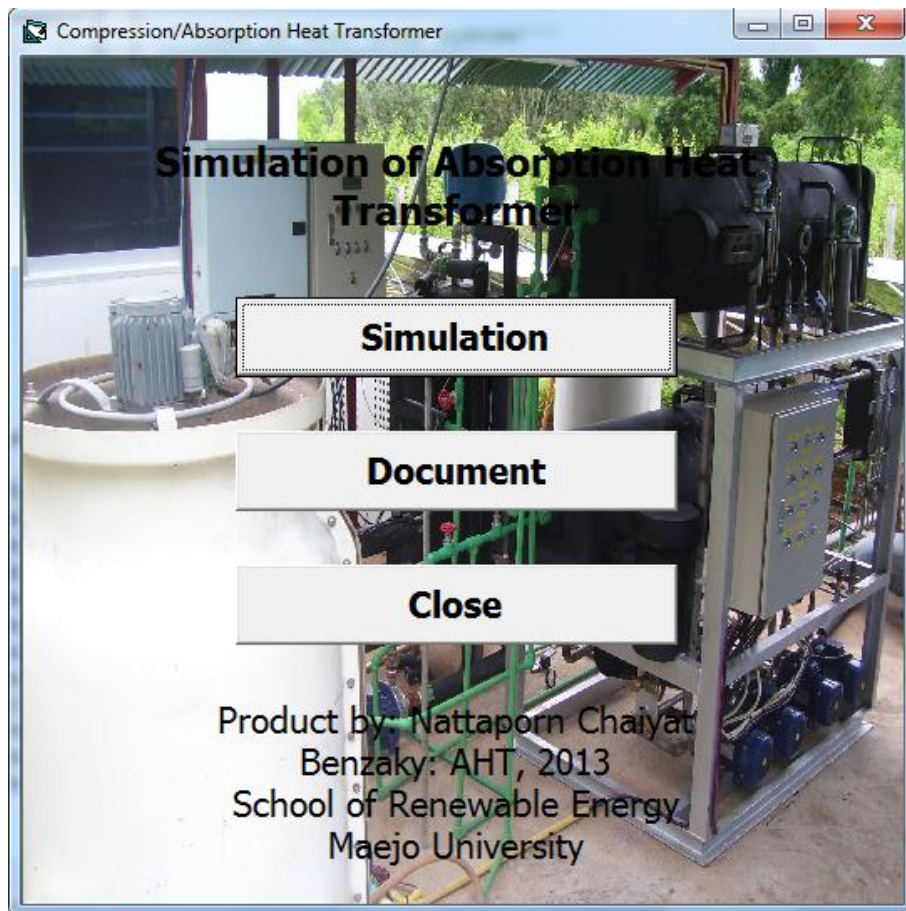
โปรแกรม AHT นี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อจำลองพฤติกรรมการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ทั้งทำงานแบบระบบเดียว และทำงานร่วมกับระบบอื่นๆ เช่น ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และปั๊มความร้อนแบบอัดไอ เพื่อผลิตความร้อนอุณหภูมิสูง โดยขั้นตอนในการใช้โปรแกรม AHT มีดังนี้

เลือก **Start >> AHT** เพื่อเข้าสู่โปรแกรม AHT แสดงดังรูปที่ 2.1 ต่อจากนั้นระบบจะเข้าสู่โปรแกรม AHT

โดย หัวข้อ **Simulation** จะเข้าสู่แบบจำลองการคำนวณระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน

หัวข้อ **Document** ระบบจะเรียกคู่มือการใช้งานโปรแกรมฉบับนี้ขึ้นมา

หัวข้อ **Close** ระบบจะหยุดการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 2.1 หน้าแรกของโปรแกรม AHT

2.2

เลือก **Simulation** เพื่อเข้าสู่การจำลองการทำงานของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่

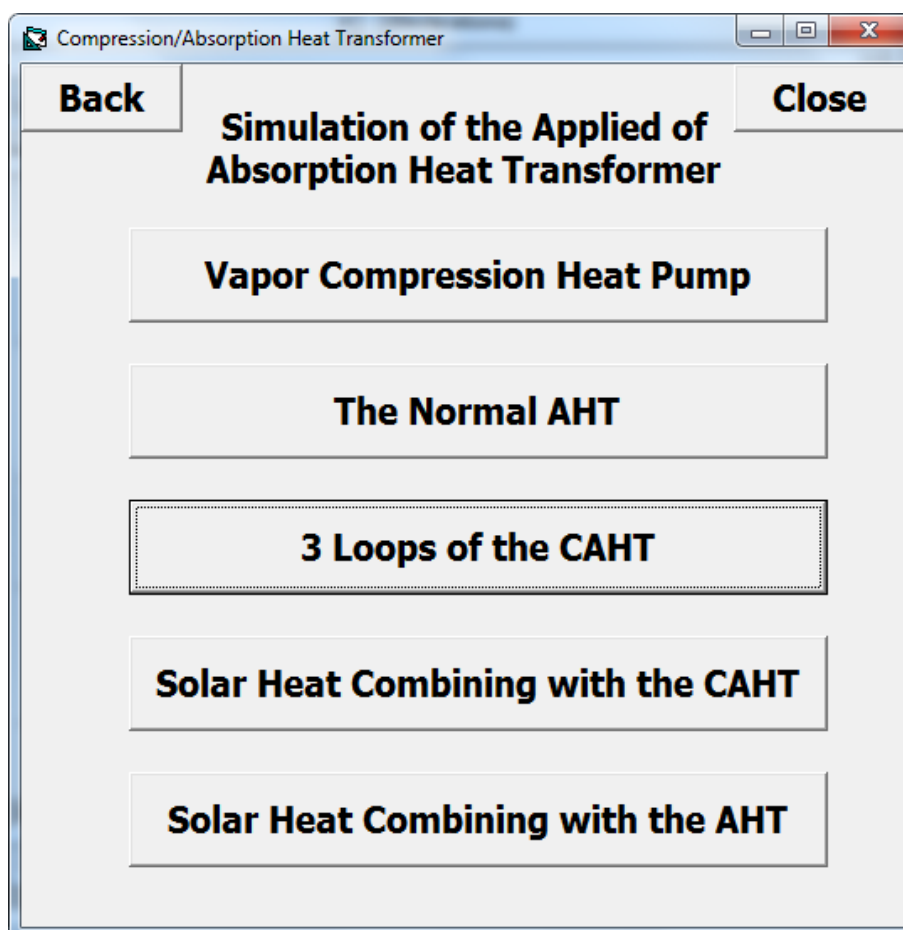
โดย หัวข้อ **Vapor Compression Heat Pump** โปรแกรมจะเข้าสู่แบบจำลองการทำงานของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ เพื่อใช้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ร่วมกับปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน

หัวข้อ **The Normal AHT** โปรแกรมจะเข้าสู่การจำลองการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน

หัวข้อ **3 Loops of the CAHT** โปรแกรมจะเข้าสู่การจำลองระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบอัดไอ เพื่อใช้ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ Condensing temperature ทั้งนี้การจำลองในส่วนนี้สามารถศึกษาผลของอุณหภูมิดังกล่าวได้ 3 ค่า

หัวข้อ **Solar Heat Combining with the CAHT** โปรแกรมจะเข้าสู่การจำลองระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบอัดไอ โดยรับพลังงานความร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

หัวข้อ **Solar Heat Combining with the AHT** โปรแกรมจะเข้าสู่การจำลองระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่รับพลังงานความร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.2 การเลือกจำลองการทำงานของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนแบบต่างๆ

### 2.1.1 Vapor Compression Heat Pump

2.1.1.1 เลือก **Vapor Compression Heat Pump** เพื่อเข้าสู่การจำลองการทำงานของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ เพื่อใช้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ร่วมกับปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนดังแสดงในรูปที่ 2.4

โดย หัวข้อ **Refrigerant** คือ การเลือกสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

หัวข้อ **Waste heat** คือ ประเภทของแหล่งความร้อนที่เข้าสู่ปั๊มความร้อนแบบอัดไอ โดยโปรแกรมมีแหล่งความร้อนให้เลือก 2 ประเภท คือ Water ที่มีสถานะเป็นของเหลว และ Steam ที่มีสถานะเป็นไอ

หัวข้อ **Start temperature** คือ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ต้องการผลการจำลองของระบบ ทั้งนี้ อุณหภูมิดังกล่าวในโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของ Waste heat มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **Final temperature** คือ อุณหภูมิสุดท้ายที่ต้องการผลการจำลองของระบบ ทั้งนี้ อุณหภูมิดังกล่าวในโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของ Waste heat มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **Step temperature** คือ ช่วงอุณหภูมิที่ต้องการผลการจำลองของระบบ ทั้งนี้ อุณหภูมิดังกล่าวในโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของ Waste heat มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **Heating flow rate** คือ อัตราการไหลของแหล่งความร้อนที่เข้าสู่ระบบปั๊มความร้อน มีหน่วยเป็น  $\text{L/s}$  ในกรณีที่เป็น Water และมีหน่วยเป็น  $\text{m}^3/\text{s}$  สำหรับ Steam

หัวข้อ **m UF** ย่อมาจาก Mass flow rate of useful heat คือ อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ออกจาก Condenser มีหน่วยเป็น  $\text{L/s}$

หัวข้อ **DT Surface** ย่อมาจาก Different temperature at surface of heat exchanger คือ อุณหภูมิแตกต่างของของไหลสองชนิดที่ถ่ายเทความร้อนให้แก่กันสำหรับ Evaporator และ Condenser มีหน่วยเป็น °C

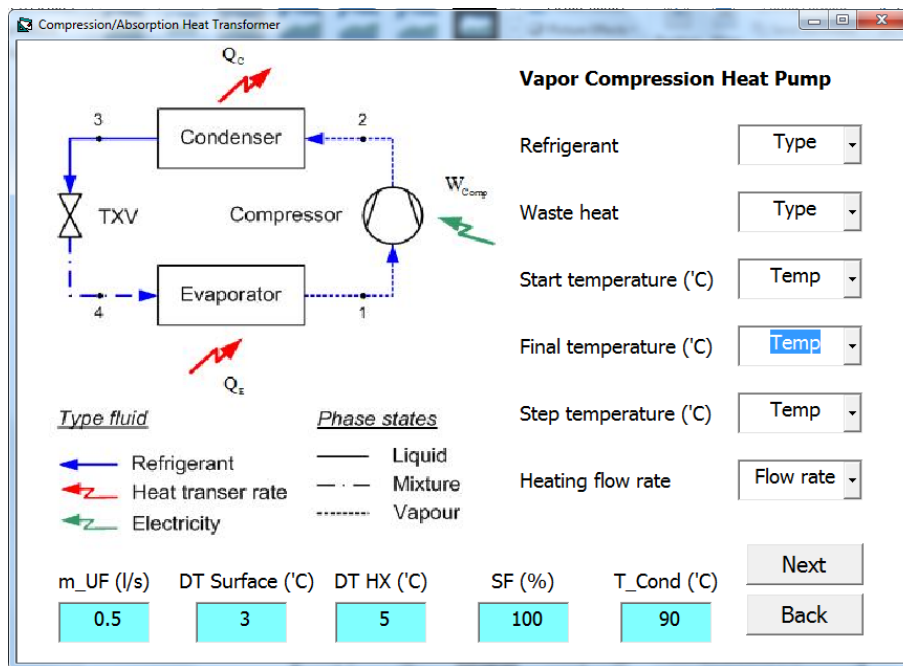
หัวข้อ **DT HX** ย่อมาจาก Different temperature of heat exchanger คือ อุณหภูมิแตกต่างของของไหลที่ป้อนความร้อนให้แก่ Evaporator และของไหลที่รับพลังงานความร้อนที่ Condenser มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **SF** ย่อมาจาก Safety factor คือ เปอร์เซ็นต์การถ่ายเทความร้อนของของไหลที่ให้ความร้อนแก่ Evaporator หรือจะเรียกว่า Effectiveness ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก็ได้เช่นกัน มีหน่วยเป็น %

หัวข้อ **T Cond** ย่อมาจาก Condensing temperature คือ อุณหภูมิของสารทำงานที่ควบแน่นของ Condenser มีหน่วยเป็น °C

2.1.1.2 เมื่อป้อนข้อมูลแล้วเสร็จให้ทำการเลือก **Next** เพื่อกำหนดการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ เลือก **Back** เมื่อต้องการกลับไปยังหน้าการเลือกรูปแบบการคำนวณ





รูปที่ 2.3 การป้อนข้อมูลการทำงานของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

2.1.1.3 เลือก **Next** โปรแกรมจะแสดงผลการจำลองการทำงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

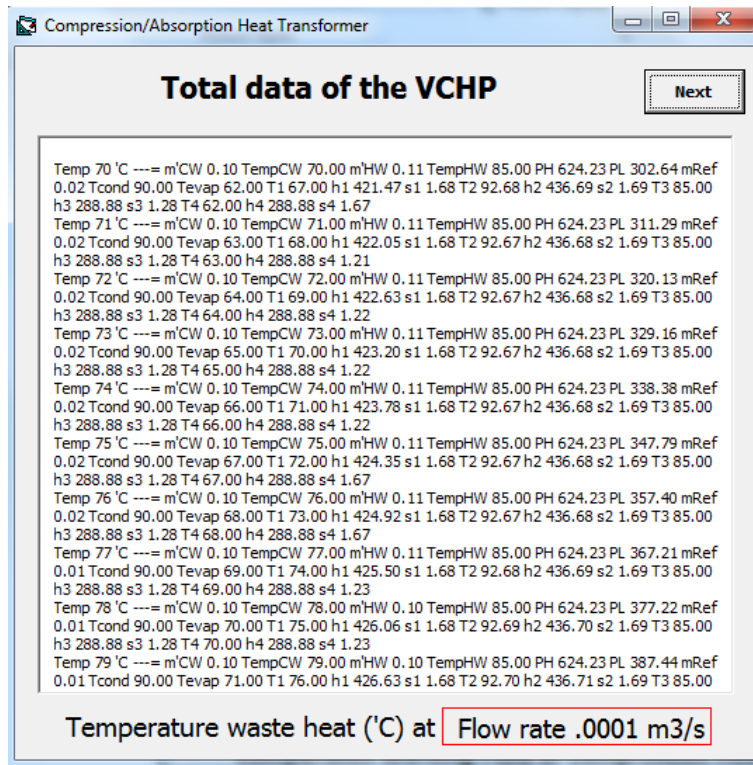
Total data of the VCHP แสดงผลการคำนวณรวมทั้งหมดของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

Device capacity of the VCHP แสดงผลการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

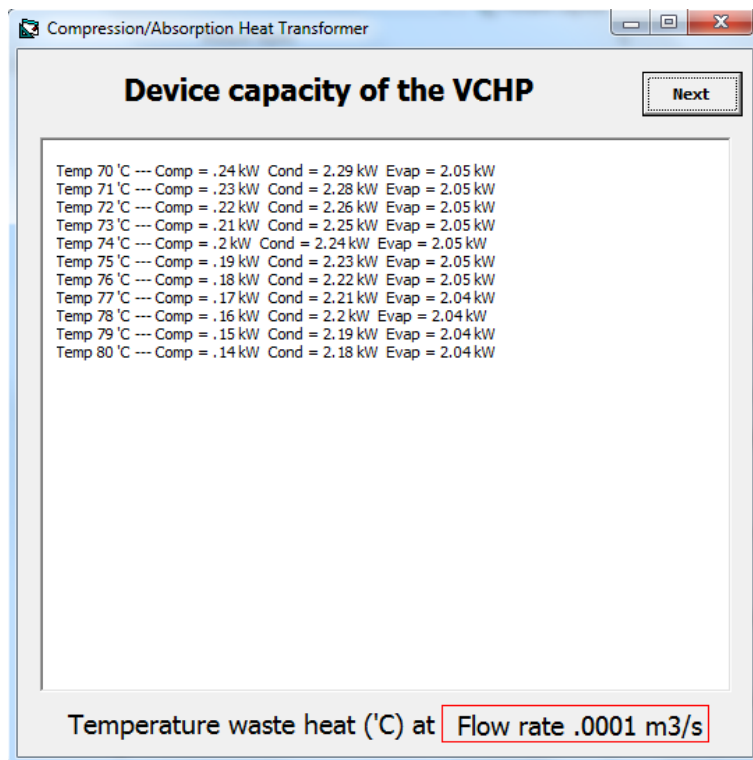
Pressure reduction of the VCHP แสดงผลอัตราส่วนความดันและความดันด้านสูงของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ ดังแสดงในรูปที่ 2.6

ECOP of the VCHP แสดงผล ECOP ของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

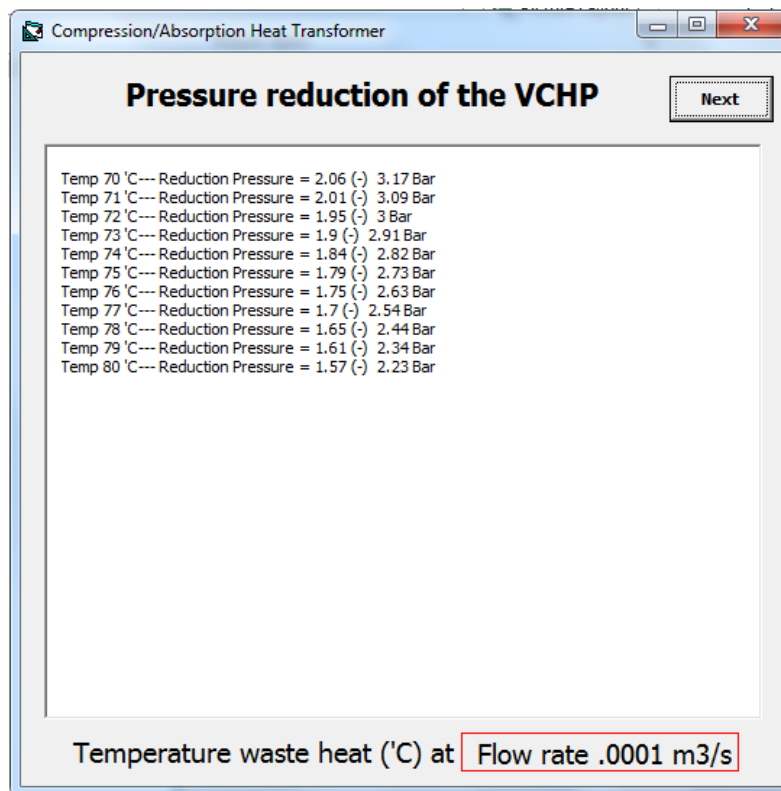
COP of the VCHP แสดงผล COP ของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



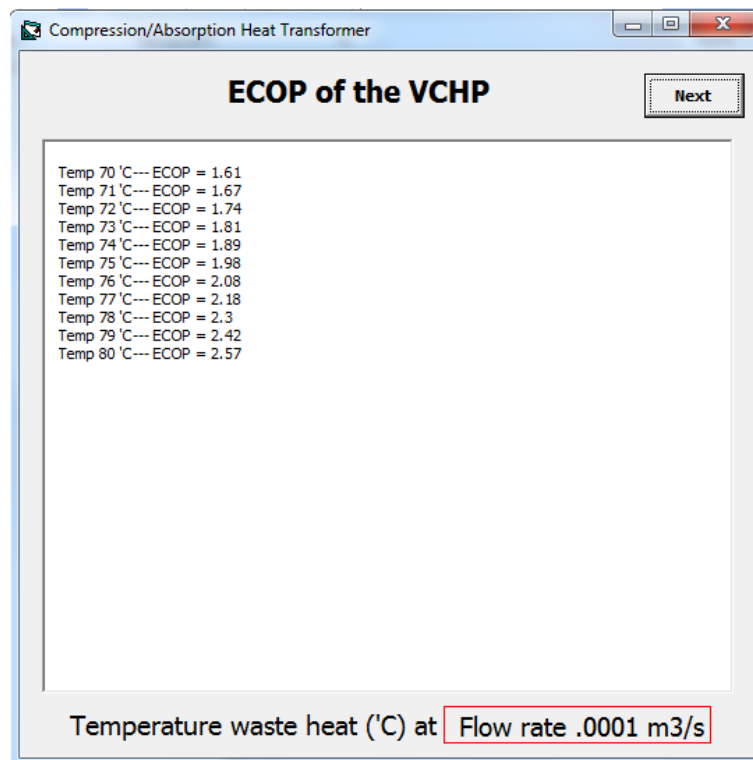
รูปที่ 2.4 ผลการจำลองปั๊มความร้อนแบบอัดไอ



