

บทที่ 5

ผลการทดลอง การวิเคราะห์และวิจารณ์

5.1 ผลการทดลองการเก็บข้อมูลจากแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ชุด

จากผลการทดลองในภาคผนวก ง. ทำการหาค่าเฉลี่ยทุกชั่วโมง ระหว่าง 8.00-16.00 น. ของช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม 2540 ได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.1

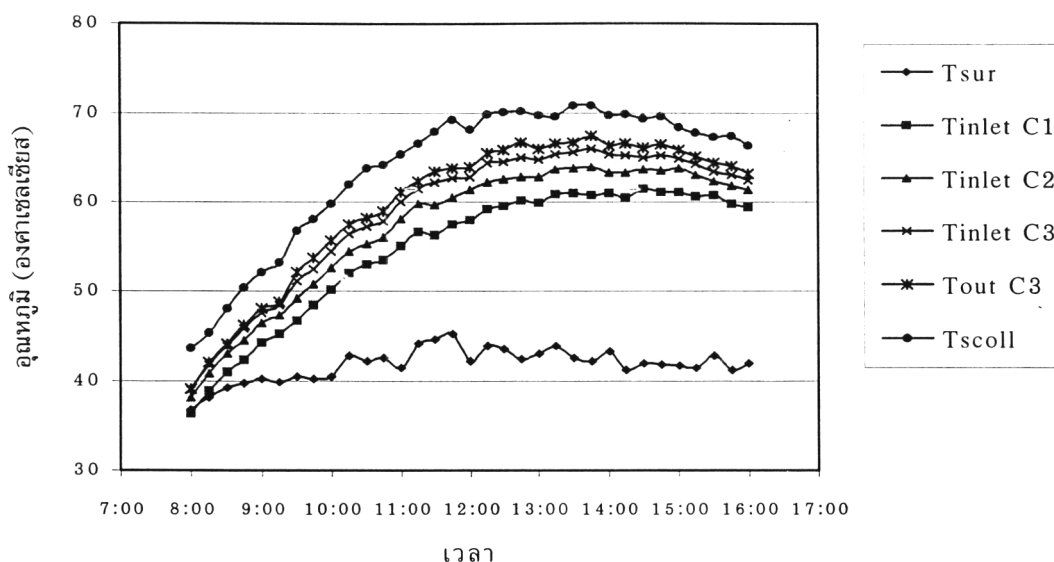
ตารางที่ 5.1 ข้อมูลพื้นฐานเฉลี่ยทุกชั่วโมงของแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ชุด

วันที่ทำการทดลอง	อัตราการไหล ของน้ำ (l/hr)	$T_{sur, m}$ (°C)	$T_{in C1, m}$ (°C)	$T_{out C1, m}$ (°C)	$T_{scoll, m}$ (°C)
24-31 มีนาคม 2540	10	32.81	32.60	45.35	48.24
2-9 พฤษภาคม 2540	20	36.70	40.87	50.57	57.61
12-16 พฤษภาคม 2540	30	36.12	41.00	47.71	56.86

จากข้อมูลเฉลี่ยพบว่าน้ำร้อนที่ได้มีปริมาณน้อยมากและมีอุณหภูมิต่ำ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในแผงรับแสงอาทิตย์กับอุณหภูมิของน้ำขาออกจากแผงรับแสงอาทิตย์มีค่า 3-10 องศาเซลเซียส ถ้าต้องการน้ำขาออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ปริมาณมากขึ้นต้องเพิ่มจำนวนแผงรับแสงอาทิตย์ทำการทดลองและทำการปรับปรุงแผงรับแสงอาทิตย์ให้เป็นระบบปิด เพื่อลดการสูญเสียความร้อนภายในแผงรับแสงอาทิตย์สู่ภายนอก

5.2 ผลการทดลองการเก็บข้อมูลจากแผงรับแสงอาทิตย์ 3 ชุด

จากการทดลองเก็บข้อมูลพื้นฐานจากแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ชุด ได้น้ำร้อนที่อุณหภูมิและปริมาณต่ำ จึงต้องสร้างแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเป็น 3 ชุด ทดลองเก็บข้อมูลพื้นฐานได้ผลการทดลอง (ภาคผนวก ฉ) จะทำการหาค่าเฉลี่ยรายเดือนทุก 15 นาที ระหว่าง 8.00-16.00 น. ของเดือนเมษายน 2541 อัตราการไหลของน้ำ 100 ลิตรต่อชั่วโมงได้ข้อมูลดังรูปที่ 5.1 พบว่าช่วงเช้าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำขาเข้าแผงที่ 1 และออกจากแผง 3 มีค่าต่ำ จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำขาเข้าแผงที่ 1 และออกจากแผง 3 มากที่สุดช่วงเวลา 11:00 ถึง 14:00 หลังจากนั้นค่าความแตกต่างจะลดลงเรื่อยๆ



รูปที่ 5.1 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยทุก 15 นาที เวลา 8.00-16.00 น. ของเดือนเมษายน 2541 อัตราการไหลของน้ำ 100 ลิตรต่อชั่วโมง

ข้อมูลปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ได้จากสถาบัน AIT (Asian Institute of Technology) นำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์เฉลี่ยเดือนเมษายนได้ค่าเท่ากับ 9.2%

จากผลการทดลองจะทำการหาค่าเฉลี่ยรายเดือนทุก 15 นาที ระหว่าง 8.00-16.00 น. ของเดือนเมษายนถึงเดือนธันวาคม 2541 อัตราการไหลของน้ำ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ข้อมูลจากแผงรับแสงอาทิตย์ 3 ชุด ได้ข้อมูลอุณหภูมิของน้ำดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองจะทำการหาค่าเฉลี่ยรายเดือนทุก 15 นาที ระหว่าง 8.00-16.00 น. เดือนเมษายนถึงเดือนธันวาคม 2541 อัตราการไหลของน้ำ 100 ลิตรต่อชั่วโมง

เดือน	T_{sur} ($^{\circ}C$)	$T_{out\ C3, \ max}$	$\Delta T_{out\ -in\ C3, \ max}$	$T_{out\ C3, \ av}$
เมษายน	35.64	67	10.9	57.63
พฤษภาคม-กันยายน	31.32	58	7.5	50.20
ตุลาคม-ธันวาคม	27.82	52	5.1	43.05

จากตารางที่ 5.2 ช่วงเดือนเมษายนได้น้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน 8 องศาเซลเซียส และสูงกว่าช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม 15 องศาเซลเซียส เนื่องจากสภาพอากาศช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน มีฝนตกและมีเมฆมาก และช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม มีอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำกว่าทุกช่วงเวลา จึงทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ได้มีอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงเดือนเมษายน ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 7-15%

