

การศึกษาตีพิมพ์ในการทำนําร้อน
โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และ สารเก็บความร้อนแบบเปลี่ยนสถานะ



นายชายชาญ นาวิกนิเวท

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-567-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A STUDY OF HEAT PUMP IN HOT WATER MAKING
BY USING SOLAR ENERGY AND PHASE-CHANGE THERMAL STORAGE**

Mr. Chaichan Navignevate

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

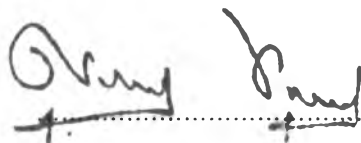
Chulalongkorn University

1998

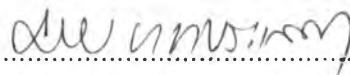
ISBN 974-331-567-5


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาสัปดาห์ในการทำนําร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และสารเก็บความร้อนแบบเปลี่ยนสถานะ
โดย นายชายชาญ นาวิกนิเวท
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน

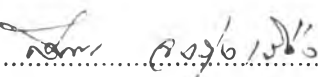
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

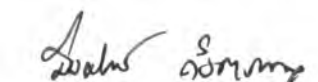

..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุตินวงษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มานิง ทองประเสริฐ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมศรี จงรุ่งเรือง)


..... กรรมการ
(อาจารย์มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ชายชาญ นวकिनเวท : การศึกษาฮีตปั๊มในการทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และสารเก็บความร้อนแบบเปลี่ยนสถานะ (A STUDY OF HEAT PUMP IN HOT WATER MAKING BY USING SOLAR ENERGY AND PHASE-CHANGE THERMAL STORAGE) อ. ที่ปรึกษา ผศ. ฤชการ จิรกาลวาน, 134 หน้า. ISBN 974-331-567-5

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาฮีตปั๊มในการทำน้ำร้อน โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และสารเก็บความร้อนแบบเปลี่ยนวัฏภาคโดยวิธีการจำลองการทำงานในสภาวะเงื่อนไขสม่ำเสมอ และการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ซึ่งประกอบไปด้วย คอมเพรสเซอร์ เครื่องควบแน่น เครื่องระเหย ถึงสะสมความร้อน (บรรจุกรดพาล์มมิติกในท่อเหล็ก และท่อถูกบรรจุในถังอีกทีหนึ่ง) ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ ลินการขยาย ทั้งนี้ระบบดังกล่าวจะนำตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบต่ออนุกรมกับถังสะสมความร้อน และต่ออนุกรมฮีตปั๊มอีกทีหนึ่ง โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ระบบ คือ ระบบที่ไม่มีการสะสมความร้อน และระบบที่มีการสะสมความร้อน ในการศึกษาวิจัยได้ออกแบบและสร้างชุดทดลอง โดยใช้ชุดทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าแทนตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ โดยพิจารณาขนาดของอุปกรณ์ทั้งหมดต่อ 0.5 ตารางเมตร ของตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ

การศึกษาฮีตปั๊มแบบไม่มีการสะสมความร้อนในสภาวะเงื่อนไขสม่ำเสมอ จะกำหนดอัตราการไหลโดยมวลของน้ำที่ไหลผ่านเครื่องระเหยครั้งที่ 25.2 ลิตรต่อชั่วโมง และกำหนดความเร็วรอบคอมเพรสเซอร์ครั้งที่ อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าเครื่องระเหยจะถูกปรับที่ระดับ ทั้งหมด 8 ระดับ โดยให้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 30-65 องศาเซลเซียส ผลการทดลองสรุปได้ว่าสามารถทำน้ำร้อนที่เครื่องควบแน่นมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 70.4-84.1 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลโดยมวลครั้งที่ 18 ลิตรต่อชั่วโมง และพบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊มจะมีค่าอยู่ในช่วง 3.6-4.8 และจากผลการจำลองการทำงานในสภาวะเงื่อนไขสม่ำเสมอ พบว่าน้ำร้อนที่เครื่องควบแน่นมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 72.47-91.17 องศาเซลเซียส ที่ระดับนัยสำคัญเชิงสถิติที่สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ 0.89 โดยเปรียบผลกับการทดลอง และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊มมีค่าอยู่ในช่วง 3.64-4.96 ที่ระดับนัยสำคัญเชิงสถิติที่สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ 0.66 โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลอง และจากผลการทดลองพบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊มไม่มีความสัมพันธ์กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าเครื่องระเหยและสารทำความเย็นที่ไหลเข้าเครื่องระเหย ที่ระดับนัยสำคัญเชิงสถิติที่สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ 0.276

สำหรับการศึกษาฮีตปั๊มแบบมีการสะสมความร้อนในสภาวะเงื่อนไขไม่สม่ำเสมอ พารามิเตอร์ต่างๆ เหมือนกับการศึกษาฮีตปั๊มแบบไม่มีการสะสมความร้อนในสภาวะเงื่อนไขสม่ำเสมอ ยกเว้นอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าถึงสะสมความร้อน จะถูกกำหนดตามเวลาที่กำหนดขึ้น โดยพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังสะสมความร้อน จากผลการทดลองสรุปได้ว่าสามารถทำน้ำร้อนที่เครื่องควบแน่นมีอุณหภูมิในช่วง 67.3-97.3 องศาเซลเซียส และพบว่าสมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊มมีค่าอยู่ในช่วง 3.4-5.7 และพบว่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊มไม่มีความสัมพันธ์กับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าเครื่องระเหยและสารทำความเย็นที่ไหลเข้าเครื่องระเหย ที่ระดับนัยสำคัญเชิงสถิติที่สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ 0.23 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาฮีตปั๊มแบบไม่มีการสะสมความร้อนในสภาวะเงื่อนไขสม่ำเสมอ และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าและไหลออกจากถังสะสมความร้อนพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน ที่ระดับนัยสำคัญเชิงสถิติที่สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ 0.29

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม

C816002 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: HEAT PUMP / PCM / THERMAL STORAGE

CHAICHAN NAVIGNEVATE: A STUDY OF HEAT PUMP IN HOT WATER MAKING BY USING SOLAR ENERGY AND PHASE-CHANGE THERMAL STORAGE. THESIS ADVISOR: ASSI. PROF. RICHAKORN CHIRAKALWASAN, M.Eng, 134 pp. ISBN 974-331-567-5.