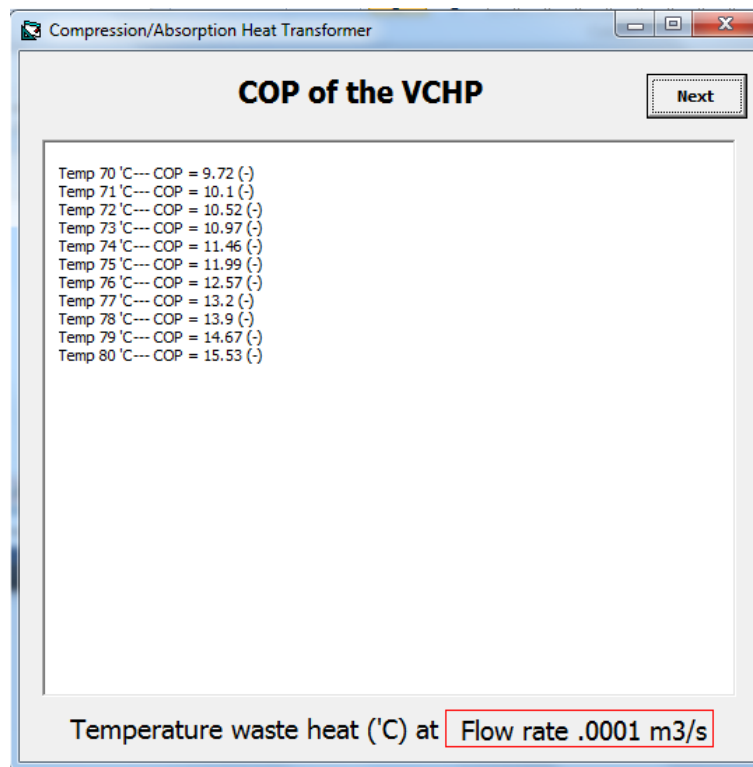
รูปที่ 2.5 อัตราการถ่ายเทความร้อนของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ



รูปที่ 2.6 อัตราส่วนความดันและความดันด้านสูงของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ



รูปที่ 2.7 ECOP ของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ



รูปที่ 2.8 COP ของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

## 2.1.2 The Normal AHT

2.1.2.1 เลือก **The Normal AHT** เพื่อเข้าสู่การจำลองการทำงานของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.9

โดย หัวข้อ **Waste heat** คือ ประเภทของแหล่งความร้อนที่เข้าสู่ปั๊มความร้อนแบบอัดไอ โดยโปรแกรมมีแหล่งความร้อนให้เลือก 2 ประเภท คือ Water ที่มีสถานะเป็นของเหลว และ Steam ที่มีสถานะเป็นไอ

หัวข้อ **T Start** ย่อมาจาก Start temperature คือ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ต้องการดูผลการจำลองของระบบ ทั้งนี้อุณหภูมิดังกล่าวในโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของ Waste heat มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **T Final** ย่อมาจาก Final temperature คือ อุณหภูมิสุดท้ายที่ต้องการดูผลการจำลองของระบบ ทั้งนี้อุณหภูมิดังกล่าวในโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของ Waste heat มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **T Step** ย่อมาจาก Step temperature คือ ช่วงอุณหภูมิที่ต้องการดูผลการจำลองของระบบ ทั้งนี้อุณหภูมิดังกล่าวในโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของ Waste heat มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **Heating flow rate** คือ อัตราการไหลของแหล่งความร้อนที่เข้าสู่ระบบปั๊มความร้อน มีหน่วยเป็น l/s ในกรณีที่เลือกเป็น Water และมีหน่วยเป็น m<sup>3</sup>/s สำหรับ Steam

หัวข้อ **m HS** ย่อมาจาก Mass flow rate of heat source คือ อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ป้อนให้แก่ Generator และ Evaporator มีหน่วยเป็น l/s

หัวข้อ **m UF** ย่อมาจาก Mass flow rate of useful heat คือ อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ออกจาก Absorber มีหน่วยเป็น l/s

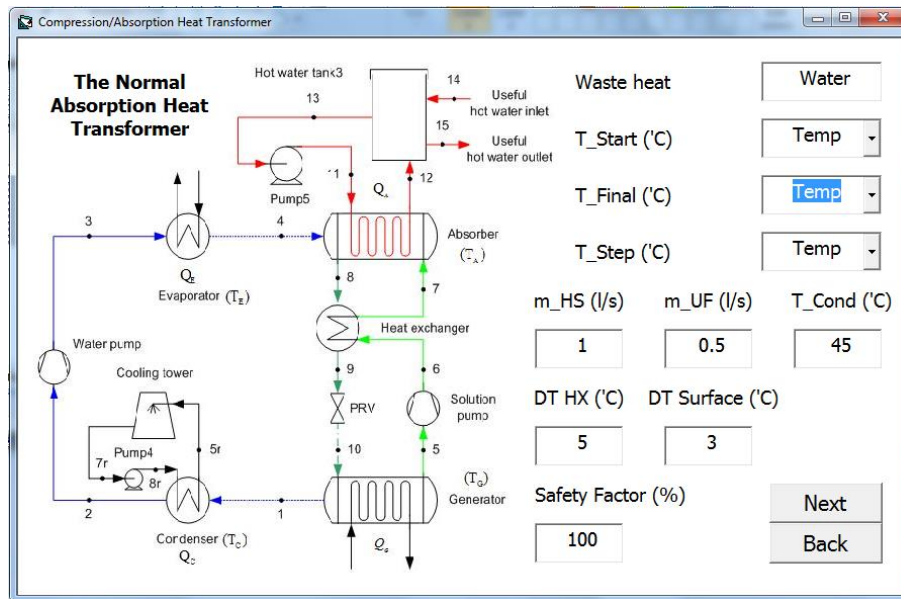
หัวข้อ **T Cond** ย่อมาจาก Condensing temperature คือ อุณหภูมิของสารทำงานที่ควบแน่นของ Condenser มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **DT HX** ย่อมาจาก Different temperature of heat exchanger คือ อุณหภูมิแตกต่างของของไหลที่ป้อนความร้อนและของไหลที่รับพลังงานความร้อนจากระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **DT Surface** ย่อมาจาก Different temperature at surface of heat exchanger คือ อุณหภูมิแตกต่างของของไหลสองชนิดที่ถ่ายเทความร้อนให้แก่ Generator Absorber condenser และ Evaporator มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **Safety Factor** ย่อมาจาก Safety factor คือ เปอร์เซ็นต์การถ่ายเทความร้อนของของไหลที่ให้ความร้อนแก่ Evaporator และ Generator หรือจะเรียกว่า Effectiveness ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก็ได้เช่นกัน มีหน่วยเป็น %

2.1.1.2 เมื่อป้อนข้อมูลแล้วเสร็จให้ทำการเลือก **Next** เพื่อคำนวณการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ เลือก **Back** เมื่อต้องการกลับไปยังหน้าการเลือกรูปแบบการคำนวณ



รูปที่ 2.9 การป้อนข้อมูลให้แก่ระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน

2.1.2.3 เลือก **Next** โปรแกรมจะแสดงผลจำลองการทำงานต่างๆ ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังต่อไปนี้

Total data of the AHT แสดงค่าการจำลองของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.10

Temperature Profile of the AHT แสดงผลอุณหภูมิสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.11

Device Capacity of the AHT แสดงผลอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์หลักในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.12

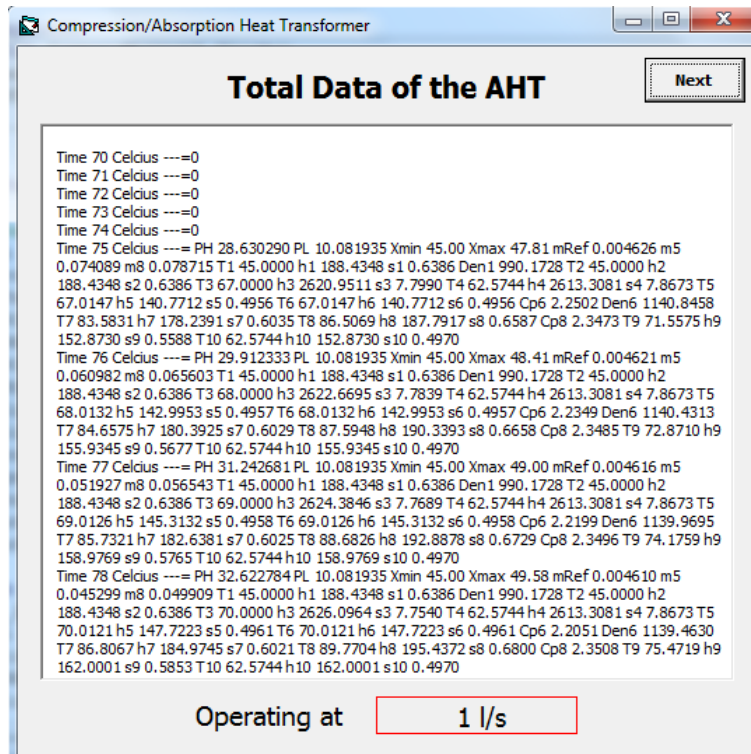
Device Capacity of the AHT แสดงผลอัตราการถ่ายเทความร้อนของ Solution heat exchanger ในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.13

COP of the AHT แสดงผล COP ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.14

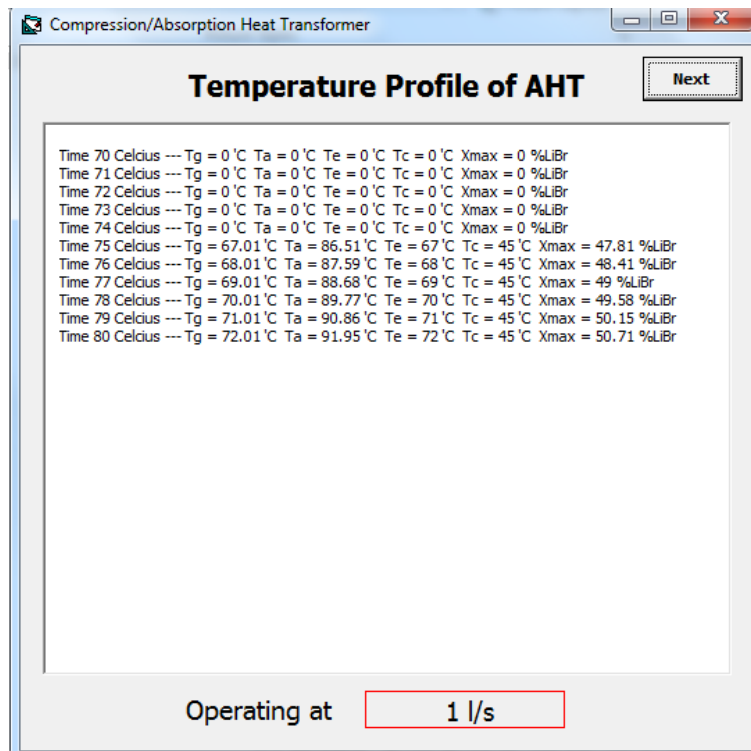
Flow ratio of the AHT แสดงอัตราส่วนการไหลของสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.15

ECOP of the AHT แสดงผล ECOP ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.16

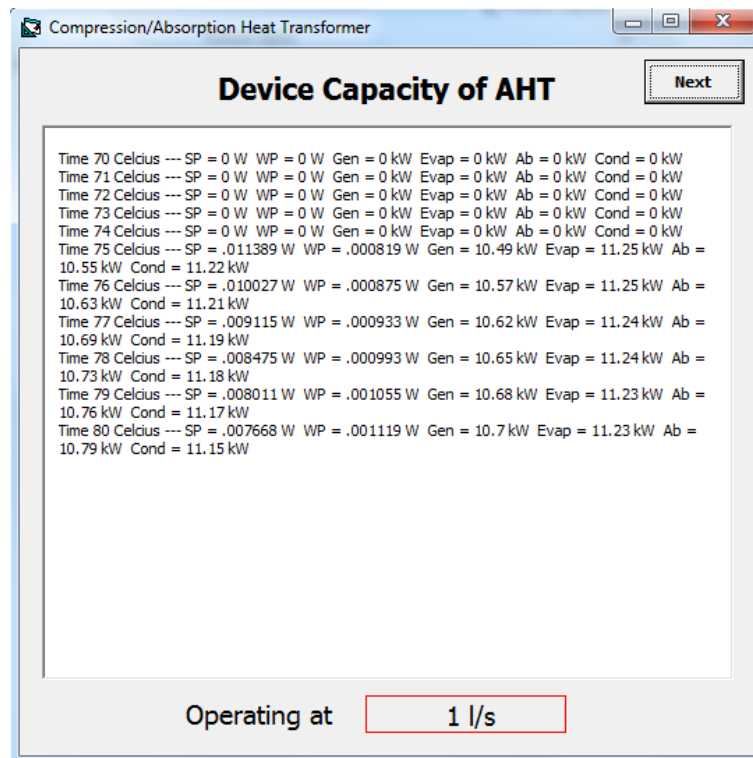
Grosse Temperature Lift แสดงผลการเพิ่มอุณหภูมิของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงดังรูปที่ 2.17



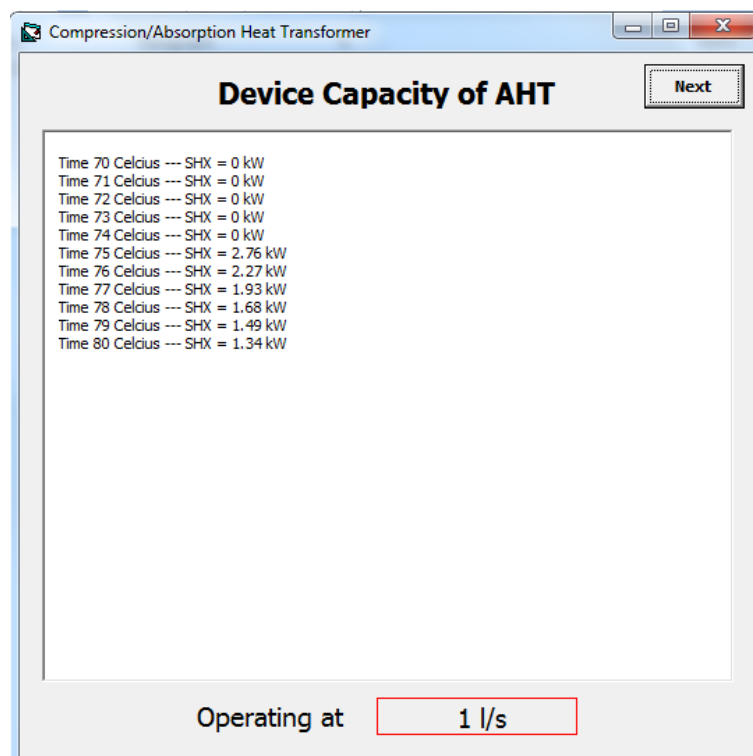
รูปที่ 2.10 การแสดงผลจำลองระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน



รูปที่ 2.11 การแสดงผลอุณหภูมิที่อุปกรณ์ต่างๆ ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน

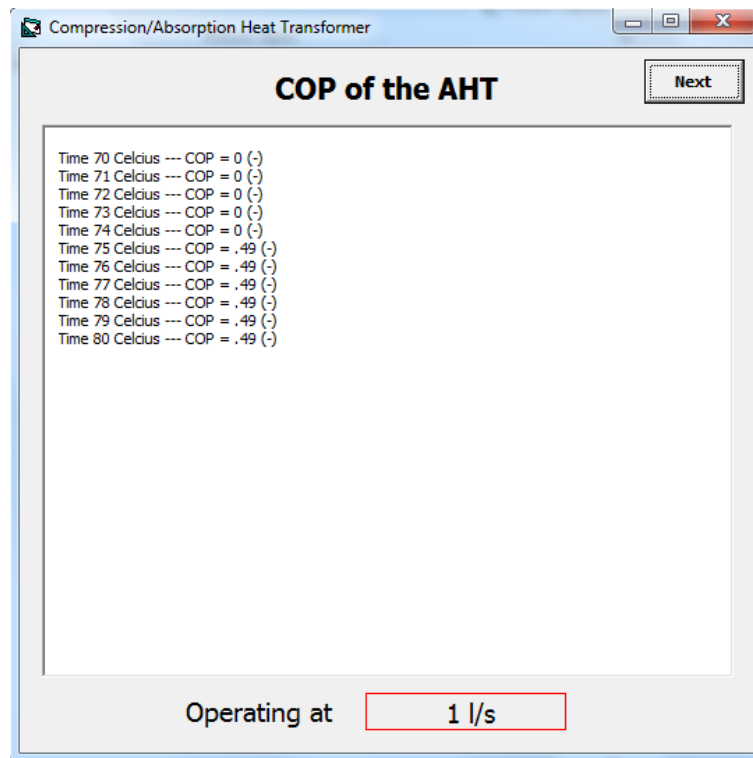


รูปที่ 2.12 การแสดงผลอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์หลักในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน

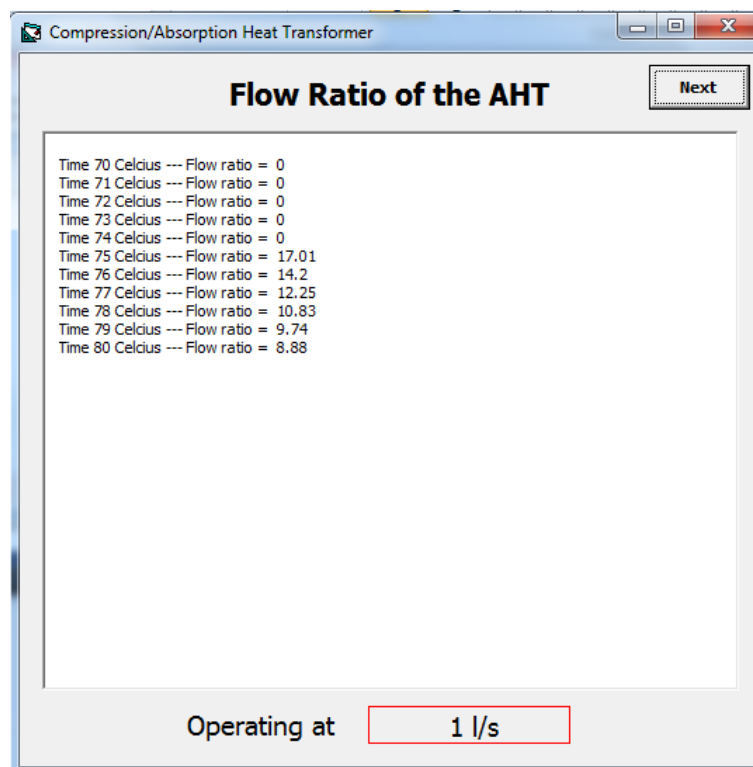


รูปที่ 2.13 การแสดงผลอัตราการถ่ายเทความร้อนของ Solution heat exchanger ในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน

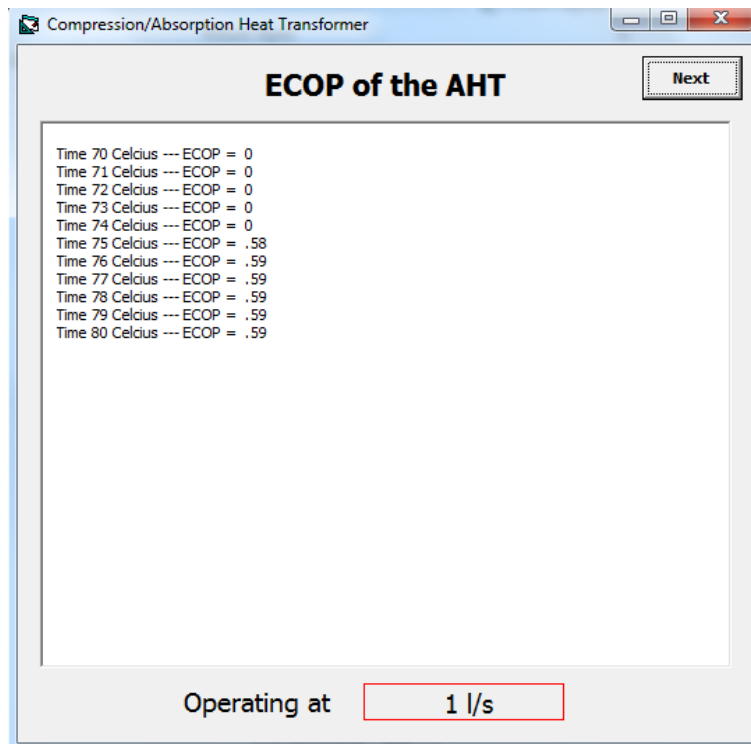




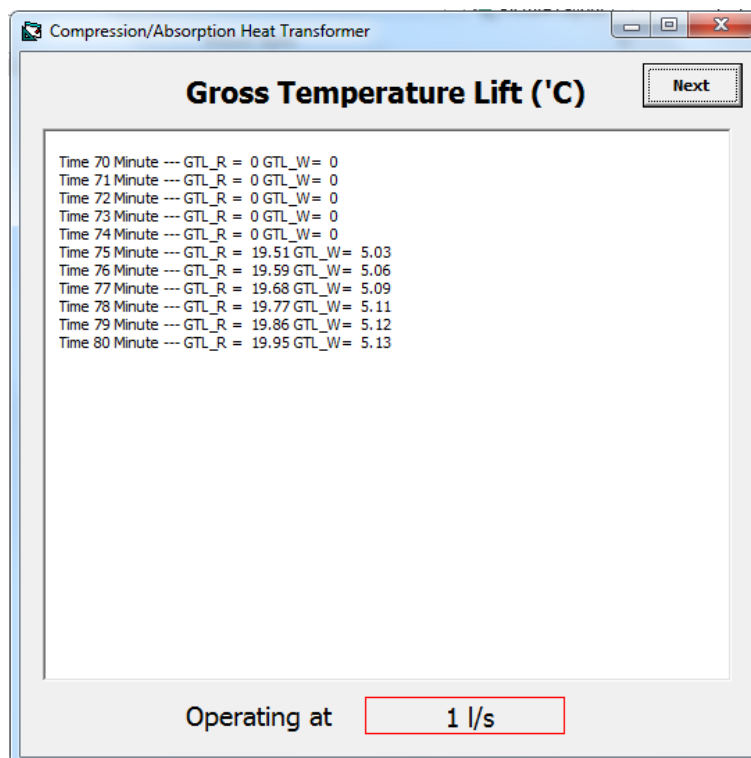
รูปที่ 2.14 การแสดงผล COP ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน