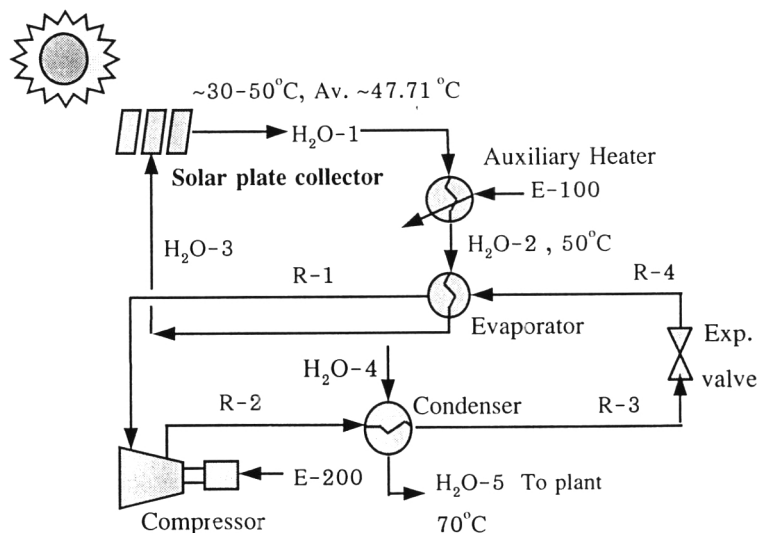
5.3 ผลของการจำลองของปั๊มความร้อนโดยใช้โปรแกรม HYSYS

ใช้ข้อมูลจากแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ชุด ในการเลือกของไหลทำงานที่เหมาะสม

โปรแกรม HYSYS รุ่น 1.2.7 เป็นโปรแกรมของบริษัท Hyprotech Ltd. เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของกระบวนการทางเคมี (Process simulation) ซึ่งสามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากภายในโปรแกรม HYSYS มีแบบจำลองคณิตศาสตร์อย่างละเอียดสำหรับอุปกรณ์หลักๆ ในอุตสาหกรรมเคมี พร้อมทั้งมีเครื่องมือการคำนวณที่ใช้ในการแก้สมการหรือชุดสมการสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ มีข้อมูลทางเทอร์โมไดนามิกส์ ประกอบด้วยฐานข้อมูลของสารต่างๆ จำนวนมากทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ และมีสมการในการคำนวณสมบัติต่างๆ (Property methods) ให้เลือกหลายวิธี เช่น Peng-Robinson (PR) EOS หรือ Soave-Redlich-Kwong (SRK) EOS

ในการจำลองของปั๊มความร้อนเริ่มต้นด้วยการกำหนดสารประกอบที่ใช้ในกระบวนการ จากนั้นทำการเลือกสมการทางเทอร์โมไดนามิกส์เพื่อใช้ในการคำนวณค่าสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบที่ภาวะต่างๆ โดยในกรณีศึกษาเลือกใช้สมการคำนวณสมบัติแบบ Peng-Robinson (PR) EOS ต่อจากนั้นจึงสร้างผังกระบวนการโดยเลือกอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องและเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันตามสภาพที่เกิดขึ้นจริง

โปรแกรม HYSYS แสดงการจำลองของปั๊มความร้อนที่ภาวะคงตัว จากผลการทดลองแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ชุด อัตราการไหล 30 ลิตรต่อชั่วโมง เป็นข้อมูลที่ใช้ในการจำลองของปั๊มความร้อน ดังรูปที่ 5.2 โดยระบบปั๊มความร้อนเป็นแบบการอัด-ไอ จากหัวข้อที่ 2.3 ของไหลทำงานที่น่าสนใจ 4 ชนิดได้แก่ R22 R11 R12 และ R134a นำของไหลทำงานเหล่านี้เป็นของไหลทำงานในระบบปั๊มความร้อนที่ทำการจำลองของได้ข้อมูลดังภาคผนวก ข สรุปดังตารางที่ 5.3



รูปที่ 5.2 ระบบปั๊มความร้อนแบบการอัด-ไอ

โดยกำหนดให้ของไหลทำงานขาออกจากเครื่องระเหยเป็นไอทั้งหมดด้วยความร้อนที่น้ำร้อนให้จากอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็น 30 องศาเซลเซียส เครื่องอัดมีประสิทธิภาพ 75 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิน้ำขาเข้าเครื่องควบแน่นมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิน้ำขาออกเครื่องควบแน่นมีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ 1 บรรยากาศ

ตารางที่ 5.3 ผลของการจำลองของปั๊มความร้อนโดยใช้โปรแกรม HYSYS

ข้อมูลจากแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ชุด เปรียบเทียบของไหลทำงาน 4 ชนิด

	ของไหลทำงาน			
	R22	R11	R12	R134a
T_{H2O-2}	50.00	50.00	50.00	50.00
Flow rate (H ₂ O-2), L/h	30.00	30.00	30.00	30.00
Flow rate (R-2), L/h	11.74	9.64	14.09	11.77
T_{H2O-5}	70.00	70.00	70.00	70.00
Flow rate (H ₂ O-5), L/h	16.55	16.71	16.86	16.94
P_{R-1} , kPa	1195.12	125.37	745.36	770.52
P_{R-2} , kPa	2150.0	302.0	1550.0	1800.0
E-100, kJ/h	296.22	296.22	296.22	296.22
E-200, kJ/h	271.42	308.24	325.52	338.53
Q_{coll-1} , kJ/h	867.43	867.43	867.43	867.43
COP_{sys}	5.03	4.77	4.68	4.61

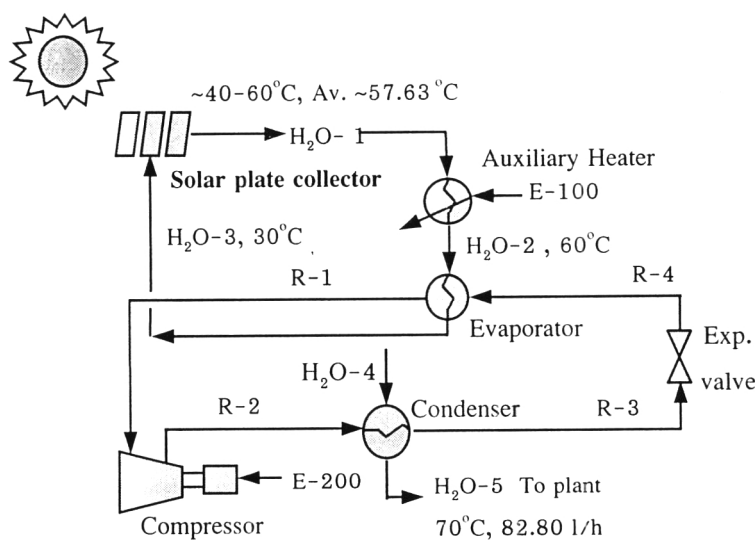
จากตารางที่ 5.3 การจำลองของปั๊มความร้อนด้วย HYSYS เปรียบเทียบระหว่างของไหลทำงาน 4 ชนิด คือ R22 R11 R12 และ R134a พบว่าการใช้ของไหลทำงาน R22 ช่วยประหยัดพลังงานส่วนที่ต้องให้กับเครื่องอัดได้มากที่สุด รองมาคือ R11 R12 และ R134a ตามลำดับ และสัมประสิทธิ์การทำงานของระบบปั๊มความร้อนของ R22 มีค่ามากที่สุดด้วย รองมาคือ R11 R12 และ R134a ตาม ดังนั้นเลือกใช้ R22 เป็นของไหลทำงาน เพราะช่วยประหยัดพลังงานที่ต้องให้กับเครื่องอัดและให้ค่าสัมประสิทธิ์การทำงานของระบบปั๊มความร้อนสูง ทั้งนี้เนื่องจากของไหลทำงาน R22 มีปริมาตรจำเพาะของไอต่ำกว่าชนิดอื่น ๆ ทำให้ปริมาตรที่ลูกสูบแทนที่ที่ต้องการจะน้อยลง ขนาดของเครื่องอัดจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ของไหลทำงานอื่นที่มีค่าปริมาตรจำเพาะของไอสูงกว่า ผลการจำลองของปั๊มความร้อนโดยใช้ R22 เป็นของไหลทำงาน ได้น้ำร้อน 70 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 16.55 ลิตรต่อชั่วโมง ระหว่างเวลา 8.00-16.00 น. โดยช่วยประหยัดพลังงาน 8.3 กิโลวัตต์ต่อวัน คิดเป็น 50% ของพลังงานที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนด้วยขดลวดความร้อน ได้ค่า COP เท่ากับ 5.03