This research was a study of heat pump in hot water making by using solar energy and phase-change thermal storage. It was an experiment and a simulation. The unsteady state condition wasn't simulated. The pilot plant comprised of a compressor, a condenser, an evaporator, a thermal storage tank, a palmitic acid was filled in steel tube and packed in this tank, flat-plate solar collector and thermostatic expansion valve. It was a solar-assisted series heat pump system with thermal storage. The study was divided into 2 system, heat pump with thermal storage and non-thermal storage system. An electric hot water was used instead of a flat-plate solar collector. Heater and all components capacity were selected and designed to suite the equivalent of 0.5 square meter area of flat-plate solar collector.

In the experimental of non-thermal storage heat pump, steady sate condition, 25.2 liters per hour of water flow through the evaporator and a speed of compressor were kept constant. The evaporator inlet water temperature was varied step by step from 30 to 65 Celsius. It was an eight number. The experimental result was a hot water leaving the condenser at the temperature varied from 70.4 to 84.1 Celsius at a constant rate of 18 liters per hour. The heat pump coefficient of performance was found to be between 3.6 and 4.8. The simulation result of coefficient of performance was between 3.64 and 4.96 with a coefficient of determination of 0.66, compared with experimental result. The simulation on hot water temperature leaving condenser was found to be between 72.47 and 91.17 Celsius with a coefficient of determination of 0.89, compared with experimental result. As the experimental result, the coefficient of performance unrelated with a different of evaporator inlet temperature. It had a coefficient of determination of 0.276.

An experiment of thermal storage heat pump, unsteady condition, had the value of parameter like the non-thermal storage heat pump but the thermal storage tank inlet water temperature was varied to definable time. It was considered by average of water temperature in thermal storage tank. The experimental result was a hot water leaving the condenser at the temperature varied from 67.3 to 97.3 Celsius and a coefficient of performance of 3.4 to 5.7. As the experimental result, the coefficient of performance unrelated with a different of evaporator inlet temperature. It had a coefficient of determination of 0.23. It was in accordant with the non-thermal storage heat pump. In addition, a thermal storage tank outlet water temperature unrelated with a thermal storage tank inlet water temperature following 0.29 of coefficient of determination.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา.....2541

ลายมือชื่อนิติต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ เป็นอย่างสูง ที่ช่วยให้คำปรึกษาและคำแนะนำด้วยดีมาตลอด ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. กิตติ อินทรานนท์ เป็นอย่างสูง ที่ช่วยให้คำปรึกษาและแนะนำในการเริ่มต้นทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้สละเวลารวมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ขอขอบคุณคุณแสง บุตรสงฆ์ ผู้อำนวยการฝ่ายโรงงาน บริษัท ปูนซีเมนต์เอเชีย จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณคุณจักรพันธ์ ศรีนิล ผู้ช่วยหัวหน้าส่วนซ่อมบำรุงเครื่องจักร บริษัท ปูนซีเมนต์เอเชีย จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ท่อโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ขอขอบคุณ คุณตรีฉัตร จำปาวัลย์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการตรวจทานวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณ คุณสมพงษ์ ชูสุข คุณไพบุลย์ สิงห์ประสาทร คุณประสูตร คงวัฒนา คุณสุระ พรหมเจริญ คุณภูษงค์ บุญยโรจน์ คุณรัชดา บุญเพ็ง พนักงาน บริษัท ปูนซีเมนต์เอเชีย จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัย

ท้ายที่สุดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ผู้มีพระคุณทุกท่านและครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือในทุกด้านแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

ชายชาญ นาวิกนิเวท

มี.ศ. 2542

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่	
1. บทนำ	1
ความนำ	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา	6
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	7
ขอบเขตของการวิจัย	7
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	9
พลังงานแสงอาทิตย์	9
ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ	24
สารเปลี่ยนวิภาค	32
ฮีตปั๊มแบบอัดไอ	43
การทำความร้อนด้วยฮีตปั๊ม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และสารเก็บความร้อนแบบ เปลี่ยนวิภาค	55
3. วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย	66
สถานะแวดล้อมและเงื่อนไขในงานวิจัย	66
เครื่องมือที่ใช้วิจัย	66
วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย	68
วิธีดำเนินการศึกษาวิจัยในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	69
การจำลองการทำงานของระบบ	72
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์	74
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ตอนที่ 1	74
ผลการจำลองการทำงานผลการทดลองตอนที่ 1	83
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ตอนที่ 2	85

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ตอนที่ 3	90
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	95
สรุปผลการวิจัย	95
ข้อเสนอแนะ	97
รายการอ้างอิง	98
ภาคผนวก ก	103
ภาคผนวก ข	115
ภาคผนวก ค	119
ภาคผนวก ง	123
ภาคผนวก จ	128
ประวัติผู้เขียน	134

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าคงที่แปรผันกับความแฉ่มใส สำหรับห้องฟ้าแอนไอโซทรอปิก	23
2.2 ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพและราคาของพาราฟินบางชนิด	36
2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของขี้ผึ้งพาราฟินบางประเภท	37
2.4 ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพและราคาของกรดไขมันบางชนิด	37
2.5 แสดงคุณสมบัติของกรดพาล์มติก	38
2.6 ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพและราคาของเกลือไฮเดรตบางชนิด	39
2.7 แสดงความถี่การร่อนกับโลหะของสารเปลี่ยนวัฏภาคชนิดต่างๆ	42
2.8 คุณสมบัติของสารทำความเย็นบางประเภท	51
2.9 สมบัติเปรียบเทียบของสารทำความเย็นทดแทนบางประเภท	54
2.10 สมบัติเปรียบเทียบของสารทำความเย็น Suva MP39 และ Suva MP66	54
4.1 ผลการทดลองในตอนต้นที่ 1	74
4.2 ผลการจำลองการทำงานเปรียบกับการทดลองของ T_2, T_4, T_6, T_7	83
4.3 ผลการจำลองการทำงานเปรียบกับการทดลองของ $T_9, WC, \dot{Q}_c, COP_h$	84
4.4 ผลการจำลองการทำงานเปรียบกับการทดลองของ P_4, P_5, P_6, P_7	84
4.5 ผลการทดลองในตอนต้นที่ 2	86
4.6 ผลการทดลองในตอนต้นที่ 3	91
ค. 1 คุณสมบัติเชิงอุณหพลศาสตร์ของฟร็อน-12 อิมัตว	120
ค. 2 คุณสมบัติเชิงอุณหพลศาสตร์ของฟร็อน-12 ไอร็อนยั้งขวด	121

