

การออกแบบและการจำลองของปั๊มความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

นางสาวปัญญา พลพิพัฒน์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-213-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN AND SIMULATION OF SOLAR HEAT PUMP

Miss Panya Polpipat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Graduate School

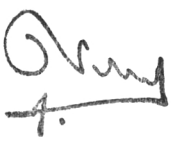

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-331-213-7


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและการจำลองของปั๊มความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
โดย นางสาวปัญญา พลพิพัฒน์
ภาควิชา เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์

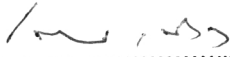
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

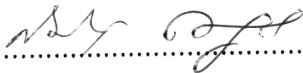
 
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุด)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)


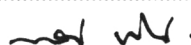
พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ปัญหา พลพัฒนา : การออกแบบและการจำลองของปั๊มความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (DESIGN AND SIMULATION OF SOLAR HEAT PUMP) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์, 124 หน้า. ISBN 974-331-213-7

เป็นที่ทราบกันดีว่าผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด การหาพลังงานอื่นมาทดแทนเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่มีปริมาณมากมายและสามารถนำกลับมาใช้ได้ จึงมีผู้ให้ความสนใจในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น รูปแบบของการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาอยู่ในรูปพลังงานความร้อนเนื่องจากสร้างอุปกรณ์ได้ง่าย ราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานรูปแบบอื่นๆ

การผลิตน้ำร้อนจากระบบปั๊มความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบหนึ่งเพื่อให้เกิดประโยชน์ในด้านการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และน้ำมันปิโตรเลียม งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อออกแบบและจำลองภาวะการณระบบปั๊มความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบการอัด-ไอ ด้วยโปรแกรม HYSYS เพื่อการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยทำการสร้างแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่น (Solar flat-plate collectors) 3 ชุด ที่ต่อกันแบบอนุกรม พร้อมทั้งติดตั้งระบบรวบรวมข้อมูลอันประกอบด้วยอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำต่อสัญญาณเข้าแผงรับข้อมูล Data acquisition board เพื่อทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที ในช่วงเวลา 8.00-16.00 น. ระหว่างเดือนเมษายนถึงเดือนธันวาคม 2541 น้ำร้อนที่ได้มีอุณหภูมิประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 50-100 ลิตรต่อชั่วโมง ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาประมวลผลและเสนอ ในรูปกราฟิกบนระบบการติดตามผลแบบ on-line จากผลการคำนวณพบว่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ประมาณ 7-15% ส่วนที่ 2 นำข้อมูลที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์ทำการจำลองระบบปั๊มความร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม HYSYS เพื่อกำหนดของไหลทำงานที่เหมาะสม จากผลการจำลองพบว่า R22 เป็นของไหลทำงานที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์การทำงานของปั๊มความร้อนสูงที่สุด เท่ากับ 5.03 ส่วนสุดท้ายใช้ข้อมูลข้างต้นในกำหนดระบบปั๊มความร้อนซึ่งให้เกิดเอนโทรปีที่เหมาะสม จากผลการจำลองพบว่าระบบปั๊มความร้อนต้องกำหนดให้ความดันขาออกจากเครื่องอัดเท่ากับ 1.4 เท่าของความดันต่ำที่สุดที่สามารถดำเนินการได้ จึงจะใช้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ค่าสัมประสิทธิ์ของการทำงานระบบ ปั๊มความร้อนเท่ากับ 4.77

ภาควิชา เคมีเทคนิค
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับระบบทศด้อยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีนี้เพียงแผ่นเดียว

#3971029623 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: SIMULATION / SOLAR / FLAT-PLATE COLLECTOR / HEAT PUMP

PANYA POLPIPAT : DESIGN AND SIMULATION OF SOLAR HEAT PUMP.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PORNPOTE PIUMSOMBOON, Ph.D.

124 pp. ISBN 974-331-213-7

Petroleum products are limiting resources. Searching for energy is unavoidable. However solar energy is abundant and renewable energy. Therefore it is receiving greater attention. Solar energy is widely used in form of thermal energy because the equipment can easily build, the cost is low when compared to solar energy used in other form of energy.

