

การเลือกขนาดระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สำหรับโรงฆ่าสัตว์

พิสิฐ สงวนตระการกุล

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
กันยายน 2549

ISBN 974-9895-04-5

การเลือกขนาดระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สำหรับโรงฆ่าสัตว์

พิสิษฐ สงวนตระการกุล

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
กันยายน 2549
ISBN 974-9895-04-5

การเลือกขนาดระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สำหรับโรงฆ่าสัตว์

พิสิญฐ์ สงวนตระการกุล

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
อาจารย์ ดร. ชัชวาลย์ ชัยชนะ

..... กรรมการ
ศาสตราจารย์ ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

..... กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ

..... กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จาตุพจน์ วาฤทธิ

6 กันยายน 2549

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ ดร. ชัชวาลย์ ชัยชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาและประธานกรรมการคุมสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณามอบความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ความช่วยเหลือในทุกด้าน การแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดจนตรวจสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ ที่กรุณารับเป็นกรรมการตรวจโครงร่างวิทยานิพนธ์ และเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังเป็นอาจารย์สอนที่ให้คำแนะนำ ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้เขียนในหลายๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จาตุพจน์ วาฤทธิ ที่กรุณาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์จากภายนอก และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ คุณครูทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อบรมสั่งสอน แนะนำและดัดเตือนผู้เขียนจนมีวันนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพิชัญทิพย์ ผู้อยู่สุข และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ตั้งแต่ผู้เขียนได้เข้ามาศึกษาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษานี้

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ร่วมหน่วยงานวิจัยอนุรักษ์พลังงานและระบบทำความเย็น และหน่วยงานวิจัย ไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่คอยแนะนำและช่วยเหลือในด้านต่างๆ เสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสมพงษ์ สงวนตระกูล คุณแม่บุญชู สงวนตระกูล ที่ให้โอกาส สนับสนุน คอยเป็นกำลังใจ และเป็นแรงผลักดันผู้เขียนทั้งในด้านการเรียน และการดำเนินชีวิตมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้คงจะมีประโยชน์สำหรับผู้อ่านไม่มากนักน้อย หากมีส่วนหนึ่งส่วนใดบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขอภัยเป็นอย่างสูงและขอน้อมรับคำแนะนำอันเป็นประโยชน์เหล่านั้น

พิสิฐ สงวนตระกูล

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การเลือกขนาดระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สำหรับโรงฆ่าสัตว์
ผู้เขียน	นายพิสิฏฐ์ สงวนตระการกุล
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมพลังงาน)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	อาจารย์ ดร. ชัชวาลย์ ชัยชนะ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อเลือกขนาดของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับโรงฆ่าสัตว์ โดยใช้ข้อมูลการใช้ความร้อนของโรงฆ่าสัตว์ขนาดเล็ก ในเขตเทศบาลแห่งหนึ่ง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ ประกอบกับข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ ได้มีการทดสอบ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบขนาด 2 m^2 ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 ผลจากการทดสอบแสดงว่าค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และค่า $F_R U_L$ เป็น 0.802 และ $10.37 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของถังเก็บน้ำร้อนขนาด 200 ลิตร คือ 3.247 W/°C

การศึกษาทางทฤษฎีได้สร้างแบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานรังสีอาทิตย์สำหรับโรงฆ่าสัตว์ และจัดทำโปรแกรมใช้งานเพื่อออกแบบระบบที่เหมาะสมกับการใช้งาน และทำนายสมรรถนะของระบบตลอดทั้งปี ผลที่ได้พบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ต่ออนุกรม หรือขนานกัน จะให้ค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ ใกล้เคียงกันเมื่ออัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีต่อพื้นที่มีค่าเท่ากัน เมื่อเพิ่มพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จาก 2 m^2 ไปเป็น 4 m^2 จะได้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า Solar fraction สูงสุดเท่ากับ 45.98% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการเพิ่มพื้นที่จาก 4 m^2 เป็น 6 m^2 และจาก 6 m^2 เป็น 8 m^2 ที่ให้ Solar fraction เพิ่มขึ้น 18.80% และ 10.43% ตามลำดับ และขนาดของถังเก็บน้ำร้อนที่เหมาะสมคือ 250 ลิตร

นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถประเมินดัชนีทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อแสดงความคุ้มค่าของโครงการ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (Annual Cost), มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value), ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period) และอัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return) พบว่าระบบที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์พื้นที่ 6 m^2 กับถังขนาด 250 ลิตร เป็นระบบที่เหมาะสมกับโรงฆ่าสัตว์แห่งนี้ เนื่องจากให้ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี และมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ต่ำสุดคือ 84,395

บาทต่อปี และ 585,966 บาท ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลาคืนทุนกับอัตราผลตอบแทนในการลงทุน
อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ 3.55 ปี และ 26.05% ตามลำดับ สรุปแล้วในการเลือกขนาดควรเลือกใช้
ขนาดของถังเก็บน้ำร้อนที่มีปริมาตรต่ำกว่าความต้องการน้ำร้อนทั้งหมดต่อวันของโรงฆ่าสัตว์

Thesis Title	Sizing of a Solar Water Heating System for Abattoir
Author	Mr. Pisit Sanguantrakarnkul
Degree	Master of Engineering (Energy Engineering)
Thesis Advisor	Lect.Dr. Chatchawan Chaichana

ABSTRACT

This research aimed to explore the sizing method for appropriate water heating system used in abattoir. Basic data such as water consumption and temperature were collected from a small abattoir in Chiang Mai. A 2 m² flat plate collector was tested according to the procedures provided by ASHRAE Standards 93-77. The $F_R(\tau\alpha)_e$ and $F_R U_L$ of the collector are 0.802 and 10.37 W/m² respectively. A 200 liter storage tank was also tested for its overall heat transfer coefficient, which was found as 3.247 W/°C.

A computer model of water heating system for the abattoir was developed. The experimental data obtained and weather data of Chiang Mai are the main input to the model. The objectives of the model are to evaluate an appropriate system for water heating and to quantify seasonal performance of the system. From the developed model, it was found that $F_R(\tau\alpha)_e$ and $F_R U_L$ of multiple collectors with two different configurations, i.e. parallel and series, are very much the same giving equal water mass flow rate per collector area. Increasing collector area from 2 m² to 4 m² showed the most increased solar fraction of 45.98% compared to that from 4-m² to 6 m². The most appropriate storage size for this case was 250 liter.

The computer model is also capable of evaluating economic indexes, which are Annual Cost, Net Present Cost, Simple Payback Period, and Internal Rate of Return. In terms of these indexes, it can be concluded that a system composes of 250 liter storage tank and 6 m² solar collector is the most appropriate. The system showed the lowest Annual Cost, Net Present Cost, which are 84,395 Baht and 585,966 Baht respectively. The SPP is 3.55 year and the IRR is

26.05%. A general conclusion of this research is that the size of the storage tank should be slightly smaller than daily water consumption of an abattoir.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	10
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	10
1.5 ขอบเขตของการศึกษา	10
1.6 ภาพรวมเนื้อหาของวิทยานิพนธ์	10
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	12
2.1 ข้อมูลสภาพอากาศ	12
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์	19
2.3 สมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่นำมาต่ออนุกรมกันจำนวน N ตัว	22
2.4 การปรับแก้ผลของอัตราการใช้	23
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับถังเก็บน้ำร้อน	24
2.6 ความร้อนเสริมจากแก๊ส	27
2.7 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	28
บทที่ 3 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	31
3.1 โครงสร้างและข้อจำกัดของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	31
3.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	34
3.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองกับงานวิจัยที่ผ่านมา	44
บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัยและอุปกรณ์ที่ใช้	47
4.1 วิธีดำเนินการวิจัย	47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	47
4.3	เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล	50
4.4	การติดตั้งอุปกรณ์และสถานที่ทำการทดสอบ	53
4.5	การทดสอบ	53
บทที่ 5	ผลการทดลองและวิเคราะห์	55
5.1	ผลการทดลอง	56
5.2	การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	57
5.3	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบขนาดต่างๆ	59
5.4	การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	62
5.5	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละระบบ	68
5.6	การประยุกต์ใช้แบบจำลองกับระบบที่มีความต้องการใช้น้ำร้อนที่สูง	78
บทที่ 6	สรุปและข้อเสนอแนะ	90
6.1	สรุปผลการวิจัย	90
6.2	ข้อเสนอแนะ	91
บรรณานุกรม		92
ภาคผนวก		95
ภาคผนวก ก	ตัวอย่างการคำนวณ	96
ภาคผนวก ข	การหาอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อน ของระบบแต่ละเดือน	108
ภาคผนวก ค	การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty) จากการวัด ของตัวเก็บรังอาทิตย์	121
ภาคผนวก ง	การใช้งานแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	128
ภาคผนวก จ	ข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ จังหวัดเชียงใหม่ ปี 2548	135
ภาคผนวก ฉ	ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ จังหวัดเชียงใหม่ ปี 2548	152
ประวัติผู้เขียน		169

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 วันที่ที่เป็นตัวแทนของแต่ละเดือน (กำหนดวันที่ค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศของโลกมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของค่ารังสีดังกล่าวตลอดทั้งเดือน)	15
2.2 ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายวัน (H) โดยเฉลี่ยในแต่ละเดือน ที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่	15
2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_2, b_1, b_2 ของสถานีต่างๆ ในประเทศไทย	16
2.4 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด ในช่วง 30 ปี ค.ศ. 1971 – 2000 ของจังหวัดเชียงใหม่	19
3.1 ข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ	45
4.1 ลักษณะและขนาดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่นำมาทดสอบ	48
5.1 เงินลงทุนเบื้องต้นของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์	63
5.2 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์แต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)	70
5.3 เปรียบเทียบผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบที่ใช้ตัวเก็บรังสี 4 m^2 และถึงเก็บขนาด 200 liter กับระบบที่ใช้ตัวเก็บรังสี 6 m^2 และถึงเก็บขนาด 250 liter	75
5.4 การแจกแจงกระแสเงินสดสุทธิของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (โหลด 300 liter/day)	77
5.5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์แต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)	79
5.6 การแจกแจงกระแสเงินสดสุทธิของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (โหลด 1500 liter/day)	89

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 โหลดการใช้น้ำร้อนของโรงฆ่าสัตว์โดยเฉลี่ยในแต่ละวัน	1
1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการต้มน้ำในโรงฆ่าสัตว์ปัจจุบัน	3
1.3 ผลของขนาดถังเก็บน้ำร้อนที่มีต่อค่า Solar fraction ที่ความสูงและอุณหภูมิใช้งานต่างๆ	4
1.4 ผลของอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานที่มีต่อค่า Solar fraction โดยถังเก็บน้ำร้อนและตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาดต่างๆ	5
1.5 ผลของจำนวนท่อ Riser ที่มีต่อค่า Solar fraction ของเมือง AQABA และ AMMAN	6
1.6 ผลของระยะห่างระหว่างท่อ Riser ที่มีต่อค่า Solar fraction ของเมือง AQABA และ AMMAN	6
1.7 ผลของความสูงของถังเก็บน้ำร้อน ที่มีต่อค่า Solar fraction ของเมือง AQABA และ AMMAN	7
2.1 การส่งผ่านรังสีอาทิตย์มายังผิวโลก	13
2.2 มุมตกกระทบระหว่างรังสีตรงกับแกนที่ตั้งบนระนาบในแนวระดับ และแนวเอียง	17
2.3 ข้อมูลในไฟล์ TMY2	19
2.4 เส้นแสดงสมรรถนะของตัวเก็บรังสี	21
2.5 การเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์	22
2.6 ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์	25
2.7 สมดุลพลังงานที่เข้าและออกจากถังเก็บน้ำร้อน	25
3.1 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์	32
3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	33
3.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	34
3.4 หน้าต่างป้อนข้อมูลของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	35
3.5 หน้าต่างป้อนข้อมูลถังเก็บน้ำร้อน	36
3.6 หน้าต่างป้อนข้อมูลปริมาณ และอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน	37
3.7 หน้าต่างป้อนข้อมูลค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์	38
3.8 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	40
3.9 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ออกมาเป็นไฟล์ xls	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
3.10 ผลของอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานที่มีต่อค่า Solar fraction โดยถังเก็บน้ำร้อนและตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาดต่างๆ	45
3.11 ผลจากการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลงานวิจัยอื่น ในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้น	46
4.1 ลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่นำมาทดสอบ	48
4.2 รายละเอียดส่วนประกอบของตัวเก็บรังสี	48
4.3 ถังเก็บสะสมน้ำร้อนที่ใช้ในการทดสอบ	49
4.4 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์	50
4.5 จุดวัดค่าต่างๆ ในการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์	51
4.6 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล	52
4.7 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสี	52
4.8 เครื่องวัดปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์	53
5.1 ระบบการใช้น้ำร้อนของโรงฆ่าสัตว์แบบเดิม	55
5.2 ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สำหรับโรงฆ่าสัตว์	55
5.3 สมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	56
5.4 สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของถังเก็บน้ำร้อน	57
5.5 ปริมาณความร้อน และอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนที่คำนวณได้จากแบบจำลอง	58
5.6 ผลของพื้นที่ตัวเก็บรังสีที่มีต่อค่า Solar fraction โดยเฉลี่ยต่อปี	60
5.7 ผลของพื้นที่ตัวเก็บรังสีที่มีต่อปริมาณความร้อนเสริมโดยเฉลี่ยต่อปี	60
5.8 ผลของปริมาตรถังเก็บน้ำร้อนที่มีต่อค่า Solar fraction โดยเฉลี่ยต่อปี	61
5.9 ผลของถังเก็บน้ำร้อนที่มีต่อปริมาณความร้อนเสริมโดยเฉลี่ยต่อปี	62
5.10 Cash flow แสดงค่าใช้จ่ายของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์แต่ละปี	64
5.11 Cash flow แสดงการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน	67
5.12 Cash flow แสดงการวิเคราะห์ผลตอบแทนในการลงทุน	68
5.13 การประมาณราคาของถังเก็บน้ำร้อนที่ปริมาตรต่างๆ	69
5.14 เงินลงทุนเบื้องต้นของแต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)	72
5.15 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปีของแต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)	72
5.16 ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีของแต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
5.17	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของแต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)
5.18	ระยะเวลาคืนทุนของแต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)
5.19	อัตราผลตอบแทนในการลงทุนของแต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)
5.20	แสดงปริมาณความร้อนที่ให้กับภาระทั้งหมด กับปริมาณความร้อนที่ใช้เสริม และค่า Solar fraction ในแต่ละเดือน ของระบบที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 6 m ² กับถังขนาด 250 liter
5.21	แสดงค่าแก๊ส LPG ที่ใช้ในระบบเดิม กับค่าแก๊ส LPG ที่ใช้เสริม และค่า Solar fraction ในแต่ละเดือน ของระบบที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 6 m ² กับถังขนาด 250 liter
5.22	ค่า Solar fraction ของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)
5.23	ปริมาณความร้อนเสริมของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)
5.24	เงินลงทุนเบื้องต้นของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)
5.25	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)
5.26	ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)
5.27	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)
5.28	ระยะเวลาคืนทุนของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)
5.29	อัตราผลตอบแทนในการลงทุนของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
a_1	ค่าคงที่ที่สถานีต่างๆ ของประเทศไทย	-
a_2	ค่าคงที่ที่สถานีต่างๆ ของประเทศไทย	-
AC	ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดปีของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์	Baht/year
A_c	พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	m^2
$A_{c,N}$	พื้นที่รับแสงรวมของตัวเก็บรังสีที่ต่ออนุกรมกัน	m^2
A_{c1}	พื้นที่ตัวเก็บรังสีตัวเดียว	m^2
b_1	ค่าคงที่ที่สถานีต่างๆ ของประเทศไทย	-
b_2	ค่าคงที่ที่สถานีต่างๆ ของประเทศไทย	-
C_{LPG}	ราคาแก๊ส LPG ต่อหน่วยมวล	Baht/kg
C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	$MJ/kg^\circ C$
CRF	Capital recovery factor	-
E	สมการเวลา (Equation of time)	-
F'	แฟกเตอร์ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Collector efficiency factor)	-
F_R	ค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อน (Heat removal factor)	-
F_{R1}	แฟกเตอร์การนำความร้อนมาใช้ของตัวเก็บรังสีตัวเดียว	-
f_s	Solar fraction	ทศนิยม
G_{sc}	ค่าคงที่สุริยะ (Solar constant) ซึ่งมีค่าประมาณ 1353	W/m^2
H	รังสีรวมรายวันในแนวระดับ	$MJ/m^2 day$
H_d	รังสีกระจายรายวันในแนวระดับ	$MJ/m^2 day$
H_L	ค่าความร้อนของแก๊ส LPG	MJ/kg
H_o	ค่ารังสีอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลก	$MJ/m^2 day$
I	รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงในแนวระดับ	$MJ/m^2 day$
i	อัตราดอกเบี้ยต่อปี	ทศนิยม
i	อัตราผลตอบแทนในการลงทุน	ทศนิยม
I_b	รังสีตรงรายชั่วโมงในแนวระดับ	$MJ/m^2 hr$

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
I_{bT}	รังสีตรงรายชั่วโมงที่ตกกระทบตั้งฉากบนระนาบเอียง	MJ/m ² hr
I_d	รังสีกระจายรายชั่วโมงในแนวระดับ	MJ/m ² hr
IRR	อัตราผลตอบแทนภายใน	ทศนิยม
I_T	รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบตั้งฉากบนระนาบเอียง	MJ/m ² hr
L_{loc}	ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของบริเวณที่พิจารณา	degree
L_{st}	ตำแหน่งเส้นลองจิจูด (Longitude) ที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่น	degree
m_f	อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสี	kg/hr
$m_{f,test}$	อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ทดสอบตัวเก็บรังสีตัวเดียว	kg/hr
$m_{f,new}$	อัตราการไหลของน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงใหม่	kg/hr
m_L	อัตราการใช้น้ำ	kg/hr
M_{LPG}	ปริมาณแก๊ส LPG ที่ใช้เป็นความร้อนเสริมต่อปี	kg/year
M_w	มวลของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน	kg
n	วันที่ของปีหรือวันจูเลียน (Julian date)	-
N	จำนวนตัวเก็บรังสีที่มาต่ออนุกรมกัน	-
n	อายุการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์	year
NCF_n	กระแสเงินสดสุทธิของปีที่ n	Baht
NPV	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	Baht
OM	ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษารายปี	Baht/year
P_1	ราคาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	Baht
P_2	ราคาของถังเก็บน้ำร้อน	Baht
P_3	ราคาอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ชุดควบคุม ปั๊มน้ำ	Baht
P_4	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ	Baht
Q_{aux}	อัตราพลังงานความร้อนที่ใช้เสริม	MJ/hr
Q_{coll}	อัตราพลังงานความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์	MJ/hr
$Q_{coll,N}$	อัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีที่ต่ออนุกรมกัน	MJ/hr
Q_{load}	อัตราพลังงานความร้อนที่ให้กับภาระงานทั้งหมด	MJ/hr

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$\dot{Q}_{loss}$	อัตราพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากถังเก็บสะสม	MJ/hr
$\dot{Q}_{useful}$	อัตราพลังงานความร้อนที่ดึงได้จากถังเก็บสะสม	MJ/hr
S	มูลค่าซากของระบบ	Baht
S_c	คอนโทรลฟังก์ชัน พลังงานความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์	-
SFF	Sinking fund factor	-
S_L	คอนโทรลฟังก์ชัน พลังงานความร้อนที่ดึงได้จากถังเก็บสะสม	-
SPP	ระยะเวลาคืนทุน	year
$SPPWF$	Single payment present worth factor	-
t	เวลาในหน่วยของชั่วโมงที่พิจารณา	-
T_a	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	°C
$T_a(t)$	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เวลา	°C
T_{fi}	อุณหภูมิของน้ำเข้าตัวเก็บรังสี	°C
T_{fo}	อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวเก็บรังสี	°C
TIC	มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนทั้งหมด	Baht
T_L	อุณหภูมิของน้ำที่เข้าไปแทนที่ในถังเก็บสะสม	°C
T_{max}	อุณหภูมิบรรยากาศสูงสุดในวัน	°C
T_{min}	อุณหภูมิบรรยากาศต่ำสุดในวัน	°C
T_p	อุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์	°C
T_{set}	อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน	°C
T_{sf}	อุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่เวลาสุดท้าย	°C
T_{si}	อุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่เวลาเริ่มต้น	°C
U_L	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมจากผิวคูดรังสีอาทิตย์	MJ/m ² hr°C
$U_{L,N}$	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีที่ต่อเนื่องกัน	MJ/m ² hr°C
U_{L1}	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีตัวเดียว	MJ/m ² hr°C
$USPWF$	Uniform – series present worth factor	-

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

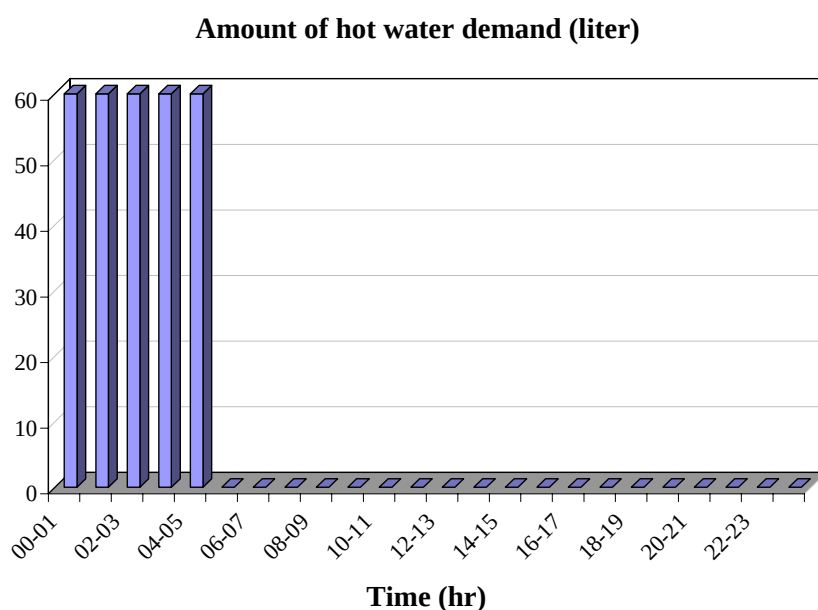
สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
V_l	ปริมาณการใช้น้ำร้อน	m^3
V_t	ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน	m^3
δ	มุมเดคลิเนชัน (Declination angle)	degree
ϕ	มุมละติจูด (Latitude angle) หรือเส้นรุ้งของตำแหน่งที่พิจารณา	degree
ω	มุมชั่วโมง (Hour angle)	degree
β	มุมที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เอียงทำมุมกับแนวระดับ	degree
θ	มุมที่รังสีตรงตกกระทบกับแกนที่ตั้งฉากบนระนาบในแนวเอียง	degree
γ	มุมอะซิมุท (Azimuth angle)	degree
$(\tau\alpha)_e$	ประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวเก็บรังสี	-
$(\tau\alpha)_{e,N}$	ประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวเก็บรังสีที่ต่ออนุกรมกัน	-
$(\tau\alpha)_{e1}$	ประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวเก็บรังสีตัวเดียว	-
η_{coll}	ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์	ทศนิยม
$\eta_{coll,N}$	ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีที่ต่ออนุกรมกัน	ทศนิยม
ρ_g	แฟกเตอร์ของรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากสิ่งแวดล้อม	-
η_o	ประสิทธิภาพรวมในการค้ำน้ำและใช้น้ำร้อน	ทศนิยม
ω_s	มุมชั่วโมงที่พระอาทิตย์ตกดิน (Sunset hour angle)	degree
Δt	ผลต่างช่วงระยะเวลา	hr
$(UA)_T$	ผลคูณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมและพื้นที่ผิวของถังเก็บ	$MJ/hr^\circ C$
θ_z	มุมที่รังสีตรงตกกระทบกับแกนที่ตั้งฉากบนระนาบในแนวระดับ	degree

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในโรงฆ่าสัตว์ทุกแห่งต้องใช้น้ำช่วยทำความสะอาด และชะล้างสิ่งต่างๆ นับตั้งแต่ใช้ในบริเวณคอกพักสัตว์ ใช้ลวกซากสุกร ใช้ล้างซากภายหลังจากการฆ่าและชำแหละ ใช้ล้างเครื่องมือ เป็นต้น แรงดันของน้ำที่ใช้ภายในโรงฆ่าสัตว์จะต้องมีอย่างน้อยประมาณ 138 kPa น้ำที่ใช้จะต้องมีทั้งน้ำร้อนและน้ำเย็น น้ำร้อนจะได้จากระบบของเครื่องทำความร้อนส่วนกลาง ทำให้อุ่นได้ไม่ต่ำกว่า 82 °C และอุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้ในการลวกซากนั้นจะประมาณ 60-63 °C (จุฑารัตน์ เศรษฐกุล, 2540) จากการสอบถามโรงฆ่าสัตว์ขนาดเล็ก ในเขตเทศบาลแห่งหนึ่งใน อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าจำเป็นต้องใช้น้ำร้อนประมาณ 30 liter ที่อุณหภูมิประมาณ 80-100 °C ในการทำความสะอาดเนื้อที่ได้จากการชำแหละสุกร 1 ตัว โดยความต้องการใช้น้ำร้อนนี้จะอยู่ในช่วงเวลาประมาณเที่ยงคืนถึงตีห้า เพื่อจะได้เนื้อสุกรที่มีความสดสำหรับการนำออกขายในตอนเช้า สำหรับในแต่ละคืนจะมีการชำแหละเนื้อสุกรประมาณ 8-10 ตัว ทำให้มีความต้องการใช้น้ำร้อนประมาณ 300 liter ต่อคืน



รูปที่ 1.1 โหลดการใช้น้ำร้อนของโรงฆ่าสัตว์โดยเฉลี่ยในแต่ละวัน
(ที่มา: จากการเก็บข้อมูลโรงฆ่าสัตว์ตัวอย่างในเขตเทศบาล อ.หางดง จ.เชียงใหม่)

ในการทำน้ำร้อนของเทศบาลแห่งนี้จะใช้กระทะขนาดใหญ่น้ำแล้วนำไปต้มบนเตาที่ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงหลัก ซึ่งประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากแก๊ส LPG ในการต้มน้ำส่วนใหญ่จะประมาณ 58-60% (LPG Physical Properties, 2549) ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียความร้อนสู่บรรยากาศทั้งจากเปลวไฟและน้ำที่กำลังต้มสูงมาก และการต้มน้ำในเวลากลางคืนยังมีข้อเสียที่เห็นได้ชัดเจนอีกข้อหนึ่งคือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิน้ำป้อนที่ต่ำ จากข้อมูลเบื้องต้นเหล่านี้สามารถประมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ประมาณ 2.1 GJ ต่อเดือน (สมมติให้อุณหภูมิน้ำป้อนคือ 25 °C) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแก๊ส LPG ที่ใช้จริงประมาณ 10-12 ถังต่อเดือน (ปริมาณบรรจุถังละ 48 kg) เมื่อประเมินปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้จริงต่อปริมาณแก๊สที่ใช้ในแต่ละเดือนสำหรับโรงฆ่าสัตว์แห่งนี้พบว่ามีประสิทธิภาพต่ำมากประมาณ 10% เท่านั้น

จะเห็นได้ว่าการต้มน้ำร้อนแบบนี้นอกจากจะต้องใช้เชื้อเพลิงปริมาณสูงแล้ว ยังส่งผลไปถึงค่าใช้จ่ายที่สูงอีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันทางเทศบาลจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อแก๊สธรรมชาตินี้ประมาณ 8,000-10,000 บาทต่อเดือน และในขณะเดียวกันก็ยังทำให้การปล่อยแก๊ส CO₂ มีปริมาณที่มากประมาณ 1.5 ตัน ต่อเดือน ซึ่งมีผลทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกขึ้น ในการแก้ปัญหาทางหนึ่งคือการใช้พลังงานทดแทนมาช่วยเสริม

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งซึ่งมีศักยภาพในการทำน้ำร้อนเป็นพลังงานสะอาด และมีอยู่โดยทั่วไป ประกอบกับจังหวัดเชียงใหม่เป็นจังหวัดที่มีภูมิอากาศปลอดโปร่งมากในช่วงฤดูร้อนจึงทำให้มีค่ารังสีอาทิตย์สูง น้ำร้อนที่ได้จึงมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเพื่อหาระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับโรงฆ่าสัตว์ เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำน้ำร้อน และช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงสิ้นเปลืองลง ซึ่งจะเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบทำน้ำร้อนให้มีสมรรถนะสูงในโรงฆ่าสัตว์ต่อไป

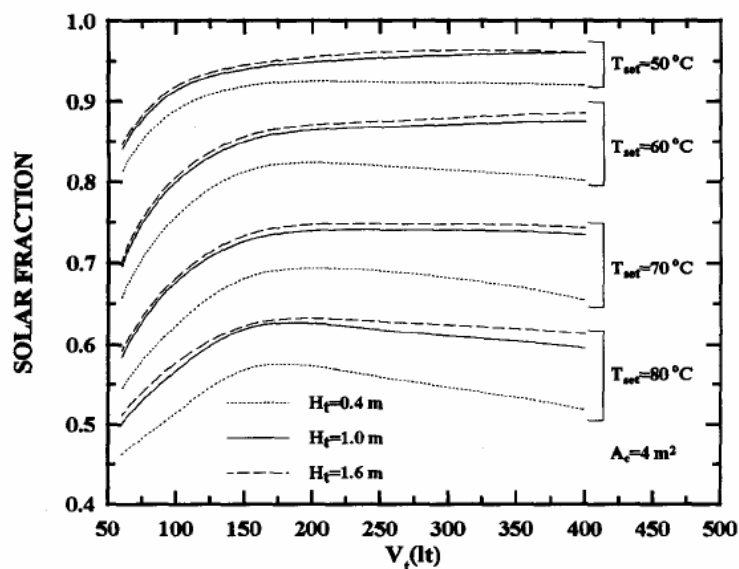


รูปที่ 1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการต้มน้ำในโรงฆ่าสัตว์ปัจจุบัน

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

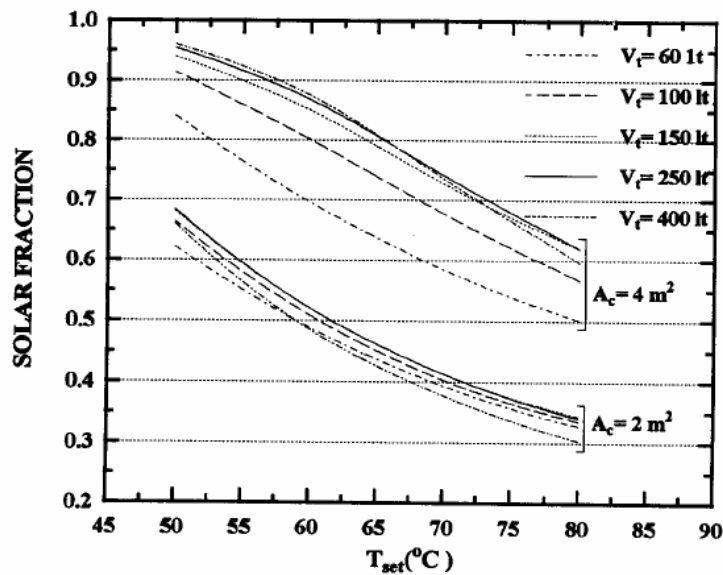
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อน และถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับของไหลที่ไหลผ่าน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์อาจจะแยกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ (Flat-plate solar collector) และตัวเก็บรังสีแบบรวมแสง (Concentrating solar collector) โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบมากกว่า เนื่องจากการผลิตที่ง่ายไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการใช้งานและการบำรุงรักษาสามารถรับรังสีตรงและรังสีกระจายได้ แต่ตัวเก็บรังสีแบบรวมแสงนั้นจะทำงานได้เฉพาะกรณีที่มีรังสีตรงเท่านั้น อุณหภูมิความร้อนที่ได้จากของตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบนั้น จะอยู่ในช่วงประมาณ 30-80 °C (Kalogirou, S.A., 2004) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างที่เกี่ยวข้องมากมายเช่น ค่ารังสีอาทิตย์ ค่าการสูญเสียความร้อนของแผงรับแสง และถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิของอากาศโดยรอบ เป็นต้น จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามี การรายงานตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบระบบทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์อย่างเช่น งานวิจัยของ Shariyah, A.M. and Löf, G.O.G. (1996) ได้ศึกษาหาจุดเหมาะสมของถังเก็บน้ำร้อนต่อ

พื้นที่รับแสงในระบบเทอร์โมไฮฟอนโดยใช้โปรแกรม TRNSYS และข้อมูลสภาวะอากาศของเมือง LOS ANGELES ซึ่งจุดที่เหมาะสมนั้นคือค่าที่ทำให้อัตราส่วนของพลังงานที่ได้จากระบบเทอร์โมไฮฟอนต่อพลังงานที่ให้กับภาระทั้งหมด (Solar fraction) มีค่าสูงสุด ขอบเขตในการศึกษาโดยกำหนดความสูงของถังเก็บน้ำร้อนไว้ที่ 0.4, 1 และ 1.6 m ขนาดของถังเก็บ 60-400 liter อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 50-80 °C และพื้นที่รับแสง 2-5 m² ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า ที่ความสูงของถังเก็บเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ระบบเทอร์โมไฮฟอนมีค่า Solar fraction ที่แตกต่าง ซึ่งความสูงที่เหมาะสมจะอยู่ประมาณ 1 m เมื่อเพิ่มความสูงมากกว่านี้จะไม่ค่อยมีผลต่อค่า Solar fraction มากนัก ดังรูปที่ 1.3 ส่วนค่า Solar fraction จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและจะคงที่เมื่อเพิ่มขนาดของถังเก็บตั้งแต่ 150-200 liter สำหรับพื้นที่รับแสง 4 m² และเมื่ออุณหภูมิใช้งานสูงค่า Solar fraction จะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อปริมาตรถังเก็บมากกว่า 200 liter และขนาดพื้นที่รับแสง 4 m² ค่า Solar fraction จะลดลงจาก 0.85-0.95 ไปเป็น 0.5-0.6 ที่อุณหภูมิใช้งานเพิ่มขึ้นจาก 50 °C ถึง 80 °C ในทำนองเดียวกันขนาดพื้นที่รับแสง 2 m² ก็จะลดลงจาก 0.65 ไปเป็น 0.35 ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.3 ผลของขนาดถังเก็บน้ำร้อนที่มีต่อค่า Solar fraction ที่ความสูงและอุณหภูมิใช้งานต่างๆ

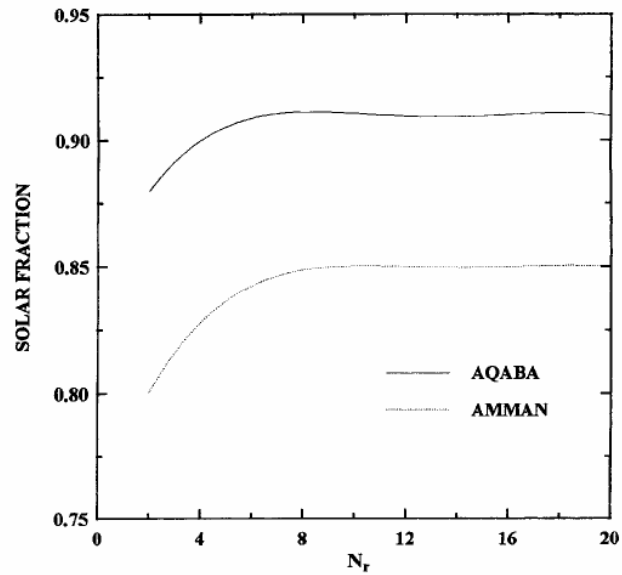
(ที่มา: Shariah, A.M. and Löf, G.O.G, 1996)



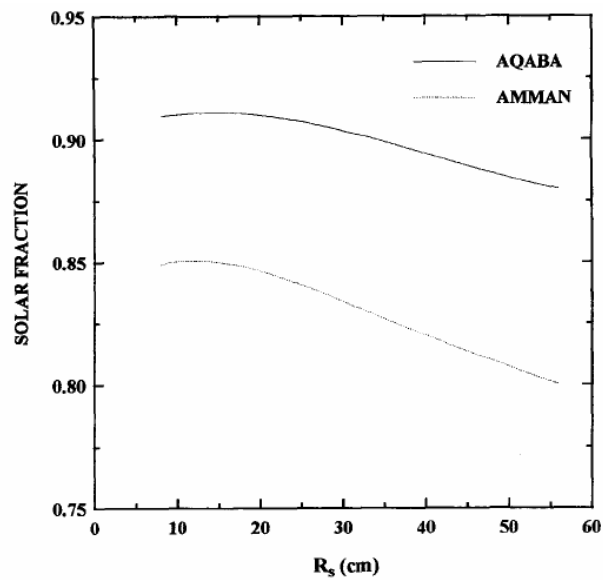
รูปที่ 1.4 ผลของอุณหภูมิใช้งานที่มีต่อค่า Solar fraction โดยถังเก็บน้ำร้อนและตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาดต่างๆ (ที่มา: Shariah, A.M. and Löff, G.O.G, 1996)

นอกจากนี้ Adnan Shariah and Bassam Shalabi. (1997) ยังได้ทำการศึกษาต่อไปอีกโดยได้ศึกษาหาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมในการออกแบบระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมไฮฟอน โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศในเมือง Aqaba ซึ่งเป็นเมืองที่มีอากาศร้อน และเมือง Amman ซึ่งเป็นเมืองที่มีอากาศอบอุ่นในประเทศจอร์แดน ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่าจำนวนท่อ Riser ที่อยู่ในแผงรับแสงอาทิตย์ขนาดกว้าง 2.2 m^2 ที่เหมาะสม ควรมีจำนวน 8 ท่อ และเมื่อเพิ่มจำนวนท่อเข้าไปจะไม่มีผลทำให้ค่า Solar fraction เพิ่มขึ้นมากนัก ดังรูปที่ 1.5 ระยะห่างระหว่างท่อ Riser ที่เหมาะสมประมาณ 15 cm เมื่อเพิ่มระยะห่างมากขึ้นจะทำให้ค่า Solar fraction ลดลง ดังรูปที่ 1.6 ส่วนถังเก็บน้ำร้อนที่เป็นถังแนวตั้งสูง 2 m จะทำให้ได้ค่า Solar fraction มากกว่าถังแนวนอนที่สูง 0.4 m ซึ่งในการปรับปรุงโดยเปลี่ยนจากถังแนวนอน มาเป็นแนวตั้งจะทำให้ค่า Solar fraction เพิ่มขึ้นประมาณ 7.5-10% ดังรูปที่ 1.7 ตำแหน่งของท่อน้ำที่เข้าถังเก็บและระยะติดตั้งฮีตเตอร์เสริม พบว่าควรอยู่บริเวณส่วนบนสุดของถังเก็บน้ำซึ่งจะเหมาะสมที่สุด และสิ่งที่มีผลทำให้ค่า Solar fraction ลดลงเป็นอย่างมากคือ ขนาดของท่อ Riser และขนาดของท่อที่ต่อระหว่างแผงกับถังเก็บ ซึ่งขนาดของท่อ Riser ที่เหมาะสมจะประมาณ 5 mm เมื่อขนาดท่อเล็กกว่านี้จะทำให้ค่า Solar fraction ต่ำลงเป็นอย่างมาก ส่วนขนาดของท่อที่ต่อระหว่างแผงกับถังเก็บ พบว่าขนาดที่เหมาะสมจะประมาณ 12 mm