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงแหล่งกำเนิดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	1
2.1 กราฟแสดงการแผ่รังสีเหนือบรรยากาศโลกในเดือนต่าง ๆ ในรอบปี	10
2.2 สเปกตรัมของการแผ่รังสีเหนือบรรยากาศโลก.....	10
2.3 สมการเวลาในหน่วยนาฬิกาที่แปรผันกับเวลาในช่วงปี.....	11
2.4 แสดงตำแหน่งของโลกด้วยเส้นลองจิจูดและเส้นละติจูด.....	11
2.5 แสดงเวลามาตรฐานท้องถิ่น อ้างอิงจาก เส้นเมริเดียนที่ผ่านตำบลกรีนิช (Greenwich) ในประเทศอังกฤษ เรียกว่าเส้นเมริเดียนมาตรฐาน (standard meridian) หรือ เส้นเมริเดียนกรีนิช (meridian of Greenwich).....	12
2.6 แสดงอิทธิพลของฤดูกาล ที่มีผลต่อมุมบ่ายเบน.....	14
2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมต่าง ๆ กับระนาบเอียง.....	14
2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม β θ ϕ และ $(\phi - \beta)$ กับเส้นศูนย์สูตร.....	15
2.9 การแผ่รังสีจากท้องฟ้าไอโซทรอปิก.....	21
2.10 การแผ่รังสีจากท้องฟ้าแอนไอโซทรอปิก.....	22
2.11 การประยุกต์ใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบในการทำน้ำร้อน.....	24
2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบการส่งผ่านรังสีรวมกับความยาวคลื่นของรังสี ใช้กระจกที่มีส่วนผสมของที่มีสัดส่วนแร่ ซิมาไทต์ ในระดับต่างๆ (กระจกหนา 6 มิลลิเมตร)	25
2.13 แสดงรายละเอียดของแผ่นดูดกลืนรังสีและท่อ และการสมดุลพลังงานจากหลักสมดุลพลังงาน.....	28
2.14 สมดุลพลังงานของของไหล	30
2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแฟกเตอร์การไหล (F'') และ $\frac{m\dot{c}_p}{A_c U_L F'}$	31
2.16 ขั้นตอนการเกิดผลึกสารเปลี่ยนวิญภาคในขณะแข็งตัว	32
2.17 แผนผังแสดงการจำแนกสารเปลี่ยนวิญภาค	34
2.18 แสดงการจำแนกค่าความร้อนแฝงต่อปริมาตรและต่อมวลของสารเปลี่ยนวิญภาคในช่วงอุณหภูมิ 0-120 องศาเซลเซียส	35
2.19 อุณหภูมิของกรดพาล์มติกแปรผันตามเวลา ในขณะที่กลายเป็นของแข็ง โดยที่มีน้ำไหลผ่านในอัตราการไหลช่วง 0-4.7 kg/min	38
2.20 แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ของฮีดฟัมป์	43
2.21 วัฏจักรคาร์โนสำหรับฮีดฟัมป์แบบอัดไอ	43
2.22 วัฏจักรฮีดฟัมป์แบบอัดไอ	44

2.23	วัฏจักรแบบออคไอที่ใช้สารทำความเย็น ARM ในแนวแกน T-s ($z=1$)	52
2.24	วัฏจักรลอเรนซ์ ที่ใช้สารทำความเย็น Near ARM	53
2.25	ชุดอุปกรณ์ทดลองในงานวิจัย	55
2.26	สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊มที่แปรผันตามเวลา และเป็นฟังก์ชันกับ จำนวนจำนวนตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบและเป็นฟังก์ชันกับปริมาณน้ำในถังสะสม ความร้อน.....	55
2.27	ผลการทดลองและการจำลองการทำงานของอุณหภูมิต่าง ๆ ตำแหน่งต่าง ๆ แปรผันตามเวลา..	56
2.28	ชุดอุปกรณ์ทดลองในงานวิจัย	57
2.29	แสดงค่าการแผ่รังสีรวมบนพื้นราบที่ผิวโลกทรายชั่วโมง (I), η_c , COP , COP _{sys} ที่แปรตามเวลาในเดือนสิงหาคม ค.ศ.1990	58
2.30	แสดงค่าการแผ่รังสีรวมบนพื้นราบที่ผิวโลกทรายชั่วโมง (I), η_c , COP , COP _{sys} ที่แปรตามเวลาในเดือนกันยายน ค.ศ.1990	59
2.31	ชุดอุปกรณ์ของระบบทั้ง 3 ระบบ (ก) แสดงระบบที่ 3, (ข) แสดงระบบที่ 2 และ (ค) แสดง ระบบที่ 1	60
2.32	(ก) แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองและการจำลองการทำงานที่แปรผันตามเวลา (ข) แสดงถึง η_c ของระบบทั้ง 3 ระบบที่แปรผันตามเวลา	61
2.33	COP _{sys} และ COP ที่แปรผันตามเวลาของระบบทั้ง 3 ระบบ	62
2.34	(ก) แสดงระบบที่รวมเครื่องควบแน่นและเครื่องระเหย และ (ข) แสดง ระบบที่รวมเฉพาะ เครื่องควบแน่น	63
2.35	แสดงผลการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊ม ระหว่างระบบรวม เครื่องควบแน่น กับระบบที่รวมเครื่องควบแน่นและเครื่องระเหย.....	63
2.36	แสดงผลการทดลองและการจำลองการทำงานของการประหยัดพลังงานของระบบรวม เครื่องควบแน่น กับระบบทำน้ำร้อนที่ใช้ไฟฟ้า	64
2.37	แสดงผลการทดลองและการจำลองการทำงานของสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของ ฮีตปั๊มของระบบรวมเครื่องควบแน่นกับระบบทำน้ำร้อนที่ใช้ไฟฟ้า	64
2.38	แสดงผลเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานระหว่าง ฮีตปั๊มที่รวมชุดเครื่องควบแน่นกับ ระบบทำน้ำร้อนที่ใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ ชนิดเทอร์โมไซฟอน (Themosyphon)	64
2.39	แสดงผลเปรียบเทียบการสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊มของระบบแบบรวม เครื่องควบแน่น ในสถานที่ Sydney (Australia), Darwin (Australia) และ Singapore ระหว่างเวลา 6 A.M. - P.M.	65
3.1	ชุดทดลองการทำงานของระบบที่ใช้ในงานวิจัย (ระบบต่อตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบกับฮีต ปั๊มเป็นแบบอนุกรม แบบมีการสะสมความร้อนแบบเปลี่ยนวัฏภาค)	67
3.2	ขั้นตอนในการจำลองการทำงานของระบบที่ใช้ในงานวิจัย	73
4.1	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (UA) _c และ ($T_2 - T_7$)	75
4.2	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_6 และ T_2	75