รูปที่ 2.15 การแสดงผลอัตราส่วนการไหลของสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน



รูปที่ 2.16 การแสดงผล ECOP ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน



รูปที่ 2.17 การแสดงผลอุณหภูมิที่สามารถเพิ่มขึ้นของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน

### 2.1.3 3 Loops of the Normal AHT

2.1.3.1 เลือก **3 Loops of the Normal AHT** เพื่อเข้าสู่การจำลองผลอุณหภูมิ Condensing temperature ที่มีต่อการทำงานของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.18

โดย หัวข้อ **Waste heat** คือ ประเภทของแหล่งความร้อนที่เข้าสู่ปั๊มความร้อนแบบอัดไอ โดย โปรแกรมมีแหล่งความร้อนให้เลือก 2 ประเภท คือ Water ที่มีสถานะเป็นของเหลว และ Steam ที่มีสถานะเป็นไอ

หัวข้อ **Start temperature** คือ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ต้องการดูผลการจำลองของระบบ ทั้งนี้ อุณหภูมิดังกล่าวในโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของ Waste heat มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **Final temperature** คือ อุณหภูมิสุดท้ายที่ต้องการดูผลการจำลองของระบบ ทั้งนี้ อุณหภูมิดังกล่าวในโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของ Waste heat มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **Step temperature** คือ ช่วงอุณหภูมิที่ต้องการดูผลการจำลองของระบบ ทั้งนี้ อุณหภูมิดังกล่าวในโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของ Waste heat มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **Heating flow rate** คือ อัตราการไหลของแหล่งความร้อนที่เข้าสู่ระบบปั๊มความร้อน มีหน่วยเป็น l/s ในกรณีที่เป็น Water และมีหน่วยเป็น m<sup>3</sup>/s สำหรับ Steam

หัวข้อ **Number loop** คือ จำนวนลูบที่จะทำการจำลอง ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิ Condensing temperature ที่ต้องการศึกษา

หัวข้อ **Step loop** คือ ขั้นตอนการจำลองผลการทำงาน ซึ่งจะถูกกำหนดไว้ที่ 1 loop

หัวข้อ **m\_UF** ย่อมาจาก Mass flow rate of useful heat คือ อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ออกจาก Condenser มีหน่วยเป็น l/s

หัวข้อ **DT Surface** ย่อมาจาก Different temperature at surface of heat exchanger คือ อุณหภูมิแตกต่างของของไหลสองชนิดที่ถ่ายเทความร้อนให้แก่กันสำหรับ Evaporator และ Condenser มีหน่วยเป็น °C

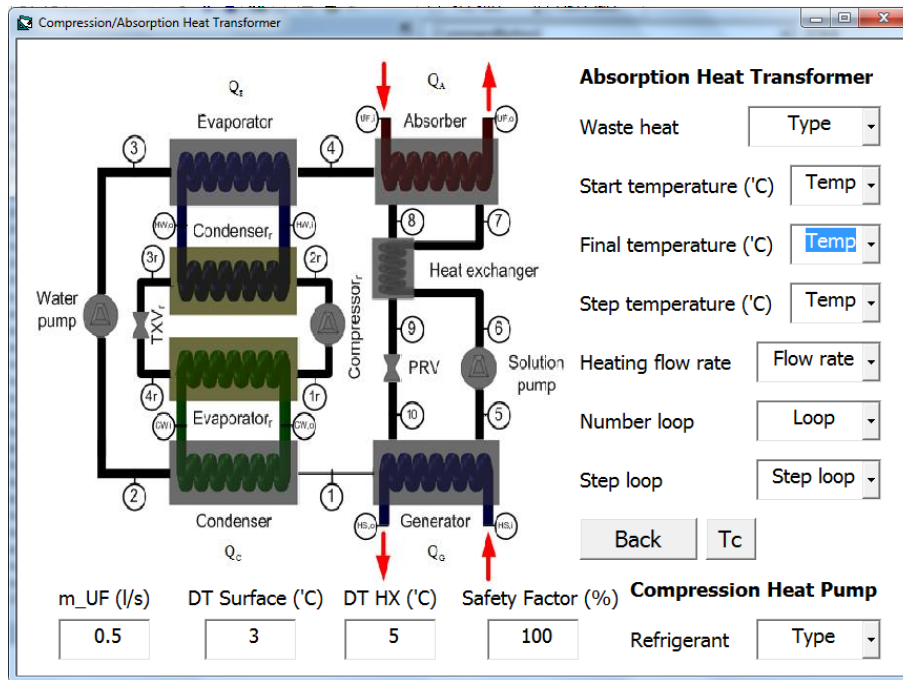
หัวข้อ **DT HX** ย่อมาจาก Different temperature of heat exchanger คือ อุณหภูมิแตกต่างของของไหลที่ป้อนความร้อนให้แก่ Evaporator และของไหลที่รับพลังงานความร้อนที่ Condenser มีหน่วยเป็น °C

หัวข้อ **Safety Factor** ย่อมาจาก Safety factor คือ เปอร์เซ็นต์การถ่ายเทความร้อนของของไหลที่ให้ความร้อนแก่ Evaporator และ Generator หรือจะเรียกว่า Effectiveness ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก็ได้เช่นกัน มีหน่วยเป็น %

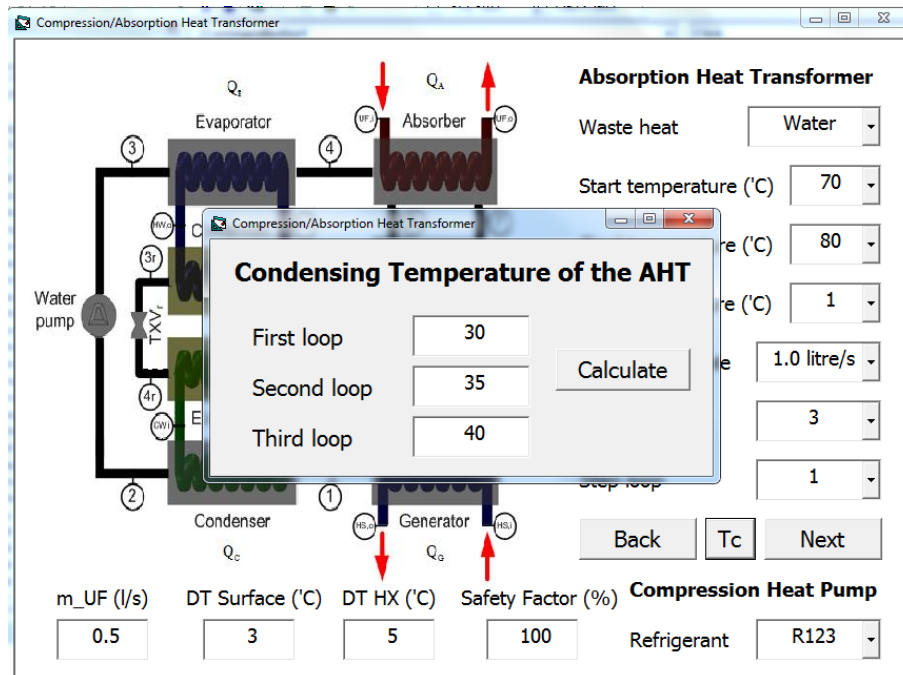
หัวข้อ **Refrigerant** คือ การเลือกสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน

2.1.3.2 เมื่อป้อนข้อมูลแล้วเสร็จให้ทำการเลือก **Tc** เพื่อป้อนค่าอุณหภูมิ Condensing temperature ที่ต้องการศึกษา ทั้งนี้ค่าอุณหภูมิที่ป้อนจะขึ้นกับจำนวน Loop ที่ทำการเลือก จากนั้นเลือก **Calculate** รวมทั้งปุ่ม Next จะปรากฏ ดังแสดงในรูปที่ 2.19

2.1.3.3 เมื่อป้อนข้อมูลแล้วเสร็จให้ทำการเลือก **Next** เพื่อดำเนินการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ เลือก **Back** เมื่อต้องการกลับไปยังหน้าการเลือกรูปแบบการคำนวณ



รูปที่ 2.18 การป้อนข้อมูลของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนแบบสำหรับศึกษาผลอุณหภูมิ Condensing temperature



รูปที่ 2.19 การป้อนข้อมูลอุณหภูมิ Condensing temperature ของแต่ละ Loop

2.1.3.4 เลือกลง **Next** โปรแกรมจะแสดงผลจำลองการทำงานต่างๆ ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนจากผลอุณหภูมิ Condensing temperature ต่างๆ ดังต่อไปนี้

Total data of the VCHP แสดงผลการคำนวณรวมทั้งหมดของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.20

Device capacity of the VCHP แสดงผลการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.21

Pressure reduction of the VCHP แสดงผลอัตราส่วนความดันและความดันด้านสูงของปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.22

ECOP of the VCHP แสดงผล ECOP ของปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.23

COP of the VCHP แสดงผล COP ของปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.24

Total data of the AHT แสดงค่าการจำลองของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.25

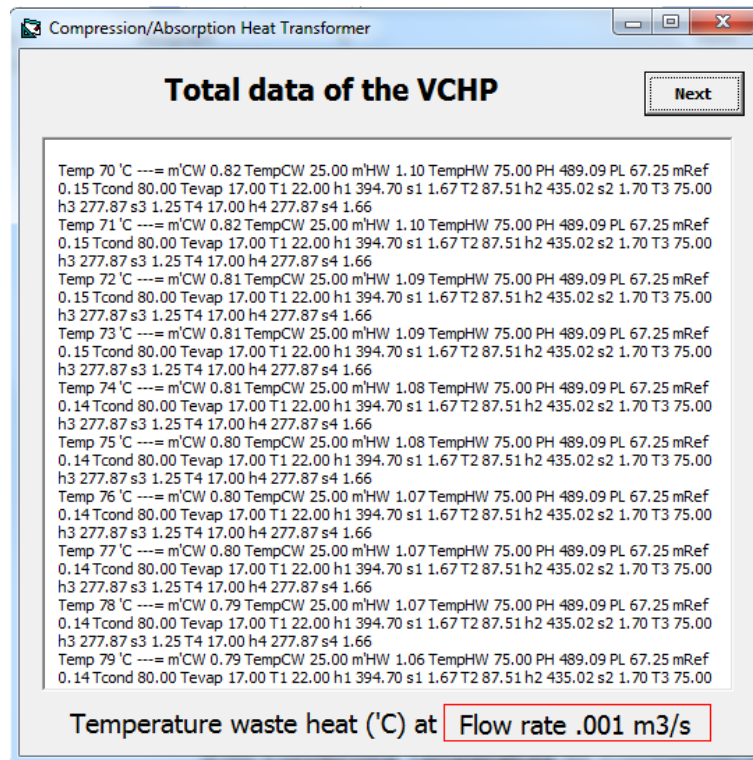
Temperature Profile of the AHT แสดงผลอุณหภูมิสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.26

Device Capacity of the AHT แสดงผลอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์หลักในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.27

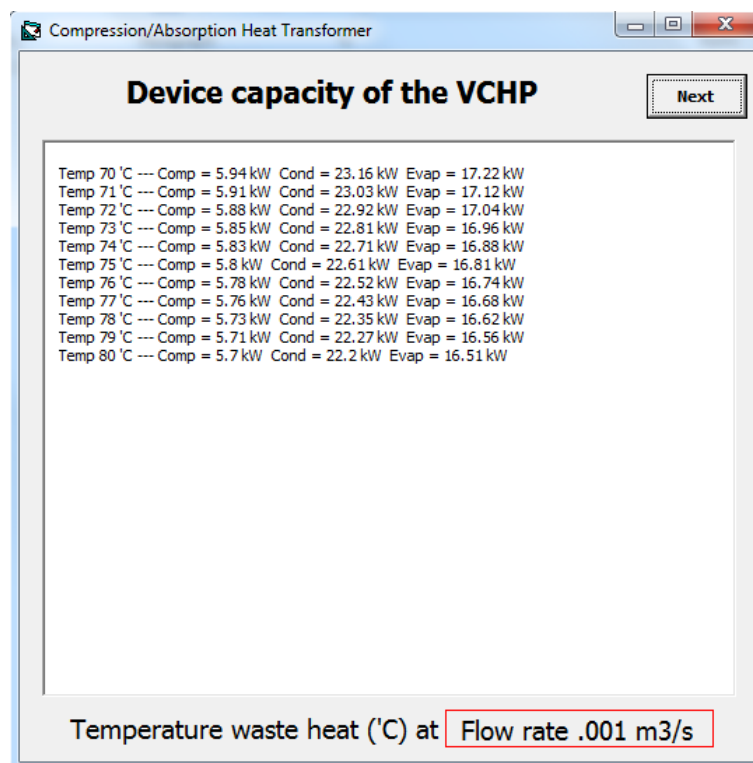
Device Capacity of the AHT แสดงผลอัตราการถ่ายเทความร้อนของ Solution heat exchanger ในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.28

ECOP of the AHT แสดงผล ECOP ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.29

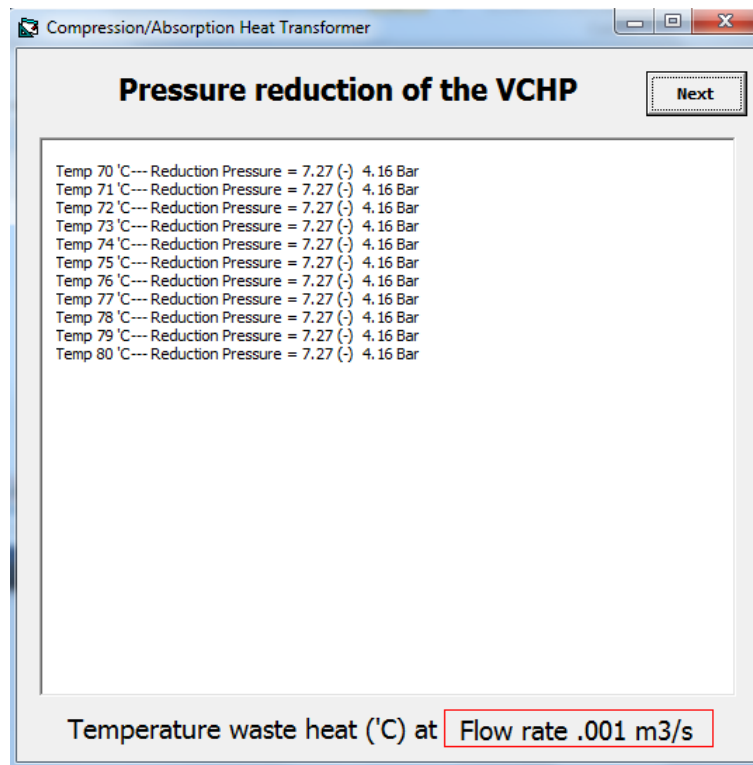
COP of the AHT แสดงผล COP ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.30



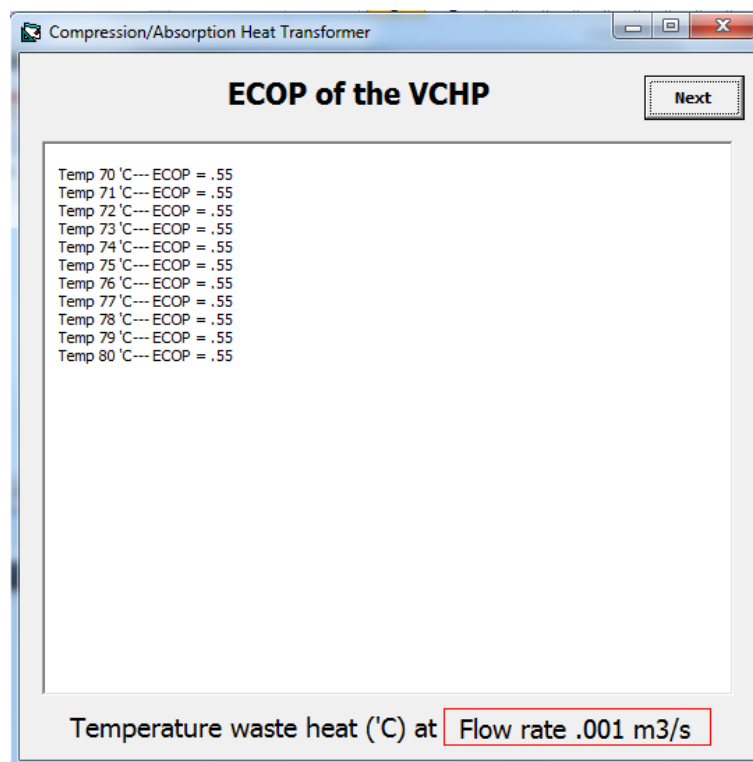
รูปที่ 2.20 ผลการจำลองการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบ  
 ดูดกลืน



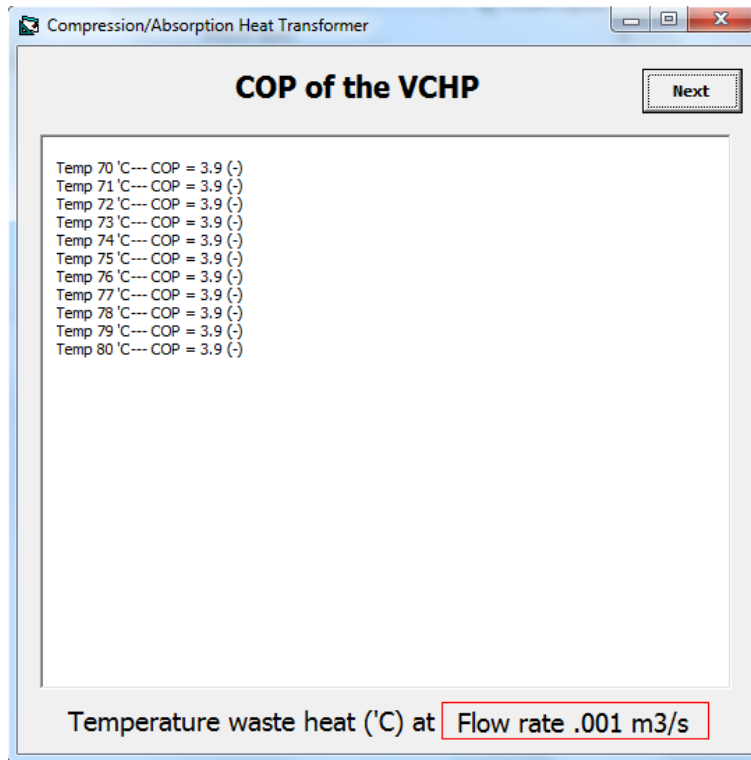
รูปที่ 2.21 อัตราการถ่ายเทความร้อนอุปกรณ์หลักของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊ม  
 ความร้อนแบบดูดกลืน