5.4 ผลของการจำลองของปั๊มความร้อนโดยใช้โปรแกรม HYSYS เพื่อจัดการโครงสร้างการใช้น้ำร้อน

โปรแกรม HYSYS แสดงการจำลองของปั๊มความร้อนที่ภาวะคงตัว ผลการทดลองแผงรับแสงอาทิตย์ 3 ชุด อัตราการไหล 100 ลิตรต่อชั่วโมง ข้อมูลเฉลี่ยในเดือนเมษายน 2541 เป็นข้อมูลที่ใช้ในการจำลองของปั๊มความร้อนแบบการอัด-ไอ ของไหลทำงานคือ R22

กำหนดให้ของไหลทำงานขาออกจากเครื่องระเหยเป็นไอทั้งหมดด้วยความร้อนที่น้ำร้อนให้จากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็น 30 องศาเซลเซียส 1 บรรยากาศ เครื่องอัดมีประสิทธิภาพ 75 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิน้ำขาเข้าเครื่องควบแน่นมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิน้ำขาออกเครื่องควบแน่นมีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 1 บรรยากาศ ทำการจำลองจัดการโครงสร้างการใช้น้ำร้อนออกเป็น 3 โครงสร้างหลัก ได้แก่ โครงสร้างที่ 1 นำพลังงานความร้อนของน้ำที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ให้แก่เครื่องระเหยทั้งหมด โครงสร้างที่ 2 นำพลังงานความร้อนของน้ำที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ให้ความร้อนเบื้องต้นแก่น้ำที่เข้าเครื่องควบแน่นก่อนจะเข้าอุปกรณ์ทำความร้อนเสริม โครงสร้างที่ 3 นำพลังงานความร้อนของน้ำที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์มาแยกเป็น 2 ส่วน ในสัดส่วนต่างๆ โดยส่วนที่ 1 ให้ความร้อนเบื้องต้นแก่น้ำที่เข้าเครื่องควบแน่น ส่วนที่ 2 ผ่านอุปกรณ์ทำความร้อนเสริมก่อนแล้วให้พลังงานความร้อนแก่เครื่องระเหย

โครงสร้างที่ 1



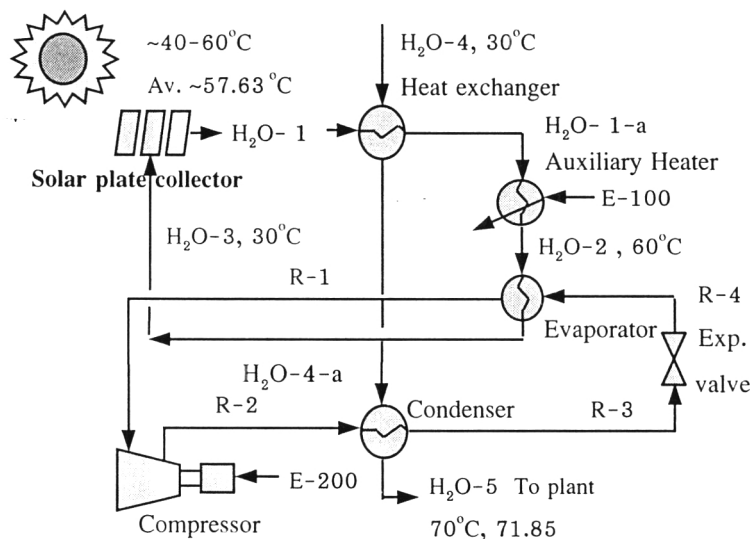
รูปที่ 5.3 ระบบปั๊มความร้อนแบบการอัด-ไอ โครงสร้างที่ 1

นำน้ำร้อนที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์อุณหภูมิ 57.63 องศาเซลเซียส ผ่านอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริมจนได้อุณหภูมิน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส น้ำร้อนเข้าเครื่องระเหยทั้งหมดเป็นการ

ให้พลังงานทั้งหมดกับของไหลทำงานในระบบปั๊มความร้อน โดยของไหลทำงานขาออกจากเครื่องระเหยต้องระเหยกลายเป็นไอทั้งหมดด้วยความร้อนที่น้ำร้อนให้จากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็น 30 องศาเซลเซียส แล้ววนกลับเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 5.3

โครงสร้างที่ 2

นำน้ำร้อนที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์อุณหภูมิ 57.63 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนเบื้องต้นกับน้ำที่จะผ่านเข้าเครื่องควบแน่นก่อน แล้วจึงผ่านอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริมจนได้อุณหภูมิ น้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส น้ำร้อนเข้าเครื่องระเหยทั้งหมดเป็นการให้พลังงานทั้งหมดกับของไหลทำงานในระบบปั๊มความร้อน โดยของไหลทำงานขาออกจากเครื่องระเหยต้องระเหยกลายเป็นไอทั้งหมดด้วยความร้อนที่น้ำร้อนให้จากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็น 30 องศาเซลเซียส แล้ววนกลับเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 5.4