2.23	วัฏจักรแบบอัดไอที่ใช้สารทำความเย็น ARM ในแนวแกน T-s (z=1)	52
2.24	วัฏจักรลอเรนซ์ ที่ใช้สารทำความเย็น Near ARM	53
2.25	ชุดอุปกรณ์ทดลองในงานวิจัย	55
2.26	สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊มแปรผันตามเวลา และเป็นฟังก์ชันกับ จำนวนจำนวนตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบและเป็นฟังก์ชันกับปริมาณน้ำในถังสะสม ความร้อน.....	55
2.27	ผลการทดลองและการจำลองการทำงานของอุณหภูมิต่าง ๆ ตำแหน่งต่าง ๆ แปรผันตามเวลา..	56
2.28	ชุดอุปกรณ์ทดลองในงานวิจัย	57
2.29	แสดงค่าการแผ่รังสีรวมบนพื้นราบที่ผิวโลกรายชั่วโมง (I), η_c , COP , COP _{sys} ที่แปรตามเวลาในเดือนสิงหาคม ค.ศ.1990	58
2.30	แสดงค่าการแผ่รังสีรวมบนพื้นราบที่ผิวโลกรายชั่วโมง (I), η_c , COP , COP _{sys} ที่แปรตามเวลาในเดือนกันยายน ค.ศ.1990	59
2.31	ชุดอุปกรณ์ของระบบทั้ง 3 ระบบ (ก) แสดงระบบที่ 3, (ข) แสดงระบบที่ 2 และ (ค) แสดง ระบบที่ 1	60
2.32	(ก) แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองและการจำลองการทำงานที่แปรผันตามเวลา (ข) แสดงถึง η_c ของระบบทั้ง 3 ระบบที่แปรผันตามเวลา	61
2.33	COP _{sys} และ COP ที่แปรผันตามเวลาของระบบทั้ง 3 ระบบ	62
2.34	(ก) แสดงระบบที่รวมเครื่องควบแน่นและเครื่องระเหย และ (ข) แสดง ระบบที่รวมเฉพาะ เครื่องควบแน่น	63
2.35	แสดงผลการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊ม ระหว่างระบบรวม เครื่องควบแน่น กับระบบที่รวมเครื่องควบแน่นและเครื่องระเหย.....	63
2.36	แสดงผลการทดลองและการจำลองการทำงานของการประหยัดพลังงานของระบบรวม เครื่องควบแน่น กับระบบทำน้ำร้อนที่ใช้ไฟฟ้า	64
2.37	แสดงผลการทดลองและการจำลองการทำงานของสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของ ฮีตปั๊มของระบบรวมเครื่องควบแน่นกับระบบทำน้ำร้อนที่ใช้ไฟฟ้า	64
2.38	แสดงผลเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานระหว่าง ฮีตปั๊มที่รวมชุดเครื่องควบแน่นกับ ระบบทำน้ำร้อนที่ใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ ชนิดเทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon)	64
2.39	แสดงผลเปรียบเทียบการสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊มของระบบแบบรวม เครื่องควบแน่น ในสถานที่ Sydney (Australia), Darwin (Australia) และ Singapore ระหว่างเวลา 6 A.M. - P.M.	65
3.1	ชุดทดลองการทำงานของระบบที่ใช้ในงานวิจัย (ระบบต่อตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบกับฮีต ปั๊มเป็นแบบอนุกรม แบบมีการสะสมความร้อนแบบเปลี่ยนวิภาค)	67
3.2	ขั้นตอนในการจำลองการทำงานของระบบที่ใช้ในงานวิจัย	73
4.1	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (UA) _c และ ($T_2 - T_1$)	75
4.2	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_c และ T_2	75

4.3	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r}$ และ T_2	76
4.4	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{T_4 - T_7}{T_2 - T_7}$ และ $\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r}$	77
4.5	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{T_7}{T_2 - T_7}$ และ $\frac{(UA)_e}{\dot{m}_r}$	78
4.6	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{P_5}{P_4}$ และ $\frac{\dot{m}_r \sqrt{T_4}}{P_4}$	80
4.7	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{P_4}{P_5}$ และ $\frac{\dot{m}_r \sqrt{T_5}}{P_5}$	80
4.8	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{T_9 - T_8}{T_5 - T_8}$ และ $\frac{(UA)_e}{\dot{m}_{wc} \cdot c_{pw}}$	81
4.9	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COP_h และ T_2	82
4.10	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COP_h และ $T_2 - T_7$	82
4.11	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา	87
4.12	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COP_h และ T_2	88
4.13	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COP_h และ $T_2 - T_7$	88
4.14	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COP_h และ T_3	89
4.15	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_2 และ T_3	89
4.16	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง COP_h และ $T_3 - T_7$	90
4.17	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ T_2, T_3, T_T กับเวลา	93
4.18	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_2 และ T_3	94
ก. 1	แสดงภาพหน้าตัดของเครื่องระเหย	109
ก. 2	แสดงภาพหน้าตัดของเครื่องควบแน่น	112
จ. 1	รูปแสดงการเติมฟรีออน-12 เข้าไปในระบบของฮีตปั๊มปี	129
จ. 2	รูปแสดงการทำสุญญากาศในระบบของฮีตปั๊มปี	129
จ. 3	รูปแสดงภายในถังสะสมความร้อนขณะติดตั้ง	130
จ. 4	รูปแสดงแผงควบคุมระบบไฟฟ้า	130
จ. 5	รูปแสดงเครื่องวัดอุณหภูมิแบบต่อเนื่องหลายจุด (10จุด)	131
จ. 6	รูปแสดงเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าในขณะใช้งาน	131
จ. 7	รูปแสดงการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิแบบต่อเนื่องหลายจุด	132
จ. 8	รูปแสดงการติดตั้งคอมเพรสเซอร์ พูลส์เลย์ และมอเตอร์	132
จ. 9	รูปแสดงการใช้แหล่งน้ำในการทดลอง	133
จ. 10	รูปแสดงการติดตั้งเครื่องควบแน่น และเครื่องระเหย	133