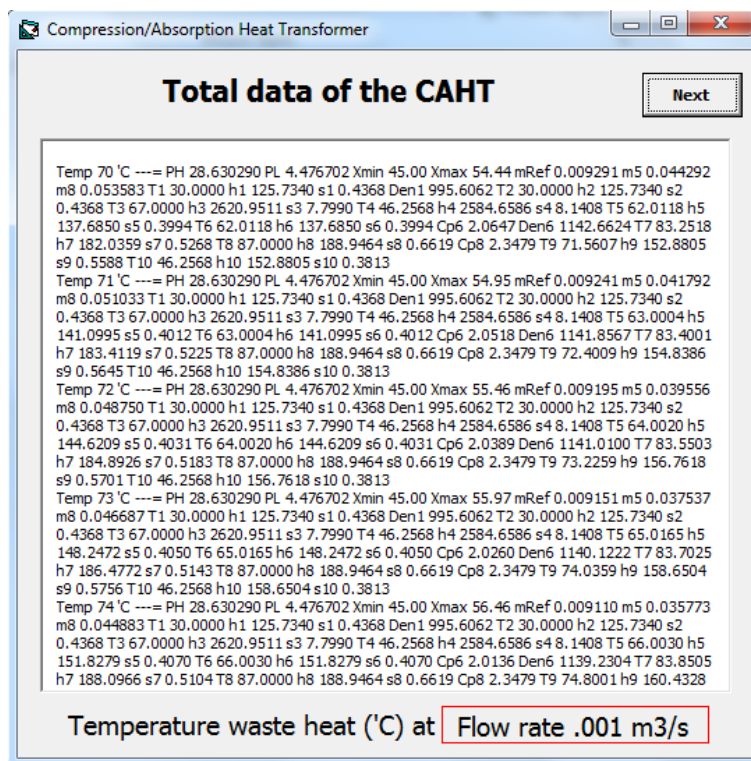
รูปที่ 2.22 อัตราส่วนความดันและความดันด้านสูงของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน



รูปที่ 2.23 ค่า ECOP ของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน

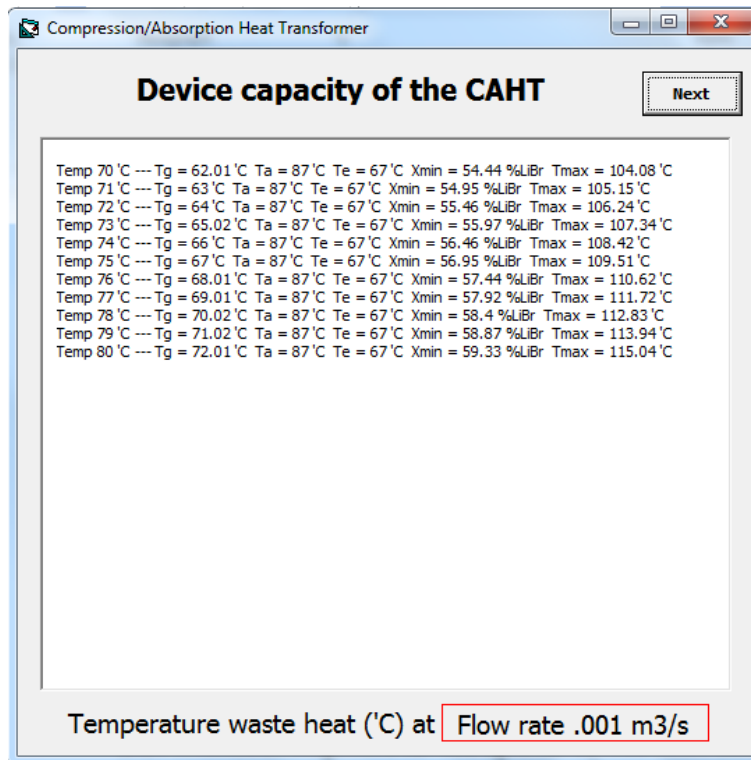


รูปที่ 2.24 ค่า COP ของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน

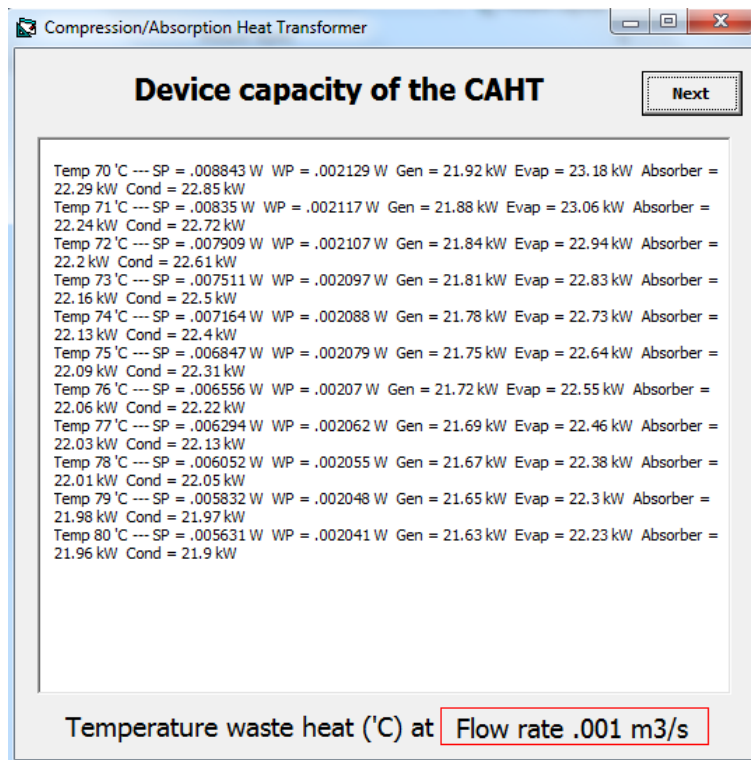


รูปที่ 2.25 ผลการจำลองของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

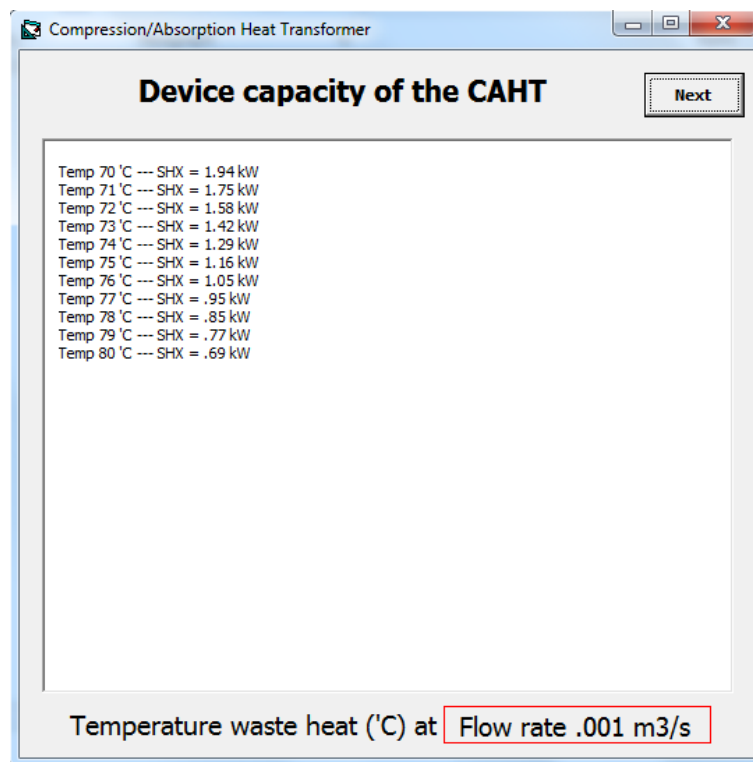




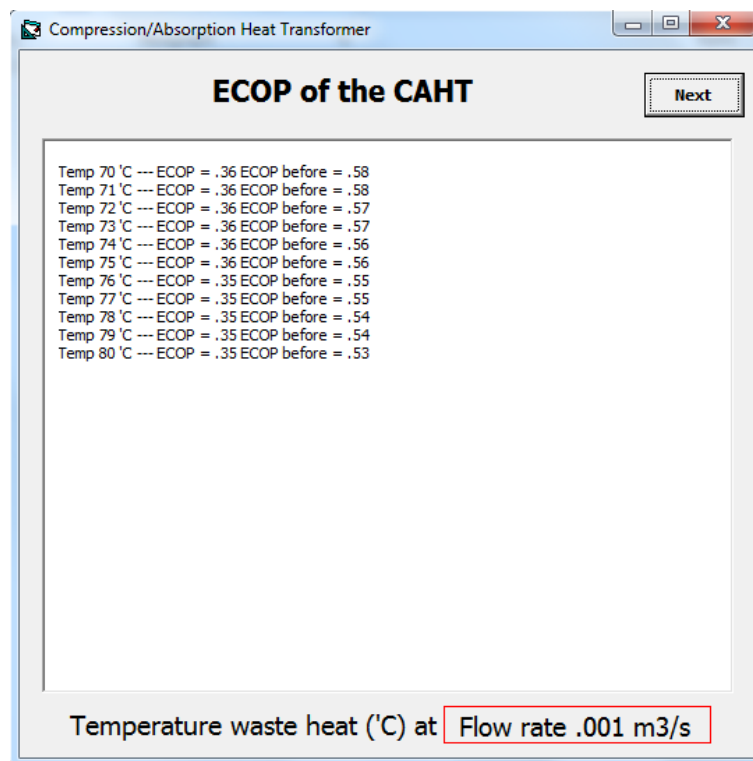
รูปที่ 2.26 อุณหภูมิสารทำงานที่อุปกรณ์หลักในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ



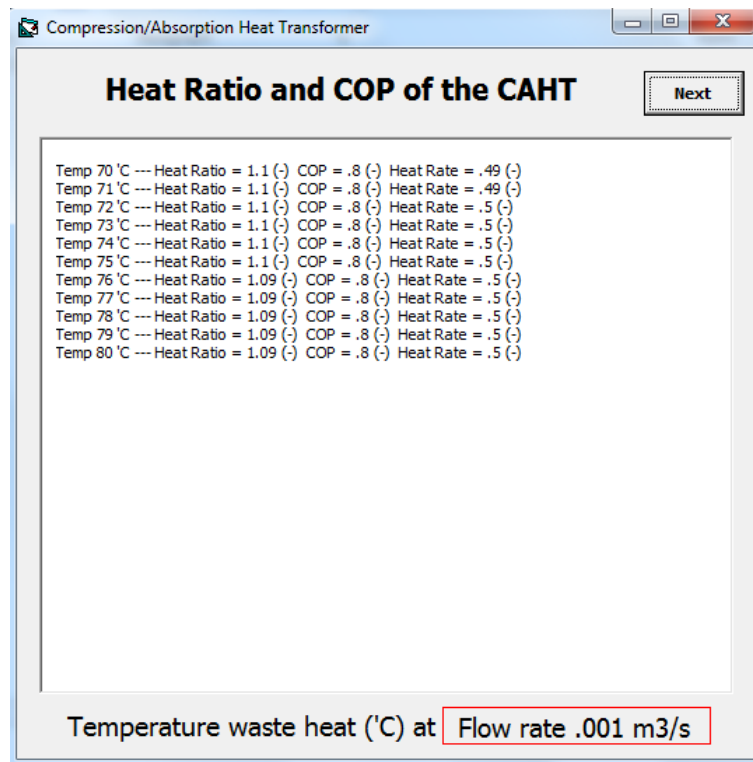
รูปที่ 2.27 อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์หลักในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ



รูปที่ 2.28 อัตราการถ่ายเทความร้อนของ Solution heat exchanger ในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ



รูปที่ 2.29 ค่า ECOP ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ



รูปที่ 2.30 ค่า Heat ratio, COP และ Heat rate ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

### 2.1.4 Solar Heat Combined with the CAHT

โปรแกรมในส่วนนี้จะทำการจำลองการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบอัดไอ และรับพลังงานความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar-Compression Absorption Heat Transformer, Solar-CAHT)

2.1.4.1 เลือก **Solar Heat Combined with the CAHT** เพื่อเข้าสู่การจำลองระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่รับความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.31

โดย หัวข้อ **Province** จะให้เลือกจังหวัดที่ตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์

หัวข้อ **Select Month** จะให้เลือกเดือนที่ใช้ในการจำลองค่ารังสีอาทิตย์

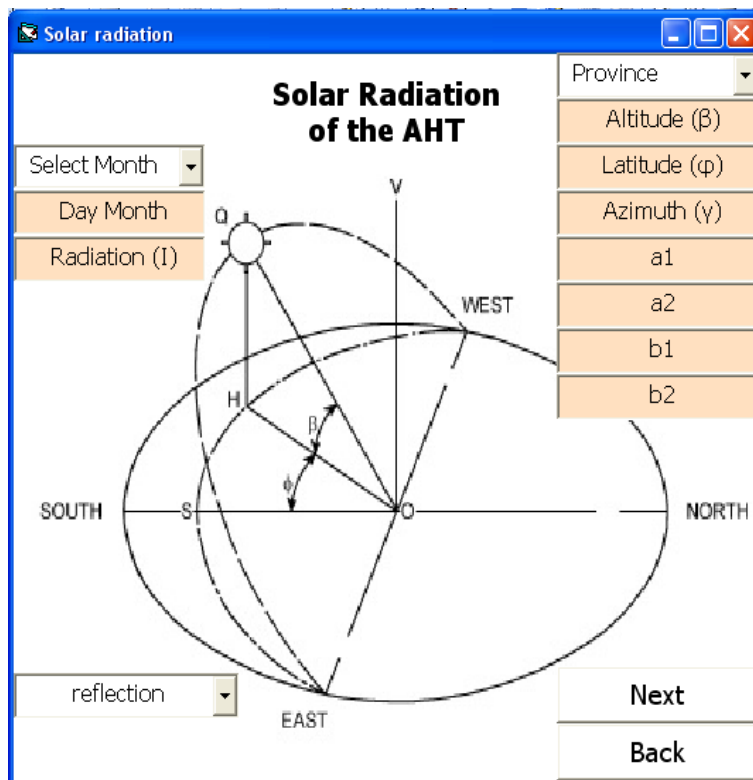
หัวข้อ **reflection** จะให้เลือกสภาพพื้นที่ติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์

2.1.4.2 ตัวอย่างการเลือกหัวข้อ Province, Select Month และ reflection แสดงในรูปที่ 2.32

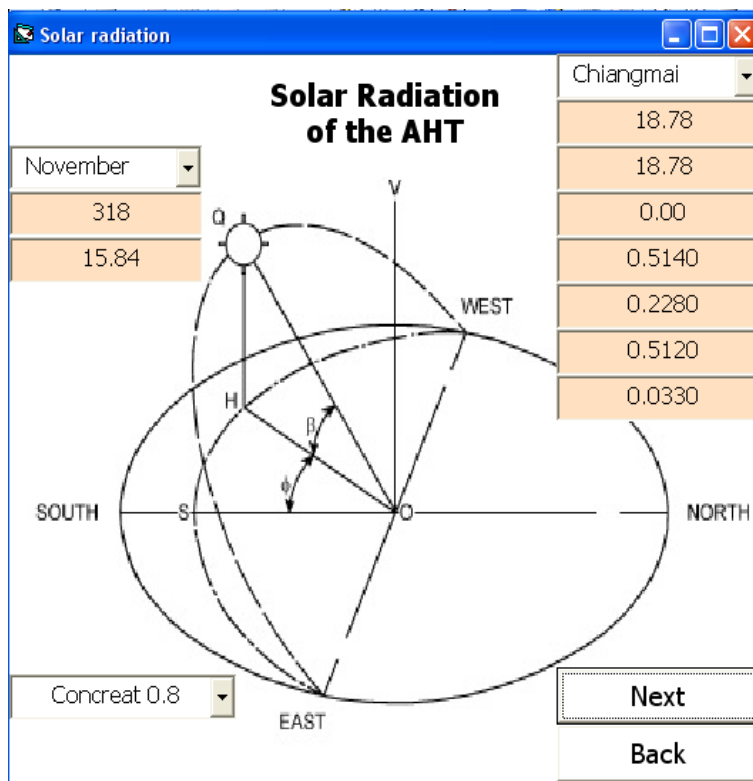
เลือกหัวข้อ **Province >> Chiangmai** โปรแกรมจะแสดงค่า Altitude ( $\beta$ ) = 18.78, Latitude ( $\phi$ ) = 18.78, Azimuth ( $\gamma$ ) = 0.00,  $a_1 = 0.5140$ ,  $a_2 = 0.2280$ ,  $b_1 = 0.5120$ ,  $b_2 = 0.0330$  ซึ่งค่าเหล่านี้เป็นค่าคงที่ของจังหวัดเชียงใหม่

เลือกหัวข้อ **Select Month >> November** โปรแกรมจะแสดงค่า วันของเดือน (Day Month) ตามการเลือกเดือน ทั้งนี้ตัวอย่างในรูปเลือกเดือนพฤศจิกายนที่มีค่า วันของเดือน = 318 และค่ารังสีตรง (Radiation (I)) = 15.84

เลือกหัวข้อ **reflection >> Concreat 0.8** หมายถึง การเลือกสภาพพื้นที่เป็น Concreat ที่มีค่าการสะท้อนของรังสีอาทิตย์เท่ากับ 0.8 จากนั้นเลือก **Next** เพื่อเข้าสู่หน้าถัดไป

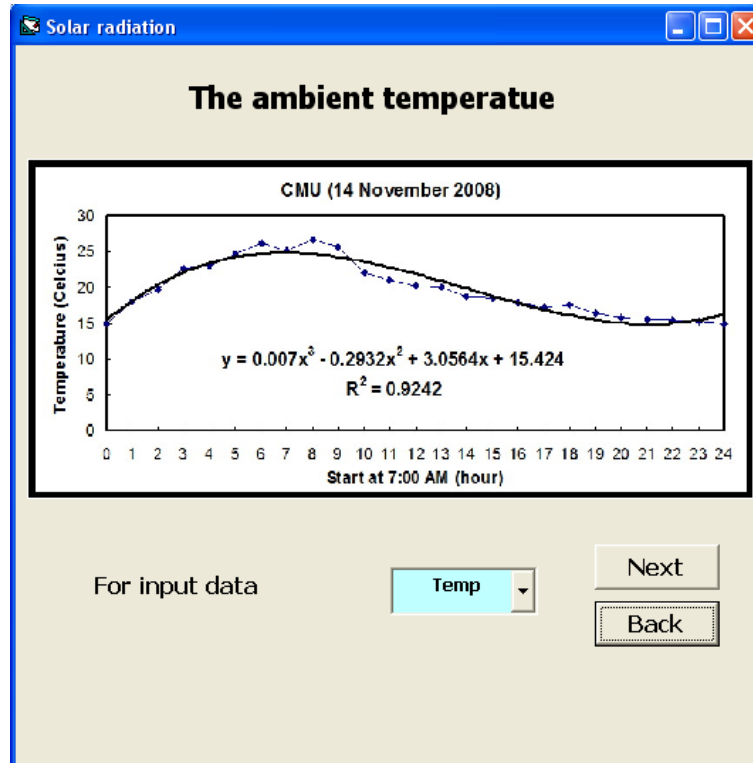


รูปที่ 2.31 การป้อนข้อมูลระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.32 ตัวอย่างการเลือกจังหวัดที่ตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Province) เดือน (Select Month) และสภาพพื้นที่ติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (reflection)

2.1.4.3 รูปที่ 2.33 แสดงการดึงข้อมูลสถานะอุณหภูมิอากาศของตัวแทนเดือนต่างๆ ตามวันที่ของเดือนในหัวข้อก่อนหน้า ที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลของโปรแกรมมาแสดงผล จากนั้นเลือก **Next** เพื่อเข้าสู่หน้าถัดไป



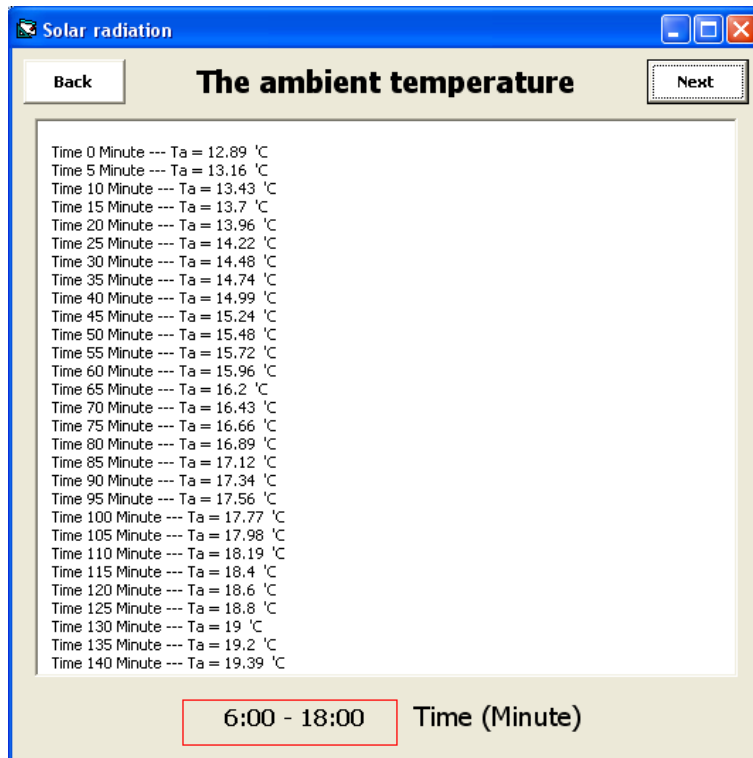
รูปที่ 2.33 การจำลองค่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมรายชั่วโมงของเดือนที่เลือก