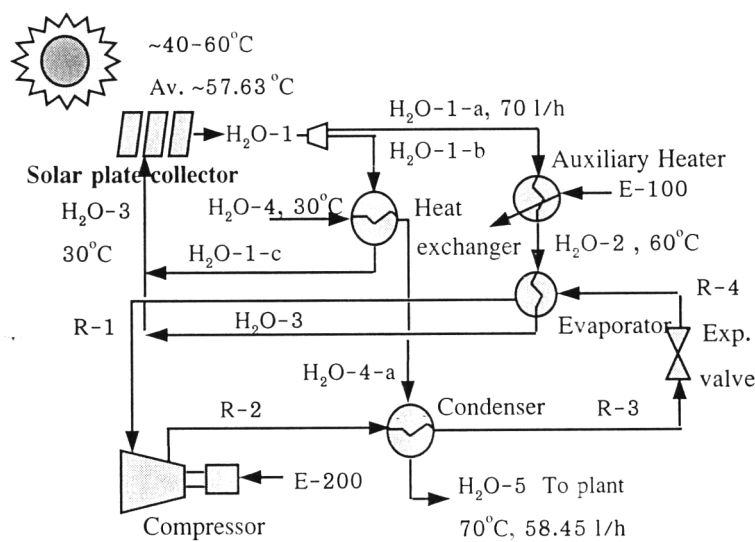
รูปที่ 5.4 ระบบปั๊มความร้อนแบบการอัด-ไอ โครงสร้างที่ 2

โครงสร้างที่ 3

นำน้ำร้อนที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์อุณหภูมิ 57.63 องศาเซลเซียส แบ่งเป็น 2 ส่วน ในสัดส่วนที่ต่าง ๆ โดยส่วนที่ 1 ให้ความร้อนเบื้องต้นกับน้ำที่จะผ่านเข้าเครื่องควบแน่นก่อนจนอุณหภูมิลดลงเหลือ 30 องศาเซลเซียส แล้ววนกลับเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ น้ำร้อนส่วนที่ 2 ผ่านอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริมจนได้อุณหภูมิ น้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส น้ำร้อนเข้าเครื่องระเหยให้พลังงานกับของไหลทำงานในระบบปั๊มความร้อน โดยของไหลทำงานขาออกจากเครื่องระเหยต้อง

ระเหยกลายเป็นไอทั้งหมดด้วยความร้อนที่น้ำร้อนให้จากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็น 30 องศาเซลเซียส แล้วจึงวนกลับรวมเข้ากับน้ำส่วนที่ 1 เข้าแผงรับแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 5.5

ทำการจำลองของปั๊มความร้อนแบบการอัด-ไอที่ภาวะคงตัว เพื่อหาอัตราการไหลที่เหมาะสมของน้ำร้อนส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 โดยใช้โปรแกรม HYSYS ปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำร้อนส่วนที่ 1 จาก 10, 20, 30, 40 และ 50 ลิตรต่อชั่วโมง เพื่อให้ได้น้ำร้อนที่ออกจากระบบปั๊มความร้อนในปริมาณมากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์ของการทำงานสูง ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำร้อนส่วนที่ 1 เท่ากับ 30 ลิตรต่อชั่วโมง และน้ำร้อนส่วนที่ 2 เท่ากับ 70 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.5 ระบบปั๊มความร้อนแบบการอัด-ไอ โครงสร้างที่ 3

ทำการจำลองของปั๊มความร้อนแบบการอัด-ไอที่ภาวะคงตัว โครงสร้างที่ 1 ถึงโครงสร้างที่ 3 เพื่อพิจารณาโครงสร้างการจัดการน้ำร้อนที่เหมาะสม ใช้ข้อมูลจากแผงรับแสงอาทิตย์ 3 ชุด ได้ผลการจำลองของปั๊มความร้อนดังภาคผนวก ข ผลการจำลองเปรียบเทียบโครงสร้างที่ 1 ถึงโครงสร้างที่ 3 สรุปได้ดังตารางที่ 5.4

จากผลของการจำลองของปั๊มความร้อนแบบการอัด-ไอที่ภาวะคงตัว โดยใช้โปรแกรม HYSYS เพื่อจัดการโครงสร้างการใช้น้ำร้อน ดังตารางที่ 5.4 พบว่าโครงสร้างที่ 1 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การทำงานของระบบปั๊มความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 6.00 ปริมาณน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในปริมาณที่มากที่สุดด้วยคือ 82.80 ลิตรต่อชั่วโมง คิดเป็นปริมาณความร้อนมากที่สุดถึง 14,289.8 กิโลจูลต่อชั่วโมง ต้องการพลังงานเข้าเพียง 2,381.9 กิโลจูลต่อชั่วโมง รองมาคือโครงสร้างที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การทำงานของระบบปั๊มความร้อนเท่ากับ 4.21 ต้องการพลังงานเข้าเท่ากับ 2,395.1 กิโลจูลต่อชั่วโมงเท่านั้น แต่ให้ปริมาณน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

ในปริมาณน้อยที่สุดคือ 58.45 ลิตรต่อชั่วโมง โครงสร้างที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การทำงานของระบบ ปั๊มความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 2.58 ปริมาณน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เท่ากับ 71.85 ลิตรต่อชั่วโมง แต่ต้องการพลังงานเข้ามากถึง 4,798.8 กิโลจูลต่อชั่วโมง ดังนั้นระบบปั๊มความร้อนแบบอัด-ไอ โครงสร้างที่ i เหมาะสมที่สุดในการนำน้ำร้อนมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากโครงสร้างที่ 1 นำความร้อนทั้งหมดให้แก่ R22 เปรียบเทียบกับโครงสร้างที่ 2 นำความร้อนบางส่วนให้ความร้อนเบื้องต้นแก่น้ำที่จะรับความร้อนที่เครื่องควบแน่น และโครงสร้างที่ 3 แบ่งน้ำร้อนเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ให้ความร้อนเบื้องต้นกับน้ำที่จะผ่านเข้าเครื่องควบแน่น ส่วนที่ 2 นำความร้อนให้แก่ R22 จากค่าความจุความร้อนของ R22 มีค่าต่ำกว่าของน้ำ ถ้าปริมาณความร้อนที่ทำการถ่ายโอนมีค่าเท่ากัน อุณหภูมิของ R22 จะสูงกว่าของน้ำ โดยการถ่ายโอนความร้อนจะขึ้นอยู่กับ driving force ของอุณหภูมิ อุณหภูมิของ R22 สูง เพราะฉะนั้น driving force จะมีค่ามาก ดังนั้นปริมาณน้ำร้อนที่ได้จากเครื่องควบแน่นก็จะมากกว่าโครงสร้างที่ 2 และโครงสร้างที่ 3