Hot water production by using heat pump is an application of solar energy for industry, which helps reduce the consumption of electricity, oil, and natural gas. This research aims to design and simulate a solar vapor-compression heat pump system with HYSYS package for the most efficient way of solar energy use. First, three solar flat-plate collectors were constructed. Thermocouples and flow sensor were installed and the signal wires were connected with to the data acquisition board. Data was collected in the interval of 15 minutes since 8 AM.-4 PM. (April-December 1998). The outlet temperature of hot water was about 40-60 °C and the flow rate of 50-100 l/hr. All data were sent to interface software for processing and displaying the result in graphical mode on the on-line monitoring system. The efficiency of solar collectors are 7-15%. Secondly, use the data from solar collectors to determine the suitable working fluid by simulating condition with HYSYS. The result showed that R22 is the suitable working fluid since it gave the highest COP, which is 5.03. Finally, use all the information above to determine the suitable system that has optimal entropy generation. The simulation found that the heat pump compressor had to operate at 1.4 Pmin in order to be viable economically. The COP of the system was 4.77.

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค.....

สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค.....

ปีการศึกษา.....2541.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ.ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ และสนับสนุนอุปกรณ์ที่จำเป็นในการค้นคว้าวิจัยมาด้วยดีตลอด และเนื่องจากทุนการวิจัยนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัยและกองทุน ศ.ดร.ประสม สถาปัตตานนท์ จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยและกองทุน ศ.ดร.ประสม สถาปัตตานนท์ มา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ ผศ.ดร.เลอสรวง เมฆสุด ผศ.ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ และอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ชี้แนะให้คำปรึกษาให้ งานวิจัยนี้เสนอเป็นผลงานได้อย่างดี

ขอขอบพระคุณ อ.อรณพ ศรีวรรณวิทย์ ที่ช่วยติดต่อจัดซื้อเครื่องวัดอัตราการไหลและให้ คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณคุณกวิน หมอยา และสถาบัน AIT (Asian Institute of Technology) ที่อำนวยความสะดวกในการติดต่อขอข้อมูลปริมาณรังสีแสงอาทิตย์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ การเบิกจ่ายเครื่องมือ ขอขอบคุณ คุณสังข์ ชมชื่น ที่ช่วยเหลือสร้างอุปกรณ์ การทดลอง ในการทำวิจัยครั้งนี้จนสามารถดำเนินการวิจัยได้ดีมาโดยตลอด

ขอบคุณเพื่อน ๆ และพี่น้องชาวเคมีเทคนิค รวมทั้งผู้อยู่เบื้องหลังทุกคนที่เป็นกำลังใจและ ให้ความช่วยเหลือที่ดีเสมอมา

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และคุณพ่อประทุม-คุณแม่จินตนา ซึ่งสนับสนุนในด้านการทำวิจัยและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ท

บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.2 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
2. ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์.....	4
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์.....	4
2.1.1 ดวงอาทิตย์.....	4
2.1.2 ทิศทางของการแผ่รังสีตรง.....	6
2.1.3 อัตราส่วนของรังสีตรงบนระนาบเอียงต่อระนาบระดับ.....	8
2.1.4 รังสีแสงอาทิตย์บนระนาบเอียง.....	9
2.2 แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่น.....	12
2.2.1 ส่วนประกอบ.....	13
2.2.2 คุณสมบัติของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่น.....	14
2.2.3 ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์.....	19
2.3 ของไหลทำงาน.....	20
2.3.1 สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของของไหลทำงาน.....	23
2.3.2 สมบัติทางเคมีของของไหลทำงานจำพวกฟลูอิด.....	24
2.4 ป้อนความร้อน.....	25
2.4.1 ประสิทธิภาพของป้อนความร้อน.....	23
2.4.2 วัฏจักรการอัด-ไอ.....	24
2.5 งานวิจัยในอดีต.....	29

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3. เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	32
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.2 การดำเนินการวิจัย.....	36
3.3 การติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์.....	37
4. องค์ประกอบของระบบรวบรวมข้อมูล.....	38
4.1 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบรวบรวมข้อมูล.....	38
- การเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ต่อสัญญาณเข้ากับแผงรับข้อมูล.....	38
4.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในระบบรวบรวมข้อมูล - โปรแกรม LabVIEW	39
4.2.1 Front panel.....	40
4.2.2 Block diagram.....	40
4.2.3 Palettes.....	40
4.3 ขั้นตอนการพัฒนาาระบบรวบรวมข้อมูล.....	41
4.3.1 การสร้างกราฟความสัมพันธ์.....	41
4.3.2 การเชื่อมโยงสัญญาณ.....	41
4.3.3 การพัฒนาซอฟต์แวร์.....	42
5. ผลการทดลอง การวิเคราะห์และวิจารณ์.....	50
5.1 ผลการทดลองการเก็บข้อมูลจากแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ชุด.....	50
5.2 ผลการทดลองการเก็บข้อมูลจากแผงรับแสงอาทิตย์ 3 ชุด.....	50
5.3 ผลการจำลองของปั๊มความร้อนโดยใช้โปรแกรม HYSYS ใช้ข้อมูลจากแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ชุด ในการเลือกของไหลทำงานที่เหมาะสม..	52
5.4 ผลการจำลองของปั๊มความร้อนโดยใช้โปรแกรม HYSYS เพื่อจัดการโครงสร้างการใช้น้ำร้อน.....	54
5.5 การเพิ่มเอนโทรปีของระบบปั๊มความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.....	58
5.5.1 ระบบแผงรับแสงอาทิตย์-วงของน้ำ.....	59
5.5.2 ระบบปั๊มความร้อน-วงของของไหลทำงาน.....	60
5.5.3 ระบบปั๊มความร้อน-วงของน้ำร้อนที่ได้.....	61
5.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อน โดยใช้โปรแกรม HYSYS.....	64
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	67