2.1.4.4 รูปที่ 2.34 แสดงค่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ณ เวลาต่างๆ ของเดือนที่ได้ทำการเลือกไว้ก่อนหน้า

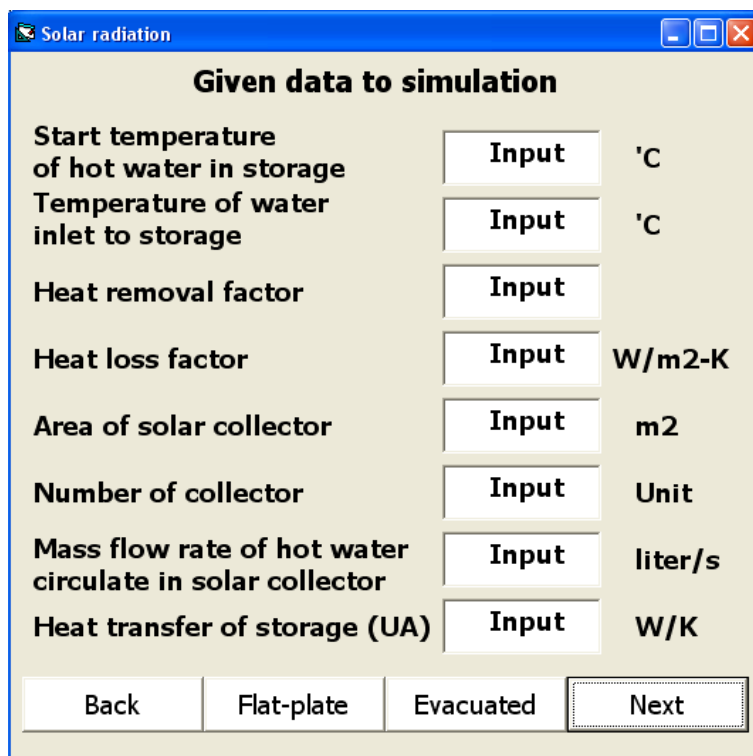
2.1.4.5 รูปที่ 2.35 คือ การเลือกชนิดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้โปรแกรมสามารถเลือกได้ 2 ชนิด คือ Flat-plate solar collector และ Evacuated solar collector

โดย หัวข้อ **Flat-plate** คือ เลือกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

หัวข้อ **Evacuated** คือ เลือกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดท่อสุญญากาศ



รูปที่ 2.34 การแสดงค่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมโดยละเอียดของเดือนที่เลือก



รูปที่ 2.35 การเลือกชนิดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์และค่าตัวแปรต้นที่ใช้ในการจำลอง

2.1.4.6 รูปที่ 2.36 แสดงผลการเลือก **Flat-plate** ระบบจะแสดงค่าเริ่มต้นของตัวแปรต่างๆ ที่ได้ตั้งไว้ออกมา เพื่อใช้ในการจำลองพฤติกรรมของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้ค่าต่างๆ เหล่านี้เป็นเพียงค่าเริ่มต้นผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ตามเงื่อนไขที่ต้องการจำลอง

โดยค่าเบื้องต้นของโปรแกรมมีดังต่อไปนี้

ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำในถังเก็บสะสมความร้อน (Start temperature of hot water in storage) มีค่าเท่ากับ 30 °C

ค่าอุณหภูมิของน้ำที่เข้าถังเก็บสะสมความร้อน (Temperature of water inlet to storage) มีค่าเท่ากับ 30 °C

ค่า  $F_R(T\alpha)_e$  (Heat removal factor) มีค่าเท่ากับ 0.802

ค่า  $F_R U_L$  (Heat loss factor) มีค่าเท่ากับ 10.37 W/m<sup>2</sup>.K

พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Area of solar collector) มีค่าเท่ากับ 2.0 m<sup>2</sup>

จำนวนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Number of collector) มีค่าเท่ากับ 10 Unit

ค่าอัตราการไหลของน้ำเข้าและออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละแผง (Mass flow rate of hot water circulate in solar collector) มีค่าเท่ากับ 0.043 liter/s

ค่าความร้อนสูญเสียของถังเก็บสะสมความร้อน Heat transfer of storage (UA) มีค่าเท่ากับ 3 W/K  
ทั้งนี้

จากนั้นเลือก **Next** เพื่อเข้าสู่หน้าต่อไป เพื่อทำการป้อนค่าขนาดของถังเก็บสะสมความร้อนและวิธีการเชื่อมต่อกันของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

Given data to simulation		
Start temperature of hot water in storage	30	'C
Temperature of water inlet to storage	30	'C
Heat removal factor	0.802	
Heat loss factor	10.37	W/m2-K
Area of solar collector	2.0	m2
Number of collector	10	Unit
Mass flow rate of hot water circulate in solar collector	0.043	liter/s
Heat transfer of storage (UA)	3	W/K

Back Flat-plate Evacuated Next

รูปที่ 2.36 ตัวอย่างการเลือกชนิดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat-plate) และการป้อนค่าตัวแปรต้นที่ใช้ในการจำลองพฤติกรรมของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์



2.1.4.7 รูปที่ 2.37 แสดงวิธีการเลือกขนาดของถังเก็บสะสมความร้อนและวิธีการเชื่อมต่อกันของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

โดยวิธีการป้อนค่าขนาดของถังเก็บสะสมความร้อนมีวิธีการป้อนดังนี้ ป้อนค่าในช่อง Capacity of hot water tank และวิธีการเชื่อมต่อของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถป้อนค่าในช่อง Maximum number in row ซึ่งตัวอย่างการป้อนค่าขนาดของถังเก็บสะสมความร้อนและวิธีการเชื่อมต่อกันของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.38

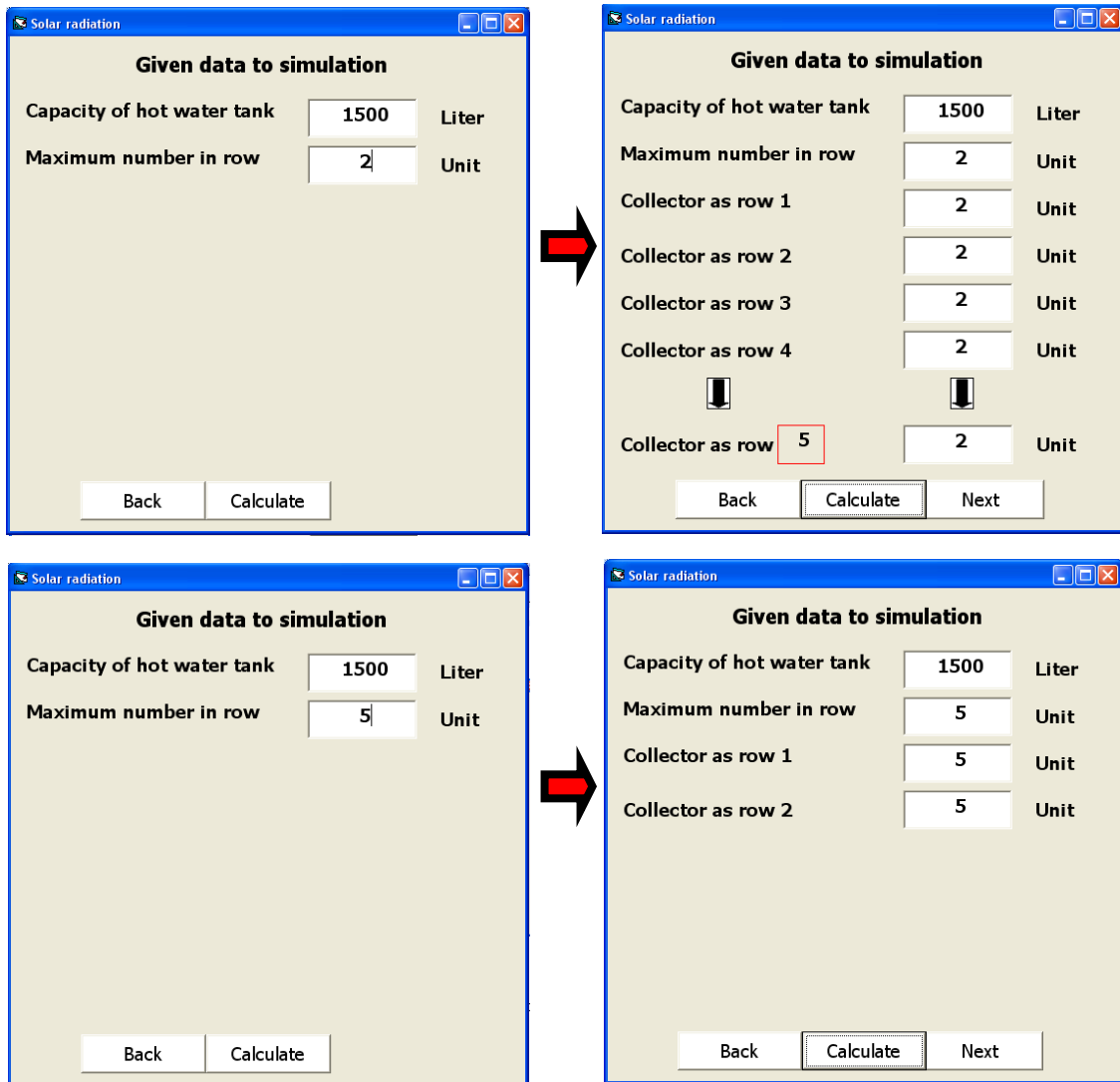
รูปที่ 2.37 การป้อนค่าขนาดของถังเก็บสะสมความร้อนและวิธีการเชื่อมต่อกันของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

2.1.4.8 ตัวอย่างวิธีการป้อนค่าขนาดของถังเก็บสะสมความร้อนและวิธีการเชื่อมต่อกันของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แสดงดังในรูปที่ 2.38 มีค่าต่างๆ ดังนี้

ป้อนค่าในช่อง Capacity of hot water tank เท่ากับ 1500 liter แสดงว่าถังเก็บสะสมความร้อนที่ใช้มีขนาด 1500 liter

ป้อนค่าในช่อง Maximum number in row เท่ากับ 2 Unit แสดงว่าการต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่อแบบขนานมีทั้งหมด 5 แถว แถวละ 2 ตัวต่ออนุกรมกัน รวมแล้วมีจำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้งหมด 10 ตัว (จำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีทั้งหมด 10 ตัว ตามที่เลือกไว้ในรูปที่ 2.38)

ป้อนค่าในช่อง Maximum number in row เท่ากับ 5 Unit แสดงว่าการต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่อแบบขนานมีทั้งหมด 2 แถว แถวละ 5 ตัวต่ออนุกรมกัน รวมแล้วมีจำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้งหมด 10 ตัว (จำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีทั้งหมด 10 ตัวตามที่เลือกไว้ในรูปที่ 2.38) หลังจากนั้นเลือก **Next** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างต่อไป สำหรับการป้อนค่าตัวแปรต้นของระบบทำน้ำร้อนด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม



รูปที่ 2.38 ตัวอย่างวิธีการป้อนค่าขนาดของถังเก็บสะสมความร้อนและวิธีการเชื่อมต่อกันของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

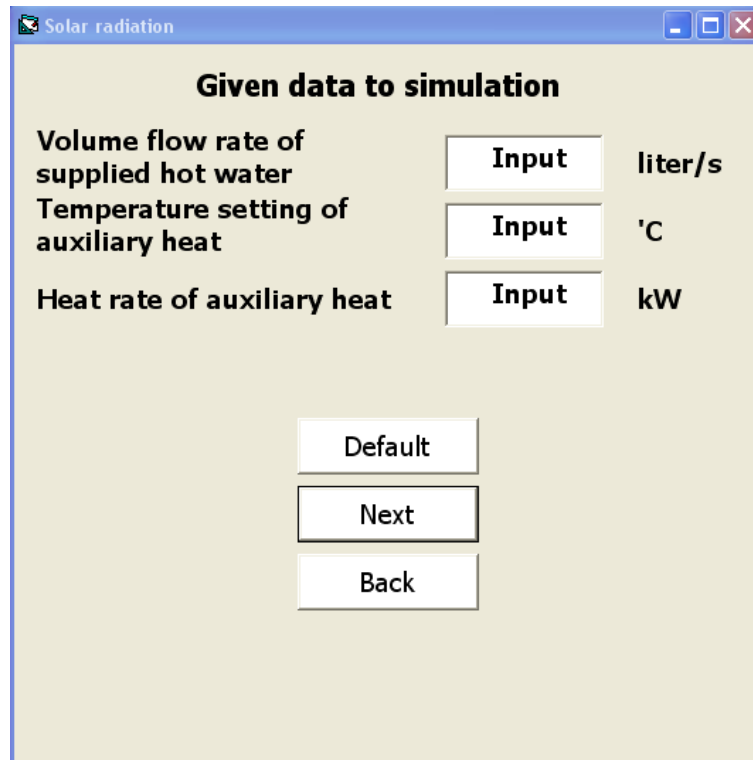
2.1.4.9 ในรูปที่ 2.39 แสดงการป้อนค่าตัวแปรต้นของระบบทำน้ำร้อนด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม จะมีช่องให้เติม 3 ช่องดังนี้ คือ Volume flow rate of supplied hot water, Temperature setting of auxiliary heat และ Heat rate of auxiliary heat

2.1.4.10 รูปที่ 2.40 แสดงตัวอย่างการป้อนค่าตัวแปรต้นของระบบทำน้ำร้อนด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม โดยตัวอย่างการป้อนค่ามีดังนี้

ค่าอัตราการไหลของน้ำร้อนที่นำไปใช้งานสำหรับระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน (Volume flow rate of supplied hot water) มีค่าเท่ากับ 0.5 liter/s

การกำหนดค่าอุณหภูมิของน้ำร้อนที่อุปกรณ์ให้ความร้อนเสริมผลิตได้ และอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่สามารถใช้งานน้ำร้อนได้ (Temperature setting of auxiliary heat) มีค่าเท่ากับ 50 °C

ค่าอัตราความร้อนที่ได้รับจากอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม (Heat rate of auxiliary heat) มีค่าเท่ากับ 3 kW ซึ่งค่าตัวแปรต้นเหล่านี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามคุณสมบัติของอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม จากนั้นเลือก **Next** เพื่อเข้าสู่หน้าต่างถัดไป การเลือกเวลาที่ระบบทำงาน



The screenshot shows a software window titled "Solar radiation" with a light beige background. The window contains the following text and controls:

- Given data to simulation**
- Volume flow rate of supplied hot water** with an **Input** field and the unit **liter/s**.
- Temperature setting of auxiliary heat** with an **Input** field and the unit **'C**.
- Heat rate of auxiliary heat** with an **Input** field and the unit **kW**.
- Three buttons at the bottom: **Default**, **Next**, and **Back**.

รูปที่ 2.39 การป้อนค่าตัวแปรต้นของระบบทำน้ำร้อนด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม

**Solar radiation**

**Given data to simulation**

Volume flow rate of supplied hot water: 0.5 liter/s

Temperature setting of auxiliary heat: 50 °C

Heat rate of auxiliary heat: 3 kW

Default

Next

Back

รูปที่ 2.40 ตัวอย่างการป้อนค่าตัวแปรต้นของระบบทำน้ำร้อนด้วยอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม

2.1.4.11 การเลือกเวลาที่ระบบทำงานแสดงในรูปที่ 2.41 โดยจะมีทั้งหมด 3 หัวข้อ คือ Start, Final และ Step โดยตัวอย่างการเลือกหัวข้อทั้ง 3 สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.14 ทั้งนี้ตัวอย่างการเลือกช่วงเวลาการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.42

เลือกเวลาที่ระบบเริ่มทำงาน **Start >> 6:00 AM**

เลือกเวลาที่ระบบหยุดทำงาน **Final >> 6:00 AM**

เลือกช่วงเวลาที่จะให้ระบบคำนวณทุกๆกี่นาที **Step >> 30 min**

จากนั้นเลือก **Next** เข้าสู่หน้าถัดไป เพื่อดูผลของการจำลองพฤติกรรมของระบบดังนี้

โดย Solar radiation แสดงค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงและตามเวลาการเลือกของช่วงเวลาการจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 2.43

HW leaving the collector แสดงอุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.44

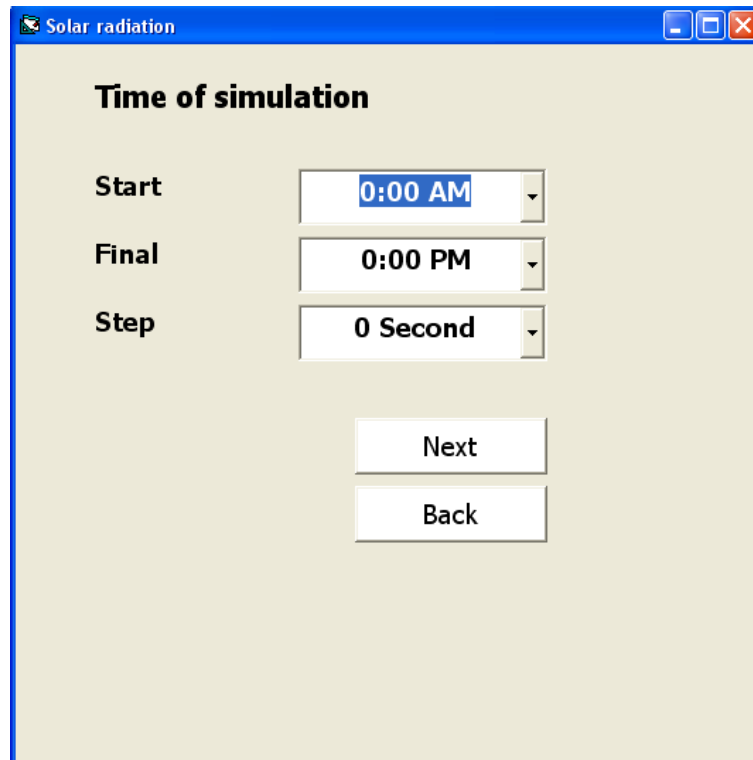
Heat transfer rate of the HW แสดงอัตราการรับความร้อนของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.45

The HW temperature in tank แสดงอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.46

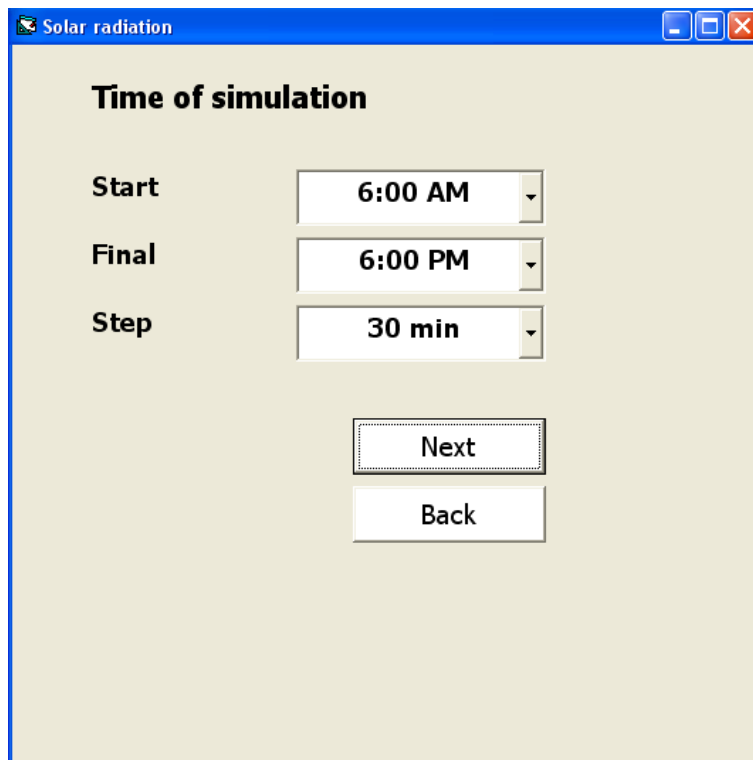
Auxiliary heat แสดงอัตราการให้ความร้อนของแหล่งความร้อนเสริม กรณีต้องการให้อุณหภูมิของน้ำในถังมีค่าตามความต้องการตลอดช่วงเวลาการจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 2.47