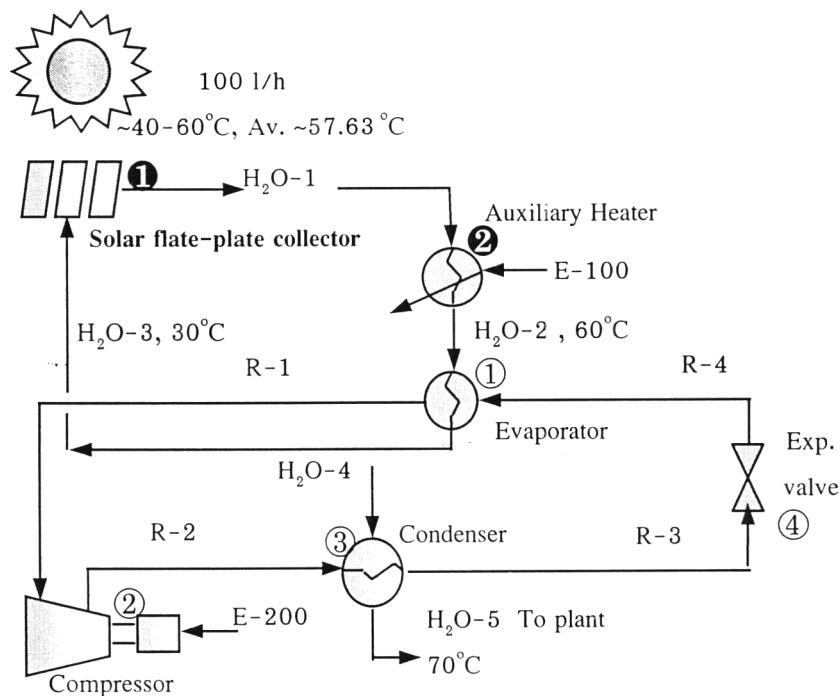
ตารางที่ 5.4 ผลของการจำลองของปั๊มความร้อนเปรียบเทียบโครงสร้างที่ 1 ถึงโครงสร้างที่ 3 โดยใช้โปรแกรม HYSYS เพื่อจัดการโครงสร้างการใช้น้ำร้อน

	โครงสร้างที่ 1	โครงสร้างที่ 2	โครงสร้างที่ 3
T_{H_2O-2}	60.0	60.0	60.0
Flow rate (H ₂ O-2), L/h	100.0	100.0	70.0
Flow rate (R-2), L/h	58.73	41.82	24.15
T_{H_2O-5}	70.0	70.0	70.0
Flow rate (H ₂ O-5), L/h	82.80	71.85	58.45
P_{R-1} , kPa	1195.1	1538.3	1694.2
P_{R-2} , kPa	2150.0	2350.0	10000.0
E-100, kJ/h	1,023.8	4,117.7	716.7
E-200, kJ/h	1,358.1	681.1	1678.4
Q_{input} , kJ/h	2,381.9	4,798.8	2,395.1
Q_{coll-1} , kJ/h	1,289.3	1,289.3	1,289.3
Q_u , kJ/h	14,289.8	12,401.1	10,082.8
COP_{sys}	6.00	2.58	4.21

5.5 การเพิ่มเอนโทรปีของป้อนความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

สำหรับ control volume ที่ภาวะคงตัว มีการไหลเข้าและการไหลออกที่มีอย่างละหนึ่งสายเท่านั้น¹⁸

$$\dot{I} = \sum_{j=1}^n \left(1 - \frac{T_0}{T_j} \right) \dot{Q}_j - \dot{W}_{cv} + m \left[T_0 (s_e - s_i) - (h_e - h_i) \right] \quad (5.5.1)$$

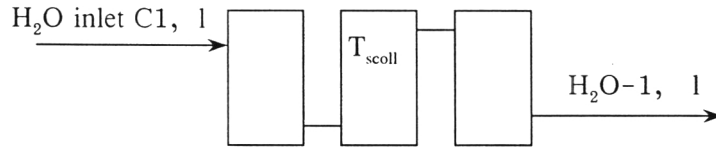


รูปที่ 5.6 อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบป้อนความร้อนแบบการอัด-ไอ โครงสร้างที่ 1

จากระบบป้อนความร้อนแบบการอัด-ไอ โครงสร้างที่ 1 นำน้ำร้อนที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์อุณหภูมิ 57.63 องศาเซลเซียส ผ่านอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริมจนได้อุณหภูมิน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส น้ำร้อนเข้าเครื่องระเหยทั้งหมดเป็นการให้พลังงานทั้งหมดกับของไหลทำงานในระบบป้อนความร้อน โดยของไหลทำงานที่ออกจากเครื่องระเหยต้องระเหยกลายเป็นไอทั้งหมดด้วยความร้อนที่น้ำร้อนให้จากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็น 30 องศาเซลเซียส แล้ววนกลับเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 5.6 จะศึกษาการเพิ่มเอนโทรปีของของไหลทำงาน เมื่อผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบป้อนความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ กำหนดให้ของไหลทำงาน R22 ประพุดิตัวเสมือนแก๊สอุดมคติ กระบวนการทั้งหมดไม่มีการสูญเสียความร้อนและความดัน พลังงานจลน์และพลังงานศักย์มีค่าน้อยมาก โดยทำการพิจารณาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน (จากภาคผนวก ณ)

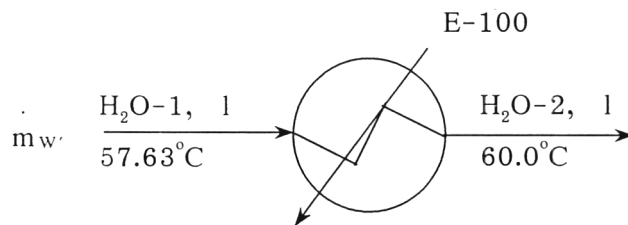
5.5.1 ระบบแผงรับแสงอาทิตย์-วงของน้ำ

❶ แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่น



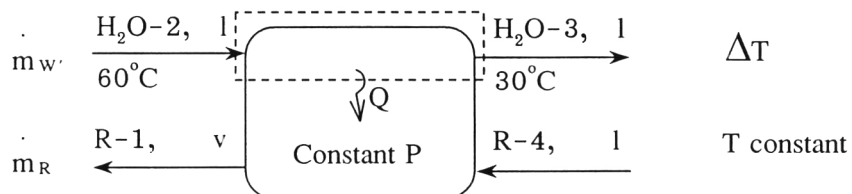
$$\dot{I}_{H_2O-Coll} = \dot{m}_w \cdot T_0 \left[\left(w \cdot \ln T + xT + \frac{y}{2}T^2 + \frac{z}{3}T^3 \right) \right. \\ \left. - \frac{1}{T_{scoll}} \left(wT + \frac{x}{2}T^2 + \frac{y}{3}T^3 + \frac{z}{4}T^4 \right) \right]_{H_2O \text{ inlet C1}}^{H_2O-1} \quad (5.5.2)$$

❷ อุปกรณ์ทำความร้อนเสริม



$$\dot{I}_{H_2O-Heat} = \dot{m}_w \cdot T_0 \left[\left(w \cdot \ln T + xT + \frac{y}{2}T^2 + \frac{z}{3}T^3 \right) \right. \\ \left. - \frac{1}{T_{steam}} \left(wT + \frac{x}{2}T^2 + \frac{y}{3}T^3 + \frac{z}{4}T^4 \right) \right]_{H_2O-1}^{H_2O-2} \quad (5.5.3)$$