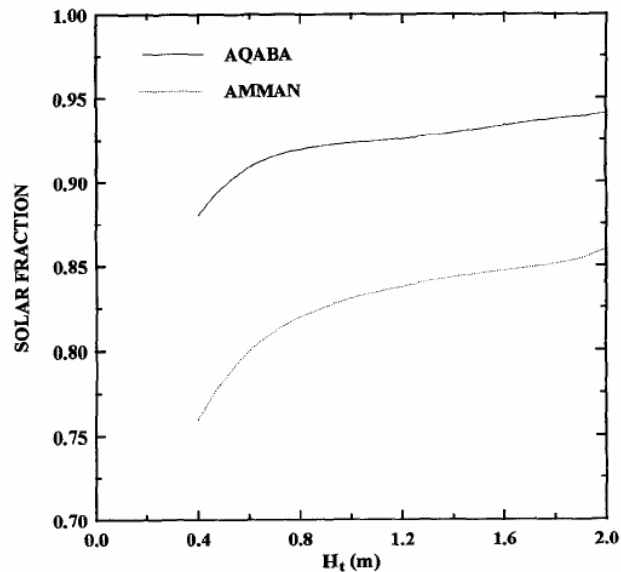
และค่า Solar fraction จะต่ำลงเมื่อใช้ขนาดของท่อที่เล็กกว่า 8 mm และในการออกแบบระบบที่เหมาะสมควรจะคำนึงถึงราคาต้นทุนของระบบด้วย



รูปที่ 1.5 ผลของจำนวนท่อ Riser ที่มีต่อค่า Solar fraction ของเมือง AQABA และ AMMAN (ที่มา: Adnan Shariah and Bassam Shalabi, 1997)



รูปที่ 1.6 ผลของระยะห่างระหว่างท่อ Riser ที่มีต่อค่า Solar fraction ของเมือง AQABA และ AMMAN (ที่มา: Adnan Shariah and Bassam Shalabi, 1997)



รูปที่ 1.7 ผลของความสูงของถังเก็บน้ำร้อน ที่มีต่อค่า Solar fraction ของเมือง AQABA และ AMMAN (ที่มา: Adnan Shariah and Bassam Shalabi, 1997)

นอกจากการศึกษาเพื่อหาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมในระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์แล้ว ยังมีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเพื่อออกแบบระบบทำน้ำร้อนที่เหมาะสมกับสถานที่ต่างๆ เช่นในงานวิจัยของ อดุลกรณ์ สุขใส (2538) ได้ออกแบบระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในโรงแรมแห่งหนึ่งในกรุงเทพฯ โดยใช้ข้อมูลสมรรถนะของแผงรับแสงอาทิตย์แผ่นเรียบ 3 ยี่ห้อ โดยแต่ละแผงขนาดพื้นที่รับแสง 2 m^2 มาเปรียบเทียบกับ โดยในการประเมินจะพิจารณาตัวเก็บรังสี แบบต่อขนาน และอนุกรม ตั้งแต่ 1 ถึง 10 แผง อุณหภูมิใช้งาน 45°C ถึง 60°C ขนาดของถังเก็บน้ำร้อน 200, 300 และ 400 liter ซึ่งผลที่ได้พบว่าจำนวนแผงรับรังสีอาทิตย์ เมื่อต่อแบบขนาน และอนุกรม มากกว่า 5 แผงขึ้นไป จะทำให้อัตราการใช้ความร้อนเสริมลดลงไม่เกินร้อยละ 10 และขนาดของถังเก็บน้ำร้อนที่มีขนาดใหญ่ จะใช้พลังงานความร้อนต่ำกว่าถังเก็บน้ำร้อนที่มีขนาดเล็ก

ซึ่งนอกจากจะมีการหาขนาดระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้กับโรงแรมแล้วยังมีการศึกษาโดยใช้กับโรงพยาบาลอีกด้วย เช่นในงานวิจัยของ โสภณาทและเอกลักษณ์ (2544) ได้ทำการศึกษาการทำงานของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ บนอาคารสุจิน โฉ ในโรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กับระบบทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้า โดยมีหลักการทำงานของระบบคือ เมื่ออุณหภูมิของแผงรับรังสีอาทิตย์ไม่ถึง 50°C ระบบทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าหรือระบบเสริมจะทำงาน โดยใช้เทอร์โมสตัทเป็นตัวควบคุม แต่เมื่ออุณหภูมิของ

แผงรับรังสีถึง 50°C ระบบทำน้ำร้อนเสริมจะหยุดเดิน และระบบทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์จะทำงานแทน ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่เดินเพียง 30 แผง และ 90 แผง จะมีประสิทธิภาพของระบบเท่ากับ 41% และ 36% ตามลำดับ ค่าใช้จ่ายของระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ ระหว่างระบบที่เดินครบ 90 แผง และ 30 แผง สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าลงได้ประมาณ 25,000 บาท ต่อเดือน

ในส่วนของการเปรียบเทียบกันระหว่างระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์กับระบบต่างๆ นั้นก็ได้มีผู้ทำวิจัยไว้หลายคน ซึ่งวิธีการในการเปรียบเทียบแต่ละระบบนั้นที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะการใช้การจำลอง (Simulation) เนื่องจากการประหยัดค่าใช้จ่ายในการวิจัยแล้วยังสามารถทำนายผลที่ได้ในอนาคตอีกด้วย ซึ่งโปรแกรมที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะเป็นโปรแกรม TRNSYS หรืออาจจะเป็นโปรแกรมภาษาต่างๆ เช่น ฟอรัทเรน (FORTRAN) และ เดลไฟล์ (DELPHI) เป็นต้น เช่นงานวิจัยของ Lu aye *et. al.* (2002) ได้ทำการเปรียบเทียบระบบทำน้ำร้อนแบบ Thermosyphon solar water heater, Air-source heat pump water heater และ Solar heat pump water heater ภายใต้สภาพภูมิอากาศของเมืองต่างๆ ในประเทศออสเตรเลีย การเปรียบเทียบทั้งสามระบบนี้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาฟอรัทเรน 90 ในการทำจำลองเพื่อเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้า ค่าลงทุนเริ่มต้น ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ และการผลิตกรีนเฮาส์แก๊ส ผลที่ได้สรุปได้ว่า สถานที่ในการติดตั้ง เป็นปัจจัยหนึ่งในการเลือกระบบทำน้ำร้อนที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและช่วยลดปริมาณกรีนเฮาส์แก๊ส และเมืองที่มีรังสีอาทิตย์สูงตลอดมีความเหมาะสมสำหรับการใช้ระบบ Thermosyphon solar water heater นอกจากนี้ในงานวิจัยของ ธนาคมและทวีคุณ (2542) ยังได้สร้างแบบจำลองโปรแกรมโดยใช้ภาษาเดลไฟล์ เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ การทำน้ำอุ่นในเวลากลางวัน และการทำน้ำเย็นในเวลากลางคืนด้วยแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ในการศึกษาพบว่าพื้นที่ของแผงรับแสงขนาด 1.67 m^2 เมื่อวางอยู่ในมุมและตำแหน่งที่เหมาะสมภายใต้ปริมาณแสงแดด 400 W/m^2 มีความสามารถผลิตน้ำร้อนได้ 60 liter ต่อวัน และอุณหภูมิของน้ำสูงสุดที่ได้คือ 74.77°C และประสิทธิภาพของระบบมีค่าดังนี้ ที่มุมเอียง 5, 15 และ 30 องศา ได้ประสิทธิภาพสูงสุด 53%, 56% และ 51% ตามลำดับ ส่วนในการทำน้ำเย็นโดยการแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าได้อุณหภูมิต่ำสุด 0.04°C และประสิทธิภาพระบบมีค่าดังนี้ ที่มุมเอียง 5, 15 และ 30 องศา ได้ประสิทธิภาพสูงสุด 60%, 57% และ 53% ตามลำดับ

ส่วนของการสร้างและทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์นั้น ได้มีการทดสอบด้วยกันหลายวิธีแต่วิธีที่นิยมส่วนใหญ่จะการใช้การทดสอบตามมาตรฐานของ Australian และ ASHRAE เช่นในงานของ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์สมรรถนะตัวเก็บรังสีที่ทำจากชุดระบายความร้อน ซึ่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำมาจากแผงระบายความร้อนในรถยนต์ซึ่งมีพื้นที่

ขนาด 0.1855 °C จำนวน 10 แผง มาต่อเข้าด้วยกันแบบผสมผสานเป็นแบบอนุกรมและแบบขนานร่วมกัน โดยต่อแบบขนาน 2 แผง ซึ่งแต่ละแผงจะมีชุดระบายความร้อนต่อกันแบบอนุกรมแผงละ 5 ตัว ในการทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสีทำที่สภาวะคงตัว โดยใช้มาตรฐานของ ASHRAE 93-77 และได้เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบกันทั้ง 3 ระบบ โดยระบบที่ 1 เป็นระบบที่ทดสอบตามมาตรฐานของ ASHRAE 93-77 ซึ่งจะได้ค่า $F_R(\tau\alpha)_e = 0.693$ และค่า $F_R U_L = 7.1764 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ระบบที่ 2 เป็นระบบที่มีการป้อนน้ำเย็น 10% เข้าไปตัวเก็บรังสีตัวที่ 2 กับ 3 ซึ่งจะได้ค่า $F_R(\tau\alpha)_e = 0.6984$ และค่า $F_R U_L = 6.8086 \text{ W/m}^2\text{°C}$ และระบบที่ 3 เป็นสมรรถนะของตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบที่มีขายในประเทศซึ่งมีค่า $F_R(\tau\alpha)_e = 0.795$ และค่า $F_R U_L = 12.02 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ซึ่งสมรรถนะเฉลี่ยทั้งปีของระบบที่ 1, 2 และ 3 ประมาณ 37.32 38.73 และ 34.63% ตามลำดับ เงินลงทุนเริ่มต้นของทั้ง 3 ระบบ ประมาณ 15,107 15,596 และ 19,686 บาท ตามลำดับและระยะเวลาคืนทุนของทั้ง 3 ระบบประมาณ 3.06, 3.05 และ 5.24 ปี ตามลำดับ ในส่วนของการทดสอบตัวเก็บรังสีกลางแจ้งที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยนั้นก็ได้มีการทดสอบโดยงานวิจัยของ พรพิมลและสมบุรณ์ (2546) ซึ่งได้ทำการทดสอบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบตามมาตรฐานของ ASHRAE Standard 93-1986, Australian Standard และมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) รวมถึงศึกษาความเข้มแสงอาทิตย์ อัตราเร็วลมและอุณหภูมิเฉลี่ยในประเทศไทย เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างมาตรฐานการทดสอบตัวเก็บรังสีแผ่นเรียบที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย ผลการศึกษาทำให้เกิด SERT Standard 2003 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่แสดงประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในรูป $\eta = F_R[(\tau\alpha)_e - U_L(T_{fi} - T_a)/I_T]$ โดยผลจากการเปรียบเทียบพบว่าประสิทธิภาพที่ได้จาก SERT Standard 2003 มีค่าแตกต่างกับมาตรฐาน ASHRAE และ Australian ไม่มากนักประมาณร้อยละ 1.2 และ 5.1 ตามลำดับ

จากงานวิจัยข้างต้นพบว่าการใช้ชุดระบายความร้อนในรถยนต์นำมาใช้เป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์พบว่าสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามระบบนี้มีข้อด้อยคือไม่สามารถทำน้ำร้อนให้มีอุณหภูมิสูงถึง 80 °C ตามที่ต้องการได้ทุกวัน ดังนั้นจึงจะต้องมีระบบสำรองซึ่งอาจจะใช้แก๊สหรือไฟฟ้าในการให้ความร้อนเสริมซึ่งสามารถใช้ระบบที่มีอยู่แล้วเข้ามาเสริมได้ ซึ่งจะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนได้อีก ซึ่งในการเลือกขนาดระบบทำน้ำร้อนที่เหมาะสมกับภาระความต้องการน้ำร้อนจำนวนมาก จำเป็นจะต้องมีการศึกษาและคำนึงถึงปัจจัยหลายประการบางครั้งผู้ทำวิจัยไม่สามารถทำการทดลองได้ทุกๆ สภาวะการทำงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาประสิทธิภาพตลอดทั้งปี ดังนั้นจึงใช้การทำจำลองเพื่อหาขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เหมาะสมและใช้ในการทำนายผลระยะยาว

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.3.1 เพื่อหาขนาดของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับโรงฆ่าสัตว์ตัวอย่าง
- 1.3.2 เพื่อพัฒนาแบบจำลองระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สำหรับการออกแบบระบบทำน้ำร้อนโรงฆ่าสัตว์ทั่วไป
- 1.3.3 เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เมื่อนำไปใช้งาน เปรียบเทียบกับระบบทำน้ำร้อนเดิมของโรงฆ่าสัตว์

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

- 1.4.1 สามารถเลือกขนาดของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับโรงฆ่าสัตว์ได้
- 1.4.2 สามารถทราบถึงความเป็นไปได้ในการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบทำน้ำร้อนแบบเดิม
- 1.4.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในโรงฆ่าสัตว์

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.5.1 ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ข้อมูลหลักจากโรงฆ่าสัตว์ที่ได้คัดเลือกไว้
- 1.5.2 ทำการทดสอบหาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 (ASHRAE, Standard 93-77, 1977)
- 1.5.3 ทำการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์จำนวน 1 แผง และถังเก็บน้ำร้อนขนาด 200 liter
- 1.5.4 พิจารณาดังเก็บสะสมแบบไม่มีการแยกชั้นของอุณหภูมิ (Non – stratified tank)
- 1.5.5 ในการประเมินประสิทธิภาพระยะยาวของระบบจะใช้การซึมุเลชั่นโดยใช้ข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศ เฉพาะในจังหวัดเชียงใหม่

1.6 ภาพรวมเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาวิทยานิพนธ์เล่มนี้แบ่งได้เป็น 6 บทด้วยกัน ซึ่งในบทที่ 1 ก็จะกล่าวถึงปัญหาและที่มาของงานวิจัยนี้โดยรวม วัตถุประสงค์ของการศึกษา ประโยชน์ที่ได้รับ และขอบเขตของการศึกษาครั้งนี้ ในบทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งได้แก่ การคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ในกรณีที่ทราบค่ารังสีรวมรายวัน เพื่อที่จะไปหาเป็นรายชั่วโมง การคำนวณอุณหภูมิอากาศในกรณีที่ทราบอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด รายวัน เพื่อที่จะไปหาเป็นรายชั่วโมง การคำนวณความร้อนที่

ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบใช้ 1 แผง แบบต่ออนุกรม และแบบต่อขนานกัน การคำนวณหาอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน การคำนวณปริมาณความร้อนเสริมที่ใช้ การหาค่า Solar fraction และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ในบทที่ 3 จะกล่าวถึง แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้แสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์เป็น Flow chart และหน้าต่างของตัวโปรแกรม งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Lab VIEW มาช่วยในการสร้างแบบจำลองเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ผลที่ได้ ในบทที่ 4 จะกล่าวถึง อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย ซึ่งจะประกอบไปด้วย ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และถังเก็บน้ำร้อนที่จะนำมาทดสอบ รวมไปถึงวิธีการทดสอบ ในบทที่ 5 จะกล่าวถึงผลการทดลองและวิเคราะห์ผล โดยผลการทดลองของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จะแสดงเป็นกราฟประสิทธิภาพ ซึ่งอยู่ในรูปของสมการ $\eta = F_R(\tau\alpha)_e - F_R U_L(T_{fi} - T_a)/I_T$ และผลที่ได้จากการทดสอบถังเก็บน้ำร้อนจะแสดงกราฟเพื่อให้ค่า $(UA)_T$ ของถังโดยเฉลี่ย นอกจากนี้ยังแสดงผลที่ได้จากการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ในการหาค่า Solar fraction และปริมาณความร้อนที่ใช้เสริมของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์แต่ละระบบ หลังจากนั้นจะเป็นการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบ ว่าให้เงินลงทุนเทียบเท่ารายปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทนในการลงทุนเป็นเท่าไร เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกขนาดระบบทำน้ำร้อนที่เหมาะสมกับโรงฆ่าสัตว์ และในบทสุดท้ายจะเป็นการสรุปผลและข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

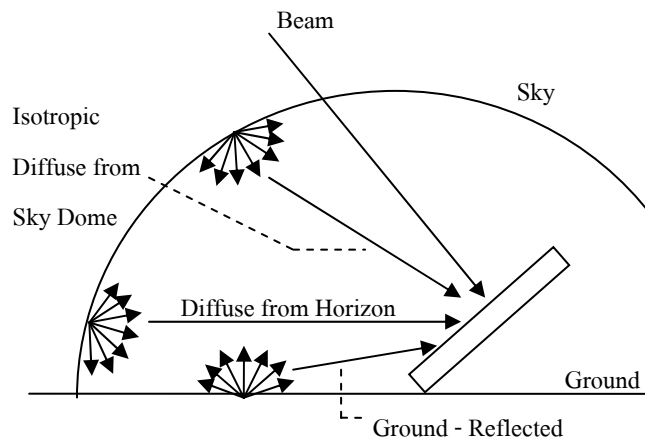
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์จะจำลองการทำงานของระบบภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ เพื่อหาสมรรถนะของระบบโดยอาศัยสมการทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์แต่ละส่วน ทั้งนี้การคำนวณต้องอาศัยค่าเริ่มต้น เช่น อุณหภูมิน้ำก่อนเข้าตัวเก็บรังสี, อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม, ค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่มุม ตกกระทบ, ขนาดของพื้นที่เก็บรังสี, แพลกเตอร์การถ่ายเทความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน เป็นต้น ซึ่งจะถูกใช้ในการคำนวณเพื่อหาอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ ซึ่งทฤษฎีที่ใช้ในการเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกอบด้วย

2.1 ข้อมูลสภาพอากาศ

ข้อมูลสภาพอากาศสามารถหาได้จาก 2 แหล่ง คือ (1) การคำนวณโดยใช้แบบจำลอง และ (2) ข้อมูล TMY (Typical Meteorological Year, 2006) ซึ่งข้อมูลทั้ง 2 แหล่งนี้ต่างมีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกันคือ การคำนวณโดยใช้แบบจำลอง สามารถนำไปใช้วิเคราะห์สภาพอากาศได้หลายแห่ง แต่จะใช้ได้เฉพาะจังหวัดที่มีการเก็บ ค่าสัมประสิทธิ์ของสถานีไว้เท่านั้น แต่มีข้อเสีย คือข้อมูลบางอย่างอาจมีไม่เพียงพอ และมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเป็นข้อมูลที่ได้มาจากการประมาณ ส่วนข้อมูล TMY เป็นข้อมูล ซึ่งจะประกอบไปด้วย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ค่ารังสีอาทิตย์ เป็นต้น ซึ่งข้อมูล TMY นี้จะเป็นข้อมูลที่ละเอียด และมีความถูกต้องสูงกว่าการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง แต่ก็มีข้อเสียอยู่ คือใช้ได้เฉพาะที่ที่มีการเก็บข้อมูล TMY เท่านั้น

2.1.1 การคำนวณค่ารังสีอาทิตย์

รังสีอาทิตย์ขณะตกผ่านชั้นบรรยากาศมาผิวโลก บางส่วนจะถูกดูดกลืน บางส่วนสะท้อนกลับสู่บรรยากาศ และบางส่วนทำให้รังสีกระจาย (Diffuse) ทำให้ค่ารังสีตรง (Direct beam) ตกที่ผิวโลกน้อยลง รังสีรวม (Global radiation) จะประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจายที่มาจากก้อนเมฆ และฝุ่นละออง



รูปที่ 2.1 การส่งผ่านรังสีอาทิตย์มายังผิวโลก

(ที่มา: Duffie and Beckman, 1980)

ในการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์นั้นเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นเวลาสุริยะ (Solar time) เป็นเวลาที่สอดคล้องกับตำแหน่งดวงอาทิตย์ โดยเวลาที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์มีค่ามุมเงยหรือมุมยกขึ้น (Altitude) สูงสุด คือเวลาเที่ยงสุริยะ (Solar noon) ซึ่งจะแตกต่างจากเวลามาตรฐานท้องถิ่น (Standard time) ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุผลหลักสองประการ คือ ความแตกต่างของเส้นลองจิจูด (Longitude) ที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่นกับเส้นลองจิจูดเมริเดียนของตำแหน่งที่ต้องการพิจารณา และเนื่องจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์มีค่าแตกต่างกันไปทั้งปี จึงทำให้เวลามาตรฐานท้องถิ่นและเวลาสุริยะต่างกัน ซึ่งจะมีค่าชดเชยที่เรียกว่าสมการเวลา (Equation of time, E) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างเวลามาตรฐานท้องถิ่นและเวลาสุริยะสามารถคำนวณได้ดังนี้ (Duffie and Beckman, 1980)

$$\text{Solar time} = \text{Standard time} - 4(L_{st} - L_{loc}) + E, \text{ min} \quad (2.1)$$

โดยที่ $E = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B \quad (2.2)$

และ $B = \frac{360(n - 81)}{364} \quad (2.3)$

เมื่อ L_{st} = ตำแหน่งเส้นลองจิจูด (Longitude) ที่ใช้คำนวณเวลามาตรฐานท้องถิ่น ในประเทศไทยใช้ของจังหวัดอุบลราชธานี คือ 105°E

- L_{loc} = ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของบริเวณที่พิจารณา (จ.เชียงใหม่ คือ $98^{\circ}59'E$)
 E = สมการเวลา (Equation of time)
 n = วันที่ของปีหรือวันจูเลียน (Julian date)

ค่ารังสีอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลกในแต่ละวัน จากพระอาทิตย์ขึ้นจนถึงพระอาทิตย์ตก สามารถคำนวณได้ดังนี้ (Duffie and Beckman, 1980)

$$H_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \times \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (2.4)$$

โดยที่ $\delta = 23.45 \sin\left[\frac{360(284 + n)}{365}\right] \quad (2.5)$

และ $\omega_s = \cos^{-1}\left[\frac{\sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta}\right] = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (2.6)$

- เมื่อ H_o = ค่ารังสีอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลก ($\text{MJ/m}^2\text{day}$)
 G_{sc} = ค่าคงที่สุริยะ (Solar constant) ซึ่งมีค่าประมาณ $1353 \text{ (W/m}^2\text{)}$
 ϕ = มุมละติจูด (Latitude angle) หรือเส้นรุ้งของตำแหน่งที่พิจารณา (จ.เชียงใหม่คือ $18^{\circ}47'N$)
 δ = มุมเดคลิเนชัน (Declination angle) หรือมุมแนวเส้นแวงอาทิตย์ไปยังจุดกึ่งกลางของโลกที่เที่ยงวันสุริยะกระทำกับแนวระนาบอิควาเตอร์ ($-23.45^{\circ} < \delta < 23.45^{\circ}$)
 ω_s = มุมชั่วโมงที่พระอาทิตย์ตกดิน (Sunset hour angle) เป็นมุมตกกระทบระหว่างค่ารังสีตรงกับพื้นในแนวระดับ

ในการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์โดยทั่วไปแล้วมักจะใช้วันที่ที่เป็นตัวแทนของเดือนในการคำนวณ ซึ่งในการหาวันที่ที่เป็นตัวแทนของเดือนนั้นทำได้โดยการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศของโลก ในแต่ละวันของเดือนนั้นๆ แล้วหาค่าเฉลี่ยตลอดทั้งเดือน ถ้าค่าเฉลี่ยของเดือนนั้นใกล้เคียงกับวันใดมากที่สุดวันนั้นก็จะเป็วันที่ที่เป็นตัวแทนของเดือน จากการศึกษาจะได้วันที่ที่เป็นตัวแทนของเดือนแสดงดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วันที่ที่เป็นตัวแทนของแต่ละเดือน (กำหนดวันที่ค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศของโลก มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของค่ารังสีดังกล่าวตลอดทั้งเดือน)

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
วันที่ของเดือน	17	16	16	15	15	11	17	16	15	15	14	10
วันที่ของปี	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344

(ที่มา: Duffie and Beckman, 1980)

รังสีอาทิตย์รวมที่ตกบนพื้นโลกจะประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจาย สำหรับประเทศไทยค่ารังสีกระจายเฉลี่ย (Daily diffuse solar radiation, H_d) จะพิจารณาค่ารังสีอาทิตย์รายวันที่เฉลี่ยในแต่ละเดือน จากข้อมูลทางสถิติของประเทศไทย ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{H_d}{H_o} = -4.6408 + 26.5495\left(\frac{H}{H_o}\right) - 28.3422\left(\frac{H}{H_o}\right)^2 - 31.4546\left(\frac{H}{H_o}\right)^3 + 46.4421\left(\frac{H}{H_o}\right)^4 \quad (2.7)$$

เมื่อ H_d = รังสีกระจายรายวันในแนวระดับ (MJ/m²day)

H = รังสีรวมรายวันในแนวระดับ (MJ/m²day)

ตารางที่ 2.2 ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายวัน (H) โดยเฉลี่ยในแต่ละเดือน ที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
H	16.33	17.89	18.28	20.56	21.26	18.38	16.71	18.38	16.52	16.85	14.88	15.21	17.48

(ที่มา: เสริม จันทร์ฉาย, 2542)

รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงสามารถคำนวณได้โดยกำหนดค่าอัตราส่วนรังสีรวมรายชั่วโมงต่อรังสีรวมรายวันดังนี้

$$r_t = \frac{I}{H} = \frac{\pi}{24} \times \frac{(a + b \cos \omega)(\cos \omega - \cos \omega_s)}{\sin \omega_s - \frac{2\pi \omega_s \cos \omega_s}{360}} \quad (2.8)$$

โดยที่ $a = a_1 + a_2 \sin(\omega_s - 60^\circ)$ (2.9)

$$b = b_1 + b_2 \sin(\omega_s - 60^\circ) \quad (2.10)$$

เมื่อ I = รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงในแนวระดับ (MJ/m²hr)
 ω = มุมชั่วโมง (Hour angle) กำหนดให้เที่ยงวันเวลายุริยะมีค่าเป็นศูนย์ และให้แต่ละชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 15° โดยในตอนเช้ามืดมีค่าเป็นลบและตอนบ่ายมีค่าเป็นบวก
 a_1, a_2, b_1, b_2 = ค่าคงที่ที่สถานีต่างๆ ของประเทศไทยซึ่งแสดงดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ a_1, a_2, b_1, b_2 ของสถานีต่างๆ ในประเทศไทย

สถานี	a_1	a_2	b_1	b_2
เชียงใหม่	0.514	0.228	0.512	0.083
กรุงเทพฯ	0.792	-0.250	0.189	0.471
อุบลราชธานี	0.760	-0.031	0.207	0.238
หาดใหญ่	0.607	-0.124	0.417	0.007

(ที่มา: Naris Pratinthong, 1996)

ค่ารังสีกระจายรายชั่วโมงสามารถคำนวณได้โดยกำหนดค่าอัตราส่วนของรังสีกระจายรายชั่วโมงต่อค่ารังสีกระจายรายวันดังนี้

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} = \frac{\pi}{24} \times \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{2\pi \omega_s \cos \omega_s}{360}} \quad (2.11)$$

เมื่อทราบค่ารังสีรวมและรังสีกระจายรายชั่วโมงจากสมการที่ (2.8) และ (2.11) ดังนั้นจะคำนวณหาค่ารังสีตรงรายชั่วโมงได้ดังนี้

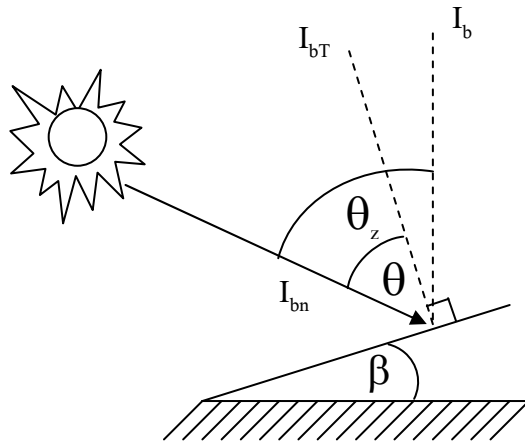
$$I_b = I - I_d \quad (2.12)$$

เมื่อ I_b = รังสีตรงรายชั่วโมงในแนวระดับ ($\text{MJ/m}^2\text{hr}$)
 I_d = รังสีกระจายรายชั่วโมงในแนวระดับ ($\text{MJ/m}^2\text{hr}$)

ในการใช้งานจริงจะต้องวางตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้ทำมุมเอียงกับแนวระดับเพื่อให้สามารถรับรังสีอาทิตย์ได้ดีตลอดทั้งปี ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามุมเอียงดีที่สุดมีค่าเท่ากับมุมละติจูดของพื้นที่ที่พิจารณา ดังนั้นการคำนวณหาค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกบนระนาบในแนวเอียงได้ดังนี้

$$I_T = I_b R_b + I_d \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (2.13)$$

นอกจากนี้ในกรณีที่วางตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำมุมเอียงกับแนวระดับยังมีรังสีอาทิตย์อีกส่วนหนึ่งที่สะท้อนมาจากสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวเก็บรังสี ดังนั้นค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากลงบนตัวเก็บรังสีจะคำนวณได้จากสมการที่ (2.14)



รูปที่ 2.2 มุมตกกระทบระหว่างรังสีตรงกับแกนที่ตั้งบนระนาบในแนวระดับ และแนวเอียง

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_{p_g} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (2.14)$$

โดยที่ $R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} = \frac{I_{bn} \cos \theta}{I_{bn} \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2.15)$

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (2.17)$$

เมื่อ	I_T	= รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบบนระนาบเอียง (MJ/m ² hr)
	I_{bT}	= รังสีตรงรายชั่วโมงที่ตกกระทบบนระนาบเอียง (MJ/m ² hr)
	β	= มุมที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เอียงทำมุมกับแนวระดับ (degree)
	θ	= มุมที่รังสีตรงตกกระทบบนแกนที่ตั้งฉากบนระนาบในแนวเอียง (degree)
	θ_z	= มุมที่รังสีตรงตกกระทบบนแกนที่ตั้งฉากบนระนาบในแนวระดับ (Zenith angle)
	ρ_g	= แฟกเตอร์ของรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากสิ่งแวดล้อม (Ground reflectance or Albedo) มีค่าประมาณ 0.2 เมื่อตัวเก็บรังสีวางอยู่บนพื้นดินหรือพื้นหญ้า และ 0.8 เมื่อวางบนพื้นคอนกรีต
	γ	= มุมอะซิมุท (Azimuth angle) ของระนาบเอียง มีค่าเป็นศูนย์เมื่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์หันไปทางทิศใต้ มีค่าเป็นลบในทิศตะวันออก และมีค่าเป็นบวกในทิศตะวันตก (degree)

2.1.2 การคำนวณอุณหภูมิอากาศ

ในการคำนวณอุณหภูมิอากาศสามารถจำลองโดยใช้ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมาทำการหาค่าอุณหภูมิที่เวลาใดๆ โดยจะอยู่ในรูปสมการที่ (2.18) (Naris Pratinthong, 1996)

$$T_a(t) = \frac{1}{2} \left[(T_{\max} + T_{\min}) + (T_{\max} - T_{\min}) \sin \left(\frac{2\pi}{24} (t - 9) \right) \right] \quad (2.18)$$

เมื่อ	$T_a(t)$	= อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เวลา t (°C)
	$T_{\max}$	= อุณหภูมิบรรยากาศสูงสุดในวัน (°C)
	$T_{\min}$	= อุณหภูมิบรรยากาศต่ำสุดในวัน (°C)
	t	= เวลาในหน่วยของชั่วโมงที่พิจารณา

ตารางที่ 2.4 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด ในช่วง 30 ปี ค.ศ. 1971 – 2000 ของจังหวัดเชียงใหม่

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
$T_{\max} (^{\circ}C)$	29.3	32.2	34.9	36.0	34.1	32.6	31.8	31.3	31.5	31.2	29.8	28.3
$T_{\min} (^{\circ}C)$	14.1	15.5	19.0	22.3	23.6	23.9	23.7	23.5	23.1	22.0	19.1	15.2

(ที่มา: ศูนย์อู่คนนิคมวิทยาภาคเหนือ, 2547)

2.1.3 ข้อมูลสภาพอากาศจาก TMY

ข้อมูล TMY ในปัจจุบันนี้เป็นข้อมูล TMY2 โดยจะประกอบไปด้วยค่า รังสีอาทิตย์รวม
ตรง และกระจาย อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันบรรยากาศ ความเร็วลม ทิศทางลม เป็น
ต้น ในรายชั่วโมงตลอดทั้งปี (8,760 ชั่วโมง) โดยเฉลี่ย 30 ปี ตั้งแต่ปี 1961-1990 โดยข้อมูลสภาพ
อากาศของประเทศไทยใน TMY2 นั้นจะประกอบไปด้วย 6 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ กรุงเทพฯ
โคราช นครสวรรค์ สกลนคร และอุบลราชธานี

ข้อมูลในไฟล์ TMY2 นั้นแสดงในรูปที่ 2.3 โดยสามารถใช้โปรแกรม TRNSYS ให้ทำการแสดงผลออกมาอยู่ในรูปไฟล์ xls ที่ใช้กับโปรแกรม MS Excel ได้ เพื่อที่จะได้ทราบค่าต่างๆ

```

14944 SIOUX FALLS      SD -6 N 43 34 W 96 44   435
B50101010000000000000000000000000000000000000000000007010A710A7-150A7-211A7060A70975A7360A7052A70161A700
B50101020000000000000000000000000000000000000000000007010A710A7-14A47-206A7060A70975A7350A7077A70161A700
B50101030000000000000000000000000000000000000000000007010A710A7-14A47-206A7063A70975A7340A7062A70161A700
B50101040000000000000000000000000000000000000000000007010A710A7-150A7-206A7063A70976A7330A7072A70161A700
B50101050000000000000000000000000000000000000000000007010A710A7-15E67-217A7060A70976A7330A7067A70161A700
B50101060000000000000000000000000000000000000000000007010A710A7-167A7-222A7062A70976A7340A7067A70161A700
B5010107000000000000000000000000000000000000000000000700A4704A7-183A7-237A7065A70977A7300A7052A70193A7777
B50101080000000000000000000000000000000000000000000007002A702A7-19A7-244A7065A70978A7310A7036A70193A7777
B50101090010212970037G50173G40024G50038I50071I40033I50043I604700A7-200A7-256A7062A70978A7330A7046A70193A7777
B5010110028714150157G50560G40043G50159I50444I40069I50079I604700A7-189A7-256A7056A70979A7310A7067A70193A7777
B5010111043614150276G40714G40056G50286I40642I40088I50111I500A700A7-172A7-250A7051A70979A7310A7062A70161A7777
B5010112053014150357G4078Z30064G50374I40735I40098I50131I500A700A7-167A7-244A7051A70978A7300A7062A70161A7777
B5010113056214150387G40806G40067G50407I40767I40101I50139I500A700A7-156A7-244A7047A70978A7320A7067A70193A7777
B5010114053014150359G4078G340064G50377I40742I40098I50131I500A700A7-14A47-239A7045A70978A7310A7062A70193A7777
B5010115043614150277G40716G40056G50289I40645I40088I50111I500A700A7-139A7-239A7043A70978A7330A7052A70193A7777
B5010116028614150157G50564G40043G50162I50450I40069I50080I60A700A7-139A7-237A7045A70978A7300A7052A70161A7777
B5010117010412730038G50209G40021G50038I50101A40030I50038I60A700A7-150A7-237A7049A70978A7290A7041A70241A7777

```

รูปที่ 2.3 ข้อมูลในไฟล์ TMY2
(ที่มา: Typical Meteorological Year, 2006)

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ถือว่าเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานความร้อน และถ่ายเทให้กับของไหลที่ไหลภายในตัวเก็บรังสี ทำให้อ่างน้ำร้อนดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตัวเก็บรังสีที่ที่ดีจะต้องมีความสามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดี มีการ

สูญเสียความร้อนน้อยและสามารถถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนให้แก่ของไหลได้รวดเร็ว โดยทั่วไป ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะยึดติดอยู่กับที่ หันหน้าไปทางทิศใต้ และเอียงทำมุมประมาณละติจูดของตำแหน่งที่อยู่

พิจารณาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่สภาวะคงตัว (Steady – State) ที่ขณะใดๆ ค่ารังสีที่ถูกดูดกลืน เท่ากับ ค่าอัตราการความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ รวมกับ ค่าอัตราการความร้อนที่สูญเสียจากผิวคูดรังสี ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$(\tau\alpha)_e I_T A_c = \dot{Q}_{coll} + U_L A_c (T_p - T_a) \quad (2.19)$$

$$\dot{Q}_{coll} = \dot{m}_f C_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad (2.20)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสี อาจเขียนได้เป็น

$$\dot{Q}_{coll} = A_c [(\tau\alpha)_e I_T - U_L (T_p - T_a)] \quad (2.21)$$

เมื่อ	$\dot{Q}_{coll}$	= อัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสี (MJ/hr)
	$(\tau\alpha)_e$	= ประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวเก็บรังสี
	I_T	= รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบตั้งฉากบนระนาบเอียง (MJ/m ² hr)
	A_c	= พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m ²)
	U_L	= ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมจากผิวคูดรังสีอาทิตย์ (MJ/m ² hr°C)
	T_p	= อุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (°C)
	T_a	= อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C)
	$\dot{m}_f$	= อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสี (kg/hr)
	C_p	= ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (MJ/kg°C)
	T_{fi}	= อุณหภูมิของน้ำเข้าตัวเก็บรังสี (°C)
	T_{fo}	= อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวเก็บรังสี (°C)
	η_{coll}	= ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ในทางปฏิบัติอุณหภูมิผิวตัวเก็บรังสี (T_p) วัดให้ถูกต้องได้ยาก จึงมีการปรับค่าสมการดังกล่าวโดยกำหนดค่า (Heat removal factor, F_R) ซึ่งเขียนอยู่ในรูปของอุณหภูมิของของไหลเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์

$$\dot{Q}_{coll} = A_c [F_R (\tau\alpha)_e I_T - F_R U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (2.22)$$

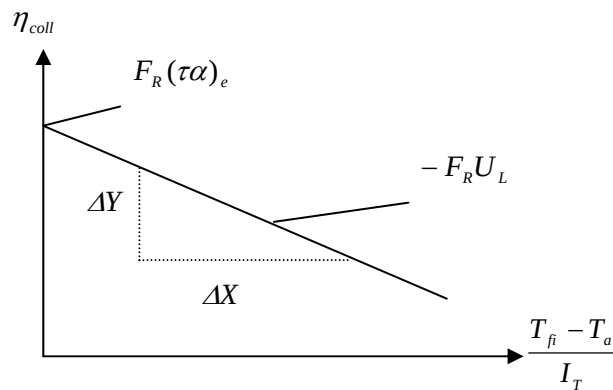
เมื่อ F_R = ค่าแฟกเตอร์การดึงความร้อน (Heat removal factor) เป็นสัดส่วนของความร้อนที่ได้จริงจากตัวเก็บรังสีต่อพลังงานความร้อนถ่ายเท ที่ถูกดึงโดยของไหลใช้งานในตัวเก็บรังสี ค่า F_R มีลักษณะคล้ายกับค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี เนื่องจากเป็นค่าอัตราส่วนของพลังงานความร้อนจริงต่อพลังงานความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้จากตัวเก็บรังสี

ประสิทธิภาพในการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ (Collector efficiency, η_{coll}) จะอยู่ในรูป

$$\eta_{coll} = \frac{\dot{Q}_{coll}}{I_T A_c} = \frac{\dot{m}_f C_p (T_{fo} - T_{fi})}{I_T A_c} = F_R (\tau\alpha)_e - F_R U_L \frac{(T_{fi} - T_a)}{I_T} \quad (2.23)$$

ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า η_{coll} และ $(T_{fi} - T_a)/I_T$ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวอยู่ในรูปสมการเส้นตรงโดยที่ค่า $-F_R U_L$ คือความชันและ $F_R (\tau\alpha)_e$ คือค่าจุดตัดแกน ดังแสดงในรูปที่

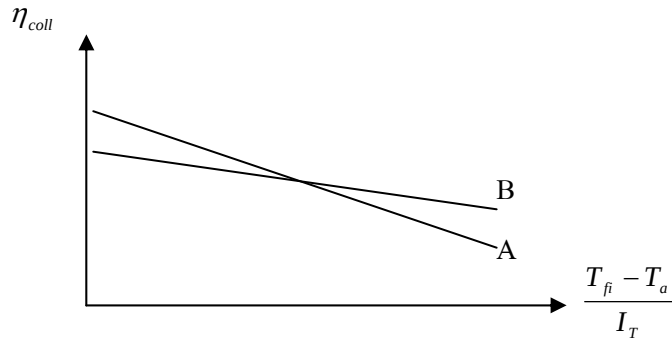
2.4



รูปที่ 2.4 เส้นแสดงสมรรถนะของตัวเก็บรังสี

(ที่มา: ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2537)

ตัวเก็บรังสีที่มีค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ สูงแสดงว่าการส่งผ่านค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีมีค่าสูง ส่วน เทอม $-F_R U_L$ แสดงค่าการสูญเสียความร้อน ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าตัวเก็บรังสีดังกล่าวป้องกันความร้อนสูญเสียไม่ดีพอ ทั้ง 2 เทอมนี้ เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสี ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเปรียบเทียบสมรรถนะตัวเก็บรังสีอาทิตย์
(ที่มา: ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2537)

จากรูปตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ A เหมาะกับการผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิ น้ำร้อนที่ต่ำ ขณะที่แบบ B เหมาะผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิ น้ำร้อนที่สูง

2.3 สมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่นำมาต่ออนุกรมกันจำนวน N ตัว

เมื่อที่ตัวเก็บรังสี N ตัวที่มีรูปร่างเหมือนกันของเหลวเป็นสารทำงานต่อขนานกัน ค่าสมรรถนะของตัวเก็บรังสีรวมทั้ง N ตัวไม่แตกต่างกันไปจากตัวเก็บรังสีตัวเดียว เมื่ออัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่ของตัวเก็บรังสีเท่ากัน แต่ในกรณีที่ตัวเก็บรังสี N ตัวที่เหมือนกันใช้ของเหลวเป็นสารทำงานต่ออนุกรมกัน สมรรถนะของตัวที่สองจะต่ำกว่าตัวแรก เนื่องจากการทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่า จะมีการสูญเสียความร้อนมากกว่า ค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ ที่ได้จากการต่อตัวเก็บรังสีแบบอนุกรมกันสามารถคำนวณได้จาก (Duffie and Beckman, 1980)

$$F_R(\tau\alpha)_{e,N} = F_{R1}(\tau\alpha)_{e1} \left[\frac{1 - (1 - K)^N}{NK} \right] \quad (2.24)$$

$$F_R U_{L,N} = F_{R1} U_{L1} \left[\frac{1 - (1 - K)^N}{NK} \right] \quad (2.25)$$

$$K = \left[\frac{A_{c1} F_{R1} U_{L1}}{\dot{m}_f C_p} \right] \quad (2.26)$$

ดังนั้นอัตราการความร้อนที่ได้รับจากตัวเก็บรังสี และประสิทธิภาพสามารถที่ได้จากการต่ออนุกรมกันคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_{coll,N} = A_{c,N} [F_R (\tau\alpha)_{e,N} I_T - F_R U_{L,N} (T_{fi} - T_a)] \quad (2.27)$$

$$\eta_{coll,N} = \frac{\dot{Q}_{coll,N}}{I_T A_{c,N}} \quad (2.28)$$

เมื่อ	F_{R1}	= แฟกเตอร์การนำความร้อนมาใช้ของตัวเก็บรังสีตัวเดียว
	U_{L1}	= สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีตัวเดียว ($\text{MJ/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$)
	$(\tau\alpha)_{e1}$	= ประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวเก็บรังสีตัวเดียว
	A_{c1}	= พื้นที่ตัวเก็บรังสีตัวเดียว (m^2)
	$(\tau\alpha)_{e,N}$	= ประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวเก็บรังสีที่ต่ออนุกรมกัน
	$U_{L,N}$	= สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีที่ต่ออนุกรมกัน ($\text{MJ/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$)
	$A_{c,N}$	= พื้นที่รับแสงรวมของตัวเก็บรังสีที่ต่ออนุกรมกัน (m^2)
	N	= จำนวนตัวเก็บรังสีที่มาต่ออนุกรมกัน
	$\dot{Q}_{coll,N}$	= อัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีที่ต่ออนุกรมกัน (MJ/hr)
	$\eta_{coll,N}$	= ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีที่ต่ออนุกรมกัน
	$\dot{m}_f$	= อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบตัวเก็บรังสีตัวเดียว (kg/hr)

2.4 การปรับแก้ผลของอัตราการไหล

ในกรณีที่มีการปรับอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะทำให้ค่า $F_R (\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลง สามารถหาค่า $F_R (\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ ใหม่ได้จาก

$$\frac{F'}{F_R} = - \left(\frac{\dot{m}_{f, \text{test}} C_p}{A_c F_R U_{L, \text{test}}} \right) \ln \left(1 - \frac{F_R U_{L, \text{test}} A_c}{\dot{m}_{f, \text{test}} C_p} \right) \quad (2.29)$$

เมื่อมีการเปลี่ยนค่า $\dot{m}_f$ ใหม่ และสมมุติให้ค่า F' คงที่

$$\frac{F_R}{F'} = \left(\frac{\dot{m}_{f, \text{new}} C_p}{A_c F' U_L} \right) \left[1 - \exp \left(\frac{-A_c F' U_L}{\dot{m}_{f, \text{new}} C_p} \right) \right] \quad (2.30)$$

เมื่อ F' = แฟกเตอร์ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Collector efficiency factor)

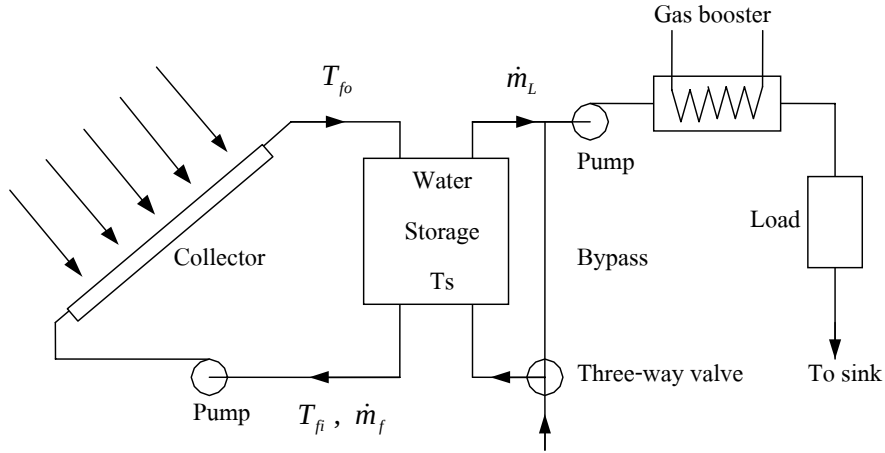
$\dot{m}_{f, \text{test}}$ = อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ทดสอบตัวเก็บรังสีตัวเดียว (kg/hr)

$\dot{m}_{f, \text{new}}$ = อัตราการไหลของน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงใหม่ (kg/hr)

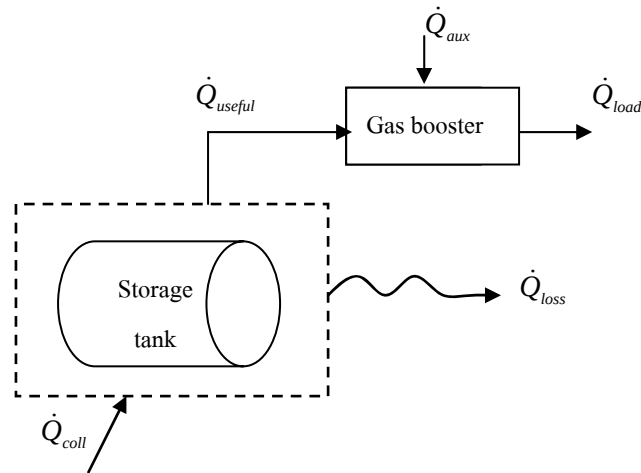
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับถังเก็บน้ำร้อน

ในระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์จำเป็นต้องมีถังเก็บสะสมพลังงานความร้อน (Thermal energy storage) เพื่อใช้เก็บพลังงานไว้ใช้ในช่วงแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ เมื่อน้ำได้รับความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แล้วน้ำจะมีอุณหภูมิสูงและจะเข้าไปเก็บไว้ในถังเก็บน้ำร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยสมมุติให้ถังเก็บสะสมโดยให้มีอุณหภูมิสม่ำเสมอและไม่มีการแยกชั้นอุณหภูมิของน้ำภายในถัง (Non – stratified tank) ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการพิจารณา และสมมุติไม่มีการสะสมพลังงานในตัวเก็บรังสี อุณหภูมิ (T_s) คืออุณหภูมิของน้ำในถังและเป็นอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าตัวเก็บรังสี ($T_s = T_p$) สมดุลพลังงานที่ถังเก็บสะสมสามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{pmatrix} \text{อัตราการสะสม} \\ \text{พลังงานในถังเก็บ} \\ \text{สะสมความร้อน} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{พลังงานแสงอาทิตย์} \\ \text{ที่สามารถนำมา} \\ \text{ใช้ประโยชน์ได้} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{อัตราการสูญเสีย} \\ \text{พลังงานความร้อน} \\ \text{จากถัง} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{อัตราพลังงาน} \\ \text{ความร้อนที่ดึง} \\ \text{ออกจากถัง} \end{pmatrix}$$



รูปที่ 2.6 ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์
(ที่มา: ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2537)



รูปที่ 2.7 สมดุลพลังงานที่เข้าและออกจากถังเก็บน้ำร้อน

$$(M_w C_p)_T \left(\frac{dT_s}{dt} \right) = (\dot{Q}_{coll} - \dot{Q}_{loss} - \dot{Q}_{useful}) \quad (2.31)$$

อาจจะใช้วิธีการเชิงตัวเลข (Numerical techniques) โดยสามารถเขียนในรูป

$$T_{sf} = T_{si} + \frac{\Delta t}{(M_w C_p)_T} (\dot{Q}_{coll} - \dot{Q}_{loss} - \dot{Q}_{useful}) \quad (2.32)$$

$$\dot{Q}_{coll} = A_c [F_R (\tau \alpha)_e I_T - F_R U_L (T_{si} - T_a)] S_c \quad (2.33)$$

$$\dot{Q}_{loss} = (UA)_T (T_{si} - T_a) \quad (2.34)$$

$$\dot{Q}_{useful} = \dot{m}_L C_p (T_{si} - T_L) S_L \quad (2.35)$$

- เมื่อ $(M_w C_p)_T$ = ผลคูณของมวลและความจุความร้อนจำเพาะของน้ำในถัง (MJ/°C)
 T_{si}, T_{sf} = อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมที่เวลาเริ่มต้น และเวลาสุดท้ายของช่วงเวลา (°C)
 Δt = ผลต่างช่วงระยะเวลา (hr)
 $\dot{m}_L$ = อัตราการใช้น้ำ (kg/hr)
 T_L = อุณหภูมิของน้ำที่เข้าไปแทนที่ในถังเก็บสะสม (°C)
 $(UA)_T$ = ผลคูณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมและพื้นที่ผิวของถังเก็บสะสม (MJ/hr°C)
 S_c = คอนโทรลฟังก์ชัน เป็น 0 เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ประโยชน์มีค่า 0 นอกเหนือจากนี้เป็น 1
 S_L = คอนโทรลฟังก์ชัน เป็น 0 เมื่ออุณหภูมิ $T_{si} < T_L$ หรือเป็น 1 เมื่ออุณหภูมิ $T_{si} > T_L$

การหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของถังเก็บน้ำร้อนขึ้นอยู่กับรูปร่างของถังเก็บน้ำร้อนประเภทและความหนาของฉนวนที่ใช้ และวัสดุที่ใช้ทำถังเก็บน้ำร้อนค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของถังเก็บน้ำร้อนที่จะถ่ายเทความร้อนของน้ำในถังสู่อากาศแวดล้อมต่ออุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำร้อนเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (Heat convection) การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนจะสามารถคำนวณได้จาก (บงกช ประสิทธิ์ และคณะ, 2546)

$$(UA)_T = \frac{M_w C_p}{\Delta t} \ln \left[\frac{T_{si} - \bar{T}_a}{T_{sf} - \bar{T}_a} \right] \quad (2.36)$$

- เมื่อ M_w = มวลของน้ำในถังเก็บน้ำร้อน (kg)
 C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (MJ/kg°C)
 Δt = ช่วงเวลาที่ทำการวัด (hr)
 T_{si} = อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำร้อนที่เวลาเริ่มต้น (°C)

T_{sf} = อุณหภูมิของน้ำในถังน้ำร้อนที่เวลาสุดท้าย ($^{\circ}\text{C}$)

$\bar{T}_a$ = อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศแวดล้อมถึงน้ำร้อน ($^{\circ}\text{C}$)

อัตราพลังงานความร้อนที่ให้กับภาระงานทั้งหมด ($\dot{Q}_{load}$) คือ อัตราการพลังงานความร้อนที่ให้น้ำเมคอัพที่มีอุณหภูมิต่ำ (T_L) ไปเป็นอุณหภูมิที่ต้องการใช้งาน (T_{set}) สามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_{load} = \dot{m}_L C_p (T_{set} - T_L) \quad (2.37)$$

2.6 ความร้อนเสริมจากแก๊ส

ในกรณีที่ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ไม่สามารถทำอุณหภูมิน้ำป้อนได้สูงเพียงพอกับความร้อนการ ระบบจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เสริมเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้ขดลวดไฟฟ้าทำความร้อนกัน แต่ของโรงฆ่าสัตว์ขนาดเล็ก ในเขตเทศบาลแห่งนี้ ปัจจุบันได้ใช้แก๊สหุงต้มในการทำน้ำร้อน ดังนั้นเราสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบให้ความร้อนเสริมนี้ได้ จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ลงได้อีก โดยที่อัตราการให้พลังงานความร้อนเสริม ($\dot{Q}_{aux}$) สามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_{aux} = \dot{Q}_{load} - \dot{Q}_{useful} = \dot{m}_L C_p (T_{set} - T_{si}) \quad (2.38)$$

และปริมาณแก๊ส LPG ที่ใช้ในการให้ความร้อนเสริมสามารถคำนวณได้จาก

$$M_{LPG} = \frac{\dot{Q}_{aux}}{\eta_o H_L} \quad (2.39)$$

เมื่อ M_{LPG} = ปริมาณการใช้แก๊ส LPG (kg/hr)

$\dot{Q}_{aux}$ = อัตราพลังงานความร้อนเสริม (MJ/hr)

η_o = ประสิทธิภาพรวมในการใช้น้ำร้อนแบบเดิม

H_L = ค่าความร้อนของแก๊ส LPG มีค่าประมาณ 45.958 MJ/kg (สำเริง จักรใจ, 2547)

ประสิทธิภาพรวมในการใช้น้ำร้อนแบบเดิม (η_o) ประเมินมาจากปริมาณความร้อนที่ต้องการในการทำน้ำร้อนให้มีอุณหภูมิ และปริมาณตามที่ต้องการ ต่อปริมาณความร้อนที่ได้จากแก๊สในแต่ละเดือน ของโรงฆ่าสัตว์ว่ามีการใช้แก๊สไปเท่าไร

สมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สามารถประเมินได้จากสัดส่วนของพลังงานที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ต่อภาระงานทั้งหมด (Solar fraction, f_s) ซึ่งค่า Solar fraction นี้จะบอกได้ว่าระบบสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานความร้อนเสริมได้มากน้อยเพียงใด โดยคำนวณได้จาก

$$f_s = \frac{\dot{Q}_{load} - \dot{Q}_{aux}}{\dot{Q}_{load}} = \frac{\dot{Q}_{useful}}{\dot{Q}_{load}} \quad (2.40)$$

2.7 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การเลือกระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์มาใช้นั้น นอกจากจะคำนึงถึงสมรรถนะของระบบแล้วสิ่งที่สำคัญอีกอย่าง คือ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ถึงแม้ว่าระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์จะมีสมรรถนะสูงเพียงใดก็ตาม แต่ถ้าวการลงทุนสูงก็ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน การตัดสินใจว่าจะเลือกระบบผลิตน้ำร้อนแบบไหนนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายและต้นทุนพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการเลือกระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์มาใช้งานกับโรงฆ่าสัตว์

วิธีการประเมินทางเศรษฐศาสตร์จะประกอบไปด้วย 4 วิธีได้แก่ การวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย เทียบเท่ารายปี การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ การวิเคราะห์ระยะเวลากินทุน และการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนในการลงทุน

2.7.1 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (Annual Cost)

เป็นวิธีการเทียบค่าของเงินสด ณ เวลาใดๆ ให้มาอยู่ในรูปของเงินสุทธิต่อปีที่เกิดขึ้นในแต่ละปีอย่างสม่ำเสมอ โดยค่าทั้งหมดจะถูกแปลงเป็นค่าใช้จ่ายรายปีแต่ละปี และพารามิเตอร์ของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม หมายถึง พารามิเตอร์ซึ่งนำไปใช้ออกแบบระบบ จะทำให้ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดปีของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ต่ำสุด ค่าใช้จ่ายรายปีสุทธิของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สามารถหาได้จาก

$$AC = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4)(CRF) + (M_{LPG} C_{LPG}) + OM - S(SFF) \quad (2.41)$$

โดยที่ $CRF = [i(1+i)^n] / [(1+i)^n - 1]$ (2.42)

$$SFF = i / [(1+i)^n - 1] \quad (2.43)$$

เมื่อ	AC	= ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดปีของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (Baht/year)
	P_1	= ราคาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Baht)
	P_2	= ราคาของถังเก็บน้ำร้อน (Baht)
	P_3	= ราคาอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ชุดควบคุม ปั๊มน้ำ (Baht)
	P_4	= ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ (Baht)
	C_{LPG}	= ราคาแก๊ส LPG ต่อหน่วยมวล (Baht/kg)
	M_{LPG}	= ปริมาณแก๊ส LPG ที่ใช้เพื่อให้ความร้อนเสริมต่อปี (kg/year)
	OM	= ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษารายปี (Baht/year)
	S	= มูลค่าซากของระบบ (Baht)
	i	= อัตราดอกเบี้ยต่อปี
	n	= อายุการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (year)
	CRF	= Capital recovery factor
	SFF	= Sinking fund factor

2.7.2 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

ในการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ เป็นวิธีการรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดมาเป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีมูลค่าปัจจุบันต่ำ แสดงว่าระบบนั้นน่าสนใจในการลงทุน ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$NPV = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) + (M_{LPG} C_{LPG} + OM)(USPWF) - S(SPPWF) \quad (2.44)$$

โดยที่ $USPWF = [(1+i)^n - 1] / [i(1+i)^n]$ (2.45)

$$SPPWF = 1 / (1 + i)^n \quad (2.46)$$

เมื่อ $USPWF$ = Uniform – series present worth factor
 $SPPWF$ = Single payment present worth factor

2.7.3 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period, SPP)

เป็นวิธีการหนึ่งในการพิจารณาว่าระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เมื่อลงทุนไปแล้วจะสามารถคืนทุนให้แก่ผู้ลงทุนได้เมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้อยู่ ซึ่งระยะเวลาคืนทุนยังสั้นยิ่งมีความต้องการสูง ระยะเวลาคืนทุนที่นิยมใช้จะเป็นแบบวิธีระยะคืนทุนแบบง่าย โดยระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้จาก เงินลงทุนเบื้องต้นของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ต่อค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ต่อปี

$$SPP = \frac{\text{First Cost}}{\text{Cost Saving}} \quad (2.47)$$

2.7.4 การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return, IRR)

อัตราผลตอบแทนในการลงทุนหรืออัตราส่วนลด ที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิในการลงทุน (Net Present Value, NPV) เท่ากับศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์ วิธีนี้มีการนำเอาอัตราดอกเบี้ยมารวบรวมคำนวณด้วย ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้องมากขึ้น วิธีการหาอัตราผลตอบแทนในการลงทุนเป็นการหาโดยใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error)

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{NCF_n}{(1 + i)^n} - TIC = 0 \quad (2.48)$$

เมื่อ NCF_n = กระแสเงินสดสุทธิของปีที่ n (Baht)
 i = อัตราผลตอบแทนในการลงทุน
 N = อายุการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (year)
 TIC = มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนทั้งหมด (Baht)

บทที่ 3

แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

ในการวิเคราะห์ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้กับโรงฆ่าสัตว์ในที่นี่จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อที่จะทำนายผลที่ได้ โดยจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์และถังเก็บน้ำร้อน ข้อมูลสภาพอากาศ และลักษณะการใช้ น้ำร้อนของโรงฆ่าสัตว์มาทำการประเมินสมรรถนะของระบบ และการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาค่าใช้จ่ายต่างๆ ของระบบ ที่สามารถประหยัดได้ เมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมาใช้สำหรับวิเคราะห์หาระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สำหรับโรงฆ่าสัตว์

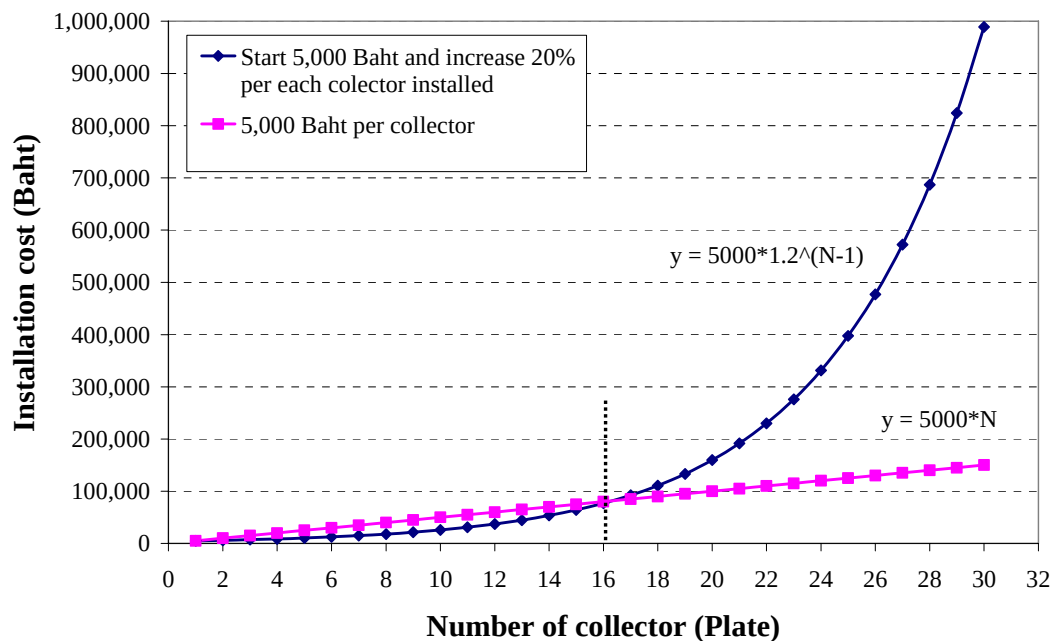
3.1 โครงสร้างและข้อจำกัดของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

ในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นประกอบด้วย ส่วนป้อนข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ถังเก็บน้ำร้อน ลักษณะการใช้ น้ำร้อน และข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลทางด้านสภาพอากาศได้ถูกกำหนดไว้ในตัวโปรแกรมแล้วเพื่อความรวดเร็วในการประมวลผล ดังแสดงขั้นตอนลำดับการคำนวณตามรูปที่ 3.2

เงื่อนไขและข้อจำกัดของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มีดังนี้

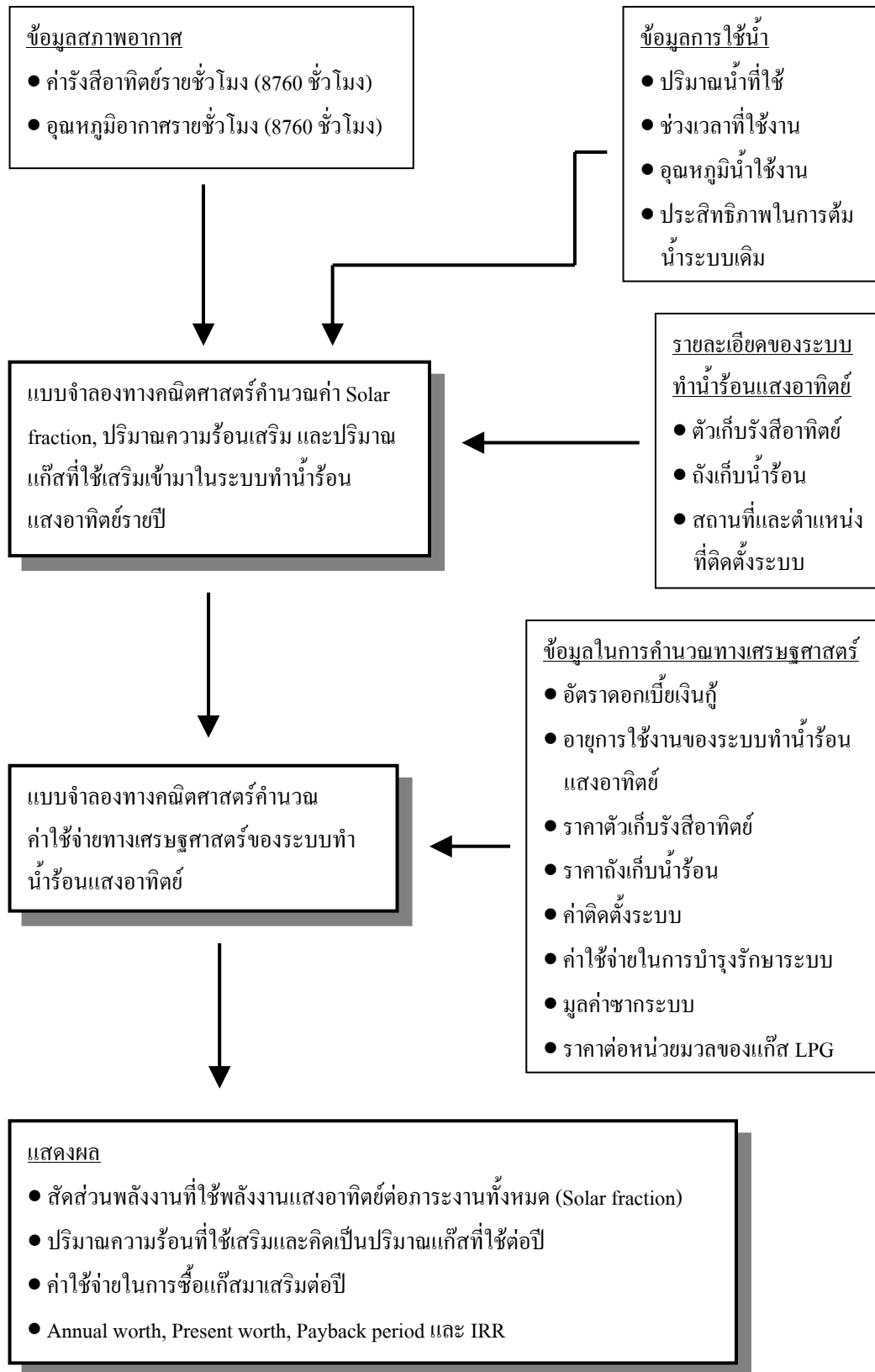
1. สามารถใช้วิเคราะห์ได้ในจังหวัด เชียงใหม่ กรุงเทพฯ โคราซ นครสวรรค์ สกลนคร และอุบลราชธานี เนื่องจากใน 6 จังหวัดนี้มีข้อมูลสภาพอากาศใน TMY 2 นอกจากข้อมูลสภาพอากาศใน TMY 2 แล้ว ภายในโปรแกรม ยังมีข้อมูลสภาพอากาศเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2548 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลสภาพอากาศปี 2548 ของจังหวัดเชียงใหม่ มาทำการวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ใหม่กว่า TMY 2
2. สามารถวิเคราะห์ได้เฉพาะเมื่อทราบอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์
3. ในการวิเคราะห์ตัวเก็บรังสีแบบต่อขนานกัน อาศัยสมมุติฐานว่าอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีแต่ละตัวเท่าๆ กัน
4. กำหนดให้อุณหภูมิน้ำแทนที่ในถังเก็บเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมในการวิเคราะห์
5. ถังเก็บน้ำร้อนวิเคราะห์เป็นแบบไม่มีการแยกชั้นของอุณหภูมิ (Non – stratified tank)

6. แบบจำลองจะทำการวิเคราะห์โดยเริ่มตั้งแต่เวลา 0 นาฬิกา ของวันที่ 1 เดือน มกราคม โดยจะกำหนดให้อุณหภูมิในถังเริ่มต้นเป็น 25 °C
7. ลักษณะภาระการใช้ความร้อนในการวิเคราะห์จะให้เหมือนกันทุกวันตลอดทั้งปี
8. ในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์นั้น ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบกำหนดให้ค่าติดตั้งเริ่มต้นที่ 5,000 บาท เพิ่มขึ้น 20% ต่อจำนวนตัวเก็บรังสีที่เพิ่มขึ้น 1 แผง (อลงกรณ์ สุทธิโส, 2538)
9. จำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่ควรเกิน 16 แผง เพราะจะทำให้การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์มีความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่าใช้จ่ายจะแสดงดังรูปที่ 3.1 โดยกราฟ Exponential จะเป็นกราฟ ตามเงื่อนไขในข้อ 8
10. ในการวิเคราะห์ของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จะทำการวิเคราะห์ได้ที่ละกรณี โดยผลที่ได้ในแต่ละกรณีจะต้องนำมาเปรียบเทียบเอง



รูปที่ 3.1 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์

(ที่มา: อลงกรณ์ สุทธิโส, 2538)

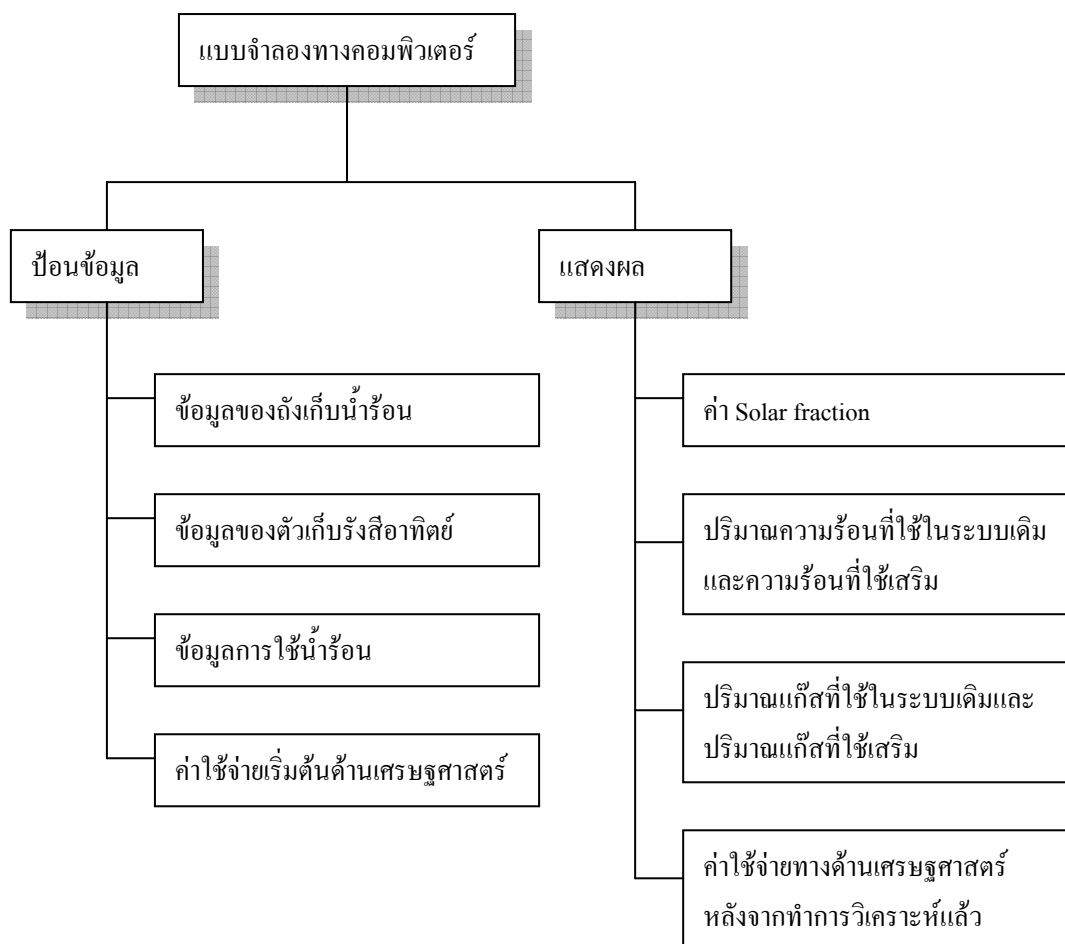


รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

3.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือส่วนการป้อนข้อมูล และส่วนการแสดงผล ซึ่งในส่วนการแสดงผลนั้นจะแสดงออกมาในตัวเอง และส่วนหนึ่งจะแสดงออกมาเป็นไฟล์ ซึ่งเพื่อให้ง่ายต่อการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

จากรูป 3.4 ในส่วนการป้อนข้อมูลนั้น ช่องสีขาวจะเป็นส่วนที่ป้อนข้อมูล ส่วนช่องสีเหลืองจะเป็นการแสดงผลที่ได้จากการคำนวณ



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

3.2.1 ข้อมูลตัวเก็บรังสีอาทิตย์

เป็นส่วนการป้อนข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 3.4

The screenshot shows a LabVIEW interface titled "00_Program SC.vi" with a menu bar (File, Edit, Operate, Tools, Browse, Window, Help) and a toolbar. Below the toolbar is a status bar with various indicators. The main panel is titled "ข้อมูลของตัวเก็บรังสีอาทิตย์" and contains several sections:

- 1. เลือกจังหวัดที่ตั้ง หรือเป็นจังหวัดใกล้เคียง**: A table with columns "จังหวัด", "ละติจูด (°)", and "DATA FROM". The table lists provinces like เชียงใหม่, เชียงใหม่, กรุงเทพฯ, and โคราซ with their latitudes and data sources (TMY2).
- 2. ข้อมูลจากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์**: Input fields for "พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m2)" (2.0000), "อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ทดสอบ (kg/hr)" (150.00), "FR (TOL) test" (0.8020), and "FRUL (W/m2-K) test" (10.3700).
- 3. เลือกชนิดการต่อตัวเก็บรังสี**: Radio buttons for "ใช้ 1 แผง", "ต่อ อนุกรม", and "ต่อ ขนาน".
- 4. จำนวนแผงที่นำมาต่อในกรณีนี้เลือก**: Input field for "จำนวนตัวเก็บรังสีที่นำมาต่อกัน" (2).
- 5. กำหนดอัตราการไหลของน้ำที่ใช้งานผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์**: Input field for "อัตราการไหลของน้ำใช้งานผ่านตัวเก็บรังสี (kg/hr)" (150.00).
- 6. มุมอะซิมุท และมุมเอียงของตัวเก็บรังสี**: Sliders for "Azimuth angle (degree)" (0) and "Tilt angle of solar collector (degree)" (0).
- 7. ผลที่ได้จากคำนวณได้แก่ พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์รวม, FR (TOL) และ FRUL ใหม่ ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณต่อไป**: A summary box showing "พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์รวม (m2)" (2.0000), "FR (TOL) new" (0.8020), and "FRUL (W/m2-K) new" (10.3700).