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A_c	=	พื้นที่ของแผ่นดูดกลืนรังสี (m^2)
A_i	=	ครรชนีแอนไอโซทรอปิก
A_{oc}	=	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องควบแน่น (m^2)
A_{oe}	=	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องระเหย (m^2)
a_p, b_p	=	ค่าคงตัวของมุมรูปกรวยของรังสีรอบดวงอาทิตย์บนพื้นราบ
b	=	ความกว้างของรอยต่อแผ่นดูดกลืนรังสีกับท่อ (m)
B	=	มุม (หน่วยเป็นเรเดียน)
bore	=	ขนาดกระบอกสูบของคอมเพรสเซอร์ (m)
B_o	=	ค่าสัมประสิทธิ์แปรผันกับอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ ของเครื่องระเหย
C	=	ร้อยละช่องว่างหัวสูบของคอมเพรสเซอร์ (%)
C_b	=	การนำความร้อนระหว่างรอยต่อแผ่นดูดกลืนรังสีกับท่อ ($\frac{W}{m.K}$)
c_{li}	=	ความร้อนจำเพาะของสารเปลี่ยนวัฏภาคในวัฏภาคของเหลว ($\frac{kJ}{kg.K}$)
COP_h or COP	=	สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของฮีตปั๊ม
$COP_{h,carnot}$	=	สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของวัฏจักรคาร์โนสำหรับฮีตปั๊ม
COP_{sys}	=	สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบ
c_{pf} or c_p	=	ความร้อนจำเพาะของของไหล หรือความร้อนจำเพาะของไอสารทำความเย็นที่ปริมาตรคงที่ ($\frac{kJ}{kg.K}$)
c_{plc}	=	ความร้อนจำเพาะของสารทำความเย็นในวัฏภาคของเหลวที่อุณหภูมิ 90 °C ($\frac{kJ}{kg.K}$)
c_{ple}	=	ความร้อนจำเพาะของสารทำความเย็นในวัฏภาคของเหลวที่อุณหภูมิ 25 °C ($\frac{kJ}{kg.K}$)
c_{ppt}	=	ความร้อนจำเพาะของกรวดที่อุณหภูมิประมาณ 60 °C ($\frac{kJ}{kg.K}$)
c_{pw}	=	ความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของน้ำ ($\frac{kJ}{kg.K}$)
c_{pwc}	=	ความร้อนจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิ 55 °C ($\frac{kJ}{kg.K}$)
c_{pwe}	=	ความร้อนจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิ 48 °C ($\frac{kJ}{kg.K}$)

C_{so}	=	ความร้อนจำเพาะของสารเปลี่ยนวิภาคในวิภาคของแข็ง ($\frac{kJ}{kg.K}$)
C_o	=	ความร้อนจำเพาะของไอสารทำความเย็นที่ปริมาตรคงที่ ($\frac{kJ}{kg.K}$)
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกของท่อ (m)
d_c	=	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของพูลเลย์ (m)
D_c	=	เส้นผ่านศูนย์กลางขดท่อฮีลิคซ์ (m)
D_i	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)
D_{lc}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิกของท่อด้านนอกของเครื่องควบแน่น (m)
D_{he}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิกของท่อด้านนอกของเครื่องระเหย (m)
D_{ic}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อด้านนอกของเครื่องควบแน่น (m)
displacement rate	=	อัตราปริมาตรช่วงชักลูกสูบ ($\frac{m^3}{s}$)
d_{ic}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อด้านในของเครื่องควบแน่น (m)
d_{ie}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อด้านในของเครื่องระเหย (m)
d_{oe}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อด้านในของเครื่องระเหย (m)
D_{ie}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อด้านนอกของเครื่องระเหย (m)
d_{sts}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อทองแดงในถังสะสมความร้อน (m)
d_{oc}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อด้านในที่เครื่องควบแน่น (m)
d_{ots}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อทองแดงในถังสะสมความร้อน (m)
D_{ts}	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในถังสะสมความร้อน (m)
E	=	สมการเวลา มีหน่วยเป็นนาที
f	=	ตัวประกอบโมดัลเลตติ้ง
$f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{21}, f_{22}, f_{23}$	=	ค่าคงตัวที่แปรผันกับความเข้มใส
F_1	=	สัมประสิทธิ์ความสว่างรอบดวงอาทิตย์
F_2	=	สัมประสิทธิ์ความสว่างเส้นขอบฟ้า
F_i	=	ค่าเฟว์ลิ่งแฟคเตอร์ของสารทำความเย็น ($\frac{m^2.K}{W}$)
F_o	=	ค่าเฟว์ลิ่งแฟคเตอร์ของน้ำ ($\frac{m^2.K}{W}$)
F_R	=	แฟกเตอร์การดึงความร้อนมาใช้ของแผ่นดูดกลืนรังสี
F'	=	แฟกเตอร์ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสี
F''	=	แฟกเตอร์การไหล
G_{le}	=	ความเร็วเชิงมวลของสารทำความเย็นในวิภาคของเหลวที่อุณหภูมิ 25 °C ($\frac{kg}{m^2.s}$)
G_{on}	=	รังสีตกกระทบเหนือบรรยากาศโลก ($\frac{W}{m^2}$)

G_{sc}	=	ค่าคงตัวสุริยะ ($\frac{W}{m^2}$)
H	=	การแผ่รังสีรวมบนพื้นราบที่ผิวโลกรายวัน ($\frac{MJ}{m^2 \cdot day}$)
h_4	=	เอนทัลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ ($\frac{kJ}{kg}$)
h_5	=	เอนทัลปีของสารทำความเย็นออกจากคอมเพรสเซอร์ ($\frac{kJ}{kg}$)
h_6	=	เอนทัลปีของสารทำความเย็นออกจากคอนเดนเซอร์ ($\frac{kJ}{kg}$)
h_7	=	เอนทัลปีของสารทำความเย็นออกจากลิ้นการขยาย ($\frac{kJ}{kg}$)
H_d	=	การแผ่รังสีกระจายบนพื้นราบที่ผิวโลกรายวัน ($\frac{MJ}{m^2 \cdot day}$)
H_b	=	การแผ่รังสีตรงบนพื้นราบที่ผิวโลกรายวัน ($\frac{MJ}{m^2 \cdot day}$)
H_o	=	การแผ่รังสีเหนือบรรยากาศโลกรายวัน ($\frac{MJ}{m^2 \cdot day}$)
h_{fg}	=	ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนวัฏภาค (ของเหลว \leftrightarrow ก๊าซ) ของสารทำความเย็น (ฟรีออน-12) ที่อุณหภูมิ 25 °C ($\frac{kJ}{kg}$)
h_{fi}	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลเนื่องจากการไหลภายในท่อที่ยึดติดกับแผ่นดูดกลืนรังสี ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)
H_{ipcm}	=	ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนวัฏภาคของสารเปลี่ยนวัฏภาค (ของแข็ง \leftrightarrow ของเหลว) ($\frac{kJ}{kg}$)
H_{ipt}	=	ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนวัฏภาคของกรดพาล์มติก (ของแข็ง \leftrightarrow ของเหลว) ($\frac{kJ}{kg}$)
h_{ic}	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ของสารทำความเย็นขณะควบแน่นที่ผิวด้านในท่อตรงแนวราบ ของเครื่องควบแน่น ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)
h_{icc}	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของสารทำความเย็น (ฟรีออน-12) ขณะเดือดภายในขดท่อฮีลิคัล (Helical Coil) แนวราบของเครื่องควบแน่น ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)
h_{ie}	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของสารทำความเย็นขณะเดือดที่ผิวด้านในท่อตรงแนวราบของเครื่องระเหย ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)
h_{iec}	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของสารทำความเย็น (ฟรีออน-12) ขณะเดือดภายในขดท่อฮีลิคัลแนวราบของเครื่องระเหย ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)