Adjust heat แสดงอัตราการให้ความร้อนของแหล่งความร้อนเสริม ดังแสดงในรูปที่ 2.48

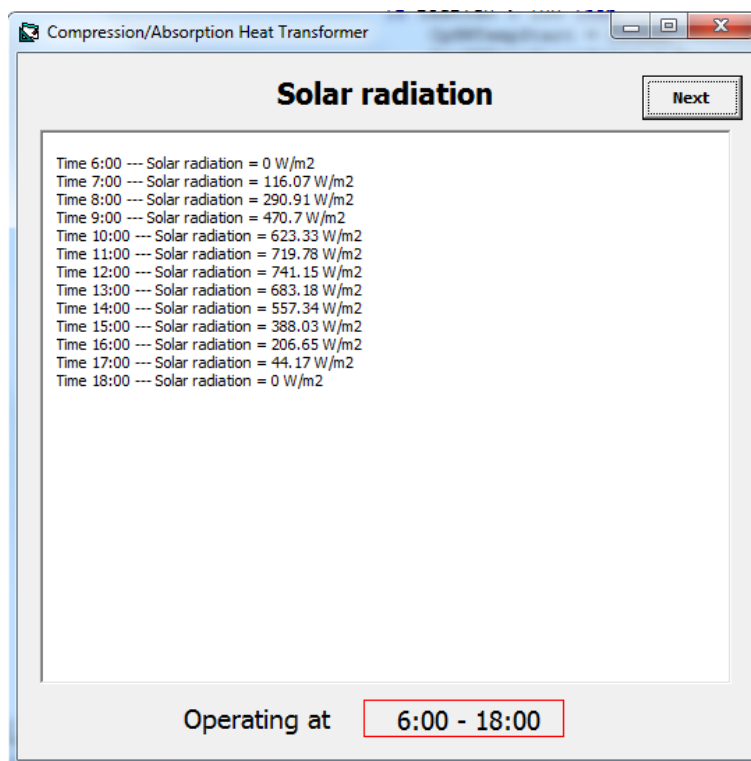
T<sub>HW</sub> from Solar and Heater COP of the AHT แสดงอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากถังเก็บน้ำร้อนเมื่อรับพลังงานความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และแหล่งความร้อนเสริมเป็นที่เรียบร้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.49



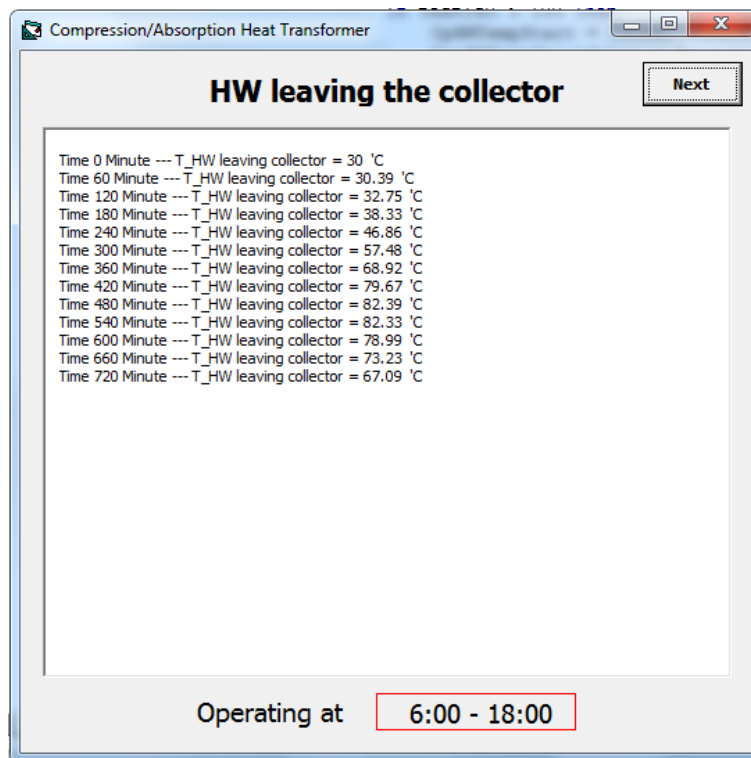
รูปที่ 2.41 การเลือกเวลาที่ระบบทำงาน



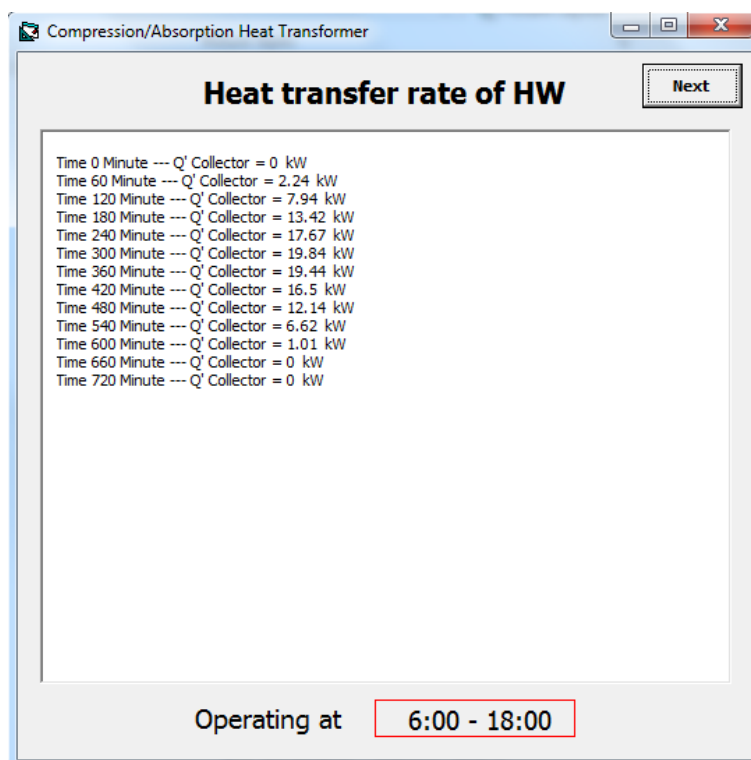
รูปที่ 2.42 ตัวอย่างการเลือกเวลาที่ระบบทำงาน



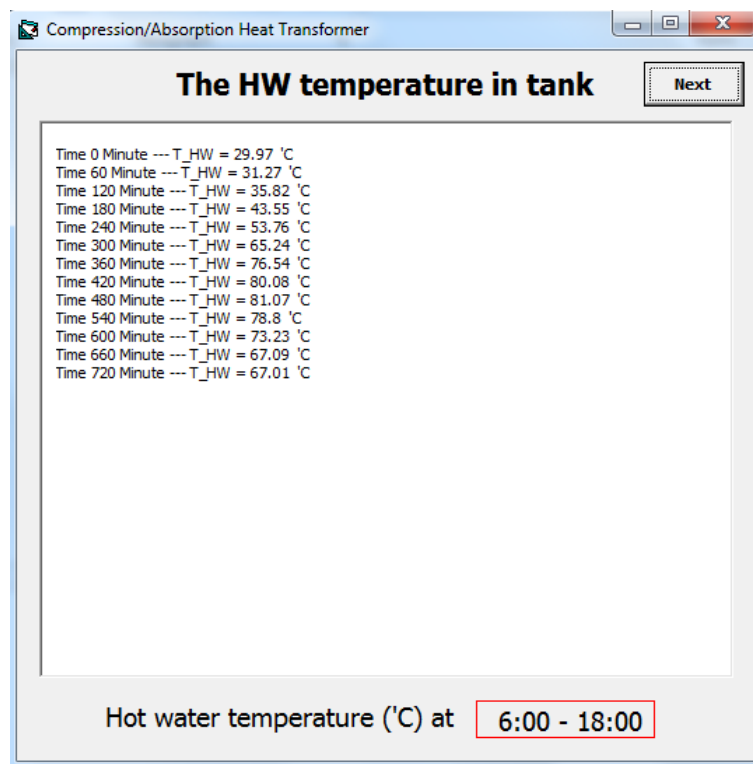
รูปที่ 2.43 ผลการจำลองค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมง



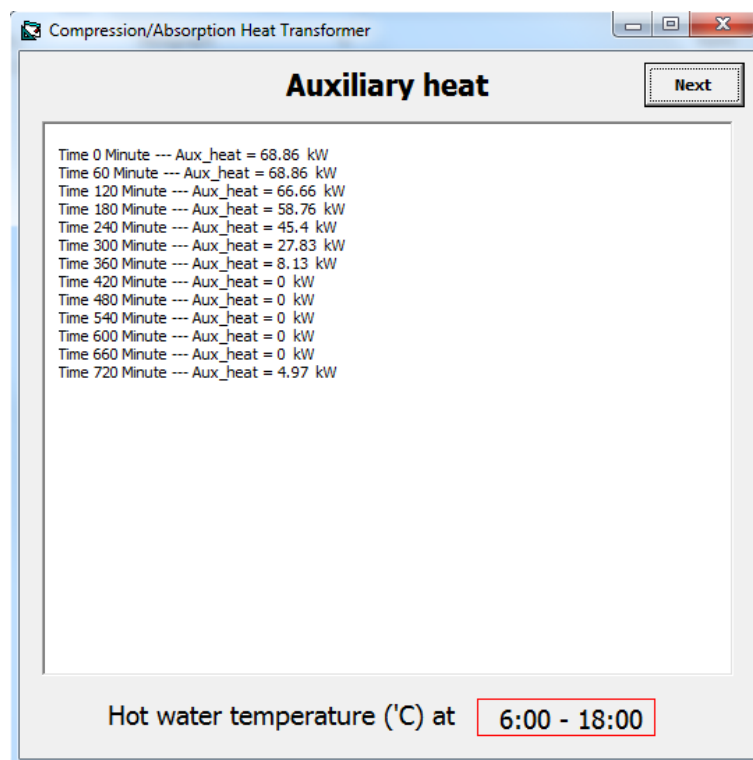
รูปที่ 2.44 ค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์



รูปที่ 2.45 อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำที่ได้รับจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

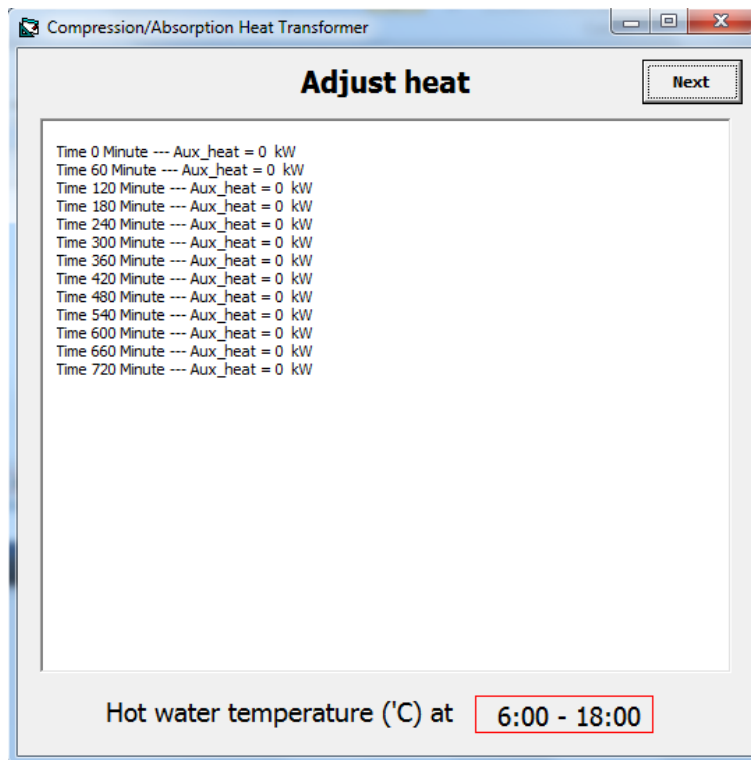


รูปที่ 2.46 ค่าอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน

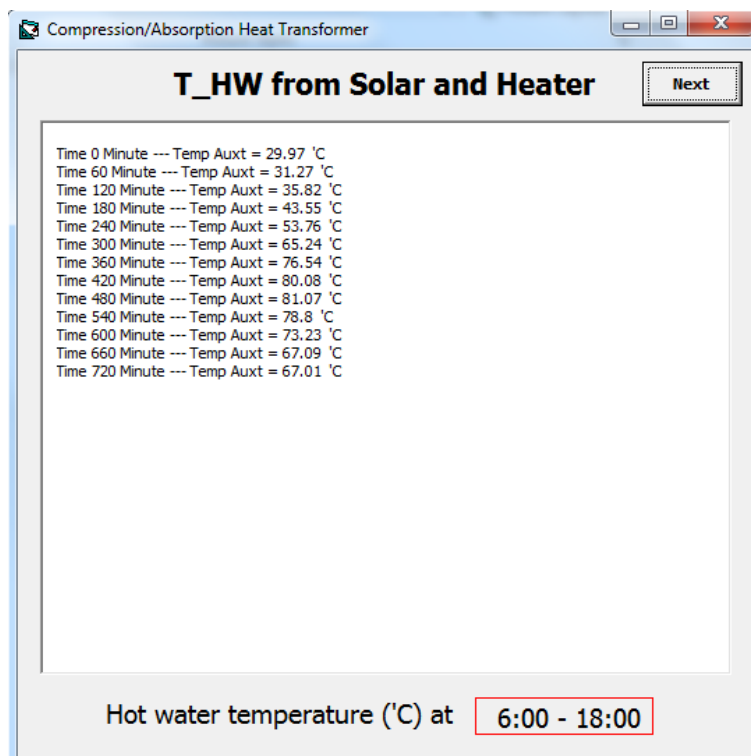


รูปที่ 2.47 อัตราการให้ความร้อนของความร้อนเสริมเพื่อให้อุณหภูมิน้ำมีค่าตามความต้องการ





รูปที่ 2.48 อัตราการรับความร้อนจากแหล่งความร้อนเสริม



รูปที่ 2.49 ค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากถังเก็บน้ำร้อน

2.1.4.12 เมื่อโปรแกรมแสดงผลการจำลองของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แล้วเสร็จ โปรแกรมจะส่งข้อมูลดังกล่าวให้แก่ปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน โดยระบบปั๊มความร้อนดังกล่าวมีการป้อนข้อมูลดังต่อไปนี้

โดย หัวข้อ **Heating fluid** โปรแกรมจะกำหนดมาให้ของไหลที่ป้อนให้แก่ระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนเป็นน้ำ (Water)

หัวข้อ **m UF** ย่อมาจาก Mass flow rate of useful heat คือ อัตราการไหลของน้ำร้อนที่ออกจาก Absorber มีหน่วยเป็น  $l/s$

หัวข้อ **T Evap** ย่อมาจาก Evaporating temperature คือ อุณหภูมิของสารทำงานที่ระเหยของ Evaporator มีหน่วยเป็น  $^{\circ}C$

หัวข้อ **T Cond** ย่อมาจาก Condensing temperature คือ อุณหภูมิของสารทำงานที่ควบแน่นของ Condenser มีหน่วยเป็น  $^{\circ}C$

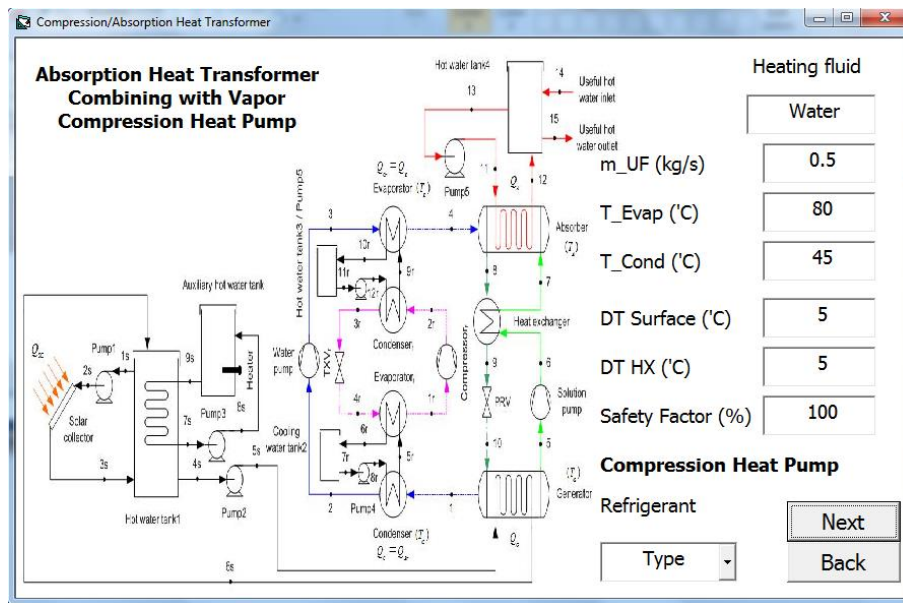
หัวข้อ **DT Surface** ย่อมาจาก Different temperature at surface of heat exchanger คือ อุณหภูมิแตกต่างของของไหลสองชนิดที่ถ่ายเทความร้อนให้แก่ Generator Absorber condenser และ Evaporator มีหน่วยเป็น  $^{\circ}C$

หัวข้อ **DT HX** ย่อมาจาก Different temperature of heat exchanger คือ อุณหภูมิแตกต่างของของไหลที่ป้อนความร้อนและของไหลที่รับพลังงานความร้อนจากระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน มีหน่วยเป็น  $^{\circ}C$

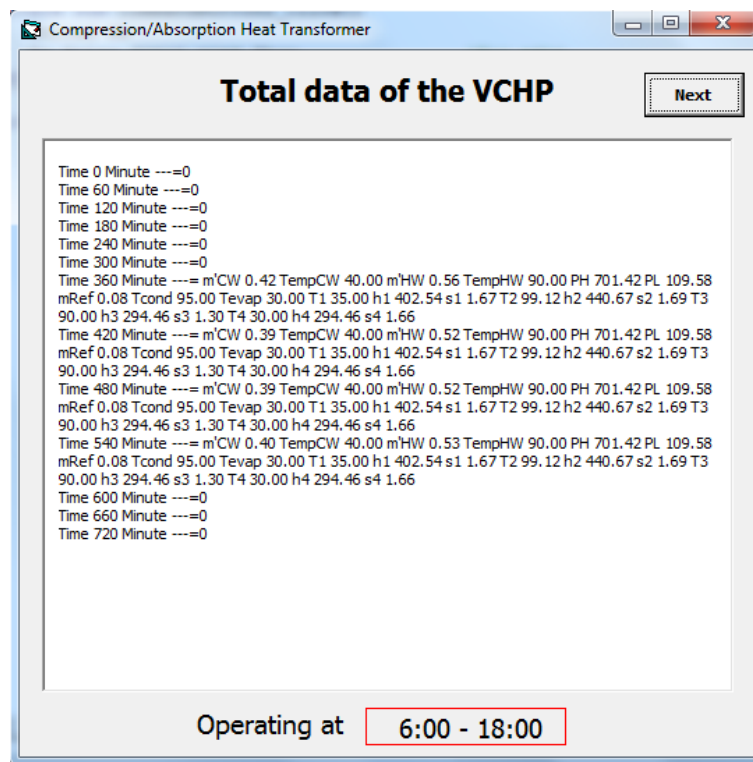
หัวข้อ **Safety Factor** ย่อมาจาก Safety factor คือ เปอร์เซ็นต์การถ่ายเทความร้อนของของไหลที่ให้ความร้อนแก่ Evaporator และ Generator หรือจะเรียกว่า Effectiveness ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก็ได้เช่นกัน มีหน่วยเป็น %

หัวข้อ **Refrigerant** คือ การเลือกสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอที่ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน

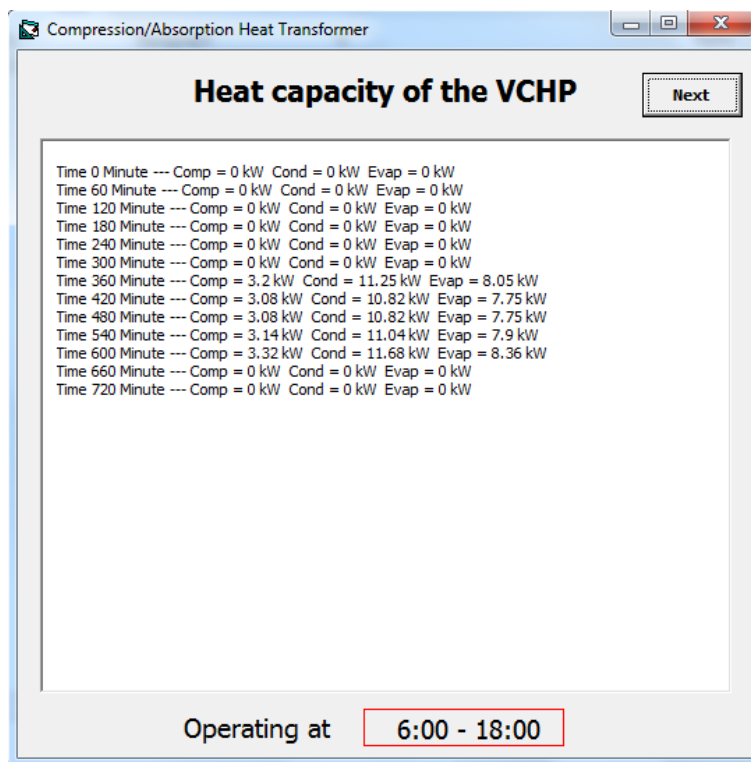
2.1.4.13 เมื่อป้อนข้อมูลแล้วเสร็จให้ทำการเลือก **Next** เพื่อคำนวณการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบอัดไอ เลือก **Back** เมื่อต้องการกลับไปยังหน้าการเลือกรูปแบบการคำนวณ ทั้งนี้ผลการจำลองของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบอัดไอจะมีลักษณะคล้ายกับหัวข้อที่ผ่านมา ดังแสดงในรูปที่ 2.51 ถึงรูปที่ 2.61