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
6.1	67
6.2	67
6.3	67
6.4	68
6.5	68
6.6	68
6.7	69
รายการอ้างอิง.....	70
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก.....	73
ภาคผนวก ข.....	75
ภาคผนวก ค.....	78
ภาคผนวก ง.....	80
ภาคผนวก จ.....	87
ภาคผนวก ฉ.....	92
ภาคผนวก ช.....	97
ภาคผนวก ซ.....	101
ภาคผนวก ฌ.....	104
ภาคผนวก ฎ.....	115
ประวัติผู้วิจัย.....	124

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของของไหลทำงานโคโลฟลูออโรคาร์บอน สารผสมของ CFCs และของไหลทำงานชนิดอื่น ๆ.....	21
2.2 สมบัติของของไหลทำงานโคโลฟลูออโรคาร์บอนที่มีค่า ODF และ GWP ต่ำ.....	22
2.3 เปรียบเทียบสมบัติของไหลทำงานแต่ละชนิด สำหรับการทำงานในวัฏจักร non-ideal reverse Rankine cycle ช่วงอุณหภูมิ 273-343 เคลวิน.....	23
4.1 ช่องต่าง ๆ ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและอัตราการไหล.....	42
5.1 ข้อมูลพื้นฐานเฉลี่ยทุกชั่วโมงของแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ชุด.....	50
5.2 ผลการทดลองจะทำการหาค่าเฉลี่ยรายเดือนทุก 15 นาที ระหว่าง 8.00-16.00 น. ของเดือนเมษายนถึงเดือนธันวาคม 2541 อัตราการไหลของน้ำ 100ลิตรต่อชั่วโมง.....	51
5.3 ผลของการจำลองของปั๊มความร้อนโดยใช้โปรแกรม HYSYS ใช้ข้อมูลจากแผงรับแสงอาทิตย์ 1 ชุด เปรียบเทียบผลของไหลทำงาน 4 ชนิด....	53
5.4 ผลของการจำลองของปั๊มความร้อนเปรียบเทียบโครงสร้างที่ 1 ถึงโครงสร้างที่ 3 โดยใช้โปรแกรม HYSYS เพื่อจัดการโครงสร้างการใช้น้ำร้อน.....	57
5.5 การหาภาวะที่เหมาะสมของระบบปั๊มความร้อนที่ทำการผลิตน้ำร้อน 70 องศาเซลเซียส ถ้าใช้งานอย่างน้อยเป็นเวลา 10 ปี.....	65
5.6 ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ กับจำนวนปีที่ใช้ระบบปั๊มความร้อน ถ้าจะให้คุ้มทุนต้องใช้งานอย่างน้อยเป็นเวลา 14.5 ปี.....	66
ก.1 ค่าความจุความร้อนของน้ำ สถานะเป็นของเหลว.....	73
ก.2 ความหนาแน่นของน้ำสถานะเป็นของเหลว.....	73
ก.3 สมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของ R22.....	74
ก.4 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในสมการที่ ก.3.....	74
ข.1 ราคาเครื่องระเหยและเครื่องควบแน่นแบบเซลล์และท่อ.....	75
ข.2 ราคาเครื่องอัด.....	76
ข.3 ราคาวาล์วขยายตัว (globe valve) วาล์วที่ใช้เป็นเหล็กกล้าคาร์บอน เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 นิ้ว.....	77
ค.1 การเทียบมาตรฐานอัตราการไหลจริงเทียบกับอัตราการไหลจากมาตรอัตราการไหลแบบลูกลอยและเทียบกับอัตราการไหลจากเครื่องรับรู้อัตราการไหล.....	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.1 วันที่ทำการทดลอง 24 มีนาคม 2540.....	80
ง.2 วันที่ทำการทดลอง 25 มีนาคม 2540.....	80
ง.3 วันที่ทำการทดลอง 26 มีนาคม 2540.....	81
ง.4 วันที่ทำการทดลอง 28 มีนาคม 2540.....	81
ง.5 วันที่ทำการทดลอง 2 พฤษภาคม 2540.....	82
ง.6 วันที่ทำการทดลอง 6 พฤษภาคม 2540.....	82
ง.7 วันที่ทำการทดลอง 7 พฤษภาคม 2540.....	83
ง.8 วันที่ทำการทดลอง 8 พฤษภาคม 2540.....	83
ง.9 วันที่ทำการทดลอง 9 พฤษภาคม 2540.....	84
ง.10 วันที่ทำการทดลอง 12 พฤษภาคม 2540.....	84
ง.11 วันที่ทำการทดลอง 13 พฤษภาคม 2540.....	85
ง.12 วันที่ทำการทดลอง 14 พฤษภาคม 2540.....	85
ง.13 วันที่ทำการทดลอง 15 พฤษภาคม 2540.....	86
ง.14 วันที่ทำการทดลอง 16 พฤษภาคม 2540.....	86
จ.1 ข้อมูลของปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ วันที่ 13 เมษายน 2541.....	87
จ.2 ข้อมูลของปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ วันที่ 15 เมษายน 2541.....	88
จ.3 ข้อมูลของปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ วันที่ 16 เมษายน 2541.....	89
จ.4 ข้อมูลของปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ วันที่ 17 เมษายน 2541.....	90
จ.5 ข้อมูลของปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ วันที่ 23 เมษายน 2541.....	91
ฉ.1 ข้อมูลวันที่ 13 เมษายน 2541 อัตราการไหล 100 ลิตรต่อชั่วโมง.....	92
ฉ.2 ข้อมูลวันที่ 15 เมษายน 2541 อัตราการไหล 100 ลิตรต่อชั่วโมง.....	93
ฉ.3 ข้อมูลวันที่ 16 เมษายน 2541 อัตราการไหล 100 ลิตรต่อชั่วโมง.....	94
ฉ.4 ข้อมูลวันที่ 17 เมษายน 2541 อัตราการไหล 100 ลิตรต่อชั่วโมง.....	95
ฉ.5 ข้อมูลวันที่ 23 เมษายน 2541 อัตราการไหล 100 ลิตรต่อชั่วโมง.....	96
ช.1 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS วันที่ 12-16 พฤษภาคม 2540 อัตราการไหล 30 ลิตรต่อชั่วโมง ของไหลทำงาน R22.....	97