h_{ieavg}	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยของสารทำความเย็น ขณะเดือดที่ผิวด้านในต่อ ตรงแนวราบของเครื่องระเหย ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)
h_L	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนผ่านฟิล์มของสารทำความเย็นที่ผิวด้านในของท่อตรง แนวราบที่เครื่องระเหย ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)
h_{oc}	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ของน้ำที่ผิวด้านนอกท่อตรงแนวราบของเครื่อง ควบแน่น ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)
h_{occ}	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำที่ผิวด้านนอกขดท่อฮีลิกซ์แนวราบของเครื่อง ควบแน่น ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)
h_{oc}	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำที่ผิวด้านนอกท่อตรงแนวราบของเครื่องระเหย ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)
h_{occ}	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำที่ผิวด้านนอกขดท่อฮีลิกซ์แนวราบของเครื่อง ระเหย ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)
h_w	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลมพัดผ่านผิวกระจกด้านบนสุด ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)
i	=	ครรชนิการอัดไอ
I	=	การแผ่รังสีรวมบนพื้นราบที่ผิว โลกรายชั่วโมง ($\frac{MJ}{m^2 \cdot hour}$)
I_b	=	การแผ่รังสีตรงบนพื้นราบที่ผิว โลกรายชั่วโมง ($\frac{MJ}{m^2 \cdot hour}$)
I_d	=	การแผ่รังสีกระจายบนพื้นราบที่ผิว โลกรายชั่วโมง ($\frac{MJ}{m^2 \cdot hour}$)
I_o	=	การแผ่รังสีเหนือบรรยากาศโลกรายชั่วโมง ($\frac{MJ}{m^2 \cdot hour}$)
I_n	=	การแผ่รังสีตรงที่ตั้งฉากกับพื้นเอียงที่ผิว โลกรายชั่วโมง ($\frac{MJ}{m^2 \cdot hour}$)
I_T	=	การแผ่รังสีรวมบนพื้นเอียงที่ผิว โลกรายชั่วโมง ($\frac{MJ}{m^2 \cdot hour}$)
I_{Tc}	=	รังสีรวมวิกฤตสำหรับตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ ($\frac{MJ}{m^2 \cdot hour}$)
k	=	ครรชนิเอโคอาเบติกหรือไอเซนโทโรปีค
k_b	=	การนำความร้อนของฉนวน ($\frac{W}{m \cdot K}$)
k_{bo}	=	การนำความร้อนโลหะของรอยต่อแผ่นดुकกลืนรังสีกับท่อ ($\frac{W}{m \cdot K}$)
k_{cu}	=	ความนำความร้อนของทองแดง ($\frac{W}{m \cdot K}$)
k_{lc}	=	ความนำความร้อนของสารทำความเย็นในวิภูภาคของเหลวที่อุณหภูมิ 90 °C ($\frac{W}{m \cdot K}$)

k_{lc}	=	ความนำความร้อนของสารทำความเย็นในวัฏภาคของเหลวที่อุณหภูมิ 25 °C ($\frac{W}{m.K}$)
k_p	=	การนำความร้อนของแผ่นดुकกลืนรังสี ($\frac{W}{m.K}$)
K_T	=	ครรชนีความแ่งมิไสรายวัน
k_T	=	ครรชนีความแ่งมิไสรายช่วโมง
k_{wc}	=	ความนำความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 55 °C ($\frac{W}{m.K}$)
k_{we}	=	ความนำความร้อนของน้ำที่อุณหภูมิ 48 °C ($\frac{W}{m.K}$)
L_b	=	ความหนาของฉนวน (m)
L_{loc}	=	เส้นลวงจิงคขของเมรีเคียนของตำแหน่งที่ต้องการหาเวลาสุริยะหรือค่าบลที่ตั้ง
$(LMTD)_c$	=	ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลือกการริซึมที่เครื่องควบแน่น (°C)
$(LMTD)_e$	=	ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลือกการริซึมที่เครื่องระเหย (°C)
l_{oc}	=	ความยาวท่อของเครื่องควบแน่น (m)
l_{oe}	=	ความยาวท่อของเครื่องระเหย (m)
L_p	=	ความยาวของแผ่นดुकกลืนรังสี
L_{st}	=	เส้นลวงจิงคขของเมรีเคียนที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่น
L_{ts}	=	ความยาวถึงสะสมความร้อน (m)
m	=	มวลอากาศ
\dot{m}	=	อัตราการไหลของของไหลคโดยมวลในท่อของแ่งรับรังสีแต่ละท่อ ($\frac{kg}{s}$)
\dot{m}_r	=	อัตราการไหลคโดยมวลของสารทำความเย็น ($\frac{kg}{s}$)
m_{pt}	=	มวลของกรคพาล์มติก (kg)
\dot{m}_{wc}	=	อัตราการไหลคโดยมวลของน้ำที่เครื่องควบแน่น ($\frac{kg}{s}$)
m_{wt}	=	มวลของน้ำในถึงสะสมความร้อน (kg)
\dot{m}_{wf}	=	อัตราการไหลคโดยมวลของน้ำที่ไหลเข้า/ออก ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ หรือ อัตราการไหลคโดยมวลของน้ำผ่านเครื่องระเหย ($\frac{kg}{s}$)
m_{wt}	=	มวลของน้ำภายในถึงสะสมความร้อน (kg)
n	=	ลำดับที่ของวันในรอบปี
N	=	ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ (RPS)
n_c	=	จำนวนแ่งรับรังสีแบบแผ่นเรียบ
N_g	=	จำนวนแผ่นกระจกไล
No. of cylinders	=	จำนวนสูบของคอมเพรสเซอร์
n_t	=	จำนวนท่อของที่วางขนานกันในแ่งรับรังสี