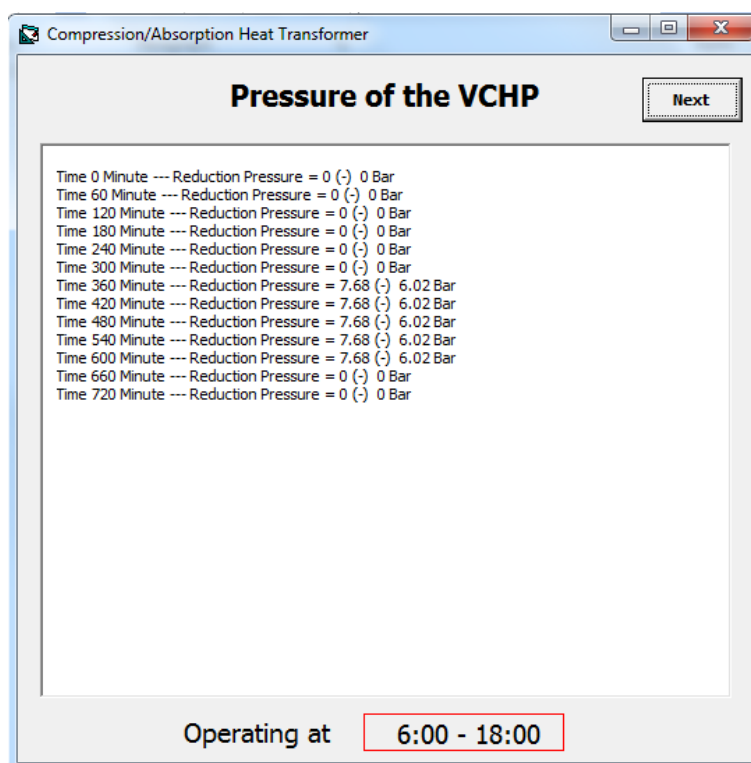
รูปที่ 2.50 การป้อนข้อมูลระบบ Solar-CAHT



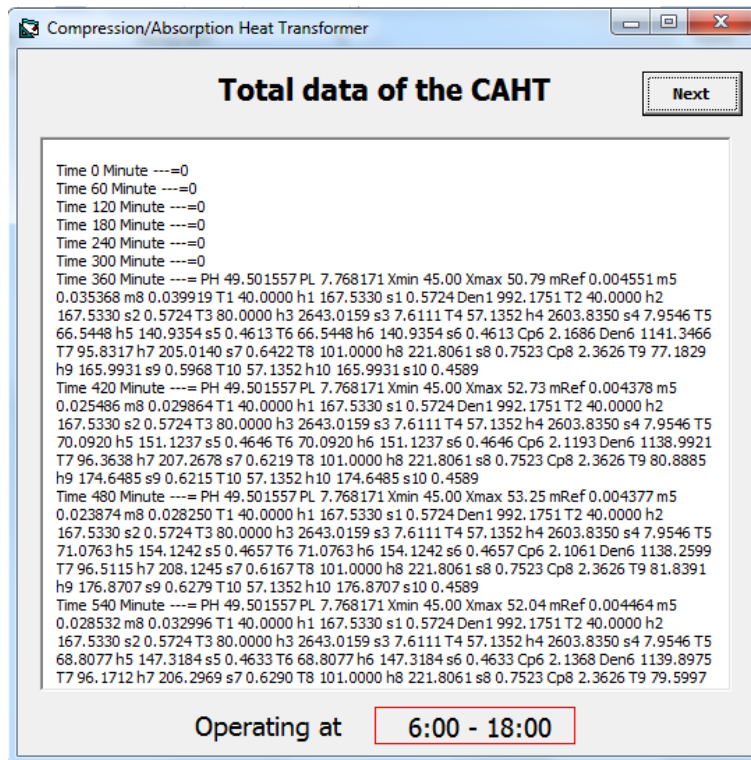
รูปที่ 2.51 ผลการจำลองระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอของระบบ Solar-CAHT



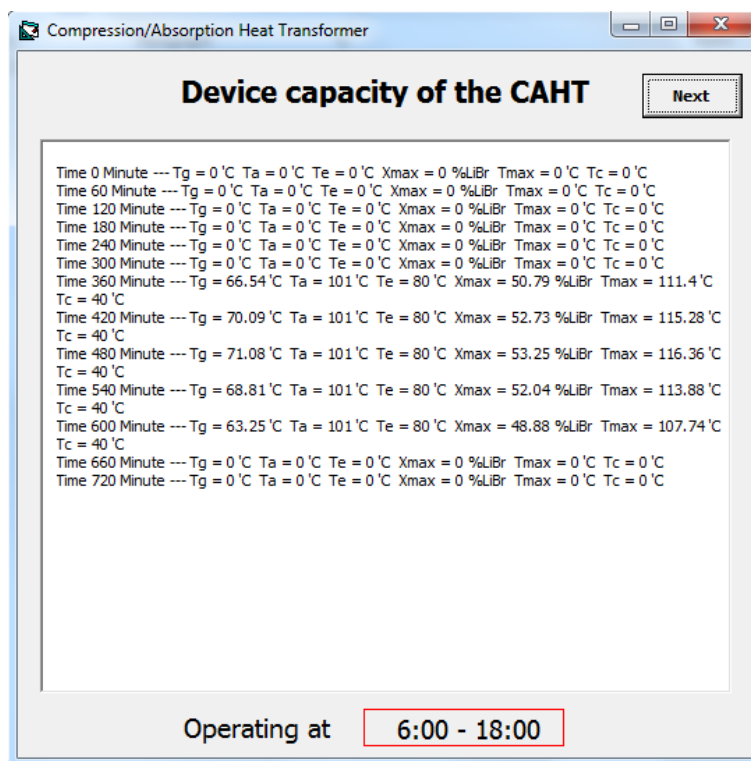
รูปที่ 2.52 อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์หลักในระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอในระบบ Solar-CAHT



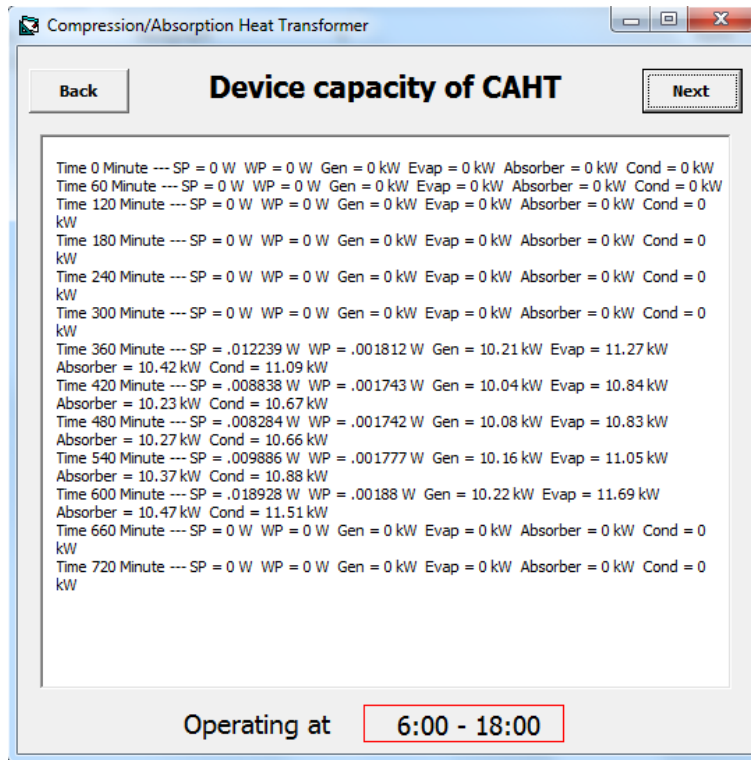
รูปที่ 2.53 อัตราส่วนความดันและความดันด้านสูงของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอในระบบ Solar-CAHT



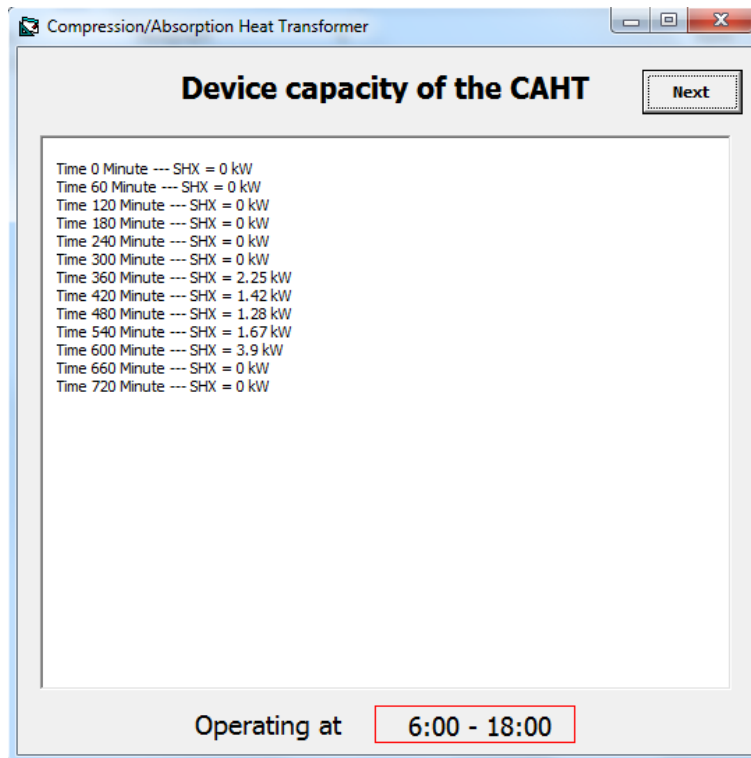
รูปที่ 2.54 ผลการจำลองของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนในระบบ Solar-CAHT



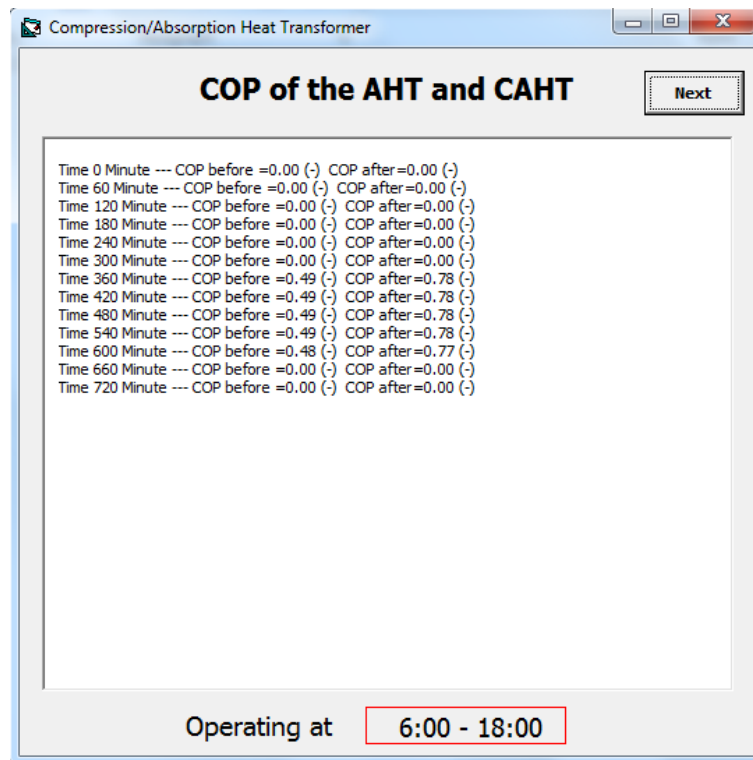
รูปที่ 2.55 อุณหภูมิสารทำงานของอุปกรณ์หลักในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนในระบบ Solar-CAHT



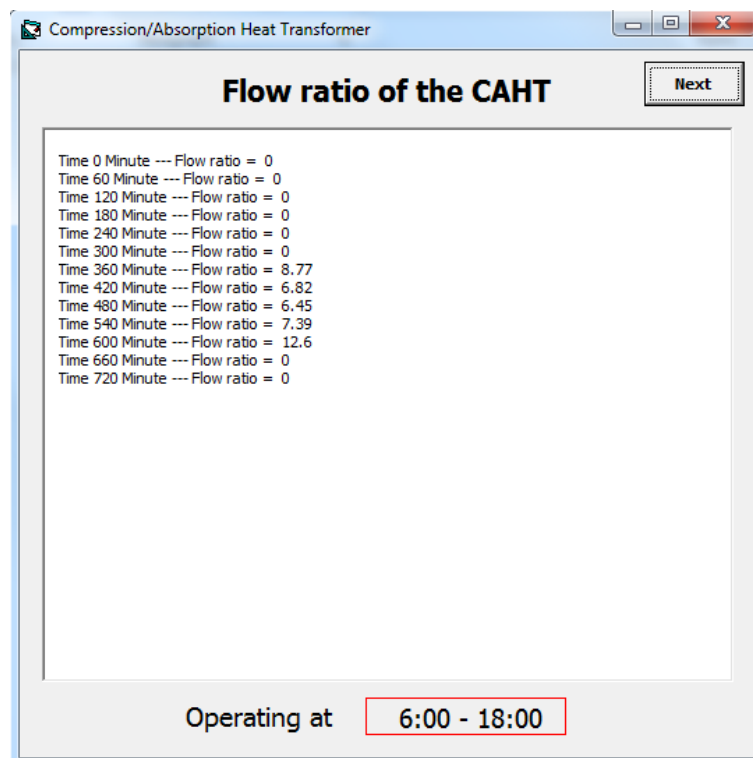
รูปที่ 2.56 อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์หลักในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนในระบบ Solar-CAHT



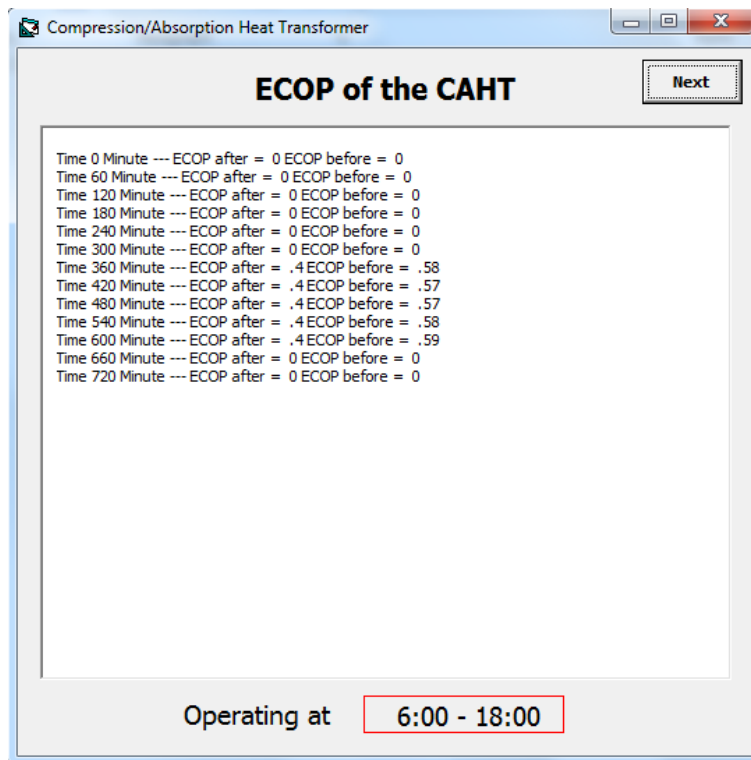
รูปที่ 2.57 อัตราการถ่ายเทความร้อนของ Solution heat exchanger ในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนในระบบ Solar-CAHT



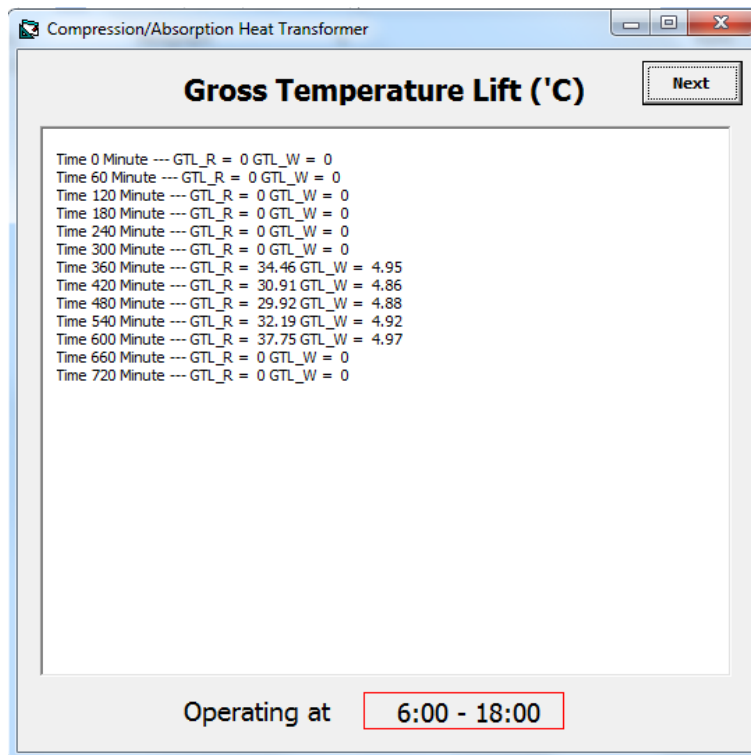
รูปที่ 2.58 ค่า COP ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงโดยทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบอัดไอ



รูปที่ 2.59 อัตราส่วนการไหลของสารทำงานในระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนในระบบ Solar-CAHT



รูปที่ 2.60 ค่า ECOP ของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงโดยทำงานร่วมกับปั๊มความร้อนแบบอัดไอ



รูปที่ 2.61 การเพิ่มอุณหภูมิของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนในระบบ Solar-CAHT



2.1.4.14 เมื่อโปรแกรมแสดงผลการจำลองของแล้วเสร็จ โปรแกรมจะทำการคำนวณผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบรวม โดยข้อมูลที่ต้องป้อนมีดังต่อไปนี้

โดย หัวข้อ **Absorption system** คือ ราคาของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน มีหน่วยเป็น Baht

หัวข้อ **Compression system** คือ ราคาของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอ มีหน่วยเป็น Baht

หัวข้อ **Solar collector (2 sqm)** คือ รายละเอียดของตัวรับรังสีอาทิตย์อันประกอบด้วย ราคาต่อแผง และจำนวนแผงที่ใช้ (ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ถูกกำหนดมาจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์)

หัวข้อ **Hot water tank** คือ รายละเอียดของถังเก็บน้ำร้อนอันประกอบด้วย ราคาถังและจำนวนถังที่ใช้

หัวข้อ **Other** คือ ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น ค่าอุปกรณ์ท่อน้ำต่างๆ มีหน่วยเป็น Baht

2.1.4.15 เมื่อป้อนข้อมูลแล้วเสร็จให้ทำการเลือก **Calculate** เพื่อคำนวณผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Annual cost) ดังแสดงในรูปที่ 2.62

Cost devices of the Solar-CAHT system		
Absorption system	200000	Baht/unit
Compression system	150000	Baht/unit
Solar collector (2 sqm)	14000	Baht/unit
	30	units
Hot water tank	5000	Baht/unit
	3	units
Other	21000	Baht
<b>Calculate</b>		

รูปที่ 2.62 การป้อนข้อมูลราคาของระบบต่างๆ เพื่อคำนวณผลด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบ Solar-CAHT