รูปที่ 3.4 หน้าต่างป้อนข้อมูลของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

1. สถานที่ที่ตั้งได้แก่จังหวัดต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย เชียงใหม่ กรุงเทพฯ โคราซ นครสวรรค์ สกลนคร และอุบลราชธานี
2. ข้อมูลจากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ได้แก่ พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อัตราการไหลของน้ำที่ใช้ทดสอบ ค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ ที่ได้จากการทดสอบ
3. ชนิดการต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยจะเลือกใช้แบบ 1 แผง หรือการต่อแบบอนุกรม หรือแบบขนาน ซึ่งเมื่อเลือกการต่ออนุกรมหรือขนาน ให้ป้อนข้อมูลในข้อ 4 ต่อว่าจะเลือกต่อจำนวนกี่แผง
4. จำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่นำมาต่อกัน
5. อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เมื่อนำไปใช้งานจริง (kg/hr)
6. มุมอะซิมุท และมุมเอียงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (degree)

7. ผลที่ได้จากการจากการคำนวณ ได้แก่ค่า พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์รวม ค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ ใหม่ ซึ่งผลที่ได้ในส่วนนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.2.2 ข้อมูลของถังเก็บน้ำร้อน

เป็นส่วนการป้อนข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับถังเก็บน้ำร้อนที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

ข้อมูลของถังเก็บน้ำร้อน

- ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน**
 ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน (liter)
 200.0
- อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของถัง**
 เส้นผ่านศูนย์กลางถัง (m): 0.4800
 ความยาวถัง (m): 1.1200
 เมื่อทำการเปลี่ยนปริมาตรของถัง จะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของถังเปลี่ยนไปตามอัตราส่วนนี้
 *** ในกรณีที่ทราบ เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของถังก็ให้ใส่ค่าเข้าไปเลย
- เลือกค่า UA จากการทดลอง หรือจากการคำนวณ**
 UA (W/K) (การทดลอง): 3.2500
 UA (W/K) (จากการคำนวณ): 3.2155
 *** ในกรณีที่เลือก จากการคำนวณ ให้ใส่ค่าในข้อ 4 และ 5 ต่อ
- ความหนาของฉนวน t1 และ t2**
 ความหนาของฉนวน t1 (m): 0.0500
 ความหนาของฉนวน t2 (m): 0.0500
- ค่าการนำความร้อนของฉนวน**
 ค่าการนำความร้อนของฉนวน: k (W/mK): 0.0730
 แอโรซีเพล็กซ์ (0.040)
 โฟมยูรีเทน (0.026)
 แผ่นกระเบื้องเซรามิก (0.02)
 โฟมเบอร์ (0.108)
 แผ่นอิลาสโตเมอร์ (0.086)

Diagram showing tank dimensions: ความยาวของถังจริง (m) = 1.1151, เส้นผ่านศูนย์กลางถังจริง (m) = 0.4779, t1 (m), t2 (m). * t : ความหนาของฉนวน

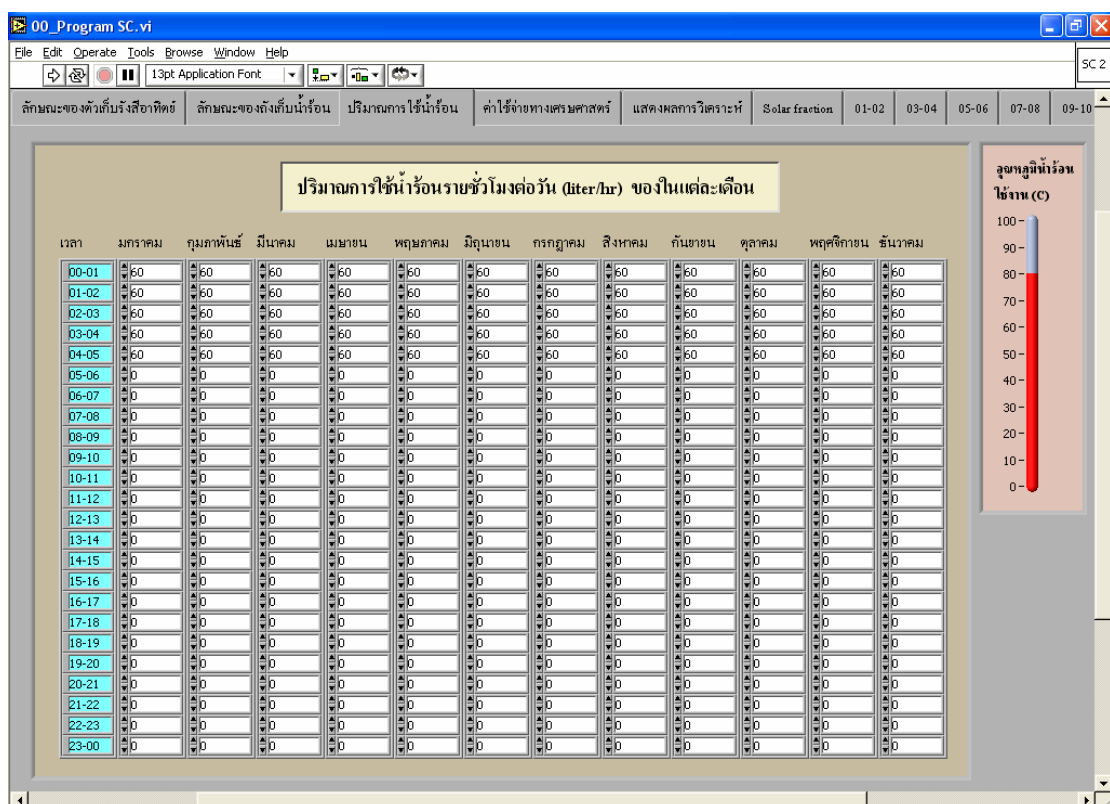
รูปที่ 3.5 หน้าต่างป้อนข้อมูลถังเก็บน้ำร้อน

1. ปริมาตรของถังเก็บน้ำร้อน (liter)
2. อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของถัง ข้อมูลในส่วนนี้จะเป็นสัดส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางกับความยาวของถัง โดยเมื่อทำการเปลี่ยนปริมาตรของถังจะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาว ที่แสดงในรูปเปลี่ยนไปตามสัดส่วนนี้ หรือในกรณีที่ทราบเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของถัง ก็ให้ใส่ค่าเข้าไปได้เลย (แต่ต้องสัมพันธ์กับปริมาตรในข้อ 1 ด้วย)

- ค่า $(UA)_T$ สามารถเลือกได้ระหว่างใช้จากการทดสอบ (ป้อนค่าเอง) หรือจากการคำนวณ ซึ่งเมื่อเลือกจากการคำนวณ ก็ให้ป้อนค่าในข้อ 4 และ 5 ต่อ แต่ถ้าเลือกจากการทดสอบก็จะสิ้นสุดการป้อนข้อมูลถึงเก็บน้ำร้อนแค่นี้ ส่วนข้อมูลในข้อ 4 และ 5 ก็จะไม่ได้นำไปวิเคราะห์ต่อไป (W/K)
- ความหนาของฉนวน ได้แก่ ความหนาของด้านข้าง และความหนาดังโดยรอบ (m)
- ค่าการนำความร้อนของฉนวน ใส่ค่าเข้าไปได้เลย ส่วนรายการทางขวามือแสดงค่า k ของฉนวนแต่ละชนิดเท่านั้น ซึ่งจะไม่มีการนำไปคำนวณแต่อย่างใด (W/mK)

3.2.3 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำร้อน

ในหน้าต่างนี้จะเป็นข้อมูลการใช้น้ำร้อนรายชั่วโมงต่อวัน (liter/hr) ของในแต่ละเดือน โดยจะให้ปริมาณน้ำร้อนเหมือนกันทุกๆ วันของในแต่ละเดือน และอุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้งานก็สามารถกำหนดได้ว่าจะใช้เท่าไรโดยการเลื่อนแถบสีแดงที่มีลักษณะคล้ายกับเทอร์โมมิเตอร์ ขึ้น-ลง โดย ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 หน้าต่างป้อนข้อมูลปริมาณ และอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน

3.2.4 ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์

จะประกอบไปด้วยข้อมูลของลักษณะการใช้น้ำร้อนวิธีเดิม ข้อมูลการใช้ระบบให้ความร้อนเสริมในกรณีที่อุณหภูมิไม่เพียงพอกับความต้องการ และข้อมูลค่าใช้จ่ายเริ่มต้นทางด้านเศรษฐศาสตร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

00_Program SC.vi

File Edit Operate Tools Browse Window Help

13pt Application Font

SC 2

ลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ลักษณะของถังเก็บน้ำร้อน ปริมาณการใช้น้ำร้อน ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ แสดงผลการวิเคราะห์ Solar fraction 01-02 03-04 05-06 07-08 09-10

1. ระบบทำน้ำร้อนแบบเดิม

ประสิทธิภาพการใช้น้ำร้อนแบบเดิม (%) Eff. previous 10.00

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ / kg) HL 45.958

ราคาเชื้อเพลิงต่อกิโลกรัม (Baht / kg) Fuel cost 17.00

2. ระบบให้ความร้อนเสริมในกรณีที่อุณหภูมิไม่เพียงพอกับความต้องการ

เลือกระหว่าง ใช้ระบบเดิม หรือ ระบบให้ความร้อนเสริมที่เป็นแบบ Heat Exchanger

ใช้ระบบเดิมที่มีอยู่

ใช้ระบบที่เป็นแบบ Heat Exchanger *** ในกรณีที่เลือกใช้ระบบเดิมที่มีอยู่ โปรแกรมจะใช้ข้อมูลในข้อที่ 1 ไปคำนวณ

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม (%) 10.00

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้เสริม (MJ / kg) 45.958

ราคาต่อหน่วยของเชื้อเพลิงที่ใช้เสริม (Baht / kg) 17.00

P5 (Option) : ราคาอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม (Baht) 12000.00

ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์

P1 : ราคาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่อ 1 แผง (Baht) 19260.00

P2 : ราคาถังเก็บน้ำร้อน (Baht) 16050.00

P3 : ราคาอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ป้อนน้ำ ชุดควบคุม (Baht) 12000.00

P4 : ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบเริ่มต้น (Baht) 5000.00

P4+ : เปอร์เซ็นต์ค่าติดตั้งที่เพิ่มขึ้นต่อการเพิ่มจำนวนแผงที่ละ 1 แผง (%) 20.00

ค่า O&M ระบบ คิดเป็น X% ของเงินลงทุนเริ่มต้น 15.00

มูลค่าซากของระบบ คิดเป็น X% ของเงินลงทุนเริ่มต้น 10.00

อัตราดอกเบี้ย (% / year) Interest rate 7.25

Guide : 100 litre = 9273 Baht
150 litre = 12750 Baht
200 litre = 16050 Baht
250 litre = 19705 Baht
300 litre = 23540 Baht
350 litre = 26660 Baht
400 litre = 29960 Baht

อายุการใช้งานระบบ (year) 5 10 15 20

รูปที่ 3.7 หน้าต่างป้อนข้อมูลค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์

ระบบทำน้ำร้อนแบบเดิม

1. ประสิทธิภาพการใช้น้ำร้อนวิธีเดิม ข้อมูลในส่วนนี้ประเมินได้จาก ปริมาณความร้อนที่ต้องการจริงในการทำน้ำร้อนให้กับภาระแต่ละเดือน ต่อปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงในแต่ละเดือน (โดยปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง สามารถหาได้จาก ค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงแล้วคิดเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในแต่ละเดือน จากนั้นก็นำไปคำนวณเป็นปริมาณความร้อนที่ได้) (%)
2. ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำน้ำร้อนวิธีเดิม (MJ/kg)
3. ราคาต่อหน่วยของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำน้ำร้อนวิธีเดิม (Baht/kg)

ระบบให้ความร้อนเสริม ในกรณีที่อุณหภูมิไม่เพียงพอต่อความต้องการ

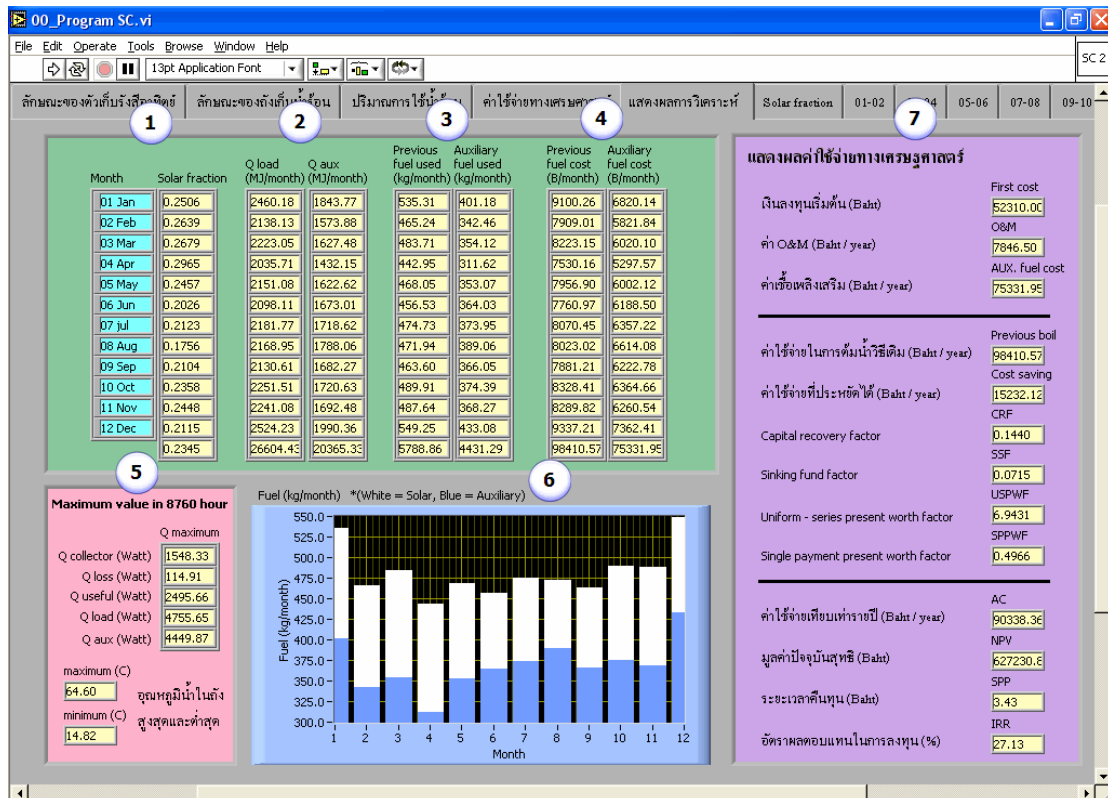
1. การเลือกจะใช้การให้ความร้อนเสริมแบบเดิม หรือเป็นแบบที่ใช้ Heat Exchanger ซึ่งถ้าเลือกใช้ระบบเดิมที่มีอยู่โปรแกรมก็จะใช้ข้อมูลระบบทำน้ำร้อนแบบเดิมนำไปวิเคราะห์ต่อ ถ้าเลือกใช้ระบบที่เป็นแบบ Heat Exchanger โปรแกรมก็จะนำข้อมูลในส่วนล่างไปวิเคราะห์
2. ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม (%)
3. ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้เสริม (MJ/kg)
4. ราคาต่อหน่วยของเชื้อเพลิงที่ใช้เสริม (Baht/kg)
5. ราคาของอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม (Baht)

ค่าใช้จ่ายทางด้านเศรษฐศาสตร์

1. ราคาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่อ 1 แผง (Baht)
2. ราคาถังเก็บน้ำร้อน (Baht)
3. ราคาอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ เช่น ปั๊มน้ำ ชุดควบคุม (Baht)
4. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบเริ่มต้น (Baht)
5. เปอร์เซนต์ค่าการติดตั้งที่เพิ่มขึ้น ต่อการเพิ่มจำนวนแผงที่ละแผง (%)
6. ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาระบบ กำหนดให้เป็น X% ของเงินลงทุนเริ่มต้น (%)
7. มูลค่าซากระบบ กำหนดให้เป็น X% ของเงินลงทุนเริ่มต้น (%)
8. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ (%)
9. อายุการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (year)

3.2.5 แสดงผลจากการวิเคราะห์ในแบบจำลองคอมพิวเตอร์

ส่วนการแสดงผลในแบบจำลองนั้นจะประกอบไปด้วยค่าต่างๆ ดังแสดงหมายเลขตำแหน่งผลที่แสดงในรูปที่ 3.8 ได้แก่



รูปที่ 3.8 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

1. ค่า Solar fraction ในแต่ละเดือน และเฉลี่ยทั้งปี นอกจากนี้ยังแสดงออกมาเป็นค่ารายวันโดยแสดงเป็นกราฟได้อีกด้วย
2. ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการต้มน้ำวิธีเดิม และปริมาณความร้อนที่ใช้เสริมให้กับระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (MJ/month)
3. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการต้มน้ำวิธีเดิม และปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เสริมให้กับระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (kg/month)
4. ค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงมาต้มน้ำวิธีเดิม และค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงมาเสริมในระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (Baht/year)
5. ค่าปริมาณความร้อนที่สูงสุดในแต่ละชั่วโมงโดยแบบจำลองทำการวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีสูงสุด ปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปกับถังเก็บน้ำร้อนสูงสุด ปริมาณความร้อนที่ดึงได้จากถังเก็บน้ำร้อนสูงสุด ปริมาณความร้อนในการต้มน้ำแบบเดิมสูงสุด และปริมาณความร้อนที่ใช้เสริมสูงสุด ใน 8760 ชั่วโมง ซึ่งค่าปริมาณความร้อนเสริมสูงสุดอาจนำไปใช้ในการเลือกขนาดฮีตเตอร์ในการทำ

ร้อนเสริม ให้เพียงพอกับความร้อนที่ต้องการได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังแสดง อุณหภูมิ น้ำในถังเก็บสูงสุดและต่ำสุด ใน 8760 ชั่วโมง อีกด้วย

6. กราฟแสดงปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการต้มน้ำโดยวิธีเดิม (สีกา+สีกา) เทียบกับ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เสริมเข้ามาในระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (สีกา) โดยที่แถบสี ขาวอย่างเดียวจะเป็นค่าที่ได้จากพลังงานรังสีอาทิตย์ (kg/month)
7. ค่าใช้จ่ายทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งประกอบไปด้วย เงินลงทุนเริ่มต้นของระบบ ค่า ดำเนินการและบำรุงรักษาระบบ ค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงมาเสริม ค่าใช้จ่ายในการ ทำต้มน้ำโดยวิธีเดิม ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดต่อปี ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี มูลค่า ปัจจุบันสุทธิ ระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทนในการลงทุน

นอกจากการแสดงผลในหน้าต่างดังรูปที่ 3.8 แล้ว ยังมีการแสดงค่า Solar fraction รายวัน ออกมาเป็นตัวเลข และเป็นกราฟในแต่ละเดือน ซึ่งในที่นี้จะไม่ขอแสดงรูปเนื่องจากเป็นข้อมูลที่ไม่ ค่อยได้ใช้ประโยชน์มากนัก

3.2.6 แสดงผลจากการวิเคราะห์ออกมาเป็นไฟล์

นอกจากผลที่ได้จะแสดงในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แล้ว ยังสามารถแสดงออกมาใน รูปไฟล์ได้อีกด้วย ซึ่งจะเป็นไฟล์นามสกุล xls ที่นิยมใช้ในโปรแกรม MS Excel โดยจะแสดงในรูป ที่ 3.9

	A	B	C	D	E	F
1		Solar fraction			Economic	
2	1. Jan	0.251		Qload	26604.43	MJ/year
3	2. Feb	0.264		Qaux	20365.33	MJ/year
4	3. Mar	0.268		M fuel load	5788.857	kg/year
5	4. Apr	0.296		M fuel aux	4431.291	kg/year
6	5. May	0.246		C fuel load	98410.57	Baht/year
7	6. Jun	0.203		C fuel aux	75331.95	Baht/year
8	7. Jul	0.212		First cost	52310	Baht
9	8. Aug	0.176		O&M	7846.5	Baht/year
10	9. Sep	0.21		Cost saving	15232.12	Baht/year
11	10. Oct	0.236		AC	90338.36	Baht/year
12	11. Nov	0.245		NPV	627230.8	Baht
13	12. Dec	0.211		SPP	3.434	year
14	Average	0.235		IRR	27.13	%

(ก)

17	Input data of solar hot water system		
18	Chiang Mai 2548		
19	Ac test	2	m ²
20	mf test	150	kg/h
21	FR(ta)e test	0.802	-
22	FRUL test	10.37	W/m ² -K
23	Ac total	2	m ²
24	mf use	150	kg/h
25	FR(ta)e new	0.802	-
26	FRUL new	10.37	W/m ² -K
27	Tank volume	200	liter
28	(UA)T	3.215	W/K
29	Hot water demand	300	liter/day
30	Tset	80	C
31	Eff boiling (Previous)	10	%
32	Eff boiling (Aux)	10	%
33	P1	19260	Baht
34	P2	16050	Baht
35	P3	12000	Baht
36	P4	5000	Baht
37	P5 (Option)	0	Baht

(ก)

G	H	I	J	K	L	M	N	O
Month	Day	Time	Qcoll (MJ/h)	Qloss (MJ/h)	Quseful (MJ/h)	Qload (MJ/h)	Qaux (MJ/h)	Tsf (C)
1	1	00 - 01	0	0.105	2.288	16.115	13.827	22.14
1	1	01 - 02	0	0.078	1.696	16.24	14.545	20.03
1	1	02 - 03	0	0.058	1.264	16.341	15.077	18.45
1	1	03 - 04	0	0.043	0.943	16.416	15.474	17.27
1	1	04 - 05	0	0.033	0.722	16.492	15.77	16.37
1	1	05 - 06	0	0.032	0	0	0	16.33
1	1	06 - 07	0	0.032	0	0	0	16.3
1	1	07 - 08	0.044	0.02	0	0	0	16.33
1	1	08 - 09	0.955	-0.015	0	0	0	17.48
1	1	09 - 10	1.742	-0.045	0	0	0	19.62
1	1	10 - 11	2.534	-0.031	0	0	0	22.68
1	1	11 - 12	4.242	-0.023	0	0	0	27.77
1	1	12 - 13	4.701	0.012	0	0	0	33.36
1	1	13 - 14	4.293	0.061	0	0	0	38.41
1	1	14 - 15	3.437	0.11	0	0	0	42.38
1	1	15 - 16	2.431	0.148	0	0	0	45.11
1	1	16 - 17	0.998	0.195	0	0	0	46.07

(ค)

รูปที่ 3.9 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ออกมาเป็นไฟล์ xls

ผลที่แสดงในรูปที่ 3.9 (ก) เป็นข้อมูลสรุปผลจากแบบจำลอง ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ

1. ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางด้านความร้อน

Column A1-B14 เป็นค่า Solar fraction ในแต่ละเดือน และเฉลี่ยตลอดทั้งปี

Qload คือ พลังงานที่ให้กับภาระงานทั้งหมดในการทำน้ำร้อนแบบเดิม (MJ/year)

Qaux คือ พลังงานที่ให้เสริมในระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (MJ/year)

M fuel load คือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำน้ำร้อนแบบเดิม (kg/year)

M fuel aux คือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เสริมในระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (kg/year)

2. ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

C fuel load คือ ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำน้ำร้อนแบบเดิม (Baht/year)

C fuel aux คือ ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้เสริมในระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (Baht/year)

First cost คือ เงินลงทุนเริ่มต้นของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (Baht)

O&M คือ ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาระบบ (Baht/year)

Cost saving คือ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)

AC (Annual Cost) คือ ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (Baht/year)

NPV (Net Present Value) คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Baht)

SPP (Simple Payback Period) คือ ระยะเวลาคืนทุน (year)

IRR (Internal Rate of Return) คือ อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (%)

ผลที่แสดงในรูปที่ 3.9 (ข) เป็นข้อมูลที่ป้อนในแบบจำลอง

Chiang Mai 2548 คือ จังหวัดที่ตั้ง เป็นจังหวัดเชียงใหม่ และใช้ข้อมูลสภาพอากาศของปี 2548 ถ้าเป็นจังหวัด กรุงเทพฯ ก็จะแสดงเป็น Bangkok TMY2

Ac test คือ พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ใช้ทดสอบ (m^2)

mf test คือ อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ใช้ทดสอบ (kg/h)

FR(ta)e test คือ ประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ได้จากการทดสอบ

FRUL test คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ได้จากการทดสอบ (W/m^2K)

Ac total คือ พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์รวมทั้งหมด (m^2)

mf use คือ อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่ใช้งาน (kg/h)

FR(ta)e new คือ ประสิทธิภาพเชิงแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ใหม่

FRUL new คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ใหม่ ($\text{W/m}^2\text{K}$)

Tank volume คือ ปริมาตรของถังเก็บน้ำร้อน (liter)

(UA)T คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของพื้นที่ผิวถังเก็บสะสม (W/K)

Hot water demand คือ ปริมาณความต้องการน้ำร้อนโดยเฉลี่ยต่อวัน (liter/day)

Tset คือ อุณหภูมิน้ำร้อนที่ต้องการ ($^{\circ}\text{C}$)

Eff boiling (Previous) คือ ประสิทธิภาพรวมในการต้มและใช้น้ำร้อน (%)

Eff boiling (Aux) คือ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริม (%)

P1 คือ ราคาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Baht)

P2 คือ ราคาถังเก็บน้ำร้อน (Baht)

P3 คือ อุปกรณ์ต่างๆ เช่น ชุดควบคุม ปั๊มน้ำ เป็นต้น (Baht)

P4 คือ ค่าติดตั้งระบบ (Baht)

P5 (Option) คือ ค่าอุปกรณ์ในการให้ความร้อนเสริม (Baht)

ผลที่แสดงในรูปที่ 3.9 (ก) เป็นข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์แบบละเอียดรายชั่วโมง

Column G คือ เดือน

Column H คือ วัน

Column I คือ ช่วงเวลา

Column J คือ ปริมาณความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (MJ/h)

Column K คือ ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจากถังเก็บน้ำร้อน (MJ/h)

Column L คือ ปริมาณความร้อนที่ดึงได้จากถังเก็บน้ำร้อน (MJ/h)

Column M คือ ปริมาณความร้อนที่ให้กับภาระทั้งหมด (MJ/h)

Column N คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้เสริม (MJ/h)

Column O คือ อุณหภูมิน้ำในถังในช่วงเวลาท้ายชั่วโมง ($^{\circ}\text{C}$)

3.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองกับงานวิจัยที่ผ่านมา

การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยอาศัยข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ที่นำมาจากงานวิจัยของ Shariah, A.M. and Löf, G.O.G. มาใช้เป็นข้อมูล Input ในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้น เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ทั้งสองแบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาหาจุดเหมาะสมของถังเก็บน้ำร้อนต่อพื้นที่รับแสงในระบบเทอร์โมไฮฟอนโดยใช้โปรแกรม TRNSYS และข้อมูลสถานะ

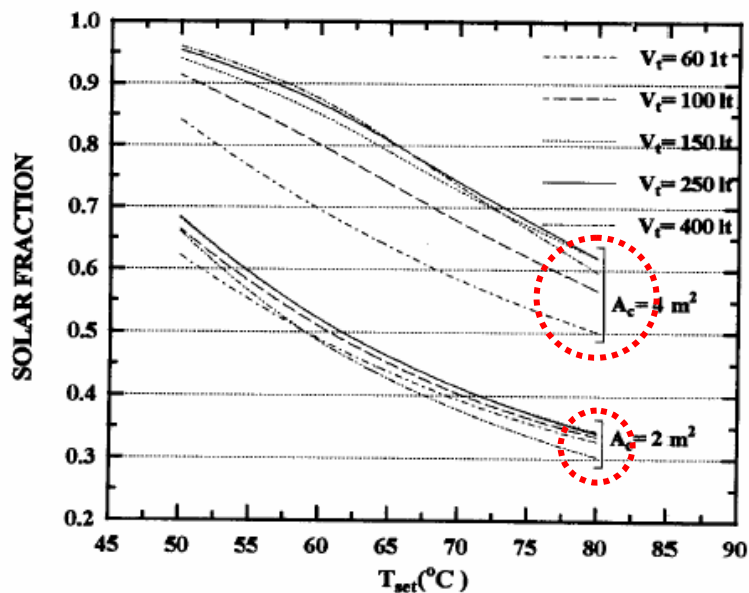
อากาศของเมือง LOS ANGELES ซึ่งได้ทำการศึกษา ขนาดของถังเก็บน้ำร้อน 60-400 liter อุณหภูมิ น้ำร้อนใช้งาน 50-80 °C และพื้นที่รับรังสี 2-5 m²

การวิเคราะห์ในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ได้ใช้ข้อมูลสภาพอากาศ เมือง LOS ANGELES พิจารณาที่พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 2 m² และ 4 m² ขนาดถังเก็บน้ำร้อน 60, 100, 150, 250 และ 400 liter อุณหภูมิใช้งานเท่ากับ 80 °C และปริมาณการใช้น้ำร้อนอยู่ที่ 250 liter ต่อวัน

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ

Parameter	Value	Parameter	Value
A_c	2-5 m ²	V_l	0.250 m ³
$F_R(\tau\alpha)_e$	0.8	V_t	0.060-1.000 m ³
$F_R U_L$	17 kJ/h m ² °C	β	33.49 (degree)
$\dot{m}_{test}$	72 kg/h m ²	ϕ	33.49 (degree)
T_{set}	50-80 °C	ρ_g	0.2
$(UA)_T$	5.4 kJ/h °C		

(ที่มา: Shariah, A.M. and Löf, G.O.G., 1996)



รูปที่ 3.10 ผลของอุณหภูมิใช้งานที่มีต่อค่า Solar fraction โดยถังเก็บน้ำร้อนและตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาดต่างๆ (ที่มา: Shariah, A.M. and Löf, G.O.G., 1996)

ผลที่ได้จากงานวิจัยของ Shariah, A.M. and Löf, G.O.G. พบว่าที่พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 2 m^2 และอุณหภูมิน้ำใช้งาน 80°C ค่า Solar fraction โดยเฉลี่ยเป็น 0.35 และในทำนองเดียวกันที่พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 4 m^2 ค่า Solar fraction โดยเฉลี่ยเป็น 0.5 เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.11 พบว่าที่พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 2 m^2 และ 4 m^2 ค่า Solar fraction โดยเฉลี่ยเป็น 0.293 และ 0.430 ตามลำดับ เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งสองกรณีแล้วจะประมาณ 16.28% และ 14.00% ตามลำดับ

	A	B	C	D	E	F	G
1		60 liter	100 liter	150 liter	250 liter	400 liter	2 m^2
2	1. Jan	0.172	0.216	0.234	0.24	0.24	
3	2. Feb	0.179	0.229	0.249	0.257	0.257	
4	3. Mar	0.203	0.27	0.301	0.322	0.324	
5	4. Apr	0.22	0.304	0.335	0.351	0.356	
6	5. May	0.219	0.327	0.371	0.393	0.394	
7	6. Jun	0.225	0.315	0.346	0.362	0.365	
8	7. Jul	0.228	0.338	0.374	0.393	0.397	
9	8. Aug	0.231	0.348	0.4	0.432	0.444	
10	9. Sep	0.215	0.295	0.325	0.339	0.344	
11	10. Oct	0.201	0.261	0.286	0.296	0.298	
12	11. Nov	0.191	0.257	0.289	0.309	0.312	
13	12. Dec	0.172	0.228	0.258	0.281	0.298	
14	Average	0.204	0.281	0.313	0.33	0.335	0.2926
15							
16		60 liter	100 liter	150 liter	250 liter	400 liter	4 m^2
17	1. Jan	0.223	0.333	0.383	0.401	0.401	
18	2. Feb	0.227	0.348	0.404	0.429	0.431	
19	3. Mar	0.232	0.374	0.462	0.507	0.522	
20	4. Apr	0.231	0.388	0.511	0.57	0.581	
21	5. May	0.233	0.39	0.523	0.612	0.633	
22	6. Jun	0.236	0.4	0.528	0.59	0.599	
23	7. Jul	0.235	0.402	0.549	0.633	0.649	
24	8. Aug	0.238	0.408	0.558	0.656	0.688	
25	9. Sep	0.231	0.388	0.501	0.557	0.568	
26	10. Oct	0.234	0.378	0.456	0.49	0.495	
27	11. Nov	0.231	0.359	0.438	0.485	0.501	
28	12. Dec	0.22	0.327	0.391	0.43	0.448	
29	Average	0.231	0.374	0.474	0.528	0.541	0.4296

รูปที่ 3.11 ผลจากการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลงานวิจัยอื่น ในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้น

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัยและอุปกรณ์ที่ใช้

4.1 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ทำการศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และเก็บข้อมูลการใช้น้ำร้อนในโรงฆ่าสัตว์ที่ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้
2. ทำการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เพื่อหาค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และค่า $F_R U_L$ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
3. ทำการทดสอบถังเก็บน้ำร้อน เพื่อหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของถัง $(UA)_T$
4. สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อหามูลค่าในแต่ละระบบได้ว่าให้ค่า Solar fraction และปริมาณความร้อนที่ใช้เสริมเป็นเท่าไร โดยอาศัยข้อมูลการใช้น้ำร้อนของโรงฆ่าสัตว์ และสภาพอากาศของจังหวัดเชียงใหม่
5. ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์กับระบบเดิมที่ใช้ในโรงฆ่าสัตว์

4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

โครงการวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และศึกษาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการนำระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับโรงฆ่าสัตว์ โดยในการศึกษาจะทำการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แล้วนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

4.2.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ลักษณะและขนาดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แสดงในตารางที่ 4.1 และรายละเอียดส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งจะประกอบไปด้วย

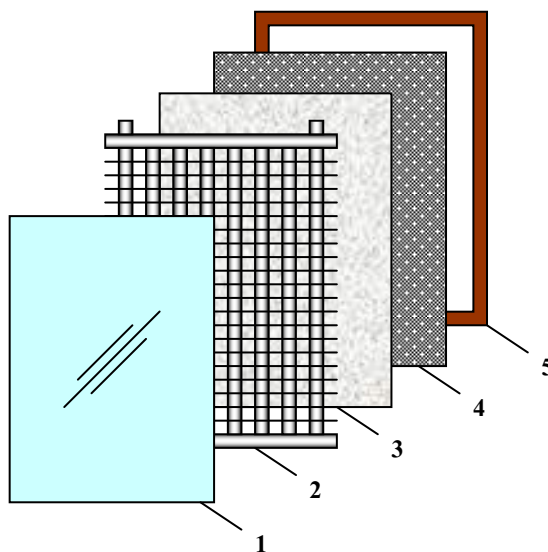
1. กระจกใส
2. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดครีบอลูมิเนียม
3. ฉนวนไมโครไฟเบอร์ชนิดดัดอลูมิเนียมฟลอยด์
4. แผ่นรองอลูมิเนียมผิวเปลือกส้ม
5. กรอบอลูมิเนียม

ตารางที่ 4.1 ลักษณะและขนาดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่นำมาทดสอบ

Header	ท่อทองแดงขนาด 2.54 cm ยาว 117 cm
Riser	ท่อทองแดงขนาด 9.525 mm ยาว 197 cm จำนวน 44 ท่อ
Absorber	อลูมิเนียมเป็นครีปดักรังสี หนา 0.5 mm กว้าง 1.5 cm ยาว 117 cm
Insulation	ไมโครไฟเบอร์ชนิดดัดอลูมิเนียมฟลอยด์ หนา 5.08 cm
Glass cover	หนา 4 mm
Collector area	2 m ²



รูปที่ 4.1 ลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่นำมาทดสอบ



รูปที่ 4.2 รายละเอียดส่วนประกอบของตัวเก็บรังสี

4.2.2 ถังเก็บสะสมน้ำร้อน

ถังเก็บสะสมน้ำร้อนเป็นถังขนาด 200 liter ทำจากแตนเลส หนา 1.5 mm ม้วนขึ้นรูปโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 48 cm ยาว 112 cm หุ้มด้วยฉนวนโพลียูรีเทน (โฟมเท) หนา 5 cm ปิดทับด้วยแผ่นอลูมิเนียมเปลือกผิวสัมนหนา 0.7 mm และฝาถังทั้งสองข้างทำจากแตนเลสขึ้นรูปหนา 1.2 mm



รูปที่ 4.3 ถังเก็บสะสมน้ำร้อนที่ใช้ในการทดสอบ

4.2.3 ชุดทดสอบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ชุดทดสอบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้ผลิตน้ำร้อน โดยสามารถตั้งอุณหภูมิน้ำที่จะเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์ ให้มีค่าสม่ำเสมอได้เพื่อให้การทดสอบสามารถทำได้ครอบคลุมทุกช่วงอุณหภูมิการทำงาน ซึ่งชุดทดสอบจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆดังต่อไปนี้

1. ตู้ควบคุมการทำงาน ทำหน้าที่เพื่อควบคุมการทำงานของระบบชุดทดสอบทั้งหมด คือ ควบคุม ฮีตเตอร์, ปั๊มน้ำ และพัดลมระบายความร้อน ให้สามารถสอดคล้องกันได้
2. มอเตอร์ปั๊มน้ำ ทำหน้าที่ ควบคุมน้ำให้หมุนเวียนภายในระบบชุดทดสอบ ยี่ห้อ VENZ รุ่น V.P. 100 ขนาด 0.75 kW
3. ฮีตเตอร์ ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บน้ำตามค่าที่เซทไว้ ของ Temperature Controller ยี่ห้อ SANG 1 รุ่น EQ-132 ขนาด 4500 W

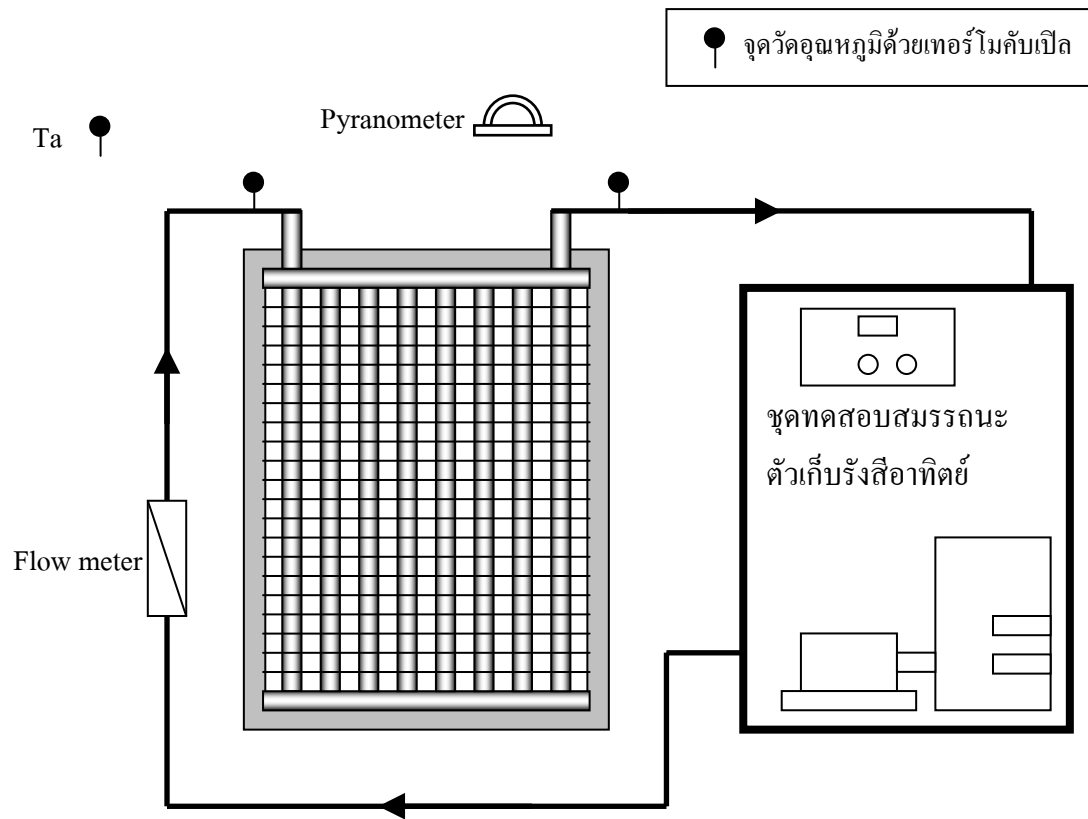
4. ชุดระบายความร้อน ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้แก่น้ำที่วนกลับมาเข้าถังเก็บน้ำ เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิน้ำไว้ให้ไม่เกินตามที่เราต้องการ
5. โฟลมิเตอร์ ทำหน้าที่วัดอัตราการไหลของน้ำที่ปั๊มจากถังเก็บน้ำไปสู่แผงน้ำร้อน
6. พาวเวอร์ซัพพลาย ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแส, แรงดันไฟฟ้า จาก AC เป็น DC มาควบคุมพัดลมของชุดระบายความร้อน