N_t	=	ความยาวนานของวัน
N_{ts}	=	จำนวนท่อทองแดงในถังสะสมความร้อน (ท่อน)
p	=	ครรรชนีโพลีทรอปิก
P	=	ความดันสมบูรณ์ของก๊าซ
$P.D.$	=	ปริมาตรที่ถูกสูบแทนที่ ($\frac{m^3}{s}$)
P_4	=	ความดันสมบูรณ์ของสารทำความเย็นไหลเข้าคอมเพรสเซอร์ (Pa)
P_5	=	ความดันสมบูรณ์ของสารทำความเย็นไหลออกจากคอมเพรสเซอร์ (Pa)
P_6	=	ความดันสมบูรณ์ของสารทำความเย็นไหลออกจากเครื่องควบแน่น (Pa)
P_7	=	ความดันสมบูรณ์ของสารทำความเย็นไหลออกจากลิ้นการขยาย (Pa)
P_c	=	ความดันของสารทำความเย็นที่ทางเข้าของคอมเพรสเซอร์ (Pa)
P_b	=	ความดันของสารทำความเย็นที่ทางออกของคอมเพรสเซอร์ (Pa)
Pr_{ie}	=	แฟรนค์เตลนัมเบอร์ ของสารทำความเย็นในวิฎภาคของเหลวที่อุณหภูมิ 25 °C
Pr_{wc}	=	แฟรนค์เตลนัมเบอร์ ของน้ำที่อุณหภูมิ 55 °C
Pr_{we}	=	แฟรนค์เตลนัมเบอร์ ของน้ำที่อุณหภูมิ 48 °C
q_c	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของเครื่องควบแน่น ($\frac{kW}{m^2}$)
q_e	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ของเครื่องระเหย ($\frac{kW}{m^2}$)
q'_{fin}	=	พลังงานที่เคลื่อนที่ผ่านแผ่นดูคกลืนรังสีต่อความยาวท่อ ($\frac{W}{m}$)
\dot{Q}_c	=	อัตราพลังงานความร้อนที่เครื่องควบแน่น (kW)
\dot{Q}_e	=	อัตราพลังงานความร้อนที่เครื่องระเหย (kW)
$Q_{inp, hp}$	=	พลังงานเชื้อเพลิงที่ให้กับฮีตปั๊ม
$Q_{inp, th}$	=	พลังงานเชื้อเพลิงที่ให้แก่อุปกรณ์ที่ให้พลังงานความร้อนอื่นๆ
Q_H	=	แหล่งพลังงานความร้อนสูง
Q_L	=	แหล่งพลังงานความร้อนต่ำ
Q_s	=	ความร้อนสะสมสำหรับสารเปลี่ยนวิฎภาค (kJ)
$Q_{tan k}$	=	ความร้อนสะสมในถังน้ำ (kJ)
\dot{Q}_h	=	กำลังของเครื่องทำน้ำด้วยไฟฟ้า (kW)
Q_{use}	=	พลังงานความร้อนที่ใช้ประโยชน์แก่กระบวนการ
q'_u	=	พลังงานที่เคลื่อนที่นำไปใช้ประโยชน์ต่อความยาวท่อ ($\frac{W}{m}$)
\dot{Q}_u	=	อัตราพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ โดยถ่ายเทให้กับของเหลว (kW)
${}_7Q_4$	=	การถ่ายเทความร้อนต่อมวลกระบวนการ 7 ไปยัง 4 ($\frac{kJ}{kg}$)
${}_5Q_6$	=	การถ่ายเทความร้อนต่อมวลจากกระบวนการ 5 ไปยัง 6 ($\frac{kJ}{kg}$)

R	=	ตัวประกอบเชิงเรขาคณิต เมื่อพิจารณารังสีรวม หรือค่าคงที่ของก๊าซ หรือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
R _b	=	ตัวประกอบเชิงเรขาคณิตเมื่อพิจารณารังสีตรง
R.E.	=	ความสามารถในการรับความร้อน ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$)
Re _{ic}	=	เรย์โนลด์นัมเบอร์ของสารทำความเย็นในวิภาคของเหลวที่อุณหภูมิ 90 °C
Re _{vc}	=	เรย์โนลด์นัมเบอร์ของสารทำความเย็นในวิภาคของก๊าซที่อุณหภูมิ 90 °C
Re _{wc}	=	เรย์โนลด์นัมเบอร์ของน้ำที่อุณหภูมิ 55 °C
Re _{we}	=	เรย์โนลด์นัมเบอร์ของน้ำที่อุณหภูมิ 48 °C
r _d	=	อัตราส่วนการแผ่รังสีกระจายบนพื้นราบที่ผิวโลกรายชั่วโมงต่อการแผ่รังสีกระจายบนพื้นราบที่ผิวโลกรายวัน
r _t	=	อัตราส่วนการแผ่รังสีรวมบนพื้นราบที่ผิวโลกรายชั่วโมงต่อการแผ่รังสีรวมบนพื้นราบที่ผิวโลกรายวัน
R ²	=	สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ
S	=	รังสีที่แผ่นดูดกลืนรังสีได้รับจากดวงอาทิตย์ ($\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{hour}}$)
SD	=	จำนวนชั่วโมงที่มีแดด
S.F.	=	ค่าความปลอดภัย (Safety Factor)
t	=	เวลา (s)
T	=	อุณหภูมิที่สภาวะไอร้อนยิ่งยวด (°C)
T ₁	=	อุณหภูมิของน้ำไหลเข้าตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ หรืออุณหภูมิของน้ำไหลออกจากเครื่องระเหย (K)
T ₂	=	อุณหภูมิของน้ำไหลออกจากตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ หรืออุณหภูมิของน้ำไหลเข้าเครื่องระเหย (K)
T ₃	=	อุณหภูมิของน้ำไหลจากถังสะสมความร้อน หรืออุณหภูมิของน้ำไหลเข้าเครื่องระเหย (K)
T ₄	=	อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ไหลเข้าคอมเพรสเซอร์ (K)
T ₅	=	อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ไหลเข้าออกจากคอมเพรสเซอร์ (K)
T ₇	=	อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ไหลออกจากลิ้นการขยาย (K)
T ₈	=	อุณหภูมิของน้ำไหลเข้าเครื่องควบแน่น (K)
T ₉	=	อุณหภูมิของน้ำไหลออกจากเครื่องควบแน่น (K)
T _a	=	อุณหภูมิของอากาศในบรรยากาศ (K)
T _b	=	อุณหภูมิ ณ จุดรอยต่อแผ่นดูดกลืนรังสีกับท่อ (K)
T _c	=	อุณหภูมิเครื่องควบแน่น (K)
T _e	=	อุณหภูมิเครื่องระเหย (K)
T _f	=	อุณหภูมิของของไหลในท่อของแผ่นดูดกลืนรังสี (K)