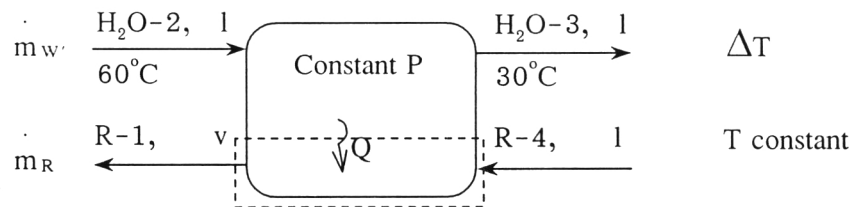
❶ เครื่องระเหย = เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



$$\dot{I}_{\text{H}_2\text{O-Evap}} = \dot{m}_w \cdot T_0 \left[\frac{1}{T_{\text{H}_2\text{O}-2}} \left(wT + \frac{x}{2}T^2 + \frac{y}{3}T^3 + \frac{z}{4}T^4 \right) + \left(w \cdot \ln T + xT + \frac{y}{2}T^2 + \frac{z}{3}T^3 \right) \right]_{\text{H}_2\text{O}-2}^{\text{H}_2\text{O}-3} \quad (5.5.4)$$

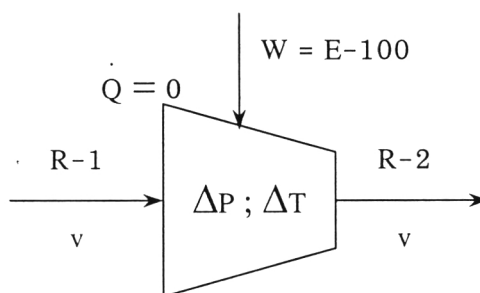
5.5.2 ระบบปั๊มความร้อน-วงของของไหลทำงาน

① เครื่องระเหย = เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



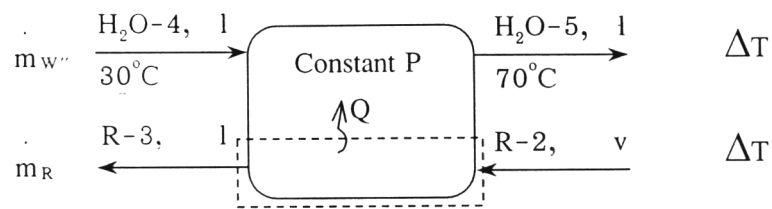
$$\dot{I}_{\text{R-Evap}} = 0 \quad (5.5.5)$$

② เครื่องอัด (เครื่องอัดแบบอะเดียแบติก)



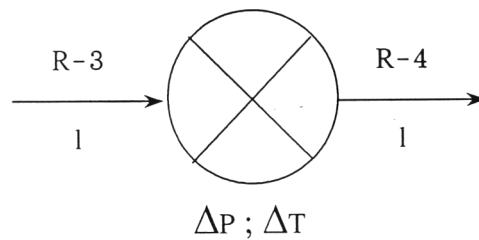
$$\dot{I}_{\text{R-Comp}} = \dot{m}_R T_0 \left(\left[a \cdot \ln T + bT + \frac{c}{2}T^2 + \frac{d}{3}T^3 \right]_{\text{R-1}}^{\text{R-2}} - \frac{R}{MW_R} \cdot (\ln P_{\text{R-2}} - \ln P_{\text{R-1}}) \right) \quad (5.5.6)$$

③ เครื่องควบแน่น = เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



$$\dot{I}_{R-Cond} = m_R T_0 \left[2 \cdot \Delta \hat{H}_{v,R} \frac{1}{T_{R-2}} + \left[\left(aT + \frac{b}{2}T^2 + \frac{c}{3}T^3 + \frac{d}{4}T^4 \right) + \left(a \cdot \ln T + bT + \frac{c}{2}T^2 + \frac{d}{3}T^3 \right) \right]_{R-2}^{R-3} \right] \quad (5.5.7)$$

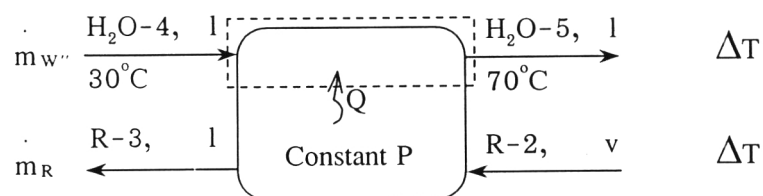
④ วาล์วขยายตัว



$$\dot{I}_{R-Exp} = m_R \left[T_0 \left(\left[a \cdot \ln T + bT + \frac{c}{2}T^2 + \frac{d}{3}T^3 \right]_{R-3}^{R-4} - \frac{R}{MW_R} \left[\ln P_{R-4} - \ln P_{R-3} \right] \right) \right] \quad (5.5.8)$$

5.5.3 ระบบปั๊มความร้อน-วงของน้ำร้อนที่ได้

③ เครื่องควบแน่น = เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



$$I_{H_2O-Cond} = \dot{m} w'' T_0 \left[\left(w \cdot \ln T + xT + \frac{y}{2}T^2 + \frac{z}{3}T^3 \right) - \frac{1}{T_{H_2O-4}} \left(wT + \frac{x}{2}T^2 + \frac{y}{3}T^3 + \frac{z}{4}T^4 \right) \right]_{H_2O-4}^{H_2O-5} \quad (5.5.9)$$

จากสมการที่ (5.5.2) ถึง สมการที่ (5.5.9) จะเห็นว่าค่า Irreversibility ขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิของของไหลทำงานที่ผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบปั๊มความร้อนเท่านั้น เนื่องจาก

- แผงรับแสงอาทิตย์ ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำขาเข้า อุณหภูมิน้ำขาออก และอุณหภูมิแผงรับแสงอาทิตย์เพราะเป็นค่าที่ขึ้นกับสภาพอากาศบริเวณที่ทำการทดลอง ทำให้ไม่สามารถลดการเกิด Irreversibility ได้

- อุปกรณ์ทำความร้อนเสริม กำหนดให้น้ำขาออกจากอุปกรณ์ทำความร้อนเสริมมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ทำให้ไม่สามารถลดการเกิด Irreversibility ได้ อุณหภูมิน้ำขาออกเป็นค่าที่ขึ้นกับสภาพอากาศบริเวณที่ทำการทดลอง

- เครื่องระเหย กำหนดให้น้ำร้อนให้ความร้อนกับเครื่องระเหยสูงสุดจากน้ำร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นน้ำที่อุณหภูมิบรรยากาศ 30 องศาเซลเซียส ทำให้ไม่สามารถลดการเกิด Irreversibility ได้

- เครื่องควบแน่น กำหนดให้น้ำขาเข้าอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำขาออก 70 องศาเซลเซียส ทำให้ไม่สามารถลดการเกิด Irreversibility ได้