รูปที่ 4.4 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์

4.3 เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล

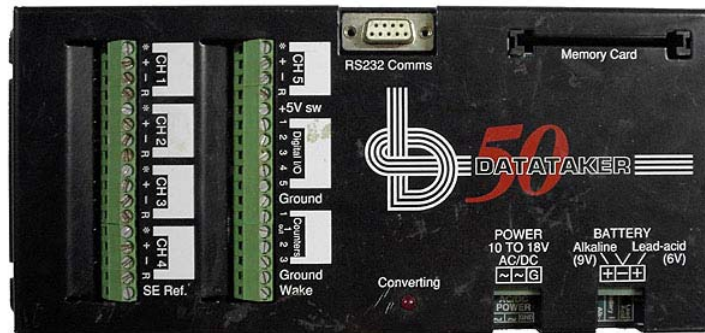
ในการทดสอบตัวเก็บรังสีนี้จะทำการวัดอุณหภูมิน้ำเข้า-ออกแผง อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อัตราการไหลของน้ำ และความเข้มแสงที่ตกบนระนาบตัวเก็บรังสี เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าสมรรถนะของตัวเก็บรังสี โดยแสดงจุดที่ทำการวัด ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 จุดวัดค่าต่างๆ ในการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์

4.3.1 อุณหภูมิของน้ำในตัวเก็บรังสี

การวัดอุณหภูมิของน้ำในตัวเก็บรังสี โดยใช้ดาต้าเทคเกอร์ (DataTaker) รุ่น DT 50 ซึ่งมีความผิดพลาด ± 1.5 °C สามารถวัดอุณหภูมิได้ทั้งหมด 10 Channel กับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Thermo couple type K) โดยต่อร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ PC เพื่อที่จะรันโปรแกรมให้ดาต้าเทคเกอร์ทำงานและ ทำการเก็บข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.6 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

4.3.2 อัตราการไหลของน้ำในตัวเก็บรังสี

จะทำการวัดอัตราการไหลของน้ำก่อนเข้าแผง โดยใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow meter) ยี่ห้อ Taconova รุ่น AV23 มีช่วงการวัดอยู่ที่ 2-8 liter/min สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงสุด 100 °C ความดันสูงสุด 10 bar และค่าความผิดพลาด $\pm 10\%$ ของอัตราการไหลสูงสุด



รูปที่ 4.7 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสี

4.3.3 ค่ารังสีอาทิตย์

การวัดปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยใช้ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) และอ่านค่าโดยใช้ Solar integrator ของ KMUTT/ NECTEC Model SPD003 โดยทำการอ่านค่ารังสีรวมเป็น W/m^2 ค่าความผิดพลาด $\pm 5 \text{ W/m}^2$



รูปที่ 4.8 เครื่องวัดปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์

4.4 การติดตั้งอุปกรณ์และสถานที่ทำการทดสอบ

ทำการประกอบและการติดตั้งอุปกรณ์ ตัวเก็บรังสีต่อเข้ากับชุดทดสอบ โดยในการติดตั้งระบบทดสอบ ทำการติดตั้งที่คาบฟ้าชั้น 4 ตึกแมคคานิคภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยวางตัวเก็บรังสีทำมุมเอียง 18° กับแนวระดับและหันหน้าไปทางทิศใต้

4.5 การทดสอบ

การทดสอบตัวเก็บรังสีในโครงการวิจัยนี้ ทำการทดสอบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 โดยนำผลที่ได้มาเขียนกราฟเพื่อหาสมรรถนะของตัวเก็บรังสี

4.5.1 การทดสอบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77

1. การทดสอบจะต้องทดสอบในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีเมฆบังตอนใกล้เที่ยงวัน
2. ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ในขณะทำการทดสอบต้องไม่น้อยกว่า 630 W/m^2
3. ต้องควบคุมให้อุณหภูมิน้ำที่เข้าตัวเก็บรังสีมีค่าคงที่อย่างน้อย 15 นาที ก่อนเก็บข้อมูลเพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะสมดุล (Steady state)
4. การทดสอบจะต้องครอบคลุมอุณหภูมิของน้ำหลายๆ ค่า

5. อัตราการไหลของของไหลต้องคงที่ตลอดการทดสอบ ค่าที่แนะนำประมาณ 0.02 kg/s m² (พื้นที่รับรังสี) หรือ 75 liter/hr m² (พื้นที่รับรังสี)
6. บันทึกอัตราการไหลของน้ำ อุณหภูมิของน้ำตรงทางเข้าและออกของตัวเก็บรังสี และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม
7. วัดรังสีดวงอาทิตย์ด้วยไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) บนระนาบตัวเก็บรังสี
8. การทดสอบจะต้องทดสอบด้วยการไหลหมุนเวียนแบบบังคับ (Forced circulation)

4.5.2 วิธีการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์

1. ทดสอบในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส เวลาในการทดสอบช่วงประมาณ 11.00-14.00 น. ความเข้มแสงไม่น้อยกว่า 630 W/m²
2. ทำการต่อตัวเก็บรังสีเข้ากับชุดทดสอบสมรรถนะ
3. ติดตั้งจุดที่จะทำการวัดอุณหภูมิน้ำเข้า-ออก แผง อุณหภูมิอากาศ ค่ารังสีอาทิตย์
4. ทำการเดินเครื่องทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสี โดยปรับอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีไว้ที่ 2.5 liter/min
5. ตั้งอุณหภูมิน้ำเข้าตัวเก็บรังสีเริ่มต้นที่ 30 °C
6. รอให้ระบบอยู่ในสถานะสมดุล (Steady state) ก่อนประมาณ 15 นาที แล้วทำการบันทึกค่าจุดที่วัดต่างๆ ดังรูปที่ 4.5 แล้วทำการอ่านค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ด้วย Solar Integrator
7. ทำการทดสอบซ้ำตามข้อ 5-6 โดยทำการเพิ่มอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็น 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 °C ตามลำดับ

4.5.3 วิธีทดสอบหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของถังเก็บน้ำร้อน

1. ทำการทดสอบในช่วงเวลากลางคืนเพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่ถังเก็บ
2. บรรจุน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 60 °C ในถังเก็บจนเต็มถัง
3. ทำการบันทึกอุณหภูมิน้ำร้อนในถังเก็บโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K สอดเข้าไปในท่อคาปิลารีเพื่อที่จะวัดอุณหภูมิน้ำร้อนกลางถัง
4. บันทึกอุณหภูมิน้ำร้อนภายในถัง และอุณหภูมิอากาศโดยรอบทุกๆ 15 นาที
5. คำนวณหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของถังเก็บน้ำร้อนโดยใช้สมการ (2.34)

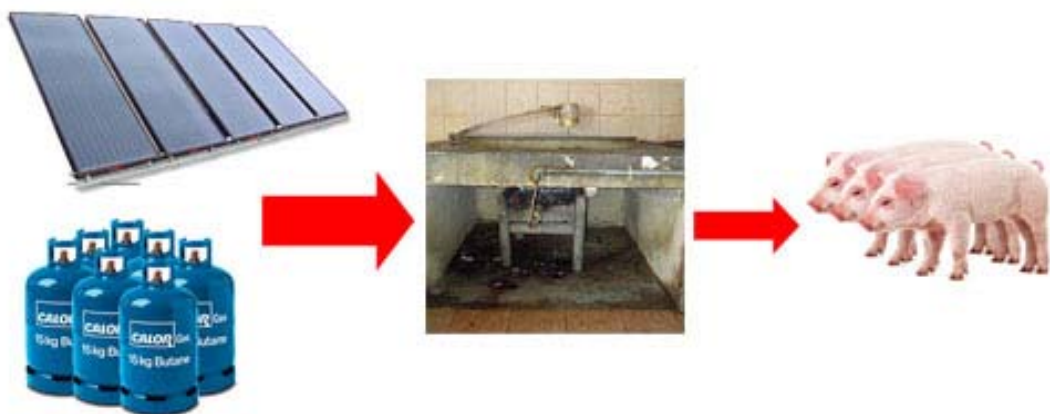
บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์

ปัจจุบันการทำน้ำร้อนของโรงฆ่าสัตว์ที่ได้ทำการศึกษาได้ใช้กระติกขนาดใหญ่บรรจุน้ำแล้วนำไปต้มโดยใช้ความร้อนจากแก๊ส LPG ซึ่งในการเลือกขนาดระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สำหรับโรงฆ่าสัตว์นี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาขนาดของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม โดยกำหนดให้ใช้ระบบเดิมที่มีอยู่มาให้ความร้อนเสริมในกรณีที่อุณหภูมิไม่เพียงพอกับความต้องการ ทั้งนี้เพื่อไม่เกิดผลของลักษณะการใช้น้ำร้อนที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 5.1 ระบบการใช้น้ำร้อนของโรงฆ่าสัตว์แบบเดิม

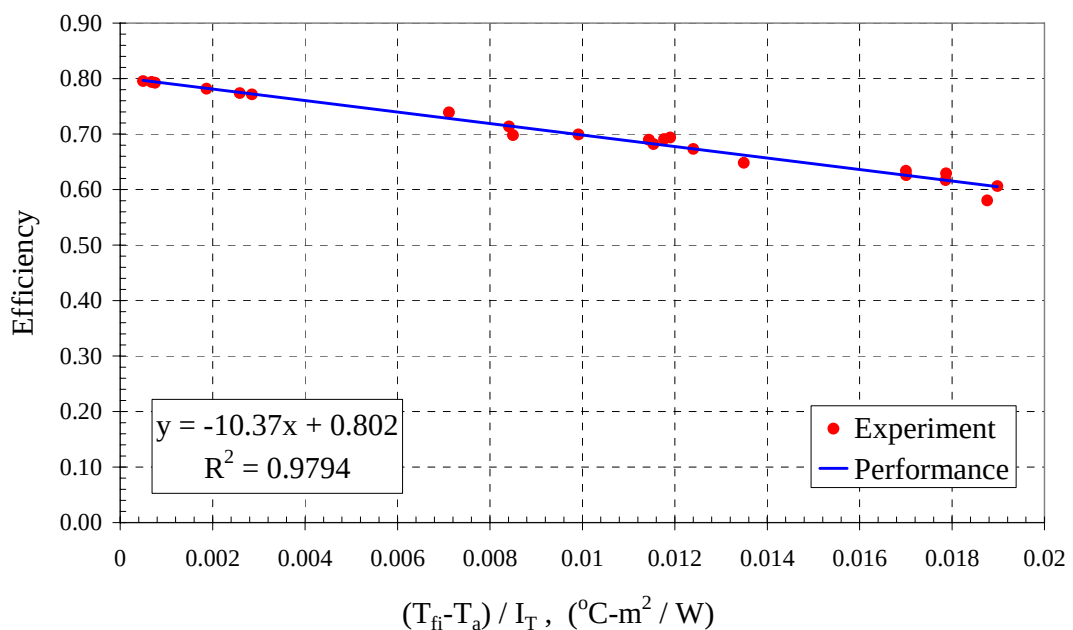


รูปที่ 5.2 ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สำหรับโรงฆ่าสัตว์

5.1 ผลการทดลอง

5.1.1 ผลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ในการทดสอบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีทำการทดสอบในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ความเข้มของรังสีอาทิตย์มากกว่า 800 W/m^2 โดยวิธีการทดสอบทำการบันทึกค่าต่างๆ ตามหัวข้อ 3.4.2 จากการทดสอบหาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์พบว่าค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ มีค่าเท่ากับ 0.802 และ $10.37 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.1

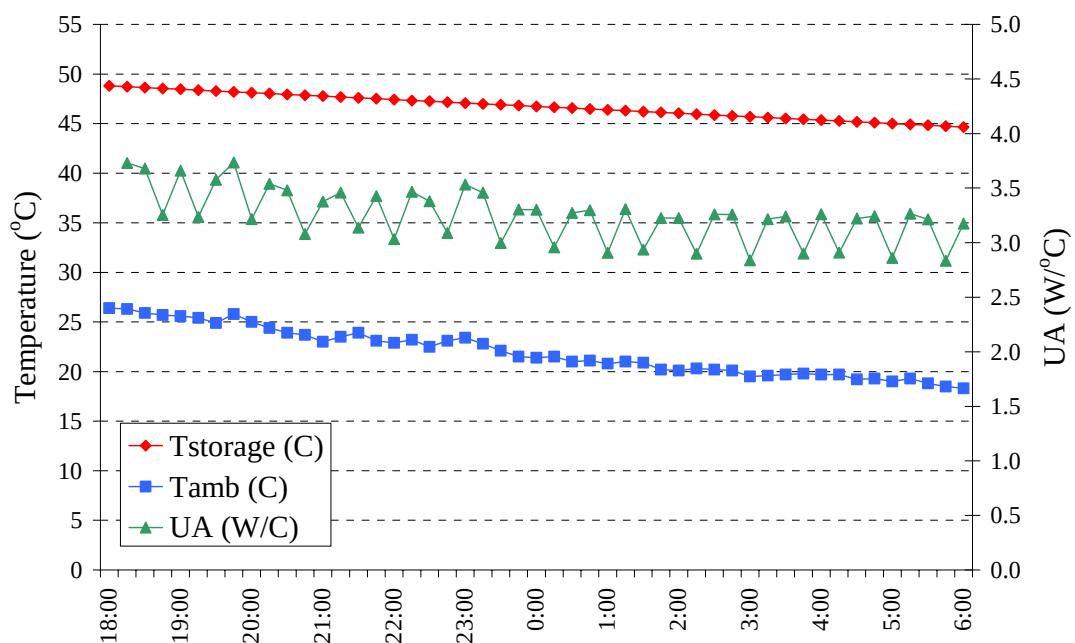


รูปที่ 5.3 สมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

จะเห็นได้ว่าค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ ของตัวเก็บรังสีที่นำมาทดสอบนั้นมีค่าสูงพอสมควร แต่ค่า $F_R U_L$ นั้นก็มีค่าสูงซึ่งจะทำให้ตัวเก็บรังสีนี้มีการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้มากเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์บางยี่ห้อที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ พบว่าค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ มีค่าเท่ากับ 0.7724 และ $8.36 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ตามลำดับ (Solar Rating and Certification Corporation, 2549) ซึ่งค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ จะใกล้เคียงกันแต่ค่า $F_R U_L$ จะมีค่าต่ำกว่าหมายถึงตัวเก็บรังสีอาทิตย์นี้สามารถป้องกันการสูญเสียความร้อนได้ดีกว่า แต่ค่าใช้จ่ายในการลงทุนนั้นก็สูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ผลิตภายในประเทศมาก ประมาณ 99,000 บาท ต่อแผงขนาด 2 m^2 และถึงเก็บน้ำร้อนขนาด 180 liter

5.1.2 ผลการทดสอบถังเก็บน้ำร้อน

การทดสอบหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของถังเก็บน้ำร้อน โดยในการทดสอบจะทำการทดสอบช่วงกลางคืนเพื่อป้องกันความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ถังเก็บ และเพื่อความสะดวกในการพิจารณา ซึ่งอุณหภูมิอากาศโดยรอบตอนทำการทดสอบสูงสุดอยู่ที่ 26.4°C และต่ำสุดที่ 18.3°C โดยผลการทดสอบและการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน $(UA)_T$ ของถังเก็บดังแสดงในรูปที่ 5.2



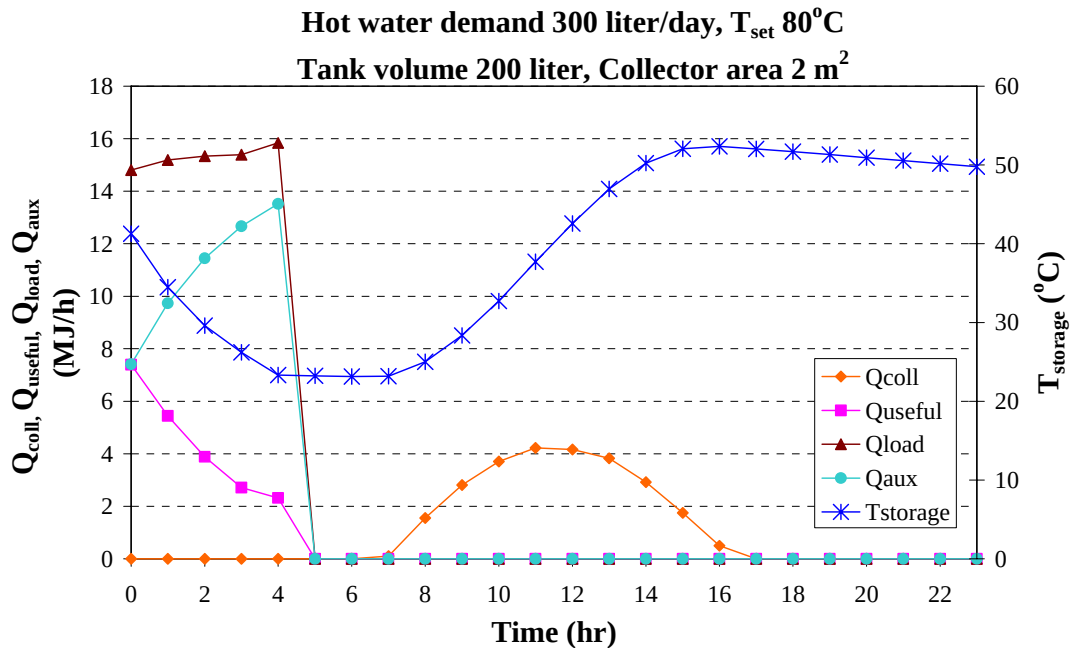
รูปที่ 5.4 สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของถังเก็บน้ำร้อน

จะเห็นได้ความสามารถในการเก็บน้ำร้อนของถังในช่วงเวลา 18:00 น. ถึง 6:00 น. จะลดลงจากอุณหภูมิ 48.8°C ไปเป็น 44.7°C จะลดลงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.1°C (0.34°C/hr) และสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน $(UA)_T$ ของถังเก็บน้ำร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ $3.247\text{ W/}^{\circ}\text{C}$

5.2 การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะนำผลที่ได้จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์และถังเก็บน้ำร้อนมาใส่เข้าในแบบจำลองเพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนต่างๆ ที่

ได้จากระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ โดยที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ในแนวระนาบแผงอยู่ในช่วง 300-840 W/m^2 ขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2 m^2 ขนาดถังเก็บน้ำร้อน 200 liter พบว่าสามารถทำอุณหภูมิในถังได้สูงขึ้นถึง 52 $^{\circ}\text{C}$ และเมื่อนำเงื่อนไขการใช้งานน้ำร้อนของโรงฆ่าสัตว์มาวิเคราะห์จะได้ผลดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.5 ปริมาณความร้อน และอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนที่คำนวณได้จากแบบจำลอง

จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงตอนกลางคืนเวลาเที่ยงคืนถึงตีห้า มีการใช้น้ำร้อนในถังเก็บ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังลดลงไปเรื่อยๆ โดยที่ความร้อนที่สามารถดึงได้จากถังเก็บก็จะลดลงตามจึงทำให้มีการใช้ปริมาณความร้อนเสริมที่สูงขึ้นในช่วงเวลาตีสี่ถึงตีห้า เมื่อระบบได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิในถังเริ่มสูงขึ้นจนกระทั่งแสงอาทิตย์หมด อุณหภูมิในถังเก็บจึงเริ่มลดลงเนื่องจากการสูญเสียความร้อนจากถังเก็บ และเมื่อนำปริมาณความร้อนที่สามารถดึงได้จากถังเก็บน้ำร้อนมาเทียบกับปริมาณความร้อนที่ต้องให้กับภาระทั้งหมด พบว่าระบบนี้มีสัดส่วนค่า Solar fraction ประมาณ 0.284

5.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบขนาดต่างๆ

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบขนาดต่างๆ ที่จะนำมาใช้กับโรงฆ่าสัตว์ที่ทำการศึกษานี้ จะทำการปรับเปลี่ยนขนาดของถังเก็บน้ำร้อน และขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์เพื่อหาค่า Solar fraction และปริมาณความร้อนที่ใช้เสริมในระบบต่อปีว่ามีค่าเป็นอย่างไร โดยมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์เป็นดังนี้

1. พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ทำการศึกษามีขนาด $2 - 8 \text{ m}^2$
2. ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำการศึกษามีขนาด $100 - 400 \text{ liter}$
3. อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าคงที่ 75 liter/hr m^2 (พื้นที่รับรังสี)
4. เปรียบเทียบการต่อตัวเก็บรังสีแบบขนานและแบบอนุกรม
5. ปริมาณการใช้น้ำร้อน 300 liter ต่อคืน ในช่วงเวลาเที่ยงคืนถึงตีห้าของทุกวัน
6. อุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้ 80°C
7. ประสิทธิภาพในการใช้น้ำร้อนของโรงฆ่าสัตว์ 10%

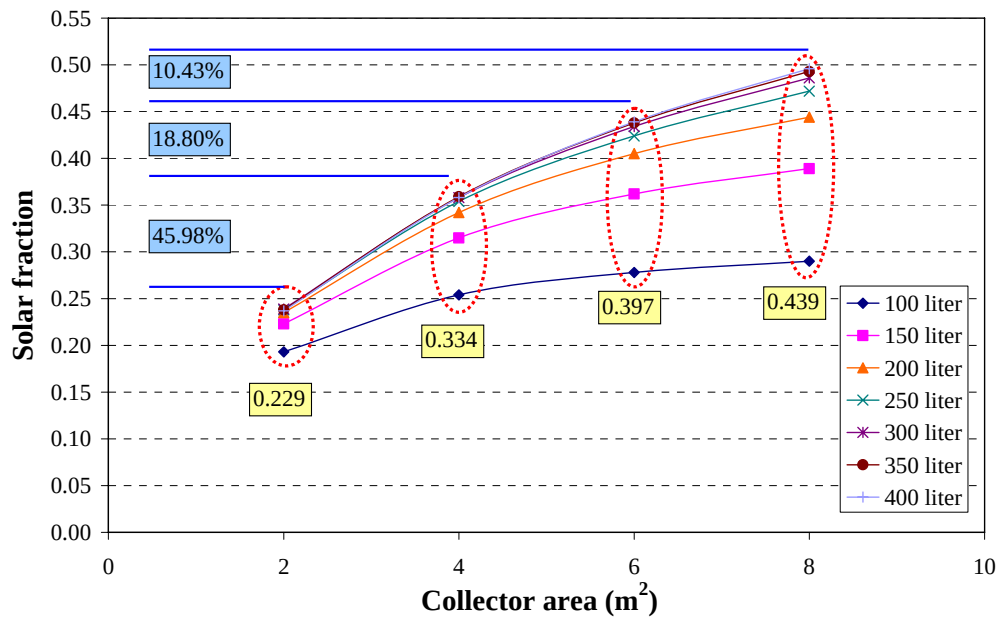
5.3.1 ผลของการต่อตัวเก็บรังสีแบบขนานและแบบอนุกรม

ในการต่อตัวเก็บรังสีแบบขนานนั้นค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ จะไม่แตกต่างจากการทดสอบ ต่อเมื่ออัตราการไหลของน้ำที่ใช้ผ่านแผงต่อพื้นที่รับรังสีเท่ากับแบบทดสอบ (โดยสมมติแบ่งอัตราการไหลเข้าแต่ละแผงเท่าๆกัน) ส่วนการต่อตัวเก็บรังสีแบบอนุกรมนั้นค่าการสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสีตัวหลังๆ จะมีค่าสูงเนื่องจากการทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่าตัวเก็บรังสีตัวแรก แต่เมื่อพิจารณาค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ รวมของตัวเก็บรังสีที่ต่ออนุกรมกันพบว่าค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ ที่ได้จะมีค่าเท่ากับแบบต่อขนาน สรุปได้ว่าการต่อตัวเก็บรังสีแบบขนานกับแบบอนุกรมจะให้ค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ ที่เท่ากันก็ต่อเมื่ออัตราการไหลของน้ำต่อพื้นที่รับรังสีเท่ากัน แต่ในการต่อแบบขนานนั้นต้องแน่ใจว่าอัตราการไหลที่แบ่งเข้าแต่ละแผงต้องเท่าๆ กัน

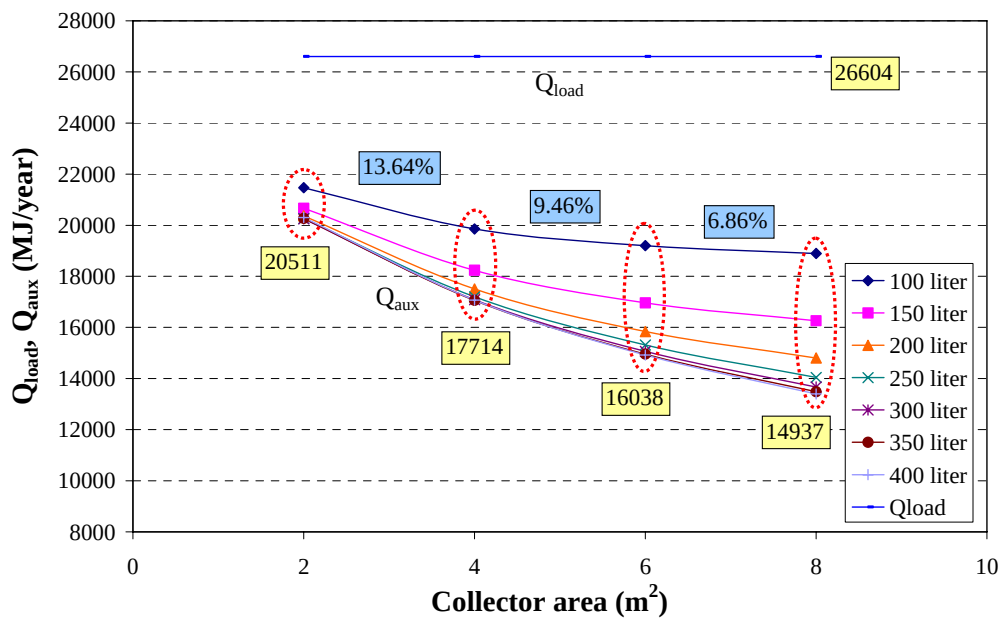
5.3.2 ผลของพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

พบว่าค่า Solar fraction โดยเฉลี่ยตลอดทั้งปี จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มขนาดพื้นที่รับรังสี จาก 2 m^2 ไปเป็น 4 m^2 จะได้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า Solar fraction สูงสุดโดยเฉลี่ย 45.98% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการเพิ่มพื้นที่จาก 4 m^2 เป็น 6 m^2 และจาก 6 m^2 เป็น 8 m^2 ที่ให้ค่า Solar fraction เพิ่มขึ้น 18.80% และ 10.43% ตามลำดับ

ปริมาณความร้อนเสริมโดยเฉลี่ยตลอดทั้งปี จะลดลงเมื่อเพิ่มขนาดพื้นที่รับรังสีเพิ่มขึ้น พบว่าเมื่อเพิ่มพื้นที่รับรังสี 2 m² ไปเป็น 4 m² จะลดปริมาณการใช้ความร้อนเสริมโดยเฉลี่ยได้ถึง 13.64% ส่วนพื้นที่รับรังสีจาก 4 m² ไปเป็น 6 m² และ 6 m² ไปเป็น 8 m² จะสามารถลดปริมาณการใช้ความร้อนเสริมได้ 9.46% และ 6.86% ตามลำดับ



รูปที่ 5.6 ผลของพื้นที่ตัวเก็บรังสีที่มีต่อค่า Solar fraction โดยเฉลี่ยต่อปี

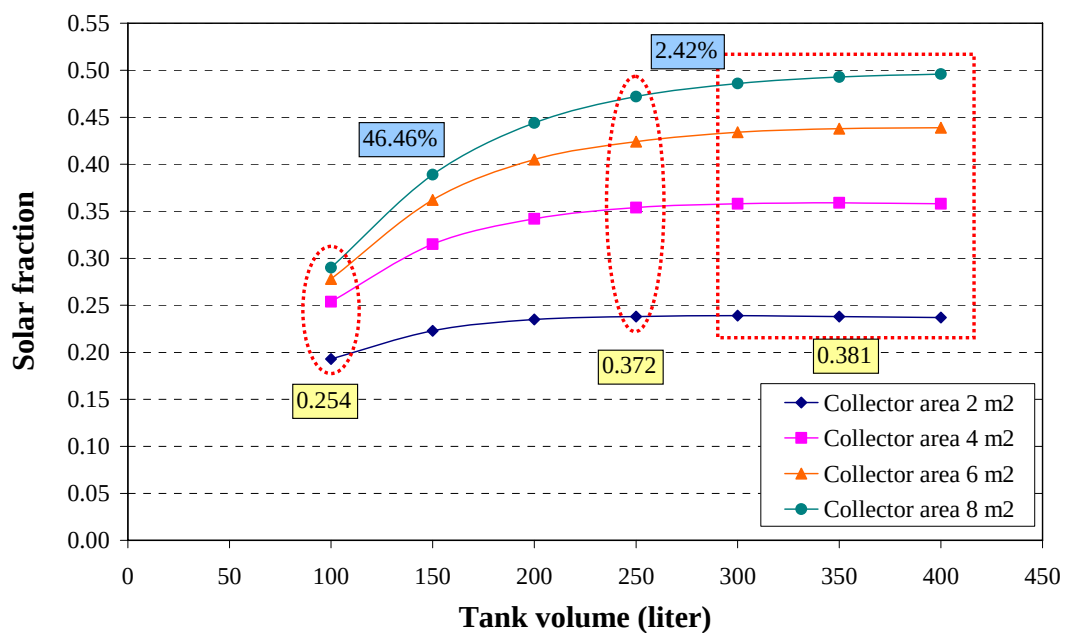


รูปที่ 5.7 ผลของพื้นที่ตัวเก็บรังสีที่มีต่อปริมาณความร้อนเสริมโดยเฉลี่ยต่อปี

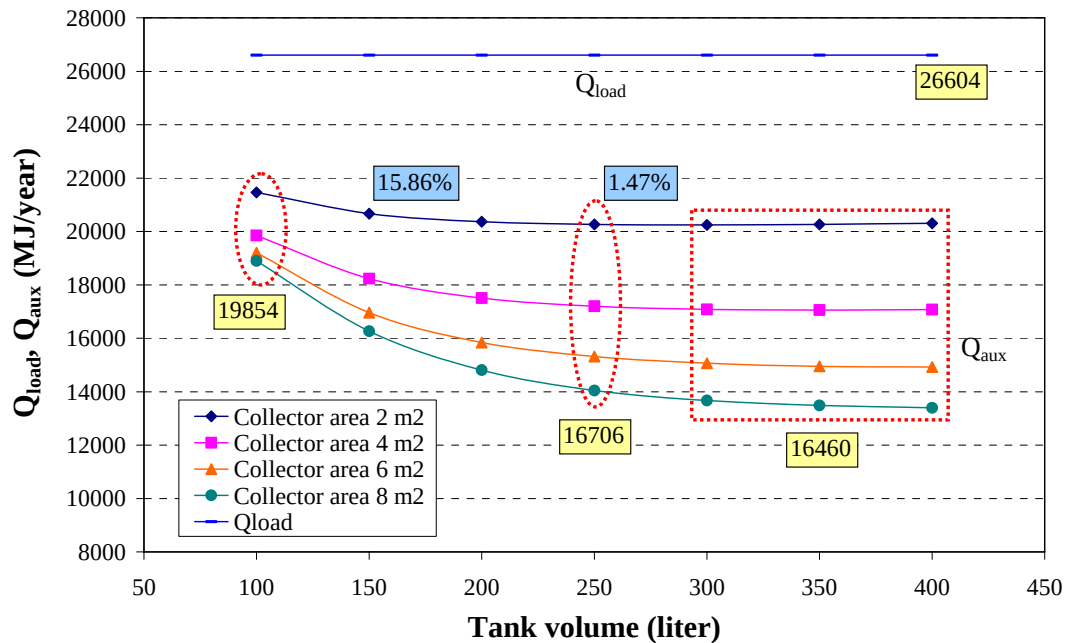
5.3.3 ผลของขนาดถังเก็บน้ำร้อน

ผลของขนาดถังเก็บน้ำร้อน พบว่าขนาดของถังเก็บน้ำร้อนที่มีขนาดใหญ่จะให้ค่า Solar fraction ที่สูงกว่าถังขนาดเล็ก และปริมาณความร้อนที่ใช้เสริมจะลดลงด้วย โดยเมื่อเพิ่มขนาดถังเก็บน้ำร้อนจาก 100 liter ไปเป็น 250 liter จะให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า Solar fraction เท่ากับ 46.46% และเมื่อเพิ่มขนาดของถังเก็บน้ำร้อนมากกว่า 250 liter แล้ว พบว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า Solar fraction มีค่าไม่มากนัก โดยเฉลี่ยแล้ว 2.42%

ปริมาณความร้อนเสริมโดยเฉลี่ยตลอดทั้งปี จะลดลงเมื่อขนาดถังเก็บน้ำร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งจะคล้ายๆ กับกรณีของการเพิ่มจำนวนตัวเก็บรังสี จะพบว่าเมื่อเพิ่มขนาดของถังเก็บน้ำร้อนจาก 100 liter ไปเป็น 250 liter จะลดปริมาณการใช้ความร้อนเสริมโดยเฉลี่ยได้ถึง 15.86% แต่เมื่อขนาดถังเก็บน้ำร้อนตั้งแต่ 250 liter ขึ้นไปจะทำให้ลดปริมาณการใช้ความร้อนเสริมได้ไม่มาก โดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 1.47% เท่านั้น



รูปที่ 5.8 ผลของปริมาตรถังเก็บน้ำร้อนที่มีต่อค่า Solar fraction โดยเฉลี่ยต่อปี



รูปที่ 5.9 ผลของถังเก็บน้ำร้อนที่มีต่อปริมาณความร้อนเสริมโดยเฉลี่ยต่อปี

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบขนาดต่างๆ ข้างต้นพบว่าขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นค่า Solar fraction ก็จะเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของขนาดถังเก็บน้ำร้อน โดยในช่วงแรกเมื่อเพิ่มพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์หรือขนาดของถังเก็บน้ำร้อนค่า Solar fraction นั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างมากและจะค่อยๆ น้อยลง โดยที่ขนาดของตัวเก็บรังสีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ทางความร้อนจะอยู่ที่ 4 m² และขนาดของถังเก็บน้ำร้อนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 200-300 liter แต่อย่างไรก็ตามในการเลือกขนาดของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมนั้นต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์อีกด้วย

5.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การเลือกระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์มาใช้งานนั้น นอกจากจะคำนึงถึงสมรรถนะของระบบแล้วสิ่งที่สำคัญอีกอย่างคือ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ถึงแม้ว่าระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์จะมีสมรรถนะสูงเพียงใดก็ตาม แต่ถ้าวการลงทุนสูงก็ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน การตัดสินใจว่าจะเลือกระบบผลิตน้ำร้อนแบบไหนนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายและต้นทุนพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการเลือกระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์มาใช้งานกับโรงฆ่าสัตว์

ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์นี้ ได้ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับเงินลงทุนเบื้องต้นของระบบ โดยพิจารณาจากราคาวัสดุ ค่าแรงในการสร้าง การติดตั้งระบบ ค่าใช้จ่ายในการใช้งาน ค่าซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาดังต่อไปนี้

1. เงินลงทุนเบื้องต้นของระบบพิจารณาจากค่าอุปกรณ์ ค่าแรงในการติดตั้งดังตารางที่ 5.1
2. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ยืมค้ารายย่อยขั้นต่ำ (Minimum Retail Rate, MRR) กำหนด 7.25% ต่อปี (ธนาคารกรุงไทย กุมภาพันธ์, 2549)
3. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบเริ่มต้นที่ 5,000 Baht และจะเพิ่มขึ้น 20% ต่อการเพิ่มจำนวนแผงขึ้น 1 แผง
4. ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษาระบบกำหนดให้เป็น 15% ของเงินลงทุนเริ่มต้น
5. มูลค่าซากของระบบเมื่อหมดอายุการใช้งานแล้วเป็น 10% ของเงินลงทุนเริ่มต้น
6. อายุการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ 10 year
7. ต้นทุนของพลังงานจากแก๊สกำหนดให้เป็น 17 Baht/kg

ตารางที่ 5.1 เงินลงทุนเบื้องต้นของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์

รายการ	ราคา (Baht)
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาด 2 m^2 จำนวน 1 แผง	19,260
ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 200 liter	16,050
อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ป้อนน้ำ ชุดควบคุม	12,000
ค่าติดตั้งระบบ	5,000
รวมเงินลงทุนเริ่มต้น	52,310

5.4.1 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (Annual Cost)

จากสมการ 2.41 ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์

$$AC = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4)(CRF) + (M_{LPG} C_{LPG}) + OM - S(SSF)$$

โดยที่ $(P_1 + P_2 + P_3 + P_4) = 52,310 \text{ Baht}$

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0.0725(1+0.0725)^{10}}{(1+0.0725)^{10} - 1} = 0.144$$

M_{LPG} = ปริมาณแก๊ส LPG ที่ใช้เพื่อเป็นความร้อนเสริมต่อปี มีค่าเท่ากับ 4431.29 kg/year (ผลจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง)

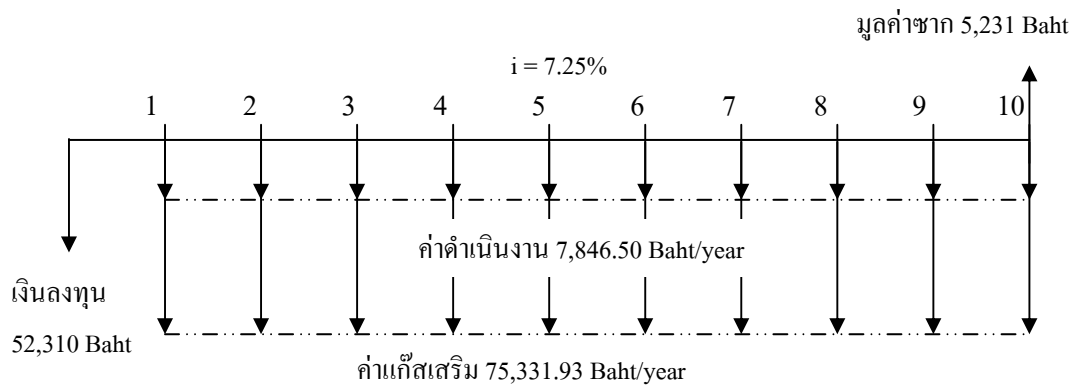
C_{LPG} = ราคาแก๊ส LPG ต่อหน่วยมวลเป็น 17 Baht/kg

OM = ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษาระบบคิดเป็น 15% ของเงินลงทุนเริ่มต้นจะเท่ากับ 7,846.50 Baht/year

S = มูลค่าซากระบบคิดเป็น 10% ของเงินลงทุนเริ่มต้นจะเท่ากับ 5,231 Baht

$$SFF = \frac{i}{(1+i)^n - 1} = \frac{0.0725}{(1+0.0725)^{10} - 1} = 0.072$$

$$\begin{aligned} \therefore AC &= (52,310 \times 0.144) + (4,431.29 \times 17) + 7,846.50 - (5,231 \times 0.072) \\ &= 90,334.44 \text{ Baht/year} \end{aligned}$$



รูปที่ 5.10 Cash flow แสดงค่าใช้จ่ายของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์แต่ละปี

5.4.2 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

จากสมการที่ 2.44 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์

$$NPV = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) + (M_{LPG} C_{LPG} + OM)(USPWF) - S(SPPWF)$$