T_H	=	อุณหภูมิแหล่งพลังงานความร้อนสูง
T_L	=	อุณหภูมิแหล่งพลังงานความร้อนต่ำ
T_m	=	อุณหภูมิจุดหลอมเหลวของสารเปลี่ยนวิภาค (K)
T_{pm}	=	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดกลืนรังสี (K)
T_{sat}	=	อุณหภูมิอิ่มตัว (°C)
T_T	=	อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยในถังสะสมความร้อน (K)
$(UA)_{edge}$	=	ผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านข้างกับพื้นที่ด้านข้าง ของตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ ($\frac{W}{K}$)
U_b	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านล่าง ($\frac{W}{m^2.K}$)
U_c	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านข้าง ($\frac{W}{m^2.K}$)
U_L	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ ($\frac{W}{m^2.K}$)
U_{oc}	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมทั้งผิวด้านนอกของเครื่องควบแน่น หรือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมทั้งเครื่องควบแน่น ($\frac{W}{m^2.K}$)
U_{oe}	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมทั้งผิวด้านนอกของเครื่องระเหย หรือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมทั้งเครื่องระเหย ($\frac{W}{m^2.K}$)
U_t	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านบน ($\frac{W}{m^2.K}$)
u_{wc}	=	ความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่เครื่องควบแน่น ($\frac{m}{s}$)
u_{we}	=	ความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่เครื่องระเหย ($\frac{m}{s}$)
u_{re}	=	ความเร็วเฉลี่ยของสารทำความเย็นที่เครื่องระเหย ($\frac{m}{s}$)
V_b	=	ปริมาตรกระบอกสูบ (m^3)
V_d	=	ปริมาตรช่วงชักลูกสูบ (m^3)
V_{pt}	=	ปริมาตรของกรดพอสลิมติก (m^3)
V_{tank}	=	ปริมาตรถังน้ำ (m^3)
W	=	ระยะระหว่างท่อบนแผ่นดูดกลืนรังสี (m)
WC	=	กำลังของคอมเพรสเซอร์ (kW)
w'	=	งานจำเพาะของคอมเพรสเซอร์ ($\frac{kJ}{kg}$)
$4 w'_5$	=	งานจำเพาะของคอมเพรสเซอร์จากกระบวนการ 4 ไปยัง 5 ($\frac{kJ}{kg}$)
x	=	คุณภาพไอ (vapor fraction)
X_{tt}	=	ค่าสัมประสิทธิ์ที่แปรผันกับคุณภาพไอ

μ_{lc}	=	ความหนืดของสารทำความเย็นในวัฏภาคของเหลวที่อุณหภูมิ 90 °C ($\frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$)
μ_{le}	=	ความหนืดของสารทำความเย็นในวัฏภาคของเหลวที่อุณหภูมิ 25 °C ($\frac{\text{kg}}{\text{ms}}$)
μ_{vc}	=	ความหนืดของสารทำความเย็นในวัฏภาคก๊าซที่อุณหภูมิ 90 °C ($\frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$)
μ_{ve}	=	ความหนืดของสารทำความเย็นในวัฏภาคก๊าซที่อุณหภูมิ 25 °C ($\frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$)
μ_{wc}	=	ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ 55 °C ($\frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$)
μ_{we}	=	ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ 48 °C ($\frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$)
ρ_{lc}	=	ความหนาแน่นของสารทำความเย็นในวัฏภาคของเหลวที่อุณหภูมิ 90 °C ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
ρ_{le}	=	ความหนาแน่นของสารทำความเย็นในวัฏภาคของเหลวที่อุณหภูมิ 25 °C ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
ρ_{pt}	=	ความหนาแน่นของกรดพาล์มติกที่อุณหภูมิ 60 °C ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
ρ_{vc}	=	ความหนาแน่นของสารทำความเย็นในวัฏภาคก๊าซที่อุณหภูมิ 90 °C ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
ρ_{ve}	=	ความหนาแน่นของสารทำความเย็นในวัฏภาคก๊าซที่อุณหภูมิ 25 °C ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
ρ_w	=	ความหนาแน่นเฉลี่ยของน้ำ ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
ρ_{wc}	=	ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 55 °C ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
ρ_{we}	=	ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 48 °C ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)
η_c	=	ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ
η_{vc}	=	ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (%)
v	=	ปริมาตรจำเพาะของก๊าซ
v_4	=	ปริมาตรจำเพาะของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ ($\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$)
v_5	=	ปริมาตรจำเพาะของสารทำความเย็นออกจากคอมเพรสเซอร์ ($\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$)
v_b	=	ปริมาตรจำเพาะการขยายตัวของไอสารทำความเย็นหลังไหลผ่านลิ้นด้านดูด ($\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$)
Δ	=	ความสว่าง
ΔE	=	ค่าพลังงานเชื้อเพลิงหลักที่สามารถประหยัดได้ (%)
ΔP_{ex}	=	ความดันของสารทำความเย็นสูญเสียที่ลิ้นด้านดูด (Pa)
ΔP_{in}	=	ความดันของสารทำความเย็นสูญเสียที่ลิ้นด้านจ่าย (Pa)
ε	=	ความเข้มใส
ε_g	=	ค่าการแผ่รังสีของกระจกใส

ε_p	=	ค่าการแผ่รังสีของแผ่นดูดกลืนรังสี
σ	=	ค่าคงตัวของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ ($\frac{W}{m^2 \cdot K^4}$)
δ'	=	ความหนาของแผ่นดูดกลืนรังสี (m)
δ	=	มุมบ่่ายเบน (องศา)
θ	=	มุมตกกระทบ (องศา)
θ_z	=	มุมเซนิต (องศา)
α_s	=	มุมอัลติจูด (องศา)
ω	=	มุมชั่วโมง (องศา)
ω_1	=	มุมชั่วโมงที่เวลาเริ่มต้น (องศา)
ω_2	=	มุมชั่วโมงที่เวลาสุดท้าย (องศา)
ω_s	=	มุมชั่วโมงดวงอาทิตย์ตก (องศา)
β	=	มุมเอียงของผิวระนาบ (องศา)
ϕ	=	มุมละติจูด (องศา)
γ	=	มุมเซอร์เฟสแอซิมัท (องศา)
γ_b	=	ความหนาเฉลี่ยของรอยต่อแผ่นดูดกลืนรังสีกับท่อ (m)
γ_s	=	มุมโซลาร์แอซิมัท (องศา)
τ	=	ตัวประกอบการส่งผ่านรังสีรวม
α	=	ตัวประกอบของการดูดกลืนรังสี
$(\tau\alpha)$	=	ประสิทธิภาพของการส่งผ่านและดูดกลืนรังสีของกระจก