ดังนั้นจะทำการพิจารณาลดการเกิด Irreversibility เฉพาะวงของของไหลทำงานภายในระบบปั๊มความร้อนเท่านั้น พิจารณาสมการ 4 สมการดังต่อไปนี้

$$I_{R-Evap} = 0 \quad (5.5.5)$$

จากสมการ (5.5.5) พบว่า Irreversibility ของของไหลทำงานที่ผ่านเครื่องระเหยเท่ากับ ศูนย์

$$I_{R-Comp} = m_R T_0 \left(\left[a \cdot \ln T + bT + \frac{c}{2}T^2 + \frac{d}{3}T^3 \right]_{R-1}^{R-2} - \frac{R}{MW_R} \cdot (\ln P_{R-2} - \ln P_{R-1}) \right) \quad (5.5.6)$$

จากสมการ (5.5.6) พบว่า Irreversibility ของของไหลทำงานที่ผ่านเครื่องอัดจะต่ำที่สุดเมื่อ $I_{R-Comp} = 0$ หรือ $T_{R-1} \approx T_{R-2}$ และ $P_{R-1} \approx P_{R-2}$

$$I_{R-Cond} = m_R T_0 \left[2 \cdot \Delta \hat{H}_{vR} \frac{1}{T_{R-2}} + \left[\left(aT + \frac{b}{2}T^2 + \frac{c}{3}T^3 + \frac{d}{4}T^4 \right) + \left(a \cdot \ln T + bT + \frac{c}{2}T^2 + \frac{d}{3}T^3 \right) \right]_{R-2}^{R-3} \right] \quad (5.5.7)$$

จากสมการ (5.5.7) พบว่า Irreversibility ของของไหลทำงานที่ผ่านเครื่องควบแน่นจะต่ำที่สุดเมื่อ $I_{R-Cond} = 0$ หรือ $T_{R-2} \approx T_{R-3}$

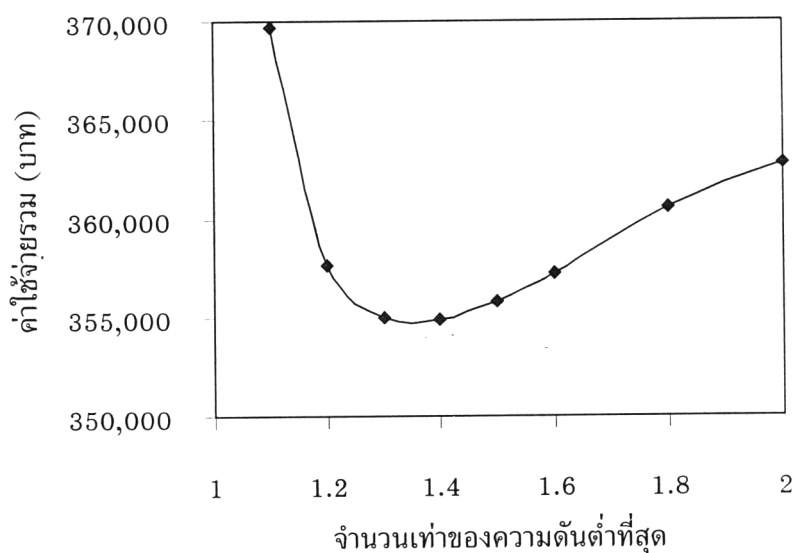
$$I_{R-Exp} = m_R \left[T_0 \left(\left[a \cdot \ln T + bT + \frac{c}{2}T^2 + \frac{d}{3}T^3 \right]_{R-3}^{R-4} - \frac{R}{MW_R} [\ln P_{R-4} - \ln P_{R-3}] \right) \right] \quad (5.5.8)$$

จากสมการ (5.5.8) พบว่า Irreversibility ของของไหลทำงานที่ผ่านวาล์วขยายตัวจะต่ำที่สุดเมื่อ $I_{R-Exp} = 0$ หรือ $T_{R-3} \approx T_{R-4}$ และ $P_{R-3} \approx P_{R-4}$

พบว่าค่า Irreversibility ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันและความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลทำงาน ถ้าความแตกต่างนี้มีค่าต่ำ ค่า Irreversibility ก็จะต่ำ ทำให้เอนโทรปีมีค่าต่ำด้วย แต่ค่า $I = 0$ ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในทางปฏิบัติ ค่าที่สามารถเกิดขึ้นได้ทางกายภาพมีความสัมพันธ์กับขนาดของแรงขับเคลื่อน (driving force) ซึ่งส่งผลต่อการกำหนดขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ จึงต้องพิจารณาการกำหนดแรงขับเคลื่อนร่วมกับการเพิ่มของเอนโทรปีและประเด็นทางเศรษฐศาสตร์คือค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เพิ่มขึ้น โดยการจำลองของบีบอัดแบบการอัด-ไอ ด้วยโปรแกรม HYSYS ทำการปรับเปลี่ยนค่าความดันขาออกจากเครื่องอัด

5.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อน โดยใช้โปรแกรม HYSYS

จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วย HYSYS ใช้ของไหลทำงาน R22 การจัดการโครงสร้างการใช้น้ำร้อนโครงสร้างที่ 1 เปรียบเทียบกันระหว่างความดันของไหลทำงานขาออกจากเครื่องอัดเท่ากับความดันต่ำที่สุดเท่ากับ 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0 เท่าของความดันต่ำสุด ผลการจำลองของระบบปั๊มความร้อนแสดงอยู่ในภาคผนวก ญ เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ สรุปได้ดังตารางที่ 5.5 เมื่อระยะเวลาการใช้ระบบปั๊มความร้อนตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป และรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายรวมกับความดันของไหลทำงานขาออกจากเครื่องอัด

จากรูปที่ 5.7 เมื่อระยะเวลาการใช้ระบบปั๊มความร้อนตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป พบว่าที่ความดันของไหลทำงานขาออกจากเครื่องอัดเท่ากับ 1.4 เท่าของความดันต่ำสุด จะใช้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ตารางที่ 5.5 ที่ความดันของไหลทำงานขาออกจากเครื่องอัดเท่ากับ 1.4 เท่าของความดันต่ำสุด ได้น้ำร้อน 70 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 87.1 ลิตรต่อชั่วโมง ระยะเวลา 8.00-16.00 น. โดยช่วยประหยัดพลังงาน 7.0 กิโลวัตต์ต่อวัน คิดเป็น 79% ของพลังงานที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อน ด้วยขดลวดความร้อน ระบบปั๊มความร้อนแบบการอัด-ไอได้ค่า COP เท่ากับ 4.77