โดยที่ $USPWF = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \frac{(1+0.0725)^{10} - 1}{0.0725(1+0.0725)^{10}} = 6.944$

$$SPPWF = \frac{1}{(1+i)^n} = \frac{1}{(1+0.0725)^{10}} = 0.497$$

$$\begin{aligned} \therefore NPV &= 52,310 + (7,846.50 + 75,331.93)(6.944) - (5,231 \times 0.497) \\ &= 627,301.21 \text{ Baht} \end{aligned}$$

5.4.3 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period, SPP)

การวิเคราะห์หาจำนวนปีที่คุ้มทุนของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ สามารถหาได้จากค่าใช้จ่ายในการทำน้ำร้อนวิธีเดิมต่อค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เมื่อติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์แล้ว

การหาค่าใช้จ่ายในการทำน้ำร้อนโดยวิธีเดิม

กำหนดให้

อุณหภูมิน้ำก่อนต้ม	= 25 °C
อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน	= 80 °C
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	= 0.00419 MJ/kg°C
ค่าความร้อนของแก๊ส LPG	= 45.958 MJ/kg
ประสิทธิภาพในการใช้น้ำร้อน	= 10 %
ราคาแก๊ส LPG	= 17 Baht/kg
ปริมาณการใช้น้ำร้อน	= 300 liter/day

$$\begin{aligned} \text{ความร้อนที่ต้องการโดยใช้วิธีการต้มน้ำแบบเดิม} &= M_w C_p (\Delta T) \\ &= 300 \times 0.00419 \times (80 - 25) \\ &= 69.135 \text{ MJ/day} \\ \text{หรือคิดเป็น} &= 25234.28 \text{ MJ/year} \end{aligned}$$

เมื่อประสิทธิภาพในการใช้น้ำร้อนเป็น 10% ดังนั้นปริมาณแก๊ส LPG ที่ต้องใช้จริงของโรงฆ่าสัตว์

$$\text{แห่งนี้เป็น } M_{LPG} = \frac{Q_{load}}{\eta_o H_L} = \frac{25234.28}{0.1 \times 45.958} = 5490.73 \text{ kg/year}$$

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้นค่าใช้จ่ายในซื้อแก๊ส LPG ระบบเดิม} &= 5490.73 \times 17 \\ &= 93,342.41 \text{ Baht/year}\end{aligned}$$

ค่าใช้จ่ายพลังงานเสริมในระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์

ค่า Solar fraction ของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์มีค่าเป็น 0.235 (ผลจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง) เนื่องจากค่า Solar fraction มีค่าเป็นไปตามสมการที่ 2.40 ดังนั้นปริมาณความร้อนเสริมที่เข้ามาช่วยให้แก่ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์จึงมีค่าเป็น $Q_{aux} = Q_{load} (1 - f_s)$

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้เสริม} &= 25234.28(1 - 0.235) \\ &= 19304.22 \text{ MJ/year}\end{aligned}$$

เมื่อประสิทธิภาพในการใช้น้ำร้อนเป็น 10% ดังนั้นปริมาณแก๊ส LPG ที่ต้องใช้

$$M_{LPG} = \frac{Q_{aux}}{\eta_o H_L} = \frac{19304.22}{0.1 \times 45.958} = 4200.40 \text{ kg/year}$$

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้นค่าใช้จ่ายในซื้อแก๊ส LPG มาเสริม} &= 4200.40 \times 17 \\ &= 71,406.80 \text{ Baht/year}\end{aligned}$$

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ = ค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊ส LPG มาต้มน้ำวิเศษเดิม
 – ค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊ส LPG มาเสริมในระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์
 – ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์

$$\begin{aligned}&= 93,342.41 - 71,406.80 - 7,846.50 \\ &= 14,089.11 \text{ Baht/year}\end{aligned}$$

$$\therefore SPP = \frac{\text{First Cost}}{\text{Cost Saving}} = \frac{52,310}{14,089.11}$$

$$= 3.71 \text{ year}$$



รูปที่ 5.11 Cash flow แสดงการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

5.4.4 การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return, IRR)

ผลตอบแทนในการลงทุนสามารถหาได้จากสมการที่ 2.48 โดยโครงการที่มีค่าผลตอบแทนในการลงทุนสูงกว่า MARR (Minimum attractive rate of return) เป็นโครงการที่น่าจะถูกเลือก ในที่นี้จะกำหนดให้ผลตอบแทนแต่ละปี หรือค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้มีค่าเท่าๆ กันทุกปี

จากสมการ

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC = 0$$

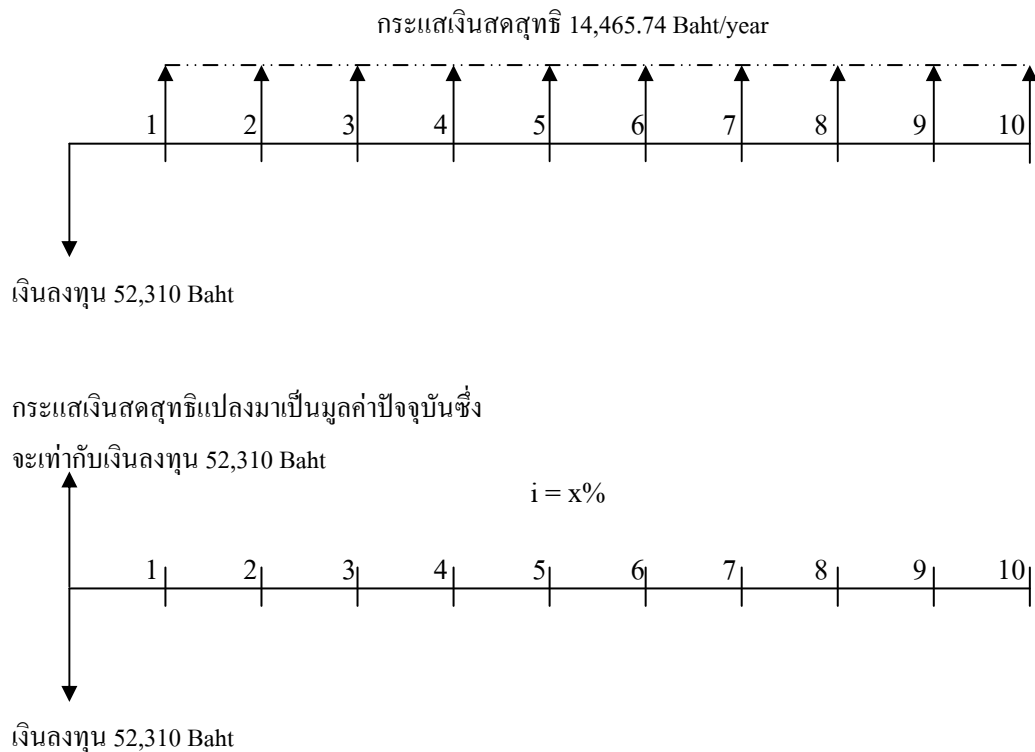
NCF_n = กระแสเงินสดสุทธิของปีที่ n ซึ่งในการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนในการลงทุน หมายถึงกระแสเงินสดที่ได้รับสุทธิในแต่ละปี ซึ่งได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ กับมูลค่าซากที่แปลงมาเป็นรายปี $S(SFF)$ ซึ่งจะเท่ากับ $(14,089.11 + 376.63) = 14,465.74$ Baht/year

TIC = เงินลงทุนเริ่มต้นมีค่าเป็น 52,310 Baht

$$NPV = \frac{14,465.74}{(1+i)} + \frac{14,465.74}{(1+i)^2} + \frac{14,465.74}{(1+i)^3} + \frac{14,465.74}{(1+i)^4} + \frac{14,465.74}{(1+i)^5} + \frac{14,465.74}{(1+i)^6} + \frac{14,465.74}{(1+i)^7} + \frac{14,465.74}{(1+i)^8} + \frac{14,465.74}{(1+i)^9} + \frac{14,465.74}{(1+i)^{10}} - 52,310 = 0$$

∴ $IRR = 0.2458$ หรือ 24.58%

MARR ในที่นี้หมายถึงอัตราดอกเบี้ยเงินฝากซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.75% ต่อปี (ธนาคารกรุงไทย กุมภาพันธ์, 2549) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราผลตอบแทนในการลงทุนติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ มีค่าสูงกว่า MARR ซึ่งโครงการนี้น่าลงทุน



รูปที่ 5.12 Cash flow แสดงการวิเคราะห์ผลตอบแทนในการลงทุน

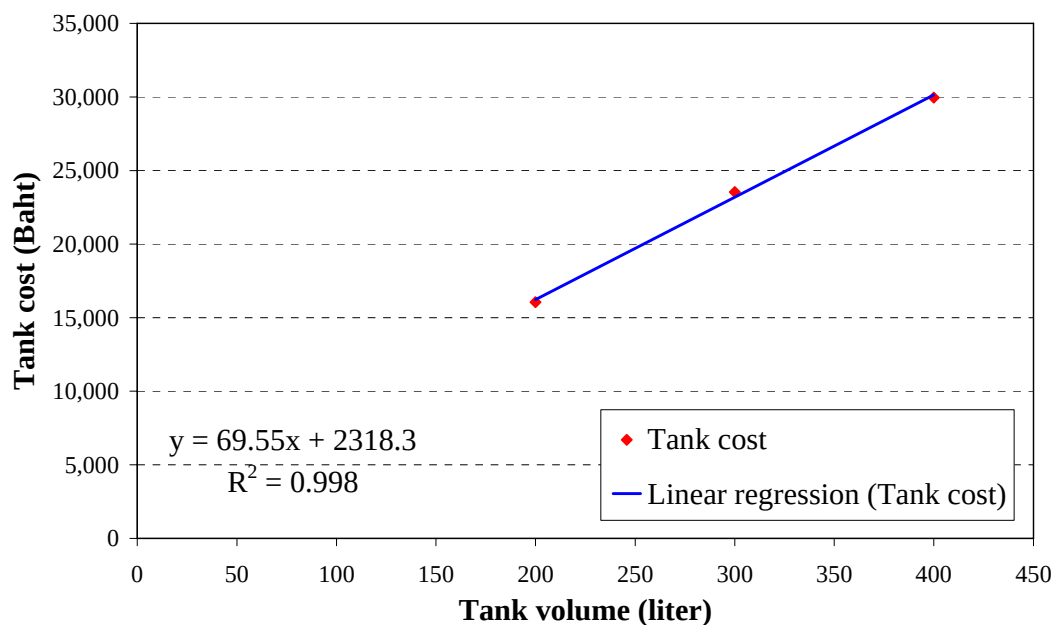
จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาด 2 m^2 และถึงเก็บน้ำร้อน 200 liter สามารถให้ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี 90,334.40 บาท/ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 627,301.21 บาท ระยะเวลาคืนทุน 3.71 ปี อัตราผลตอบแทนในการลงทุน 24.58% ซึ่งการคำนวณข้างต้นนี้เป็นการประเมินแบบคร่าวๆ โดยการวิเคราะห์แบบละเอียดจะทำการวิเคราะห์โดยแบบจำลองซึ่งผลที่ได้จะแสดงในหัวข้อที่ 5.5

5.5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละระบบ

จากข้อมูลการใช้ความร้อนของโรงฆ่าสัตว์ ลักษณะของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ รวมไปถึงสภาพอากาศ ทั้งหมดนี้จะนำมาทำการวิเคราะห์ร่วมกันเพื่อหาประสิทธิภาพทางความร้อนและ

ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละระบบ เพื่อหาระบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโรงฆ่าสัตว์แห่งนี้

โดยราคาของถังเก็บน้ำร้อนที่ขนาดต่างๆ การสอบถามพบว่าถังขนาด 200 300 และ 400 liter มีค่า 16,050 23,540 และ 29,960 บาท ตามลำดับ ในที่นี่จะทำการประมาณราคาถังขนาดต่างๆ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Linear regression) ดังแสดงในรูปที่ 5.11 และผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของแต่ละระบบ แสดงในตารางที่ 5.2



รูปที่ 5.13 การประมาณราคาของถังเก็บน้ำร้อนที่ปริมาตรต่างๆ

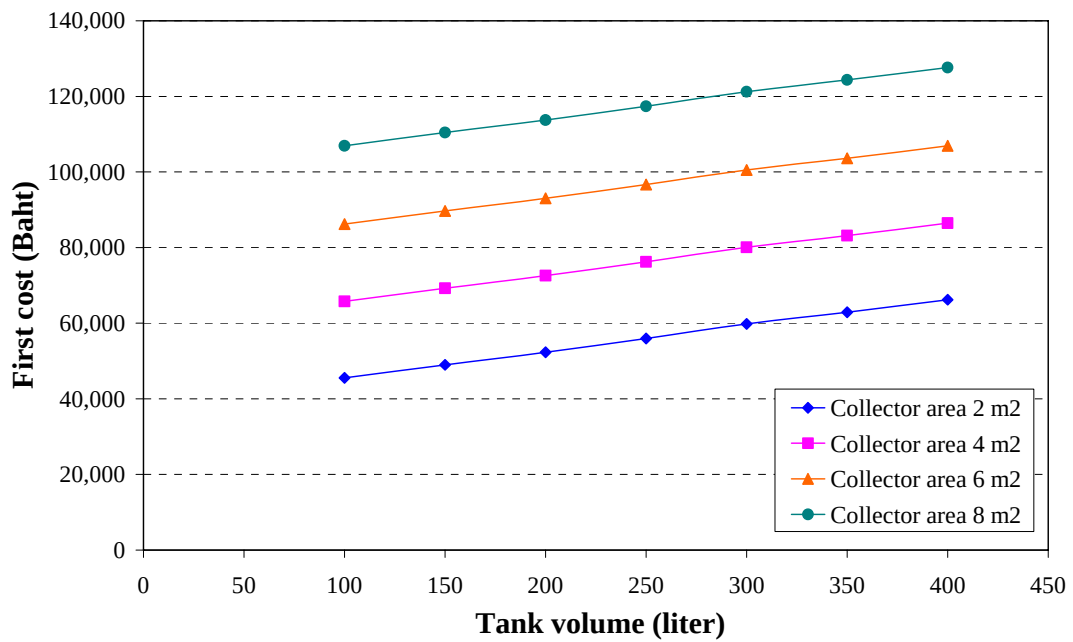
จากรูปที่ 5.11 เป็นการประมาณราคาของถังเก็บน้ำร้อนที่ปริมาตรโดยใช้วิธีการ Linear regression ซึ่งจะมีค่าเป็นไปตามสมการ $y = 69.55x + 2318.3$ โดยค่า x เป็นปริมาตรของถังและ y เป็นราคาถัง

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์แต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)

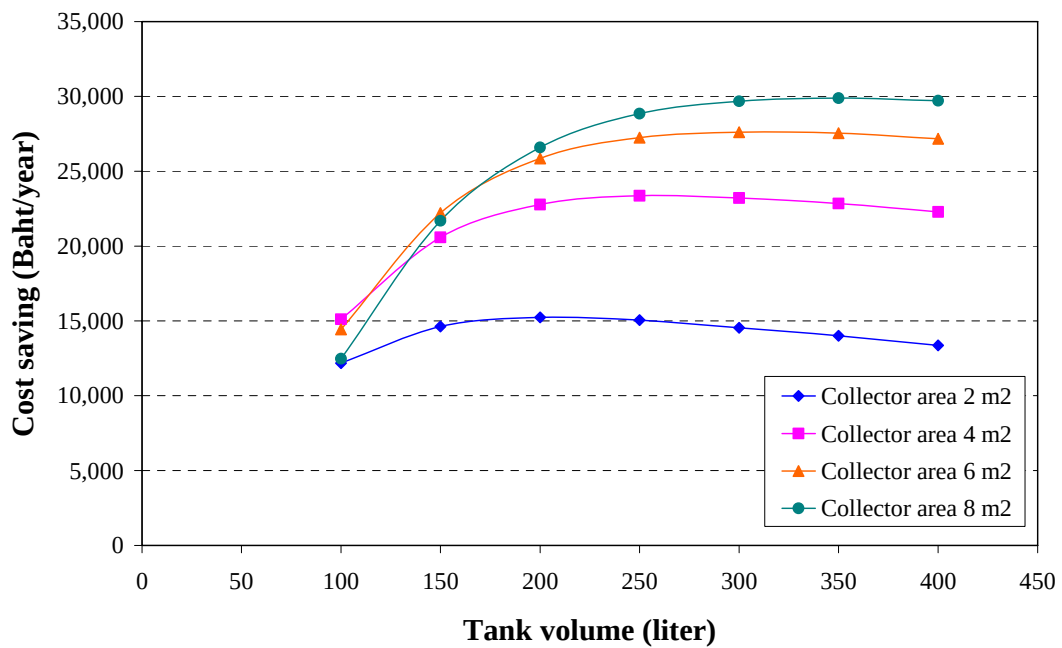
ปริมาตรถัง (liter)	พื้นที่รับรังสี (m ²)	Solar fraction (ave/year)	เงินลงทุน (Baht)	ค่า OM (Baht/year)	ค่าแก๊ส LPG เสริม (Baht/year)	ค่าใช้ถ้ายประหยัดได้ (Baht/year)	AC (Baht/year)	NPV (Baht)	SPP (year)	IRR (%)
100	2	0.19	45,533	6,830	79,397	12,183	92,459	641,958	3.74	24.37
	4	0.25	65,793	9,869	73,432	15,109	92,307	640,897	4.35	19.79
	6	0.28	86,253	12,938	71,037	14,436	95,781	665,017	5.98	11.66
	8	0.29	106,953	16,043	69,894	12,473	100,576	698,314	8.57	4.08
150	2	0.22	49,010	7,352	76,439	14,620	90,499	628,345	3.35	27.95
	4	0.32	69,270	10,391	67,440	20,580	87,312	606,217	3.37	27.81
	6	0.36	89,730	13,460	62,738	22,213	88,479	614,322	4.04	21.98
	8	0.39	110,430	16,565	60,163	21,683	91,843	637,675	5.09	15.56
200	2	0.24	52,310	7,847	75,332	15,232	90,338	627,231	3.43	27.13
	4	0.34	72,570	10,886	64,758	22,767	85,577	594,169	3.19	29.71
	6	0.41	93,030	13,955	58,596	25,860	85,284	592,135	3.60	25.60
	8	0.44	113,730	17,060	54,761	26,590	87,387	606,740	4.28	20.30
250	2	0.24	55,965	8,395	74,960	15,056	91,015	631,929	3.72	24.55
	4	0.35	76,225	11,434	63,612	23,365	85,479	593,494	3.26	28.89
	6	0.42	96,685	14,503	56,659	27,249	84,395	585,966	3.55	26.05
	8	0.47	117,385	17,608	51,949	28,854	85,624	594,499	4.07	21.77

ตารางที่ 5.2 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์แต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)

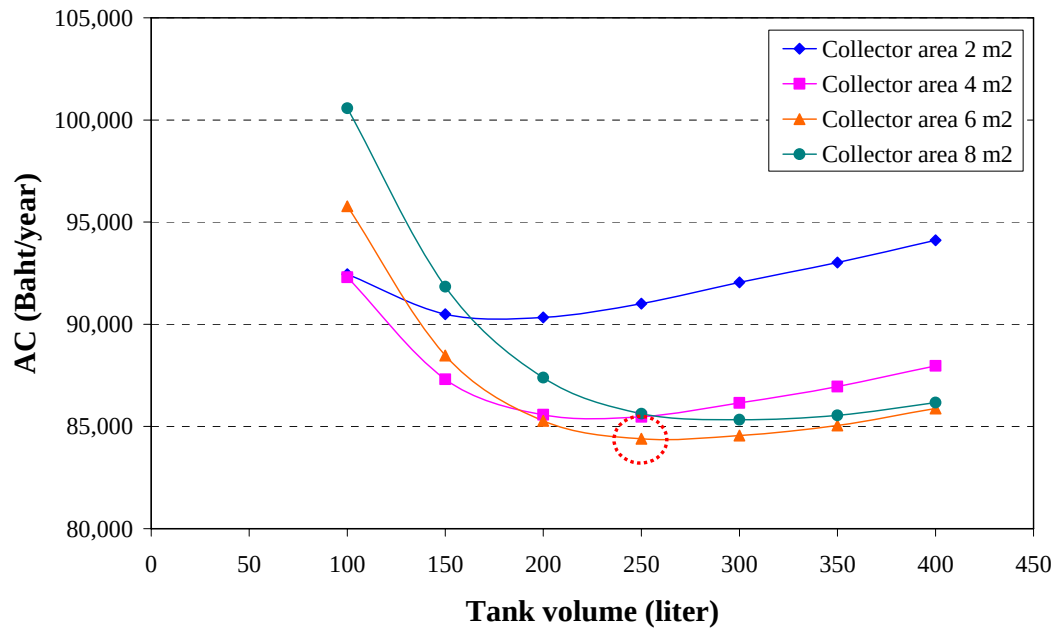
ปริมาณถัง (liter)	พื้นที่รับรังสี (m ²)	Solar fraction (ave/year)	เงินลงทุน (Baht)	ค่า OM (Baht/year)	ค่าแก๊ส LPG เสริม (Baht/year)	ค่าใช้จ่ายประหยัดได้ (Baht/year)	AC (Baht/year)	NPV (Baht)	SPP (year)	IRR (%)
300	2	0.24	59,800	8,970	74,896	14,545	92,051	639,121	4.11	21.46
	4	0.36	80,060	12,009	63,188	23,214	86,155	598,186	3.45	26.99
	6	0.43	100,520	15,078	55,723	27,609	84,560	587,111	3.64	25.21
	8	0.49	121,220	18,183	50,557	29,670	85,332	592,472	4.09	21.64
350	2	0.24	62,920	9,438	74,972	14,000	93,023	645,868	4.49	18.90
	4	0.36	83,180	12,477	63,093	22,841	86,955	603,740	3.64	25.20
	6	0.44	103,640	15,546	55,312	27,552	85,044	590,473	3.76	24.17
	8	0.49	124,340	18,651	49,875	29,884	85,545	593,952	4.16	21.11
400	2	0.24	66,220	9,933	75,114	13,364	94,111	653,424	4.96	16.27
	4	0.36	86,480	12,972	63,155	22,284	87,964	610,745	3.88	23.20
	6	0.44	106,940	16,041	55,203	27,166	85,882	596,288	3.94	22.76
	8	0.50	127,640	19,146	49,555	29,710	86,172	598,301	4.30	20.18



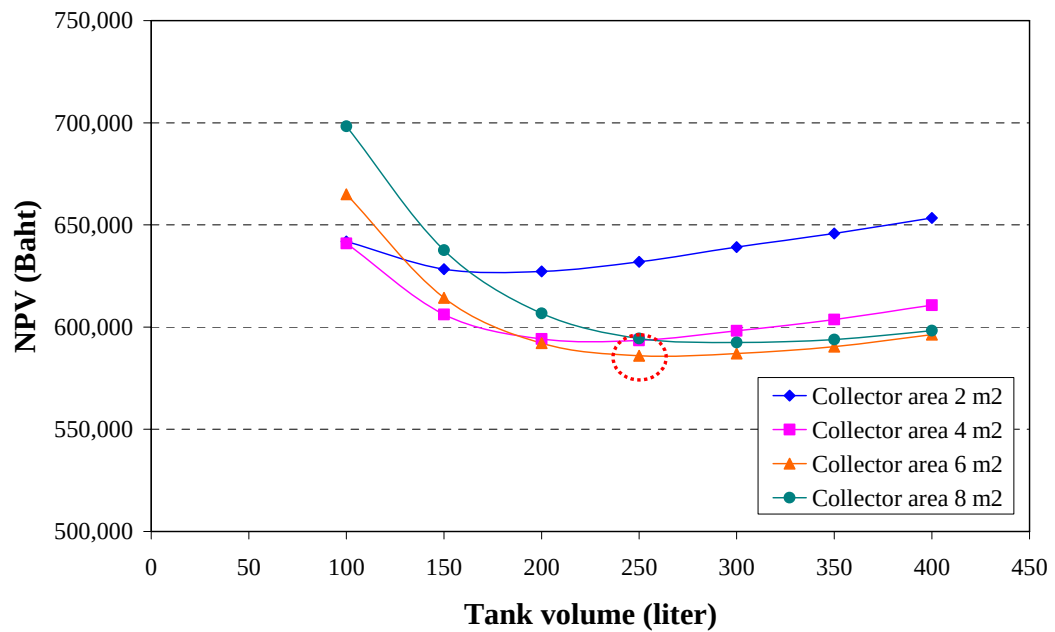
รูปที่ 5.14 เงินลงทุนเบื้องต้นของแต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)



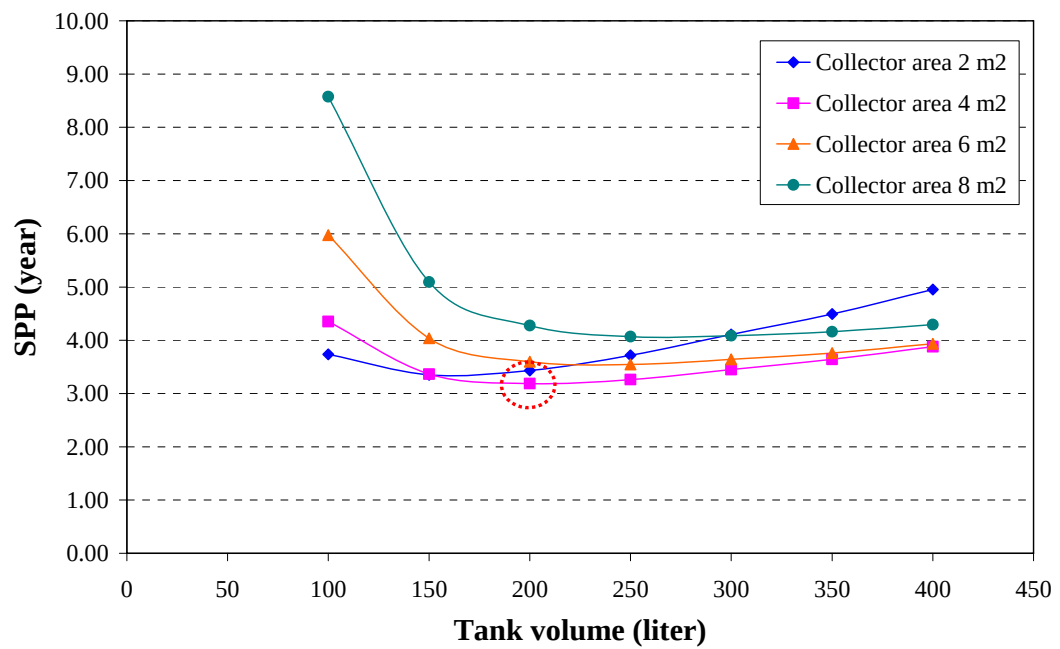
รูปที่ 5.15 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปีของแต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)



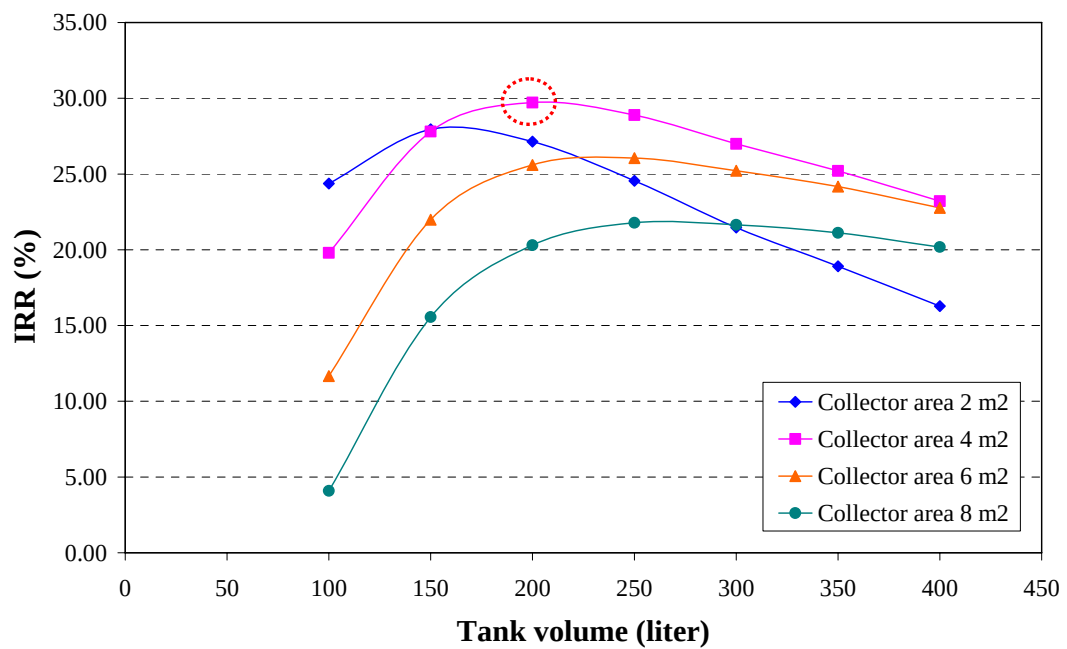
รูปที่ 5.16 ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีของแต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)



รูปที่ 5.17 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของแต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)



รูปที่ 5.18 ระยะเวลาคืนทุนแต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)



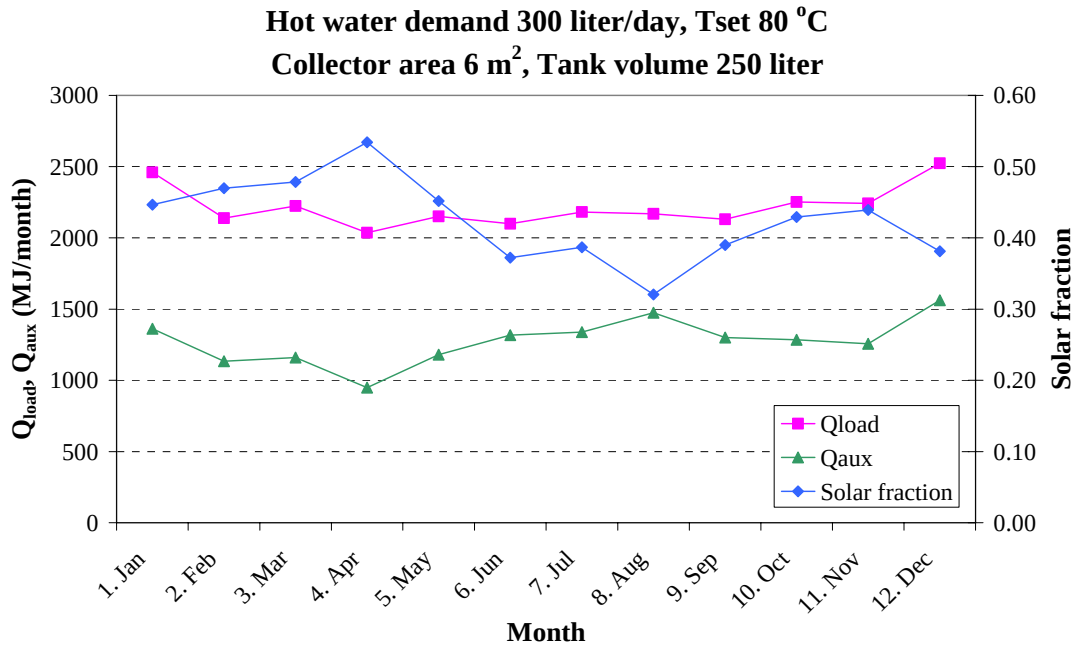
รูปที่ 5.19 อัตราผลตอบแทนในการลงทุนแต่ละระบบ (โหลด 300 liter/day)

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบที่ใช้ตัวเก็บรังสี 4 m² และถังเก็บขนาด 200 liter กับระบบที่ใช้ตัวเก็บรังสี 6 m² และถังเก็บขนาด 250 liter

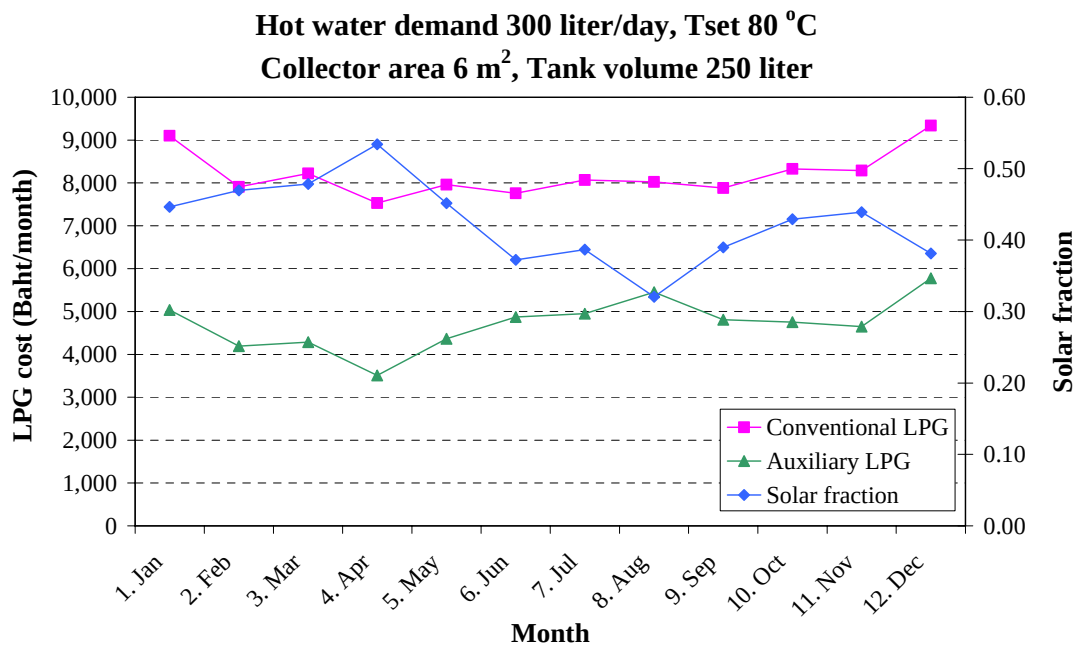
ดัชนีทางด้านเศรษฐศาสตร์	ตัวเก็บรังสี 4 m ² และ ถังเก็บขนาด 200 liter	ตัวเก็บรังสี 6 m ² และ ถังเก็บขนาด 250 liter
First cost (Baht)	72,570	96,685
Cost saving (Baht/year)	22,767	27,249
Annual cost (Baht/year)	85,577	84,395
Net present value (Baht)	594,169	585,966
Simple payback period (year)	3.19	3.55
Internal rate of return (%)	29.71	26.05
Solar fraction	0.34	0.42

จากการเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์พบว่าขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 6 m² กับถังขนาด 250 liter จะให้ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีและมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ต่ำสุดคือ 84,395 บาท/ปี และ 585,966 บาท ตามลำดับ ส่วนขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์อาทิตย์ 4 m² กับถังขนาด 200 liter จะให้ระยะเวลาคืนทุนที่เร็วและอัตราผลตอบแทนในการลงทุนสูงสุดคือ 3.19 ปี และ 29.71% ตามลำดับ

ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาด 6 m² กับถังขนาด 250 liter จะมีความเหมาะสมกับโรงฆ่าสัตว์แห่งนี้เนื่องจากว่า เป็นระบบที่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปีได้มาก ให้ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี และมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังให้ค่า Solar fraction สูงกว่าระบบที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 4 m² กับถังขนาด 200 liter โดยที่ระยะเวลาคืนทุนกับอัตราผลตอบแทนในการลงทุนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ 3.55 ปี และ 26.05% ตามลำดับ



รูปที่ 5.20 แสดงปริมาณความร้อนที่ให้กับภาระทั้งหมด กับปริมาณความร้อนที่ใช้เสริม และค่า Solar fraction ในแต่ละเดือน ของระบบที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 6 m² กับถังขนาด 250 liter



รูปที่ 5.21 แสดงค่าแก๊ส LPG ที่ใช้ในระบบเดิม กับค่าแก๊ส LPG ที่ใช้เสริม และค่า Solar fraction ในแต่ละเดือน ของระบบที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 6 m² กับถังขนาด 250 liter

ตารางที่ 5.4 การแจกแจงกระแสเงินสดสุทธิของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (ไหล 300 liter/day)

ปี ที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ระบบเดิม											
ค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊ส LPG (Baht/year)		98,411	98,411	98,411	98,411	98,411	98,411	98,411	98,411	98,411	98,411
ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์											
ค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊ส LPG เสริม (Baht/year)		56,659	56,659	56,659	56,659	56,659	56,659	56,659	56,659	56,659	56,659
ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาระบบ (Baht/year)		14,503	14,503	14,503	14,503	14,503	14,503	14,503	14,503	14,503	14,503
ผลตอบแทน											
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)		27,249	27,249	27,249	27,249	27,249	27,249	27,249	27,249	27,249	27,249
เงินลงทุน											
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (6 m ²) (Baht)	57,780										
ถังเก็บน้ำร้อน (250 liter) (Baht)	19,705										
อุปกรณ์ต่างๆ เช่น ปั๊มน้ำ ชุดควบคุม (Baht)	12,000										
ค่าใช้จ่ายติดตั้งระบบ (Baht)	7,200										
รวมเงินลงทุน (Baht)	96,685										
มูลค่าซาก (Baht)											9,669

5.6 การประยุกต์ใช้แบบจำลองกับระบบที่มีความต้องการใช้น้ำร้อนที่สูง

ในกรณีที่โรงฆ่าสัตว์มีความต้องการฆ่าสุกรต่อวันจำนวนมาก ประมาณ 50 ตัว ต่อวัน น้ำร้อนที่ใช้ในการประมาณ 30 liter ต่อตัว อุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้ในการลวกซากจะประมาณ 80 °C

โดยจะกำหนดเงื่อนไขเบื้องต้นในการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ มีค่าคงที่ 75 liter/hr m² (พื้นที่รับรังสี)
2. ทำการวิเคราะห์โดยการเพิ่มพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทีละ 4 m² และถึงเก็บน้ำร้อนเพิ่มขึ้นทีละ 200 liter
3. ปริมาณน้ำร้อนที่ใช้ 1500 liter/day
4. อุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้ 80 °C
5. ประสิทธิภาพในการใช้น้ำ 10%
6. เวลาในการฆ่าจะอยู่ในช่วง 21.00-05.00 นาฬิกา
7. ราคาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 19,260 Baht ต่อแผง
8. ราคาถังเก็บน้ำร้อนมีค่าตามสมการ $y = 69.55x + 2318.3$ โดยที่ x เป็นปริมาตรถัง (liter)
9. ราคาอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ชุดควบคุม และปั๊มน้ำ 12,000 Baht
10. ค่าติดตั้งเริ่มต้น 5,000 Baht และจะเพิ่มขึ้น 20% ต่อการเพิ่มจำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์
11. ค่าดำเนินการและค่าบำรุงรักษาคิดเป็น 15% ของเงินลงทุนเริ่มต้น
12. มูลค่าซากระบบคิดเป็น 10% ของเงินลงทุนเริ่มต้น
13. ราคาแก๊ส LPG เป็น 17 Baht/kg
14. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7.25% ต่อปี
15. อายุการใช้งาน 10 year

ผลจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองตามเงื่อนไขข้างบนนี้แสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์แต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)