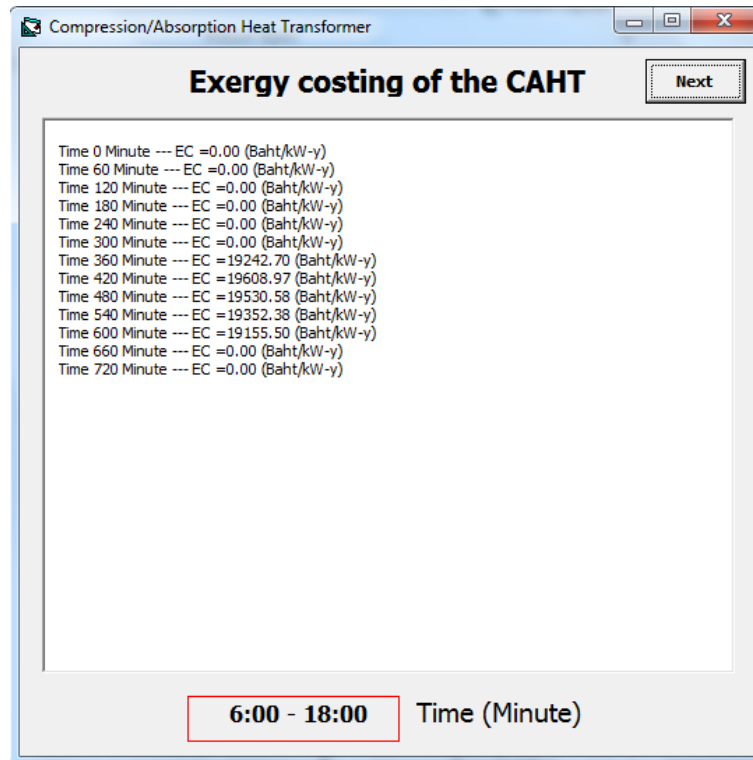
Annual Cost	
i (%)	6.45
n (Year)	10
P (Baht)	806000
M_elec (kw-hr/Year)	4741.78
C_elec (Baht/kw-hr)	2.978
OM (%P)	10
S (%P)	10
CRF	
SFF	
AC (Baht/Year)	

รูปที่ 2.63 การป้อนข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อคำนวณ Annual cost ของระบบ Solar-CAHT

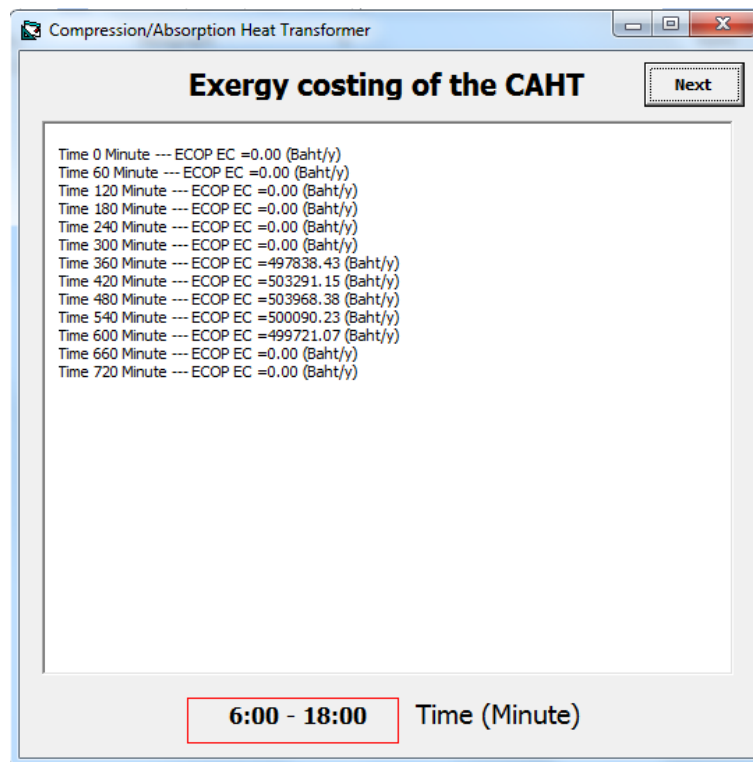
Annual Cost	
i (%)	6.45
n (Year)	10
P (Baht)	806000
M_elec (kw-hr/Year)	4741.78
C_elec (Baht/kw-hr)	2.978
OM (%P)	10
S (%P)	10
CRF	0.14
SFF	0.07
AC (Baht/Year)	200590.29

รูปที่ 2.64 การคำนวณ Annual cost ของระบบ Solar-CAHT

2.1.4.16 เมื่อป้อนข้อมูลแล้วเสร็จให้ทำการเลือก **Next** เพื่อแสดงผลด้านเศรษฐศาสตร์ เลือก **Back** เมื่อต้องการกลับไปยังหน้าที่ผ่านมา โดยผลการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์ของโปรแกรม คือ การประเมิน Exergy costing ของระบบ Solar-CAHT อันประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อความร้อนที่ได้รับของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.65 และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแต่ละปีของระบบ Solar-CAHT ดังแสดงในรูปที่ 2.66



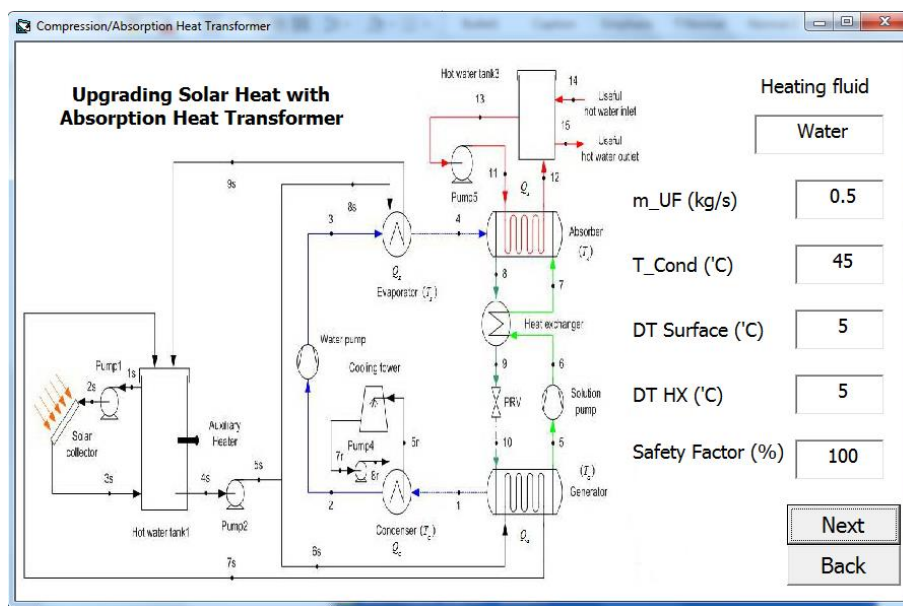
รูปที่ 2.65 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อความร้อนที่ได้รับของปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนในระบบ Solar-CAHT



รูปที่ 2.66 ค่า Exergy costing ของระบบ Solar-CAHT

### 2.1.1 Solar Heat Combined with the AHT

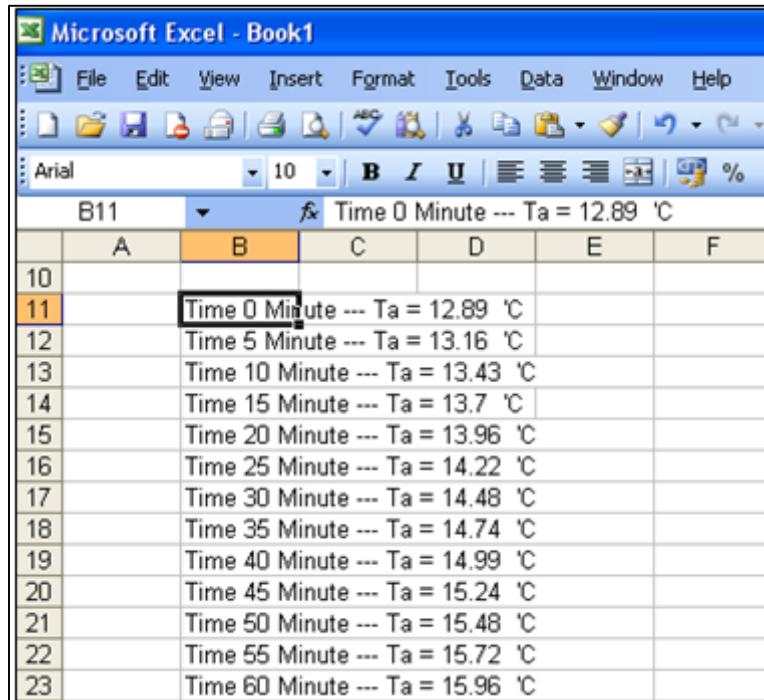
โปรแกรมในส่วนนี้จะทำการจำลองการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่รับพลังงานความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar-Absorption Heat Transformer, Solar-AHT) ซึ่งขั้นตอนการป้อนข้อมูลและรูปแบบการนำเสนอผลการจำลองจะคล้ายกับหัวข้อที่ผ่านมา โดยความแตกต่างของระบบในหัวข้อนี้กับหัวข้อที่ผ่านมา คือ ไม่มีการนำระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอมารับความร้อนทิ้งจากระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืน ดังแสดงในรูปที่ 2.67



รูปที่ 2.67 การทำงานร่วมของระบบปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนที่รับพลังงานความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

## 2.2 การคัดลอกข้อมูลในโปรแกรมลงสู่โปรแกรม Microsoft office excel

2.2.1 การคัดลอกข้อมูลในโปรแกรมลงสู่โปรแกรม Microsoft office excel สามารถทำได้โดยกด Ctrl + V เพื่อเป็นคำสั่งวางข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.68 จากนั้นจะทำการจัดเรียงข้อมูลดังขั้นตอนต่อไป

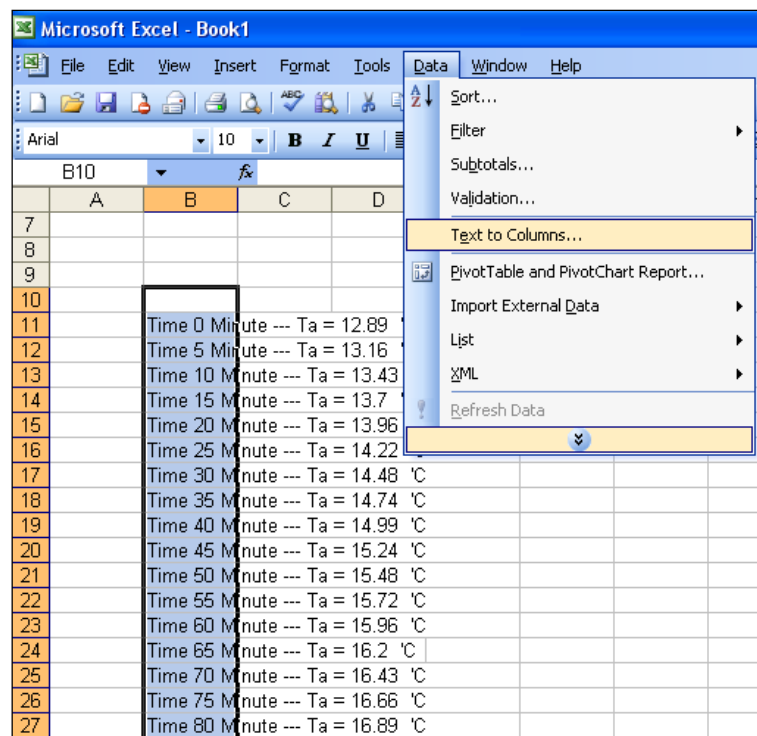


The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F
10						
11		Time 0 Minute --- Ta = 12.89 °C				
12		Time 5 Minute --- Ta = 13.16 °C				
13		Time 10 Minute --- Ta = 13.43 °C				
14		Time 15 Minute --- Ta = 13.7 °C				
15		Time 20 Minute --- Ta = 13.96 °C				
16		Time 25 Minute --- Ta = 14.22 °C				
17		Time 30 Minute --- Ta = 14.48 °C				
18		Time 35 Minute --- Ta = 14.74 °C				
19		Time 40 Minute --- Ta = 14.99 °C				
20		Time 45 Minute --- Ta = 15.24 °C				
21		Time 50 Minute --- Ta = 15.48 °C				
22		Time 55 Minute --- Ta = 15.72 °C				
23		Time 60 Minute --- Ta = 15.96 °C				

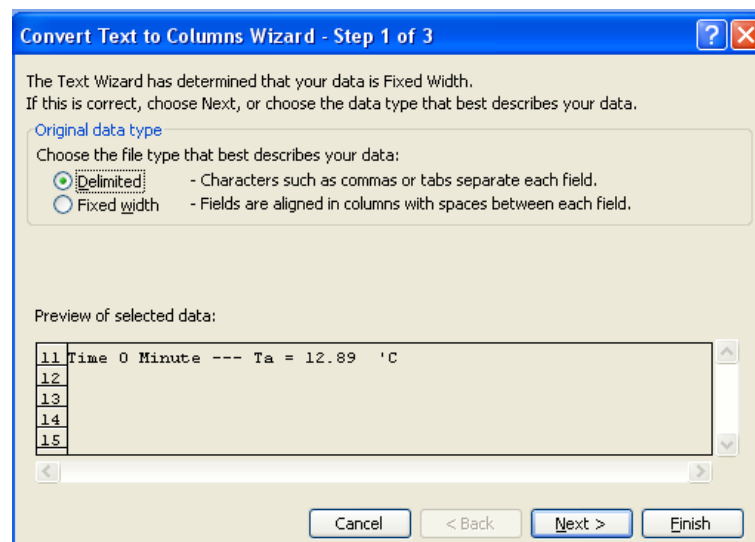
รูปที่ 2.68 การวางข้อมูลลงในโปรแกรม Microsoft office excel

2.2.2 กด Ctrl + A ครอบข้อมูลทั้งหมดจากนั้นเลือกที่ **Data >> Text to Columns..** ดังรูปที่ 2.69 เพื่อให้ข้อความทั้งหมดแบ่งออกเป็นคอลัมน์ หลังจากนั้นโปรแกรมจะขึ้นหน้าต่างถัดไป



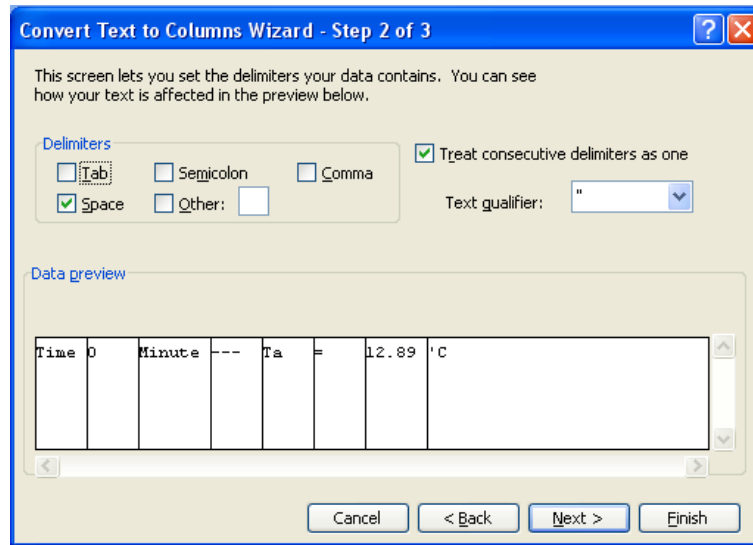
รูปที่ 2.69 การจัดเรียงข้อมูล

2.2.3 เลือก Delimited ดังรูปที่ 2.70 เพื่อเลือกลักษณะการจัดเรียงข้อความ หลังจากนั้นเลือก **Next** โปรแกรมจะขึ้นหน้าต่างถัดไป



รูปที่ 2.70 การจัดเรียงข้อมูล (ต่อ)

## 2.2.4 เลือก **Space** จากหน้าต่าง **Finish** ข้อมูลจะถูกจัดเรียงดังรูปที่ 2.71



รูปที่ 2.71 การจัดเรียงข้อมูลโดยการเว้นวรรค

2.2.5 ข้อมูลที่ถูกคัดลอกและวางลงในโปรแกรม Microsoft office excel นี้สามารถนำไปใช้เป็นตัวแปรต้นในการคำนวณของสมการทางคณิตศาสตร์ต่อไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.72

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
7									
8									
9									
10									
11		Time	0 Minute	---	Ta	=	12.89	'C	
12		Time	5 Minute	---	Ta	=	13.16	'C	
13		Time	10 Minute	---	Ta	=	13.43	'C	
14		Time	15 Minute	---	Ta	=	13.7	'C	
15		Time	20 Minute	---	Ta	=	13.96	'C	
16		Time	25 Minute	---	Ta	=	14.22	'C	
17		Time	30 Minute	---	Ta	=	14.48	'C	
18		Time	35 Minute	---	Ta	=	14.74	'C	
19		Time	40 Minute	---	Ta	=	14.99	'C	
20		Time	45 Minute	---	Ta	=	15.24	'C	
21		Time	50 Minute	---	Ta	=	15.48	'C	
22		Time	55 Minute	---	Ta	=	15.72	'C	
23		Time	60 Minute	---	Ta	=	15.96	'C	
24		Time	65 Minute	---	Ta	=	16.2	'C	
25		Time	70 Minute	---	Ta	=	16.43	'C	
26		Time	75 Minute	---	Ta	=	16.66	'C	
27		Time	80 Minute	---	Ta	=	16.89	'C	

รูปที่ 2.72 ข้อมูลที่ถูกจัดเรียงแล้วเสร็จ



---

**แหล่งข้อมูลอ้างอิง**

- [1] นัฐพร ไชยญาติ. 2556. เทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ, วิทยาลัยพลังงานทดแทน, มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- [2] Gershon Grossman and Elizabeth Michelson. (1986). Absorption heat pump simulation and studies, U.S. Department of Energy.
- [3] Keith, E. Herold, R.R. and Sanford, A.K. 1996. Absorption Chillers and Heat Pumps, America.
- [4] Nattaporn Chaiyat and Tanongkiat Kiatsiriroat. 2011. Experimental Study and a Simplified Model of a 10 kWth Solar-Absorption Heat Transformer, The 10<sup>th</sup> Conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments, Chiang Mai, Thailand, 10-11 March 2011.
- [5] Nattaporn Chaiyat and Tanongkiat Kiatsiriroat. 2009. Improvement of an Absorption Heat Transformer Combined with Propane Vapor Compression Heat Pump in Industrial Process, International Conference on Green & Sustainable Innovation 1<sup>st</sup>, Chiang Rai, Thailand, 2-4 December 2009.
- [6] Nattaporn Chaiyat and Tanongkiat Kiatsiriroat. 2010. Upgrading of Low Temperature Solar Heat for Medium Temperature Applications by a Solar-Absorption Heat Transformer Assisting with a Vapor Compression Heat Pump, International Symposium on Low Carbon & Renewable Energy Technology (ISLCT2010), Korea. 13.
- [7] Nattaporn Chaiyat and Tanongkiat Kiatsiriroat. 2011. Improvement of an Absorption Heat Transformer Performance for Upgrading Low Temperature Heat by Coupling with a Vapor Compression Heat Pump, Chiang Mai University Journal of Natural Sciences, Volume 10 No.2.
- [8] Nattaporn Chaiyat and Tanongkiat Kiatsiriroat. 2011. Performance Analysis of an Absorption Heat Transformer with Assisted Vapor Compression Heat Pump, Doctor of Philosophy in Energy Engineering, Department of Engineering, Chiang Mai University.
- [9] นัฐพร ไชยญาติ. 2551. การออกแบบและสร้างระบบทำความเย็นแบบดูดซึมที่ใช้ไอเสียจากเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ (Design and Construction of an Absorption Chiller Powered by Exhaust gas from Biogas Electricity Generator), วิศวกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมพลังงาน, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [10] รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยเรื่อง “การเพิ่มคุณภาพความร้อนแสงอาทิตย์อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนและแบบดูดกลืนในรูปแบบคาสเคด (Upgrading of Low Temperature Solar Heat with Cascade Vapor Compression and Absorption Heat Pumps). 2555. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [11] Xuehu, Ma. Jiabin, Chen. Songping, Li. Qingyun, Sha. Aiming, Liang. Wei, Li. Jiayan, Zhang. Guojun, Zheng. and Zhihao, Feng. 2002. Application of absorption heat

transformer to recover waste heat from a synthetic rubber plant. Appl Therm Eng, 25: 797-806.

[12] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE). 2009. Refrigerants, Atlanta, America.

## ตัวย่อและสัญลักษณ์

h	Enthalpy, (kJ/kg)
$\dot{m}$	Mass flow rate, (kg/s)
P	Pressure, (Bar)
Q	Heat rate, (kW)
R	Refrigerant, (-)
v	Specific volume, (m <sup>3</sup> /kg)
V	Volume, (m <sup>3</sup> )
s	Entropy, (kJ/kg.K)
SC	Subcooling, (°C)
SH	Superheating, (°C)
T	Temperature, (°C)
W	Work, (kW)

## Greek symbol

$\eta$	Efficiency, (%)
$\varepsilon$	Effectiveness, (%)

## Subscript

C	Condenser
Comp	Compressor
e	Super heat
E	Evaporator
H	High
HP	Heat pump
L	Low
ref	Refrigerant