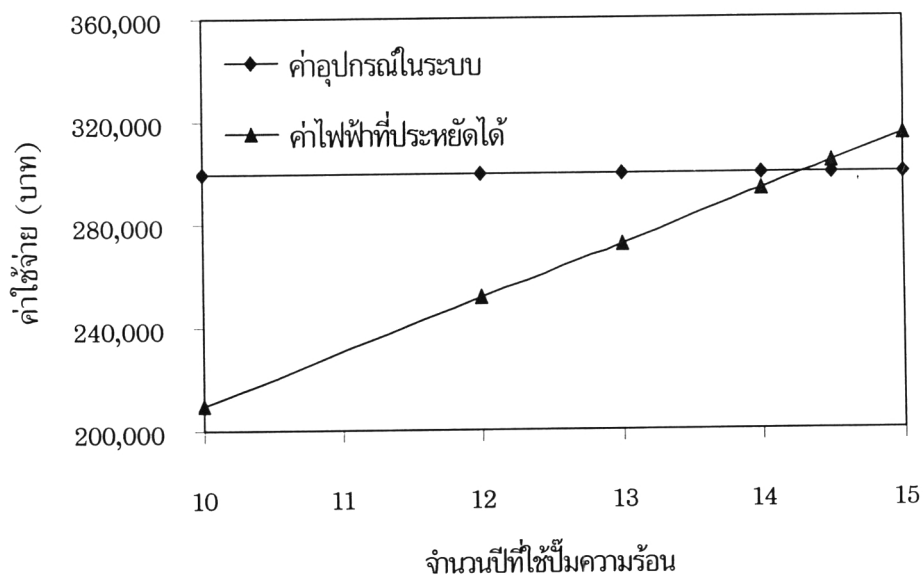
จากรูปที่ 5.8 และตารางที่ 5.6 พบว่าราคาค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับราคาอุปกรณ์ทั้งหมดในระบบปั๊มความร้อนเมื่อเวลาผ่านไป 14.5 ปี ดังนั้นเมื่อใช้ระบบปั๊มความร้อน 14 ปี 6 เดือนถึงจะคุ้มทุนในการลงทุน

ตารางที่ 5.5 การหาภาวะที่เหมาะสมของระบบปั๊มความร้อนที่ทำการผลิตน้ำร้อน 70 องศาเซลเซียส
 ถ้าใช้งานอย่างน้อยเป็นเวลา 10 ปี กำหนดให้ 1 ปี ใช้งาน 360 วัน, 1 วัน ใช้งาน 8 ชั่วโมง

		Pmin	1.1 Pmin	1.2 Pmin	1.3 Pmin	1.4 Pmin	1.5 Pmin	1.6 Pmin	1.8 Pmin	2.0 Pmin
$P_{R-2} = P_{R-3}$	(kPa)	2,140	2,354	2,568	2,782	2,996	3,210	3,424	3,852	4,280
$Q_{H2O-2-3}$	(kJ/h)	12,931	12,931	12,931	12,931	12,931	12,931	12,931	12,931	12,931
$Q_{H2O-4-5}$	(kJ/h)	14,278	14,501	14,706	14,894	15,068	15,231	15,383	15,661	15,912
m_w	(kg/h)	82.6	83.9	85.0	86.1	87.1	88.1	89.0	90.6	92.0
W_{Comp}	(J/s, W)	374.2	436.2	492.8	545.1	593.5	638.7	681.0	758.4	827.8
Q_{AH}	(J/s, W)	284.4	284.4	284.4	284.4	284.4	284.4	284.4	284.4	284.4
$(\Delta T_{In})_{Evap}$		2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	3.12
A_{Evap}	(cm ²)	31,742	31,742	31,742	31,742	31,742	31,742	31,742	31,742	29,609
$(\Delta T_{In})_{Cond}$		0.22	2.14	3.58	4.87	6.06	7.17	8.21	10.13	11.87
A_{Cond}	(cm ²)	638,117	67,854	41,114	30,602	24,880	21,253	18,736	15,458	13,409
Price Evaporator	(Baht)	112,476	112,476	112,476	112,476	112,476	112,476	112,476	112,476	111,298
Price Compressor	(Baht)	28,021	28,375	28,700	28,998	29,275	29,534	29,776	30,218	30,616
Price Condenser	(Baht)	389,926	132,130	117,627	111,847	108,681	106,666	105,266	103,437	102,292
Price Exp. Valve	(Baht)	21,567	21,567	21,567	21,567	21,567	21,567	21,567	21,567	21,567
Water to use	(Baht)	251,301	255,226	258,818	262,127	265,196	268,058	270,738	275,642	280,044
Electricity cost	(Baht)	41,728	45,654	49,245	52,555	55,624	58,485	61,166	66,069	70,472
Investments Cost	(Baht)	607,189	324,003	308,407	302,377	299,199	297,267	295,993	294,469	292,350
Operating Cost	(Baht)	41,728	45,654	49,245	52,555	55,624	58,485	61,166	66,069	70,472
Total Cost	(Baht)	648,917	369,657	357,652	354,932	354,823	355,753	357,159	360,538	362,822
Elect. Cost _{heat}	(Baht)	251,301	255,226	258,818	262,127	265,196	268,058	270,738	275,642	280,044
Save Elect. Cost	(Baht)	209,572	209,572	209,572	209,572	209,572	209,572	209,572	209,572	209,572
COP		6.02	5.59	5.26	4.99	4.77	4.58	4.43	4.17	3.97

ตารางที่ 5.6 ค่าใช้จ่ายต่างๆ กับจำนวนปีที่ใช้ระบบปั๊มความร้อน
ถ้าจะให้คุ้มทุนต้องใช้งานอย่างน้อยเป็นเวลา 14.5 ปี

		จำนวนปีที่ใช้ระบบปั๊มความร้อน					
		10	12	13	14	14.5	15
$P_{R-1} = P_{R-4}$	(kPa)	1,195	1,195	1,195	1,195	1,195	1,195
$P_{R-2} = P_{R-3}$	(kPa)	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996
Q_{H_2O-2-3}	(kJ/h)	12,931	12,931	12,931	12,931	12,931	12,931
Q_{H_2O-4-5}	(kJ/h)	15,068	15,068	15,068	15,068	15,068	15,068
m_w	(kg/h)	87.1	87.1	87.1	87.1	87.1	87.1
W_{Comp}	(J/s)	594	594	594	594	594	594
Q_{AH}	(J/s)	284	284	284	284	284	284
Water to use	(Baht)	265,196	318,236	344,755	371,275	384,535	397,794
Electricity cost	(Baht)	55,624	66,749	72,311	77,874	80,655	83,436
Investments Cost	(Baht)	299,199	299,199	299,199	299,199	299,199	299,199
Operating Cost	(Baht)	55,624	66,749	72,311	77,874	80,655	83,436
Total Cost	(Baht)	354,823	365,948	371,510	377,073	379,854	382,635
Elect. Cost _{heat}	(Baht)	265,196	318,236	344,755	371,275	384,535	397,794
Save Elect. Cost	(Baht)	209,572	251,487	272,444	293,401	303,880	314,359
COP		4.77	4.77	4.77	4.77	4.77	4.77



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายกับจำนวนปีที่ใช้ปั๊มความร้อน