ปริมาตรถัง (liter)	พื้นที่รับรังสี (m ²)	Solar fraction (ave/year)	เงินลงทุน (Baht)	ค่า OM (Baht/year)	ค่าแก๊ส LPG เสริม (Baht/year)	ค่าใช้จ่ายประหยัดได้ (Baht/year)	AC (Baht/year)	NPV (Baht)	SPP (year)	IRR (%)
800	4	0.13	114,478	17,172	421,862	46,204	454,703	3,157,058	2.48	39.62
	8	0.21	155,638	23,346	382,204	79,688	426,852	2,963,690	1.95	51.08
	12	0.27	197,960	29,694	353,897	101,646	410,687	2,851,451	1.95	51.24
	16	0.31	241,954	36,293	332,782	116,162	402,192	2,792,472	2.08	47.75
	20	0.35	288,357	43,254	316,787	125,197	399,510	2,773,846	2.30	42.89
	24	0.37	338,228	50,734	304,170	130,334	401,199	2,785,574	2.60	37.65
	28	0.39	393,095	58,964	294,315	131,958	407,084	2,826,436	2.98	32.18
	32	0.41	455,153	68,273	286,665	130,300	417,237	2,896,928	3.49	26.56
1000	36	0.42	527,569	79,135	280,609	125,493	431,955	2,999,117	4.20	20.80
	40	0.43	614,898	92,235	275,650	117,353	452,048	3,138,629	5.24	14.84
	4	0.13	128,388	19,258	128,388	44,790	458,021	3,180,097	2.87	33.65
	8	0.22	169,548	25,432	169,548	80,010	428,434	2,974,675	2.12	46.89
	12	0.28	211,870	31,780	211,870	103,963	410,274	2,848,588	2.04	48.86
	16	0.33	255,864	38,380	255,864	120,858	399,401	2,773,090	2.12	46.93
	20	0.37	302,267	45,340	302,267	132,298	394,312	2,737,762	2.29	43.27
	24	0.40	352,138	52,821	352,138	139,541	393,895	2,734,862	2.52	38.83

ตารางที่ 5.5 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์แต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)

ปริมาตรถัง (liter)	พื้นที่รับรังสี (m ²)	Solar fraction (ave/year)	เงินลงทุน (Baht)	ค่า OM (Baht/year)	ค่าแกส LPG เสริม (Baht/year)	ค่าใช้จ่ายประหยัดได้ (Baht/year)	AC (Baht/year)	NPV (Baht)	SPP (year)	IRR (%)
1000	28	0.42	407,005	61,051	407,005	143,479	397,467	2,759,662	2.84	34.05
	32	0.44	469,063	70,359	469,063	144,222	405,219	2,813,485	3.25	29.00
	36	0.46	541,479	81,222	541,479	141,547	417,805	2,900,876	3.83	23.64
	40	0.47	628,808	94,321	628,808	135,150	436,155	3,028,282	4.65	17.95
1200	4	0.13	142,298	21,345	421,052	42,840	461,874	3,206,851	3.32	28.27
	8	0.22	183,458	27,519	378,867	78,852	431,496	2,995,934	2.33	42.43
	12	0.28	225,780	33,867	347,454	103,917	412,224	2,862,125	2.17	45.66
	16	0.34	269,774	40,466	322,801	121,971	400,192	2,778,584	2.21	44.80
	20	0.38	316,177	47,427	302,883	134,928	393,586	2,732,720	2.34	42.10
	24	0.41	366,048	54,907	286,742	143,588	391,752	2,719,983	2.55	38.40
	28	0.44	420,915	63,137	273,314	148,786	394,064	2,736,037	2.83	34.16
	32	0.46	482,973	72,446	261,872	150,920	400,424	2,780,198	3.20	29.57
1400	36	0.48	555,389	83,308	252,106	149,823	411,433	2,856,631	3.71	24.63
	40	0.50	642,718	96,408	243,898	144,931	428,278	2,973,589	4.44	19.28
	4	0.13	156,208	23,431	421,157	40,649	465,969	3,235,282	3.84	23.50
	8	0.22	197,368	29,605	378,670	76,962	435,290	3,022,274	2.56	38.15

ตารางที่ 5.5 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์แต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)

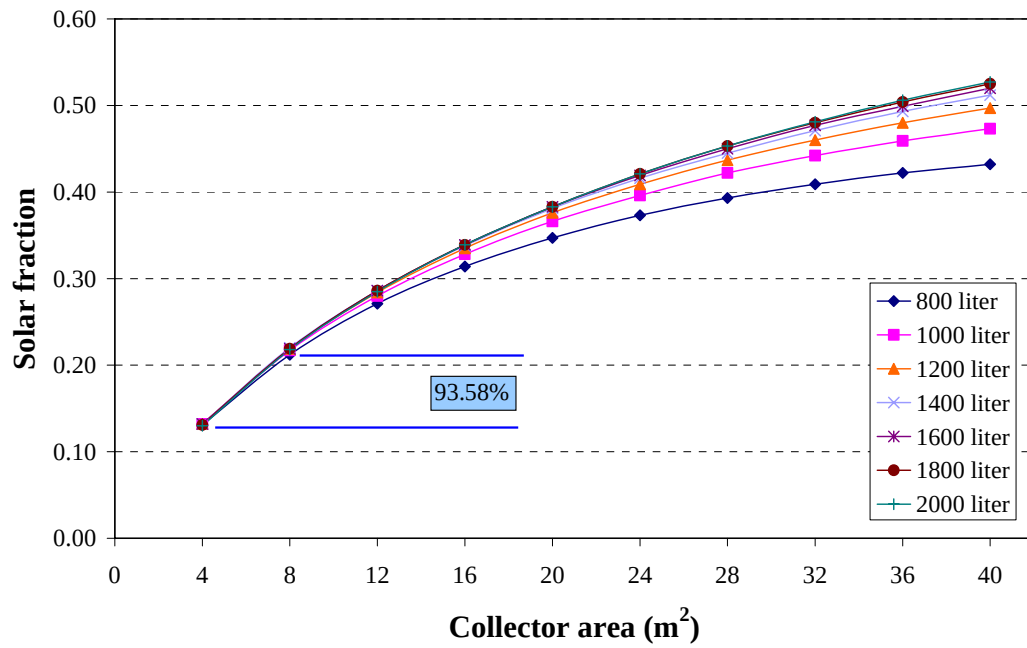
ปริมาตรถัง (liter)	พื้นที่รับรังสี (m ²)	Solar fraction (ave/year)	เงินลงทุน (Baht)	ค่า OM (Baht/year)	ค่าแกส LPG เสริม (Baht/year)	ค่าใช้จ่ายประหยัดได้ (Baht/year)	EUAW (Baht/year)	NPV (Baht)	SPP (year)	IRR (%)
1400	12	0.29	239,690	35,953	346,632	102,652	415,392	2,884,123	2.34	42.26
	16	0.34	283,684	42,553	321,350	121,335	402,731	2,796,216	2.34	42.21
	20	0.38	330,087	49,513	300,596	135,129	395,289	2,744,543	2.44	40.24
	24	0.42	379,958	56,994	283,424	144,820	392,424	2,724,654	2.62	37.19
	28	0.45	434,825	65,224	269,133	150,881	393,873	2,734,708	2.88	33.44
	32	0.47	496,883	74,532	256,901	153,803	399,445	2,773,395	3.23	29.24
	36	0.49	569,299	85,395	246,256	153,587	409,573	2,843,718	3.71	24.64
	40	0.51	656,628	98,494	236,976	149,767	425,346	2,953,231	4.38	19.60
1600	4	0.13	170,118	25,518	421,376	38,343	470,179	3,264,513	4.44	19.26
	8	0.22	211,278	31,692	378,835	74,711	439,445	3,051,122	2.83	34.17
	12	0.29	253,600	38,040	346,461	100,736	419,213	2,910,646	2.52	38.93
	16	0.34	297,594	44,639	320,789	119,809	406,161	2,820,028	2.48	39.51
	20	0.38	343,997	51,600	299,596	134,042	398,280	2,765,309	2.57	38.11
	24	0.42	393,868	59,080	281,805	144,352	394,796	2,741,116	2.73	35.59
	28	0.45	448,735	67,310	266,804	151,123	395,535	2,746,249	2.97	32.30
	32	0.48	510,793	76,619	254,021	154,598	400,554	2,781,101	3.30	28.45

ตารางที่ 5.5 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์แต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)

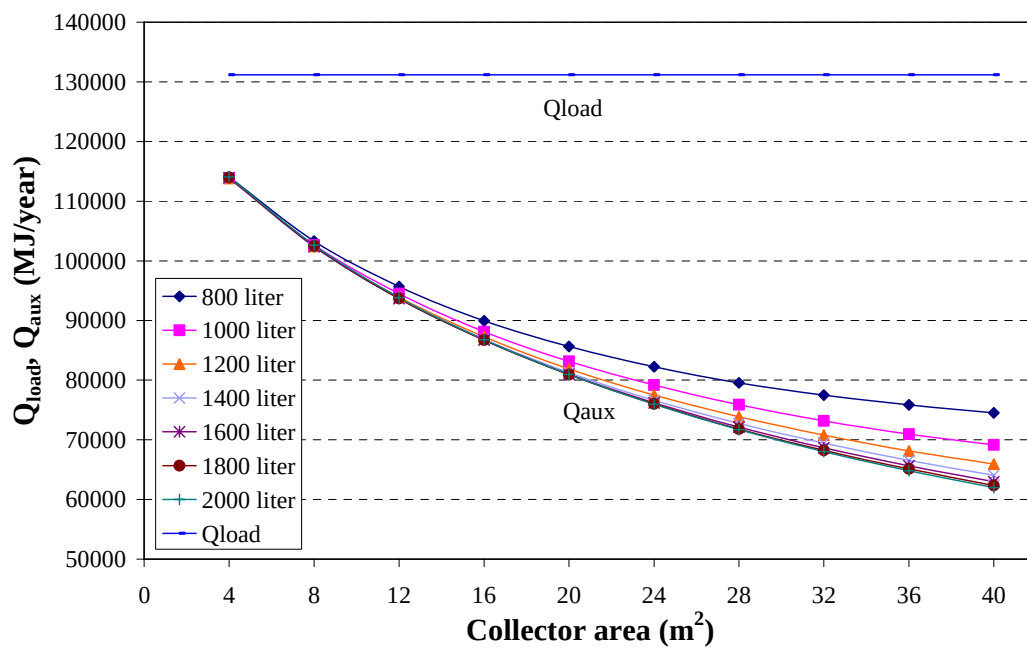
ปริมาตรถัง (liter)	พื้นที่รับรังสี (m ²)	Solar fraction (ave/year)	เงินลงทุน (Baht)	ค่า OM (Baht/year)	ค่าแก๊ส LPG เสริม (Baht/year)	ค่าใช้จ่ายประหยัดได้ (Baht/year)	AC (Baht/year)	NPV (Baht)	SPP (year)	IRR (%)
1600	36	0.50	583,209	87,481	242,864	154,892	410,171	2,847,873	3.77	24.14
	40	0.52	670,538	100,581	232,996	151,661	425,356	2,953,303	4.42	19.36
1800	4	0.13	184,028	27,604	421,650	35,983	474,443	3,294,121	5.11	15.46
	8	0.22	225,188	33,778	379,189	72,270	443,790	3,081,289	3.12	30.53
	12	0.29	267,510	40,126	346,658	98,453	423,400	2,939,720	2.72	35.76
	16	0.34	311,504	46,726	320,731	117,781	410,093	2,847,329	2.65	36.86
	20	0.38	357,907	53,686	299,299	132,252	401,974	2,790,955	2.71	35.92
	24	0.42	407,778	61,167	281,141	142,930	398,122	2,764,213	2.85	33.83
	28	0.45	462,645	69,397	265,664	150,176	398,385	2,766,040	3.08	30.94
	32	0.48	524,703	78,705	252,406	154,126	402,930	2,797,595	3.40	27.43
	36	0.50	597,119	89,568	240,875	154,795	412,173	2,861,770	3.86	23.38
	40	0.53	684,448	102,667	230,656	151,914	427,007	2,964,762	4.51	18.83
2000	4	0.13	197,938	29,691	421,950	33,597	478,733	3,323,905	5.89	11.99
	8	0.22	239,098	35,865	379,640	69,733	448,231	3,112,127	3.43	27.19
	12	0.29	281,420	42,213	347,057	95,967	427,789	2,970,195	2.93	32.78
	16	0.34	325,414	48,812	320,980	115,445	414,333	2,876,766	2.82	34.30

ตารางที่ 5.5 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์แต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)

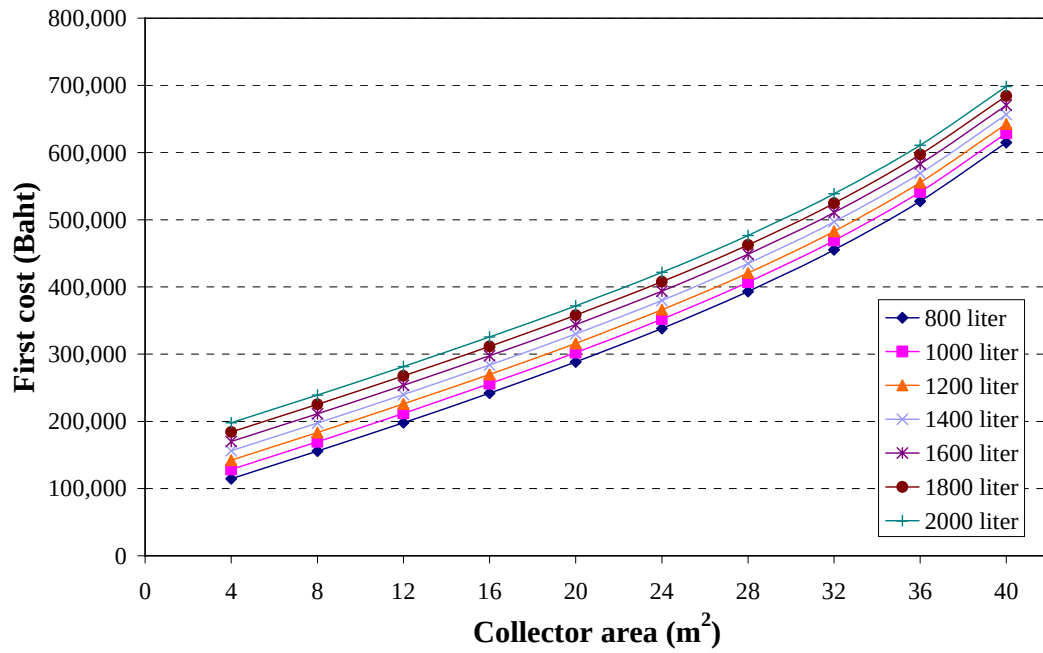
ปริมาณถัง (liter)	พื้นที่รับรังสี (m ²)	Solar fraction (ave/year)	เงินลงทุน (Baht)	ค่า OM (Baht/year)	ค่าแกส LPG เสริม (Baht/year)	ค่าใช้จ่ายประหยัดได้ (Baht/year)	AC (Baht/year)	NPV (Baht)	SPP (year)	IRR (%)
2000	20	0.38	371,817	55,773	299,403	130,062	406,068	2,819,383	2.86	33.75
	24	0.42	421,688	63,253	281,040	140,944	402,012	2,791,220	2.99	32.02
	28	0.45	476,555	71,483	265,250	148,504	401,962	2,790,871	3.21	29.47
	32	0.48	538,613	80,792	251,622	152,824	406,136	2,819,856	3.52	26.27
	36	0.51	611,029	91,654	239,786	153,797	415,074	2,881,914	3.97	22.48
	40	0.53	698,358	104,754	229,306	151,177	429,647	2,983,098	4.62	18.15



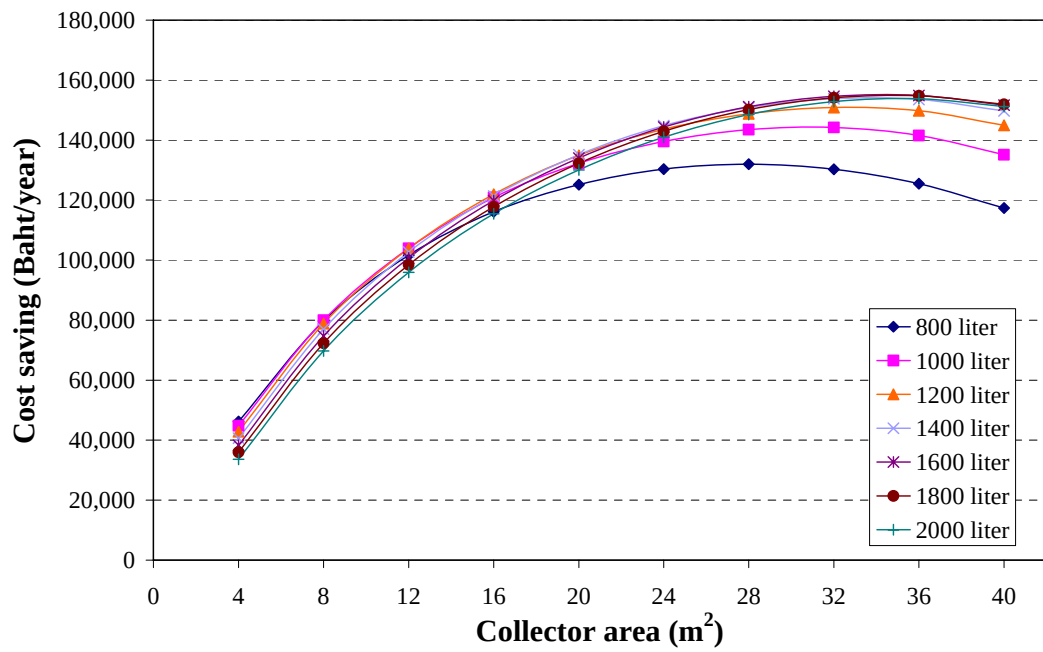
รูปที่ 5.22 ค่า Solar fraction ของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)



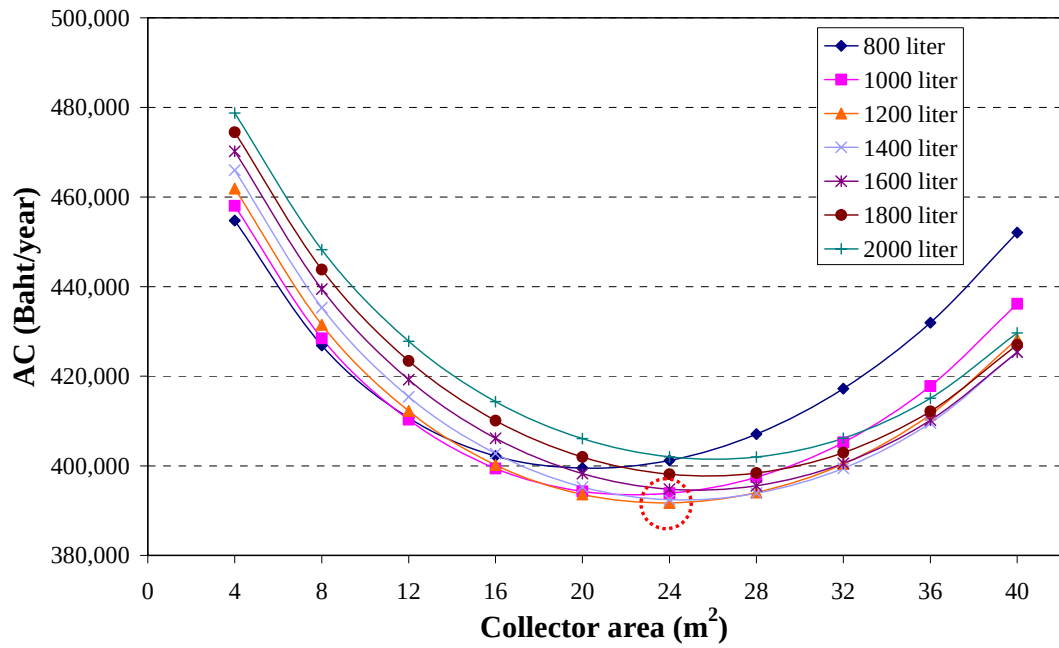
รูปที่ 5.23 ปริมาณความร้อนเสริมของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)



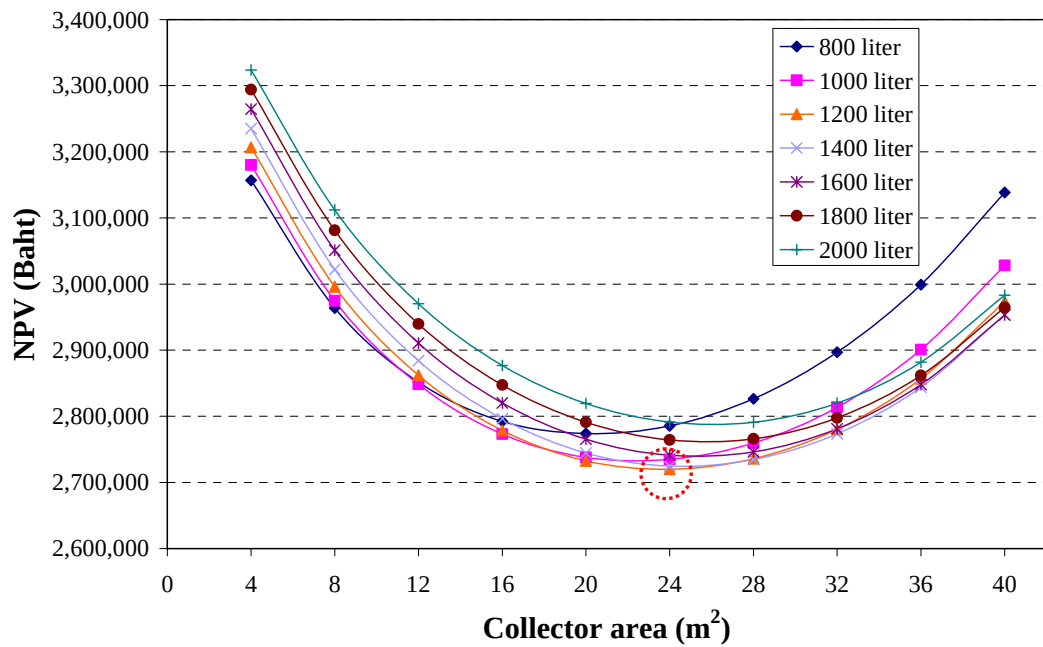
รูปที่ 5.24 เงินลงทุนเบื้องต้นของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)



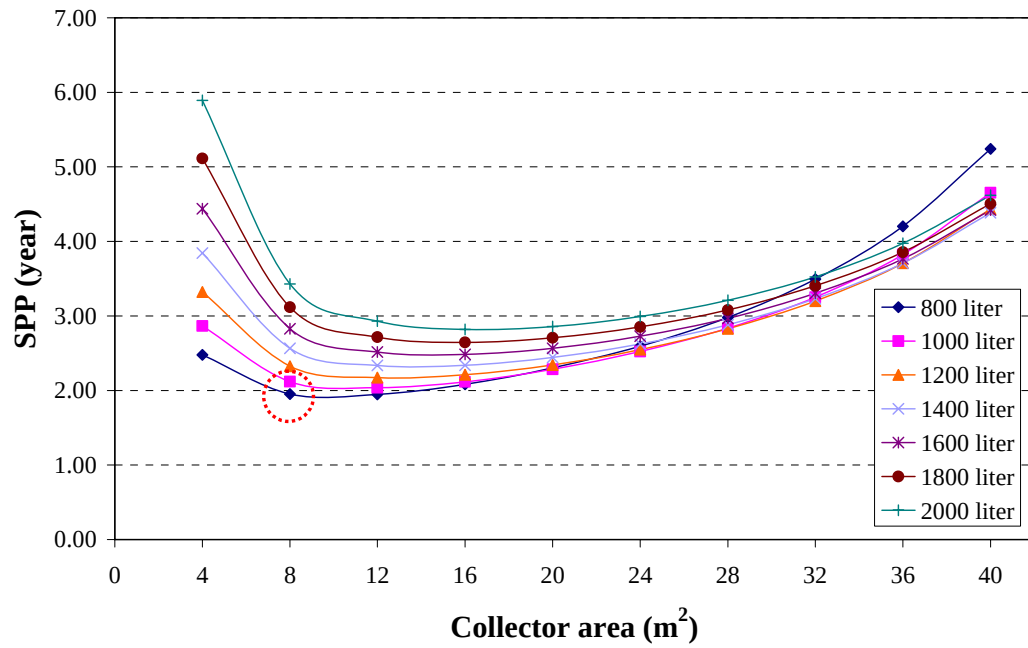
รูปที่ 5.25 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)



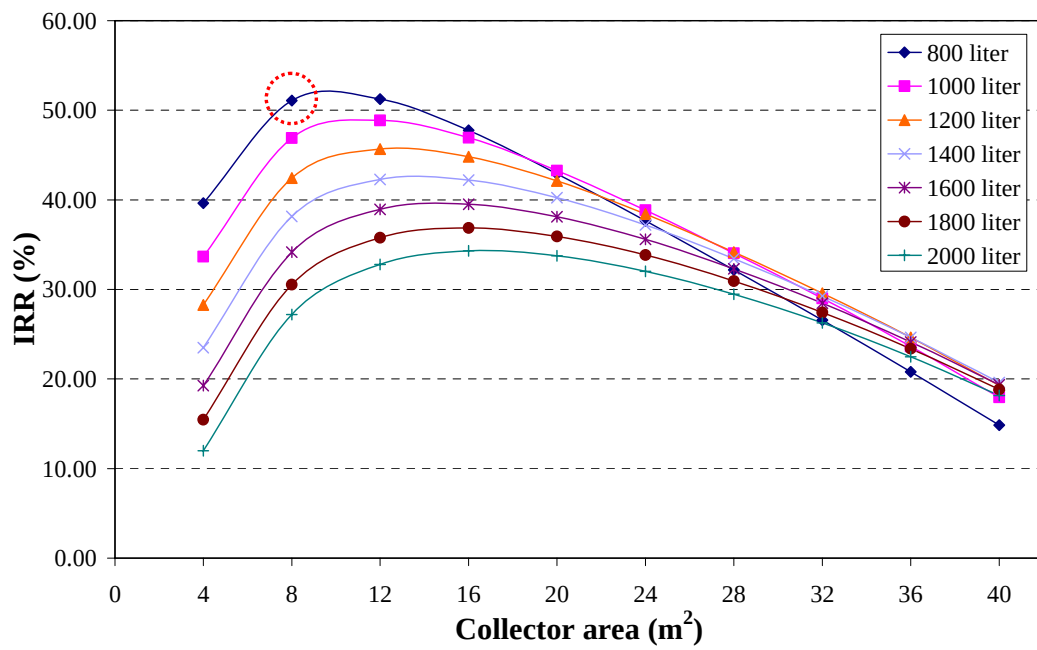
รูปที่ 5.26 ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)



รูปที่ 5.27 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)



รูปที่ 5.28 ระยะเวลาคืนทุนของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)



รูปที่ 5.29 อัตราผลตอบแทนในการลงทุนของแต่ละระบบ (โหลด 1500 liter/day)

จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองของโรงฆ่าสัตว์ที่ต้องการปริมาณน้ำร้อน 1500 liter/day อุณหภูมิน้ำร้อนที่ 80 °C พบว่า ค่า Solar fraction ของระบบเมื่อมีการเพิ่มพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จาก 4 m² เป็น 8 m² จะได้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่า Solar fraction สูงสุดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 93.58% และจะค่อยๆ ลดลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเมื่อเพิ่มพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จาก 36 m² ไปเป็น 40 m² จะให้ค่า Solar fraction เพิ่มขึ้นเพียง 10.47% เท่านั้น ในส่วนผลของขนาดถังเก็บน้ำร้อนนั้น ไม่ค่อยส่งผลต่อค่า Solar fraction มากนัก เมื่อเพิ่มขนาดจาก 800 liter ไปเป็น 1000 liter จะให้ค่า Solar fraction เพิ่มขึ้นมาแค่ 6.39% เท่านั้น ในกรณีที่เพิ่มจาก 1800 liter ไปเป็น 2000 liter แทบไม่ เห็นความแตกต่าง

ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ปรากฏว่าระบบใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาดพื้นที่ 24 m² กับถังขนาด 1200 liter จะให้ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีต่ำที่สุด อยู่ที่ 391,752 บาท/ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 2,719,983 บาท ระยะเวลาคืนทุน 2.55 ปี และ อัตราผลตอบแทนในการลงทุนเป็น 38.4% โดย ระบบนี้จะให้ค่า Solar fraction เฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 0.41

จากการวิเคราะห์ความต้องการในการใช้น้ำร้อนต่อวันทั้งสองกรณีคือ 300 liter/day และ 1500 liter/day พบอัตราส่วนของ ปริมาณน้ำที่ต้องการต่อวัน/ปริมาตรของถังเก็บน้ำร้อน จะอยู่ที่ 1.2 กับ 1.25 ตามลำดับ และอัตราส่วนของ ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน/พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ จะอยู่ที่ 42 กับ 50 liter/m² ตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนนี้เป็นผลที่ได้มาจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ในการหา ขนาดของระบบที่เหมาะสมสำหรับทั้งสองกรณี

และจากเงื่อนไขและข้อจำกัดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในบทที่ 3 ที่กำหนดว่า จำนวนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในแบบจำลองไม่ควรเกิน 16 แผง (32 m²) โดยจะทำการคำนวณย้อนกลับไปเพื่อหาขนาดของถังเก็บน้ำร้อนที่มีปริมาตรมากที่สุดที่เหมาะสมกับการใช้ในแบบจำลองนี้ พบว่าขนาดถังที่มีปริมาตรมากที่สุดประมาณ 1600 liter โดยที่ความต้องการน้ำร้อนสูงสุดไม่ควรเกิน 2000 liter/day

ตารางที่ 5.6 การแจกแจงกระแสเงินสดสุทธิของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (ไหล 1500 liter/day)

ปี ที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ระบบเดิม											
ค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊ส LPG (Baht/year)		485,237	485,237	485,237	485,237	485,237	485,237	485,237	485,237	485,237	485,237
ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์											
ค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊ส LPG เสริม (Baht/year)		286,742	286,742	286,742	286,742	286,742	286,742	286,742	286,742	286,742	286,742
ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาระบบ (Baht/year)		54,907	54,907	54,907	54,907	54,907	54,907	54,907	54,907	54,907	54,907
ผลตอบแทน											
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (Baht/year)		143,588	143,588	143,588	143,588	143,588	143,588	143,588	143,588	143,588	143,588
เงินลงทุน											
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (24 m ²) (Baht)	231,120										
ถังเก็บน้ำร้อน (1200 liter) (Baht)	85,778										
อุปกรณ์ต่างๆ เช่น ป้อน้ำ ชุดควบคุม (Baht)	12,000										
ค่าใช้จ่ายติดตั้งระบบ (Baht)	37,150										
รวมเงินลงทุน (Baht)	366,048										
มูลค่าซาก (Baht)											36,604

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาการนำตัวเก็บรังสีอาทิตย์มาใช้ในโรงฆ่าสัตว์ โดยทำการศึกษาค่าสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของถังเก็บน้ำร้อน โดยนำค่าที่ได้มาทำการวิเคราะห์ในแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมเขียนขึ้นมา ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ทางด้านความร้อน และด้านเศรษฐศาสตร์ ของระบบที่ขนาดต่างๆ กัน เพื่อที่จะหาระบบที่เหมาะสมกับโรงฆ่าสัตว์แห่งนี้

6.1 สรุปผลการวิจัย

6.1.1 ผลการทดสอบ

จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ชนิดครีบอลูมิเนียมขนาด 2 m^2 ให้ค่า $F_R(\tau\alpha)_e = 0.802$ และค่า $F_R U_L = 10.37 \text{ W/m}^2\text{°C}$ และสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของถังเก็บน้ำร้อน $(UA)_T$ ขนาด 200 liter มีค่า 3.247 W/°C

6.1.2 ผลจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง

ปริมาณความต้องการน้ำร้อนของโรงฆ่าสัตว์ที่ได้ทำการศึกษานี้อยู่ที่ 300 liter/day และอุณหภูมิใช้งาน 80 °C โดยมีค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊ส LPG มาทำน้ำร้อนด้วยวิธีการต้ม ประมาณ 98,410 บาท/ปี เมื่อทำการศึกษานำระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์มาติดตั้งเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊ส LPG ลง พบว่าสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊ส LPG ลงได้ โดยในกรณีที่อุณหภูมิน้ำร้อนต่ำกว่าความต้องการที่ได้ สามารถใช้ระบบที่มีอยู่แล้วเข้ามาเสริมเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ หรืออาจจะใช้ระบบให้ความร้อนเสริมอื่นเข้ามาแทนก็ได้ แต่ควรคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นด้วย

ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับโรงฆ่าสัตว์แห่งนี้คือใช้ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาด 2 m^2 จำนวน 3 แผง (6 m^2) กับถังเก็บน้ำร้อนขนาด 250 liter เนื่องจากเป็นระบบที่ให้เงินลงทุนเทียบเท่ารายปีและมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ต่ำสุดคือ 84,395 บาท/ปี และ 585,966 บาท ตามลำดับ โดยที่ให้ระยะเวลากินทุนและอัตราผลตอบแทนในการลงทุน อยู่ที่ 3.55 ปี และ 26.05% ตามลำดับ

ค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊สมาเสริมประมาณ 56,659 บาท/ปี และค่า Solar fraction ของระบบนี้เฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 0.42

ในกรณีที่นำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้กับโรงฆ่าสัตว์ที่มีความต้องการน้ำร้อนประมาณ 1500 liter/day ที่อุณหภูมิใช้งาน 80 °C พบว่าขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสม คือ 24 m² และถึงเก็บน้ำร้อนขนาด 1200 liter เนื่องจากเป็นระบบที่ให้เงินลงทุนเทียบเท่ารายปีต่ำที่สุด อยู่ที่ 391,752 บาท/ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 2,719,983 บาท ระยะเวลาคืนทุน 2.55 ปี และ อัตราผลตอบแทนในการลงทุนเป็น 38.4% โดยระบบนี้จะให้ค่า Solar fraction เฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 0.41

แนวทางในการเลือกระบบทำน้ำร้อน พบว่าควรเลือกขนาดของถังเก็บน้ำร้อนที่น้อยกว่า ปริมาณน้ำร้อนที่ต้องการต่อวัน เนื่องจากเป็นข้อจำกัดทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งอัตราส่วนปริมาณ น้ำร้อนที่ต้องการต่อวัน/ปริมาตรของถังเก็บน้ำร้อน จะอยู่ที่ประมาณ 1.2 และอัตราส่วนของ ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน/พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ จะอยู่ที่ 42–50 liter/m² โดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับภาระความต้องการน้ำร้อนได้ไม่เกิน 2000 liter/day และจำนวนตัว ถังรับรังสีอาทิตย์ไม่เกิน 16 แผง (32 m²) เนื่องจากจะทำให้การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์มีความ คลาดเคลื่อนมาก

6.2 ข้อเสนอแนะ

- 6.2.1 ในการนำแบบจำลองไปใช้ในการวิเคราะห์ควรใช้ค่าสภาพอากาศ ได้แก่ ความเข้ม รังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศ ของท้องถิ่นนั้นๆ เนื่องจากสภาพอากาศแต่ละท้องถิ่น มีค่าไม่เท่ากัน
- 6.2.2 ควรมีการสำรวจและนำข้อมูลของโรงฆ่าสัตว์ที่มีความต้องการใช้น้ำร้อนที่แตกต่างกันมาใช้ในการวิเคราะห์
- 6.2.3 ควรมีการเพิ่มระบบฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โรงฆ่าสัตว์ขนาดต่างๆ เช่น การใช้น้ำร้อน ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ราคาของแผงและถังขนาดต่างๆ ประสิทธิภาพ ของอุปกรณ์ในการให้ความร้อนเสริม
- 6.2.4 ในการวิเคราะห์ระบบที่มีขนาดใหญ่ นั้นควรพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เป็นไปได้ในปัจจุบัน ซึ่งจะทำให้มีความถูกต้องแม่นยำเพิ่มขึ้น

บรรณานุกรม

- จุฑารัตน์ เศรษฐกุล. (2540). *การจัดการโรงฆ่าสัตว์*, ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 55.
- ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, ชาญวิทย์ วุฒิวงสานนท์ และจิรวรรณ เดียรธวัชรธรรม. (2545). *การวิเคราะห์สมรรถนะตัวเก็บรังสีที่ทำจากชุดระบายความร้อน*, การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 กรุงเทพฯ, หน้า 581-586.
- ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2537). *การออกแบบระบบพลังงานความร้อน*, (พิมพ์ครั้งที่2), คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 113-125.
- ชนากม สุนทรชัยนาคแสง และทวีคุณ ปณัฐากรณ์. (2542). *การวิเคราะห์พารามิเตอร์และประเมินศักยภาพการเก็บสะสมพลังงานด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์*, บทความวิจัยและวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. หน้า 356-363.
- ธนาคารกรุงไทย. (2549). “อัตราดอกเบี้ยเงินกู้.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.ktb.co.th> (28 กุมภาพันธ์ 2549).
- บงกช ประสิทธิ์, พิสิษฐ์ มณีโชติ, ชวดี คงมั่น และอัญชลี เทียนภู. (2546). *ศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลอดสูญญากาศ และแบบแผ่นเรียบชนิด Direct และ Indirect*. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- พรพิมล เพ็ชรวัฒนา และสมบุญ คงเพชรศักดิ์. (2546). *การศึกษามาตรฐานในการทดสอบตัวรับรังสีแบบกลางแจ้งที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย*, ปรินูญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต, สาขาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ อ.เมือง จ.เชียงใหม่. (2547). “*Climatological data for the period 30 years (1971-2000)*.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.cmmet.com> (16 มิถุนายน 2547).
- ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ. (2549). *ข้อมูลอุณหภูมิกาศรายชั่วโมง ปี พ.ศ.2548*, ฝ่ายแผนที่และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา, อ.เมือง จ.เชียงใหม่.
- สำเริง จักรใจ. (2547). *การเผาไหม้*, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 52.

- เสริม จันทร์ฉาย. (2542). *แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย*, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ร่วมกับ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เสริม จันทร์ฉาย. (2548). *ข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมง ปี พ.ศ.2548*, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา E-mail. Serm@su.ac.th
- โสภณา ฤทธิโส และเอกลักษณ์ ศรีพลากิจ. (2544). *การศึกษาระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์บนอาคารสุจินโณ โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่*, ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อลงกรณ์ สุขใส. (2538). *การออกแบบระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในโรงแรม*, วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Adnan Shariah and Bassam Shalabi. (1997). Optimal design for a thermosyphon solar water heater. *Renewable Energy*, Volume 11, Issue 3, Page 351-361.
- ASHRAE, Standard 93-77. (1977). Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collector. American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineering : New York.
- Aye, Lu., Charters, W.W.S. and Chaichana, C. (2002). Solar heat pump systems for domestic hot water. *Solar Energy*, Volume 73, Issue 3, Page 169-175.
- Duffie, J. A. and Beckman, W. A. (1980). *Solar Engineering of Thermal Process*. John Wiley & Sons : New york.
- Kalogirou, S.A. (2004). Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume 19, Issue 8, Page 807-817.
- LPG Physical Properties. (2549). "Calorific Value & Efficiency." [Online]. <http://www.lpgforyou.com> (31 July 2549).
- Naris Pratinthong. (1996). Long Term Simulation of Concrete Solar Collector, King Mongkut's institute of Technology Thonburi, Page 18-22.
- Shariah, A.M. and LOF, G.O.G. (1996). The optimization of tank-volume-to-collector-area ratio for a thermosyphon solar water heater. *Renewable Energy*, Volume 7, Issue 3, Page 289-300.