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ช.2 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS วันที่ 12-16 พฤษภาคม 2540 อัตราการไหล 30 ลิตรต่อชั่วโมง ของไหลทำงาน R11.....	98
ช.3 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS วันที่ 12-16 พฤษภาคม 2540 อัตราการไหล 30 ลิตรต่อชั่วโมง ของไหลทำงาน R12.....	99
ช.4 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS วันที่ 12-16 พฤษภาคม 2540 อัตราการไหล 30 ลิตรต่อชั่วโมง ของไหลทำงาน R134a.....	100
ช.1 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS โครงสร้างที่ 1.....	101
ช.2 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS โครงสร้างที่ 2.....	102
ช.3 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS โครงสร้างที่ 3.....	103
ญ.1 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS P = Pmin.....	115
ญ.2 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS P = 1.1 Pmin.....	116
ญ.3 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS P = 1.2 Pmin.....	117
ญ.4 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS P = 1.3 Pmin.....	118
ญ.5 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS P = 1.4 Pmin.....	119
ญ.6 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS P = 1.5 Pmin.....	120
ญ.7 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS P = 1.6 Pmin.....	121

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ญ.8 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS P = 1.8 Pmin.....	122
ญ.9 ข้อมูลที่ได้จากการจำลองของปั๊มความร้อนด้วยโปรแกรม HYSYS P = 2.0 Pmin.....	123

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของดวงอาทิตย์.....	4
2.2 ความสัมพันธ์ของขนาดและระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์.....	5
2.3 รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลกแบบต่าง ๆ.....	5
2.4 ตำแหน่งที่ตั้งของเส้นละติจูดและมุมของเวลา.....	6
2.5 มุมต่าง ๆ เมื่อระนาบเอียงทำมุมกับระนาบระดับ.....	7
2.6 รังสีแสงอาทิตย์แบบรังสีตรงบนระนาบระดับและระนาบเอียง.....	8
2.7 แผนภาพรังสีตรงและรังสีกระจาย 3 แบบที่เกิดภายในโดมท้องฟ้า.....	9
2.8 การแผ่รังสีตรง รังสีกระจาย และรังสีสะท้อนจากพื้นดินบนระนาบเอียง.....	11
2.9 ส่วนต่าง ๆ ของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับแสงอาทิตย์.....	12
2.10 ขอบเขตในการพิจารณาหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์.....	14
2.11 มุมตกกระทบและมุมหักเหในตัวกลาง ที่มีค่าดัชนีหักเห n_1 และ n_2	14
2.12 การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์โดยแผ่นดูดกลืน.....	17
2.13 แบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์ของปั๊มความร้อนและเครื่องจักรความร้อน.....	25
2.14 วัฏจักรการอัด-ไอแบบอุดมคติ.....	27
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและตำแหน่งในการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ในการทดลอง.....	32
3.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่น 1 ชุด.....	33
3.3 แผงรับแสงอาทิตย์ 1 ชุด และตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิ.....	34
3.4 แผงรับแสงอาทิตย์ต่อแบบอนุกรม 3 ชุด.....	34
3.5 การติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบแผงรับแสงอาทิตย์.....	35
3.6 แผงรับสัญญาณจากอุปกรณ์ภายนอกและแผงเก็บข้อมูล Lab-PC-1200.....	35
3.7 เครื่องวัดอัตราการไหล รุ่น E-32703-56 และเทอร์มอคัปเปิลสายเงินชนิด K.	35
4.1 แผนภาพ palettes ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ tools palette, controls palette และ function palette ตามลำดับ.....	41
4.2 แผนภาพ front panel จากโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ของอุณหภูมิของระบบแผงรับแสงอาทิตย์.....	43
4.3 แผนภาพ front panel จากโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ของอัตราการไหลของน้ำ.....	43
4.4 แผนภาพ block diagram จากโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ของอุณหภูมิ.....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 แผนภาพ block diagram จากโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลของอัตราการไหลของน้ำ.....	44
4.6 แผนภาพ block diagram ส่วนที่ 1 การกำหนดช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล.....	45
4.7 แผนภาพ block diagram ส่วนที่ 2 การอ่านและลงบันทึกข้อมูล.....	46
4.8 แผนภาพ block diagram ส่วนที่ 3 กำหนดให้แสดงชื่อข้อมูลต่าง ๆ จากกราฟ....	47
4.9 แผนภาพ block diagram ส่วนที่ 4 การบันทึกข้อมูลลงเพิ่มข้อมูล.....	47
4.10 แผนภาพ front panel จากโปรแกรม LabVIEW หลังจากดำเนินการในการรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิของระบบแผงรับแสงอาทิตย์.....	48
4.11 แผนภาพ block diagram จากโปรแกรม LabVIEW หลังจากดำเนินการในการรวบรวมข้อมูลอัตราการไหลของน้ำของระบบแผงรับแสงอาทิตย์.....	48
4.12 ผังการไหลและการประมวลสัญญาณ.....	49
5.1 ข้อมูลอุณหภูมิพื้นฐานเฉลี่ยทุก 15 นาที ตั้งแต่เวลา 8.00-16.00 น. ของเดือนเมษายน 2541 อัตราการไหลของน้ำ 100 ลิตรต่อชั่วโมง.....	51
5.2 ระบบปั๊มความร้อนแบบการอัด-ไอ.....	52
5.3 ระบบปั๊มความร้อนแบบการอัด-ไอ โครงสร้างที่ 1.....	54
5.4 ระบบปั๊มความร้อนแบบการอัด-ไอ โครงสร้างที่ 2.....	55
5.5 ระบบปั๊มความร้อนแบบการอัด-ไอ โครงสร้างที่ 3.....	56
5.6 อุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบปั๊มความร้อนแบบการอัด-ไอ โครงสร้างที่ 1.....	58
5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายรวมกับความดันของไหลทำงานขาออกจากเครื่องอัด.....	64
5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายกับจำนวนปีที่ใช้ปั๊มความร้อน.....	66
ข.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (A) กับราคาเครื่องระเหยและเครื่องควบแน่นแบบเซลล์และท่อ (C).....	76
ข.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงาน (W) กับราคาเครื่องอัด (C).....	77
ค.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจากมาตรอัตราการไหลแบบลูกลอย (x) กับอัตราการไหลจริง (y).....	79
ค.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจากเครื่องรับรู้อัตราการไหล (x) กับอัตราการไหลจริง (y).....	79