- Solar Rating and Certification Corporation (SRCC). (2549). *"Directory of SRCC Certified Solar Collector Ratings."* [Online]. <http://www.solar-rating.org/ratings/ratings.htm> (21 September 2006).
- Typical Meteorological Year (TMY2). (2006). *"User's Manual for TMY2s."* [Online]. http://rredc.nrel.gov/solar/pubs/tmy2/tmy2_index.html (11 August 2006).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณ

1. ในกรณีที่ทราบค่ารังสีอาทิตย์รายวัน เพื่อคำนวณหาปริมาณรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงที่ตกกระทบบนตัวเก็บรังสีแนวระนาบเอียง ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ของวันที่ 17 มกราคม ที่เวลา 12:00 นาฬิกา

กำหนดให้

มุมละติจูด จ.เชียงใหม่ $\phi = 18.783^\circ$

มุมลองจิจูด จ.เชียงใหม่ $L_{loc} = 98.983^\circ$

มุมลองจิจูด จ.อุบลราชธานี $L_{st} = 105^\circ$

มุมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เอียงทำมุมกับแนวระดับ $\beta = 18.783^\circ$

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์หันหน้าไปทางทิศใต้ มุมอะซิมุท $\gamma = 0^\circ$

วันที่ของปี $n = 17$ (ตารางที่ 2.1)

ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายวัน $H = 16.33 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$ (ตารางที่ 2.2)

Solar time หาได้จากสมการที่ 2.1 – 2.3

$$\begin{aligned} B &= \frac{360(n - 81)}{364} \\ &= \frac{360(17 - 81)}{364} \\ &= -63.3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B \\ &= 9.87 \sin(2 \times (-63.3)) - 7.53 \cos(-63.3) - 1.5 \sin(-63.3) \\ &= -9.968 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Solar time} &= \text{Standard time} - 4(L_{st} - L_{loc}) + E \\ &= (12 \times 60) - 4(105 - 98.983) - 93968 = 685.964 \text{ นาที} \\ &= \frac{685.964}{60} \\ &= 11.433 \text{ ชั่วโมง หรือ } 11:26 \text{ นาฬิกา} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega &= 15(11.433 - 12) \\ &= -8.505^\circ \end{aligned}$$

มุมเดคลิเนชัน (Declination angle) หาได้จากสมการที่ 2.5

$$\begin{aligned}\delta &= 23.45 \sin \left[\frac{360(284 + n)}{365} \right] \\ &= 23.45 \sin \left[\frac{360(284 + 17)}{365} \right] \\ &= -20.917^\circ\end{aligned}$$

มุมชั่วโมงที่พระอาทิตย์ตกดิน (Sunset hour angle) หาได้จากสมการที่ 2.6

$$\begin{aligned}\omega_s &= \cos^{-1} \left[\frac{\sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta} \right] = \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta) \\ &= \cos^{-1} (-\tan(18.783) \tan(-20.917)) \\ &= 82.531^\circ\end{aligned}$$

จากสมการที่ 2.16

$$\begin{aligned}\cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ &\quad + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ &\quad + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \\ &= \sin(-20.917) \sin(18.783) \cos(18.783) \\ &\quad - \sin(-20.917) \cos(18.783) \sin(18.783) \cos(0) \\ &\quad + \cos(-20.917) \cos(18.783) \cos(18.783) \cos(0) \\ &\quad + \cos(-20.917) \sin(18.783) \sin(18.783) \cos(0) \cos(-8.505) \\ &\quad + \cos(-20.917) \sin(18.783) \sin(0) \sin(-8.505) \\ &= 0.924\end{aligned}$$

จากสมการที่ 2.17

$$\begin{aligned}\cos \theta_z &= \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \\ &= \sin(-20.917) \sin(18.783) + \cos(-20.917) \cos(18.783) \cos(-8.505) \\ &= 0.760\end{aligned}$$

อัตราส่วนความเข้มของรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีตรงบนแนวระดับหาได้จากสมการที่ 2.15

$$\begin{aligned} R_b &= \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \\ &= \frac{0.924}{0.760} \\ &= 1.216 \end{aligned}$$

ค่า a_1 , a_2 , b_1 และ b_2 จากตารางที่ 2.3

$$\begin{aligned} a &= a_1 + a_2 \sin(\omega_s - 60^\circ) \\ &= 0.514 + 0.228 \sin(82.531 - 60) = 0.601 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= b_1 + b_2 \sin(\omega_s - 60^\circ) \\ &= 0.512 + 0.083 \sin(82.531 - 60) = 0.544 \end{aligned}$$

ค่ารังสีนอกชั้นบรรยากาศรายวันหาได้จากสมการที่ 2.4

$$H_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \times \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right]$$

$$\begin{aligned} H_o &= \frac{24 \times 3600 \times 1353}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360 \times 17n}{365}\right) \right] \\ &\quad \times \left[\cos(18.783) \cos(-20.917) \sin(82.531) + \frac{2\pi(82.531)}{360} \sin(18.783) \sin(-20.917) \right] \end{aligned}$$

$$= 27.302 \text{ MJ/m}^2\text{day}$$

ค่ารังสีกระจายรายวันหาได้จากสมการที่ 2.7

$$H_d = H_o \left[-4.6408 + 26.5495 \left(\frac{H}{H_o} \right) - 28.3422 \left(\frac{H}{H_o} \right)^2 - 31.4546 \left(\frac{H}{H_o} \right)^3 + 46.4421 \left(\frac{H}{H_o} \right)^4 \right]$$

$$= 27.302 \left[-4.6408 + 26.5495 \left(\frac{16.33}{27.302} \right) - 28.3422 \left(\frac{16.33}{27.302} \right)^2 \right. \\ \left. - 31.4546 \left(\frac{16.33}{27.302} \right)^3 + 46.4421 \left(\frac{16.33}{27.302} \right)^4 \right]$$

$$= 8.543 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$$

ค่ารังสีรวมรายชั่วโมงหาได้จากสมการที่ 2.8

$$I = H \left[\frac{\pi}{24} \times \frac{(a + b \cos \omega)(\cos \omega - \cos \omega_s)}{\sin \omega_s - \frac{2\pi \omega_s \cos \omega_s}{360}} \right]$$

$$= 16.33 \left[\frac{\pi}{24} \times \frac{(0.601 + 0.544 \cos(-8.505))(\cos(-8.505) - \cos(82.531))}{\sin(82.531) - \frac{2\pi(82.531) \cos(82.531)}{360}} \right]$$

$$= 2.600 \text{ MJ/m}^2 \text{ hr}$$

ค่ารังสีกระจายรายชั่วโมงหาได้จากสมการที่ 2.11

$$I_d = H_d \left[\frac{\pi}{24} \times \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{2\pi \omega_s \cos \omega_s}{360}} \right]$$

$$= 8.543 \left[\frac{\pi}{24} \times \frac{\cos(-8.505) - \cos(82.531)}{\sin(82.531) - \frac{2\pi(82.531) \cos(82.531)}{360}} \right]$$

$$= 1.194 \text{ MJ/m}^2 \text{ hr}$$

ค่ารังสีตรงรายชั่วโมงหาได้จากสมการที่ 2.12

$$\begin{aligned} I_b &= I - I_d \\ &= 2.600 - 1.194 \\ &= 1.406 \text{ MJ/m}^2\text{hr} \end{aligned}$$

ดังนั้นค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในระนาบเอียงหาได้จากสมการที่ 2.14

$$\begin{aligned} I_T &= I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_{\rho_g} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \\ &= 1.406 \times 1.216 + 1.194 \left(\frac{1 + \cos(18.783)}{2} \right) + 2.600 \times 0.8 \left(\frac{1 - \cos(18.783)}{2} \right) \\ &= 2.927 \text{ MJ/m}^2\text{hr} \end{aligned}$$

2. ในกรณีที่ทราบอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดรายวัน เพื่อคำนวณอุณหภูมิรายชั่วโมง ในจังหวัด เชียงใหม่ ของวันที่ 17 มกราคม เวลา 12:00 นาฬิกา

จากตารางที่ 2.4

อุณหภูมิบรรยากาศสูงสุดในวัน $T_{\max} = 29.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$

อุณหภูมิบรรยากาศต่ำสุดในวัน $T_{\min} = 14.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

หาอุณหภูมิอากาศที่เวลา 12:00 จากสมการที่ 2.18

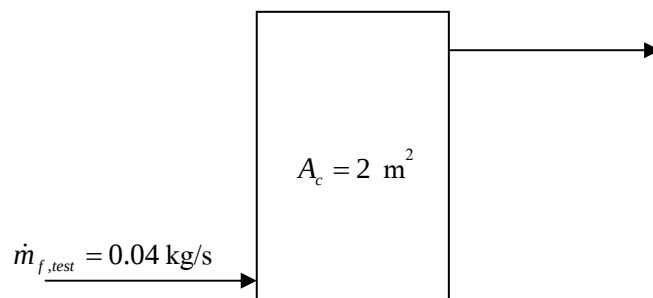
$$\begin{aligned} T_a(t) &= \frac{1}{2} \left[(T_{\max} + T_{\min}) + (T_{\max} - T_{\min}) \sin \left(\frac{2\pi}{24} (t - 9) \right) \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[(29.3 + 14.1) + (29.3 - 14.1) \sin \left(\frac{2\pi}{24} (12 - 9) \right) \right] \\ &= 21.8 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

3. การคำนวณหาค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ ใหม่ เมื่อมีการปรับอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์

กำหนดให้

$$F_R(\tau\alpha)_{e, test} = 0.802$$

$$F_R U_{L, test} = 10.37 \text{ W/m}^2\text{°C}$$



จากรูปเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เมื่อต้องการปรับอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้เพิ่มขึ้นเป็น 0.08 kg/s เพื่อที่จะหา $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $F_R U_L$ ใหม่ กำหนด $C_p = 4190 \text{ J/kg°C}$

$$\frac{F'}{F_R} = - \left(\frac{\dot{m}_{f, test} C_p}{A_c F_R U_{L, test}} \right) \ln \left(1 - \frac{F_R U_{L, test} A_c}{\dot{m}_{f, test} C_p} \right)$$

$$= - \left(\frac{0.04 \times 4190}{2 \times 10.37} \right) \ln \left(1 - \frac{10.37 \times 2}{0.04 \times 4190} \right)$$

$$= 1.0675 = \frac{F' U_L}{F_R U_L} = \frac{F'(\tau\alpha)_e}{F_R(\tau\alpha)_e}$$

$$F'(\tau\alpha)_e = 1.0675 \times 10.37 = 11.07$$

$$F' U_L = 1.0675 \times 0.802 = 0.856 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

เมื่อมีการเปลี่ยนค่า $\dot{m}_f$ ใหม่ และสมมุติให้ค่า F' ลงที่จะได้ว่า

$$\frac{\dot{m}_{f,new} C_p}{A_c F' U_L} = \frac{0.08 \times 4190}{2 \times 11.07} = 15.14$$

$$\frac{F_R}{F'} = \left(\frac{\dot{m}_{f,new} C_p}{A_c F' U_L} \right) \left[1 - \exp \left(\frac{-A_c F' U_L}{\dot{m}_{f,new} C_p} \right) \right]$$

$$= (15.14) \left[1 - \exp \left(\frac{-1}{15.14} \right) \right]$$

$$= 0.968 = \frac{F_R U_L}{F' U_L} = \frac{F_R (\tau \alpha)_e}{F' (\tau \alpha)_e}$$

$$F_R (\tau \alpha)_e = 0.968 \times 0.856 = 0.829$$

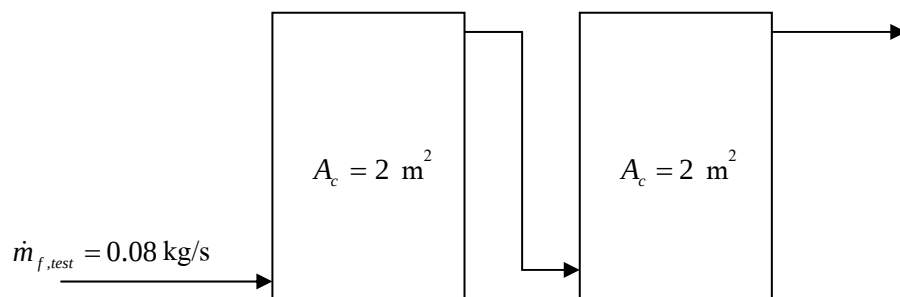
$$F_R U_L = 0.968 \times 11.07 = 10.71 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4. การคำนวณหาค่า $F_R (\tau \alpha)_e$ และ $F_R U_L$ รวม ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่นำมาต่ออนุกรมกัน

จากการคำนวณในข้อที่ 3 พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ 0.08 kg/s จะทำให้ค่า $F_R (\tau \alpha)_e$ และ $F_R U_L$ มีค่าใหม่เป็น 0.829 และ 10.71 W/m²°C ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดเดียวกัน 2 แผง มาต่ออนุกรมกันจะสามารถหาค่า $F_R (\tau \alpha)_e$ และ $F_R U_L$ ใหม่ได้

จาก $F_R (\tau \alpha)_{e,1} = 0.829$

$$F_R U_{L,1} = 10.71 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$



$$\begin{aligned}
 K &= \left[\frac{A_{c1} F_{R1} U_{L1}}{\dot{m}_f C_p} \right] \\
 &= \left[\frac{2 \times 10.71}{0.08 \times 4190} \right] \\
 &= 0.0639
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_R (\tau\alpha)_{e,N} &= F_{R1} (\tau\alpha)_{e1} \left[\frac{1 - (1 - K)^N}{NK} \right] \\
 &= 0.829 \left[\frac{1 - (1 - 0.0639)^2}{2 \times 0.0639} \right] \\
 &= 0.802
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_R U_{L,N} &= F_{R1} U_{L1} \left[\frac{1 - (1 - K)^N}{NK} \right] \\
 &= 10.71 \left[\frac{1 - (1 - 0.0639)^2}{2 \times 0.0639} \right] \\
 &= 10.37 \text{ W/m}^2\text{°C}
 \end{aligned}$$

5. การคำนวณอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมน้ำร้อน

การคำนวณหาอุณหภูมิของน้ำในถังสะสมน้ำร้อนสามารถหาได้จากสมดุลพลังงานความร้อนโดยสมมุติให้ถังเก็บสะสมมีอุณหภูมิสม่ำเสมอและไม่มีการแยกชั้นของอุณหภูมิของของไหล (Non – stratified tank) และสมมุติว่าไม่มีการสะสมพลังงานในตัวเก็บรังสีอาทิตย์

กำหนดให้

$$A_c = 2 \text{ m}^2$$

$$F_R (\tau\alpha)_{e,test} = 0.802$$

$$F_R U_{L,test} = 10.37 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$(MC_p)_T \text{ ของถังขนาด 200 liter เท่ากับ } 0.838 \text{ MJ/°C}$$

$$(UA)_T \text{ ของถังขนาด 200 ลิตร เท่ากับ } 3.215 \text{ W/°C}$$

$$\text{อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน } T_{set} = 80 \text{ °C}$$

น้ำถูกดึงไปใช้งานตอนเที่ยงคืนถึงตีห้าด้วยอัตรา 60 liter/hr
 สมมุติให้อุณหภูมิน้ำที่เข้ามาแทนที่ในถังเท่ากับอุณหภูมิอากาศ

ตารางที่ ก.1 สัดส่วนภาระความร้อนและอุณหภูมิน้ำในถังเก็บในแต่ละช่วงเวลา

เวลาสุริยะ (hr)	I_T (MJ/m ² hr)	T_{amb} (°C)	Q_{coll} (MJ/hr)	Q_{loss} (MJ/hr)	Q_{useful} (MJ/hr)	Q_{load} (MJ/hr)	Q_{aux} (MJ/hr)	T_{sf} (°C)
start								17.977
06 - 07	0.000	13.8	0.000	0.048	0.000	0.000	0.000	17.920
07 - 08	0.140	14.5	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	17.872
08 - 09	0.679	16.9	1.016	0.011	0.000	0.000	0.000	19.071
09 - 10	1.130	20.5	1.919	-0.017	0.000	0.000	0.000	21.382
10 - 11	2.020	22.8	3.346	-0.016	0.000	0.000	0.000	25.393
11 - 12	2.658	24.6	4.204	0.009	0.000	0.000	0.000	30.399
12 - 13	2.856	26.5	4.290	0.045	0.000	0.000	0.000	35.465
13 - 14	2.708	28.7	3.838	0.078	0.000	0.000	0.000	39.951
14 - 15	2.261	28.9	2.802	0.128	0.000	0.000	0.000	43.143
15 - 16	1.504	29.2	1.371	0.161	0.000	0.000	0.000	44.587
16 - 17	1.100	29.2	0.615	0.178	0.000	0.000	0.000	45.108
17 - 18	0.819	25.7	0.000	0.225	0.000	0.000	0.000	44.840
18 - 19	0.000	22.8	0.000	0.255	0.000	0.000	0.000	44.536
19 - 20	0.000	22.0	0.000	0.261	0.000	0.000	0.000	44.224
20 - 21	0.000	21.3	0.000	0.265	0.000	0.000	0.000	43.908
21 - 22	0.000	20.6	0.000	0.270	0.000	0.000	0.000	43.586
22 - 23	0.000	18.9	0.000	0.286	0.000	0.000	0.000	43.245
23 - 00	0.000	18.0	0.000	0.292	0.000	0.000	0.000	42.896
00 - 01	0.000	17.6	0.000	0.293	6.359	15.687	9.328	34.958
01 - 02	0.000	16.9	0.000	0.209	4.540	15.863	11.324	29.291
02 - 03	0.000	16.6	0.000	0.147	3.191	15.939	12.748	25.308
03 - 04	0.000	16.1	0.000	0.107	2.315	16.064	13.749	22.419
04 - 05	0.000	15.7	0.000	0.078	1.689	16.165	14.476	20.310
05 - 06	0.000	14.7	0.000	0.065	0.000	0.000	0.000	20.233
รวม	17.875		23.401	3.418	18.094	79.718	61.625	

สมมุติพิจารณาในช่วงเวลา 00:00 – 01:00 นาฬิกา

อัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์

$$\begin{aligned}
 \dot{Q}_{coll} &= A_c [F_R (\tau \alpha)_e I_T - F_R U_L (T_{si} - T_a)] S_c \\
 &= 2[0.802 \times 0 - 10.37(42.896 - 17.6) \times 3600 / 10^6] \times 0 \\
 &= 0 \text{ MJ/hr}
 \end{aligned}$$

ค่า S_c มีค่าเป็น 1 เมื่อเทอมในวงเล็บใหญ่มีค่าเป็นบวก และ S_c มีค่าเป็น 0 เมื่อเทอมในวงเล็บใหญ่มีค่าเป็นศูนย์หรือน้อยกว่าศูนย์ ส่วนเทอม 3600×10^6 เป็นค่าแก้หน่วยจาก $\text{W/m}^2\text{°C}$ ไปเป็น $\text{MJ/m}^2\text{°C hr}$ และ T_{si} จะมีค่าเท่ากับ T_{sf} ของชั่วโมงก่อน

อัตราการความร้อนที่สูญเสียจากถังเก็บสะสม

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{loss} &= (UA)_T (T_{si} - T_a) \\ &= (3.215 \times 3600 / 10^6)(42.896 - 17.6) \\ &= 0.293 \text{ MJ/hr}\end{aligned}$$

อัตราการความร้อนที่ดึงได้จากถังเก็บสะสม

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{useful} &= \dot{m}_L C_p (T_{si} - T_L) S_L \\ &= (60 \times 0.00419)(42.896 - 17.6) \\ &= 6.359 \text{ MJ/hr}\end{aligned}$$

อัตราการความร้อนที่ให้กับภาระจริง

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{load} &= \dot{m}_L C_p (T_{set} - T_L) \\ &= (60 \times 0.00419)(80 - 17.6) \\ &= 15.687 \text{ MJ/hr}\end{aligned}$$

อัตราการความร้อนเสริมที่ต้องให้เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนไม่ถึง 80 °C

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{aux} &= \dot{Q}_{load} - \dot{Q}_{useful} \\ &= 15.687 - 6.359 \\ &= 9.328 \text{ MJ/hr}\end{aligned}$$

อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมในช่วงท้ายชั่วโมง

$$\begin{aligned}
 T_{sf} &= T_{si} + \frac{\Delta t}{(MC_p)_T} (\dot{Q}_{coll} - \dot{Q}_{loss} - \dot{Q}_{useful}) \\
 &= 42.896 + \frac{1}{0.838} (0 - 0.293 - 6.359) \\
 &= 34.958 \text{ } ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตลอดวัน

$$\begin{aligned}
 \eta_{coll} &= \frac{\sum \dot{Q}_{coll}}{\sum I_T \times A_c} \\
 &= \frac{23.401}{17.875 \times 2} \\
 &= 0.655
 \end{aligned}$$

สัดส่วนของพลังงานที่ได้จากระบบต่อภาระงานทั้งหมด (Solar fraction)

$$\begin{aligned}
 f_s &= \frac{Q_{load} - Q_{aux}}{Q_{load}} \\
 &= \frac{79.718 - 61.625}{79.718} \\
 &= 0.227
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข

การหาอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อนของระบบแต่ละเดือน

การหาอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อนของระบบแต่ละเดือนโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาด 6 m^2 กับขนาดถังเก็บน้ำร้อน 250 liter โดยจะเลือกวันที่มีค่า Solar fraction ใกล้เคียงกับ ค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนมาเป็นตัวแทนในการหาอุณหภูมิในถัง และสัดส่วนภาระความร้อน

โดยนำอุณหภูมิไปใช้งานในช่วง 00.00 – 05.00 นาฬิกา ด้วยอัตรา 60 kg/hr อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน 80°C ค่า $F_R(\tau\alpha)_e = 0.803$, $F_R U_L = 10.37 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$, $A_c = 6 \text{ m}^2$, $(UA)_T = 3.711 \text{ W/}^\circ\text{C}$, $(MC_p)_T = 1.0475 \text{ MJ/}^\circ\text{C}$

ตารางที่ ข.1 อุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อนในเดือน มกราคม

เวลาสุริยะ (hr)	I_T (MJ/m ² hr)	T_{amb} ($^\circ\text{C}$)	Q_{coll} (MJ/hr)	Q_{loss} (MJ/hr)	Q_{useful} (MJ/hr)	Q_{load} (MJ/hr)	Q_{aux} (MJ/hr)	T_{sf} ($^\circ\text{C}$)
start								62.556
00 - 01	0.000	16.5	0.000	0.615	11.579	15.964	4.385	50.915
01 - 02	0.000	16.1	0.000	0.465	8.753	16.064	7.312	42.116
02 - 03	0.000	15.4	0.000	0.357	6.716	16.240	9.524	35.363
03 - 04	0.000	14.9	0.000	0.273	5.144	16.366	11.222	30.191
04 - 05	0.000	14.8	0.000	0.206	3.869	16.391	12.522	26.301
05 - 06	0.000	14.4	0.000	0.159	0.000	0.000	0.000	26.149
06 - 07	0.000	13.9	0.000	0.164	0.000	0.000	0.000	25.993
07 - 08	0.103	14.6	0.000	0.152	0.000	0.000	0.000	25.847
08 - 09	0.607	18.0	1.163	0.105	0.000	0.000	0.000	26.858
09 - 10	1.336	21.3	5.183	0.074	0.000	0.000	0.000	31.735
10 - 11	2.002	24.2	7.948	0.101	0.000	0.000	0.000	39.227
11 - 12	2.509	25.3	8.956	0.186	0.000	0.000	0.000	47.598
12 - 13	2.678	27.2	8.319	0.273	0.000	0.000	0.000	55.280
13 - 14	2.594	28.3	6.439	0.360	0.000	0.000	0.000	61.082
14 - 15	2.352	28.9	4.109	0.430	0.000	0.000	0.000	64.594
15 - 16	1.901	28.9	1.154	0.477	0.000	0.000	0.000	65.241
16 - 17	1.316	28.4	0.000	0.492	0.000	0.000	0.000	64.771
17 - 18	0.000	24.8	0.000	0.534	0.000	0.000	0.000	64.261
18 - 19	0.000	22.4	0.000	0.559	0.000	0.000	0.000	63.727
19 - 20	0.000	22.0	0.000	0.557	0.000	0.000	0.000	63.195
20 - 21	0.000	20.0	0.000	0.577	0.000	0.000	0.000	62.644
21 - 22	0.000	19.0	0.000	0.583	0.000	0.000	0.000	62.087
22 - 23	0.000	18.2	0.000	0.586	0.000	0.000	0.000	61.528
23 - 00	0.000	18.2	0.000	0.579	0.000	0.000	0.000	60.975
รวม	17.398		43.271	8.864	36.061	81.025	44.965	

ค่า Solar fraction ของระบบในเดือนมกราคม มีค่าประมาณ 0.4451

ตารางที่ ข.2 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อนในเดือน กุมภาพันธ์

เวลาสุริยะ (hr)	I_T (MJ/m ² hr)	T_{amb} (°C)	Q_{coll} (MJ/hr)	Q_{loss} (MJ/hr)	Q_{useful} (MJ/hr)	Q_{load} (MJ/hr)	Q_{aux} (MJ/hr)	T_{sf} (°C)
start								65.395
00 - 01	0.000	19.5	0.000	0.613	11.538	15.210	3.672	53.795
01 - 02	0.000	17.4	0.000	0.486	9.150	15.738	6.588	44.596
02 - 03	0.000	17.3	0.000	0.365	6.862	15.763	8.901	37.697
03 - 04	0.000	16.0	0.000	0.290	5.455	16.090	10.635	32.213
04 - 05	0.000	16.6	0.000	0.209	3.925	15.939	12.014	28.267
05 - 06	0.000	15.8	0.000	0.167	0.000	0.000	0.000	28.108
06 - 07	0.000	14.3	0.000	0.184	0.000	0.000	0.000	27.932
07 - 08	0.158	17.8	0.000	0.135	0.000	0.000	0.000	27.802
08 - 09	0.684	21.4	1.857	0.086	0.000	0.000	0.000	29.494
09 - 10	1.418	24.4	5.680	0.068	0.000	0.000	0.000	34.851
10 - 11	2.118	28.2	8.703	0.089	0.000	0.000	0.000	43.075
11 - 12	2.515	29.7	9.106	0.179	0.000	0.000	0.000	51.597
12 - 13	2.686	30.9	8.291	0.277	0.000	0.000	0.000	59.248
13 - 14	2.606	31.9	6.412	0.365	0.000	0.000	0.000	65.021
14 - 15	2.257	32.3	3.529	0.437	0.000	0.000	0.000	67.973
15 - 16	1.700	33.1	0.368	0.466	0.000	0.000	0.000	67.879
16 - 17	0.974	32.3	0.000	0.475	0.000	0.000	0.000	67.425
17 - 18	0.381	28.7	0.000	0.517	0.000	0.000	0.000	66.931
18 - 19	0.000	26.0	0.000	0.547	0.000	0.000	0.000	66.409
19 - 20	0.000	24.3	0.000	0.563	0.000	0.000	0.000	65.872
20 - 21	0.000	22.6	0.000	0.578	0.000	0.000	0.000	65.320
21 - 22	0.000	21.1	0.000	0.591	0.000	0.000	0.000	64.756
22 - 23	0.000	19.9	0.000	0.599	0.000	0.000	0.000	64.184
23 - 00	0.000	19.1	0.000	0.602	0.000	0.000	0.000	63.609
รวม	17.497		43.946	8.888	36.930	78.740	41.810	

ค่า Solar fraction ของระบบในเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าประมาณ 0.4690

ตารางที่ ข.3 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อนในเดือน มีนาคม

เวลาสุริยะ (hr)	I_T (MJ/m ² hr)	T_{amb} (°C)	Q_{coll} (MJ/hr)	Q_{loss} (MJ/hr)	Q_{useful} (MJ/hr)	Q_{load} (MJ/hr)	Q_{aux} (MJ/hr)	T_{sf} (°C)
start								67.702
00 - 01	0.000	24.8	0.000	0.573	10.785	13.877	3.092	56.858
01 - 02	0.000	24.5	0.000	0.432	8.135	13.953	5.818	48.679
02 - 03	0.000	24.6	0.000	0.322	6.054	13.928	7.874	42.593
03 - 04	0.000	23.2	0.000	0.259	4.875	14.280	9.404	37.692
04 - 05	0.000	21.9	0.000	0.211	3.970	14.606	10.636	33.700
05 - 06	0.000	21.9	0.000	0.158	0.000	0.000	0.000	33.550
06 - 07	0.014	22.0	0.000	0.154	0.000	0.000	0.000	33.402
07 - 08	0.287	23.0	0.000	0.139	0.000	0.000	0.000	33.270
08 - 09	0.816	26.9	2.501	0.085	0.000	0.000	0.000	35.576
09 - 10	1.475	28.9	5.604	0.089	0.000	0.000	0.000	40.840
10 - 11	1.994	31.3	7.457	0.127	0.000	0.000	0.000	47.838
11 - 12	2.533	33.0	8.864	0.198	0.000	0.000	0.000	56.110
12 - 13	2.760	34.9	8.530	0.283	0.000	0.000	0.000	63.983
13 - 14	2.732	36.1	6.903	0.373	0.000	0.000	0.000	70.218
14 - 15	2.388	36.7	3.984	0.448	0.000	0.000	0.000	73.594
15 - 16	1.755	37.0	0.248	0.489	0.000	0.000	0.000	73.364
16 - 17	0.688	37.2	0.000	0.483	0.000	0.000	0.000	72.903
17 - 18	0.254	35.7	0.000	0.497	0.000	0.000	0.000	72.428
18 - 19	0.000	32.2	0.000	0.537	0.000	0.000	0.000	71.915
19 - 20	0.000	30.6	0.000	0.552	0.000	0.000	0.000	71.388
20 - 21	0.000	29.8	0.000	0.556	0.000	0.000	0.000	70.858
21 - 22	0.000	28.7	0.000	0.563	0.000	0.000	0.000	70.320
22 - 23	0.000	28.3	0.000	0.561	0.000	0.000	0.000	69.784
23 - 00	0.000	26.7	0.000	0.576	0.000	0.000	0.000	69.235
รวม	17.696		44.091	8.665	33.819	70.644	36.824	

ค่า Solar fraction ของระบบในเดือนมีนาคม มีค่าประมาณ 0.4362

ตารางที่ ข.4 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อนในเดือน เมษายน

เวลาสุริยะ (hr)	I_T (MJ/m ² hr)	T_{amb} (°C)	Q_{coll} (MJ/hr)	Q_{loss} (MJ/hr)	Q_{useful} (MJ/hr)	Q_{load} (MJ/hr)	Q_{aux} (MJ/hr)	T_{sf} (°C)
start								73.413
00 - 01	0.000	26.7	0.000	0.624	11.744	13.400	1.656	61.606
01 - 02	0.000	26.3	0.000	0.472	8.876	13.500	4.624	52.682
02 - 03	0.000	25.7	0.000	0.360	6.783	13.651	6.868	45.862
03 - 04	0.000	25.3	0.000	0.275	5.169	13.752	8.582	40.665
04 - 05	0.000	25.1	0.000	0.208	3.913	13.802	9.889	36.731
05 - 06	0.000	24.7	0.000	0.161	0.000	0.000	0.000	36.577
06 - 07	0.193	25.8	0.000	0.144	0.000	0.000	0.000	36.440
07 - 08	0.861	28.4	2.342	0.107	0.000	0.000	0.000	38.574
08 - 09	1.631	29.9	5.907	0.116	0.000	0.000	0.000	44.103
09 - 10	2.299	32.0	8.352	0.162	0.000	0.000	0.000	51.921
10 - 11	2.882	33.7	9.785	0.243	0.000	0.000	0.000	61.030
11 - 12	3.217	35.4	9.738	0.342	0.000	0.000	0.000	70.000
12 - 13	3.313	34.9	8.078	0.469	0.000	0.000	0.000	77.264
13 - 14	3.096	38.9	6.304	0.513	0.000	0.000	0.000	82.793
14 - 15	2.720	35.5	2.496	0.632	0.000	0.000	0.000	84.573
15 - 16	1.614	34.8	0.000	0.665	0.000	0.000	0.000	83.938
16 - 17	0.530	35.0	0.000	0.654	0.000	0.000	0.000	83.314
17 - 18	0.464	32.9	0.000	0.674	0.000	0.000	0.000	82.671
18 - 19	0.000	31.9	0.000	0.678	0.000	0.000	0.000	82.023
19 - 20	0.000	31.7	0.000	0.672	0.000	0.000	0.000	81.381
20 - 21	0.000	30.5	0.000	0.680	0.000	0.000	0.000	80.732
21 - 22	0.000	29.9	0.000	0.679	0.000	0.000	0.000	80.084
22 - 23	0.000	29.3	0.000	0.678	0.000	0.000	0.000	79.436
23 - 00	0.000	26.7	0.000	0.705	0.000	0.000	0.000	78.763
รวม	22.820		53.002	10.913	36.485	68.105	31.619	

ค่า Solar fraction ของระบบในเดือนเมษายน มีค่าประมาณ 0.5357

ตารางที่ ข.5 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อนในเดือน พฤษภาคม

เวลาสุริยะ (hr)	I_T (MJ/m ² hr)	T_{amb} (°C)	Q_{coll} (MJ/hr)	Q_{loss} (MJ/hr)	Q_{useful} (MJ/hr)	Q_{load} (MJ/hr)	Q_{aux} (MJ/hr)	T_{sf} (°C)
start								66.544
00 - 01	0.000	25.4	0.000	0.550	10.344	13.726	3.383	56.145
01 - 02	0.000	24.6	0.000	0.421	7.930	13.928	5.997	48.172
02 - 03	0.000	24.4	0.000	0.318	5.976	13.978	8.002	42.163
03 - 04	0.000	24.3	0.000	0.239	4.491	14.003	9.512	37.648
04 - 05	0.000	24.5	0.000	0.176	3.305	13.953	10.647	34.325
05 - 06	0.000	24.5	0.000	0.131	0.000	0.000	0.000	34.200
06 - 07	0.137	24.9	0.000	0.124	0.000	0.000	0.000	34.081
07 - 08	0.750	26.4	1.887	0.103	0.000	0.000	0.000	35.784
08 - 09	1.065	28.3	3.450	0.100	0.000	0.000	0.000	38.983
09 - 10	1.343	28.5	4.112	0.140	0.000	0.000	0.000	42.775
10 - 11	1.488	30.0	4.299	0.171	0.000	0.000	0.000	46.716
11 - 12	2.498	30.1	8.298	0.222	0.000	0.000	0.000	54.426
12 - 13	2.300	32.0	6.046	0.300	0.000	0.000	0.000	59.911
13 - 14	1.819	32.3	2.567	0.369	0.000	0.000	0.000	62.010
14 - 15	2.260	32.3	4.218	0.397	0.000	0.000	0.000	65.658
15 - 16	1.431	32.5	0.000	0.443	0.000	0.000	0.000	65.235
16 - 17	0.559	32.4	0.000	0.439	0.000	0.000	0.000	64.816
17 - 18	0.321	32.3	0.000	0.434	0.000	0.000	0.000	64.402
18 - 19	0.000	31.2	0.000	0.444	0.000	0.000	0.000	63.978
19 - 20	0.000	29.7	0.000	0.458	0.000	0.000	0.000	63.541
20 - 21	0.000	28.8	0.000	0.464	0.000	0.000	0.000	63.098
21 - 22	0.000	28.4	0.000	0.464	0.000	0.000	0.000	62.655
22 - 23	0.000	27.6	0.000	0.468	0.000	0.000	0.000	62.208
23 - 00	0.000	27.2	0.000	0.468	0.000	0.000	0.000	61.762
รวม	15.971		34.877	7.843	32.046	69.588	37.541	

ค่า Solar fraction ของระบบในเดือนพฤษภาคม มีค่าประมาณ 0.4605

ตารางที่ ข.6 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อนในเดือน มิถุนายน

เวลาสุริยะ (hr)	I_T (MJ/m ² hr)	T_{amb} (°C)	Q_{coll} (MJ/hr)	Q_{loss} (MJ/hr)	Q_{useful} (MJ/hr)	Q_{load} (MJ/hr)	Q_{aux} (MJ/hr)	T_{sf} (°C)
start								58.429
00 - 01	0.000	25.9	0.000	0.435	8.178	13.601	5.423	50.207
01 - 02	0.000	25.8	0.000	0.326	6.136	13.626	7.490	44.038
02 - 03	0.000	24.7	0.000	0.258	4.862	13.902	9.041	39.150
03 - 04	0.000	24.7	0.000	0.193	3.633	13.902	10.270	35.498
04 - 05	0.000	24.4	0.000	0.148	2.790	13.978	11.188	32.693
05 - 06	0.000	24.6	0.000	0.108	0.000	0.000	0.000	32.590
06 - 07	0.167	24.9	0.000	0.103	0.000	0.000	0.000	32.492
07 - 08	0.400	25.6	0.384	0.092	0.000	0.000	0.000	32.770
08 - 09	0.926	27.1	3.187	0.076	0.000	0.000	0.000	35.740
09 - 10	0.967	28.0	2.919	0.103	0.000	0.000	0.000	38.428
10 - 11	1.030	29.1	2.865	0.125	0.000	0.000	0.000	41.044
11 - 12	1.345	30.6	4.132	0.140	0.000	0.000	0.000	44.856
12 - 13	0.673	30.8	0.091	0.188	0.000	0.000	0.000	44.763
13 - 14	1.386	31.4	3.677	0.179	0.000	0.000	0.000	48.104
14 - 15	1.094	31.5	1.545	0.222	0.000	0.000	0.000	49.366
15 - 16	1.154	31.1	1.463	0.244	0.000	0.000	0.000	50.530
16 - 17	0.649	30.1	0.000	0.273	0.000	0.000	0.000	50.269
17 - 18	0.532	26.0	0.000	0.324	0.000	0.000	0.000	49.960
18 - 19	0.000	24.4	0.000	0.341	0.000	0.000	0.000	49.634
19 - 20	0.000	23.8	0.000	0.345	0.000	0.000	0.000	49.304
20 - 21	0.000	23.5	0.000	0.345	0.000	0.000	0.000	48.975
21 - 22	0.000	23.7	0.000	0.338	0.000	0.000	0.000	48.653
22 - 23	0.000	23.8	0.000	0.332	0.000	0.000	0.000	48.336
23 - 00	0.000	23.9	0.000	0.326	0.000	0.000	0.000	48.024
รวม	10.323		20.263	5.564	25.599	69.009	43.412	

ค่า Solar fraction ของระบบในเดือนมิถุนายน มีค่าประมาณ 0.3710

ตารางที่ ข.7 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อนในเดือน กรกฎาคม

เวลาสุริยะ (hr)	I_T (MJ/m ² hr)	T_{amb} (°C)	Q_{coll} (MJ/hr)	Q_{loss} (MJ/hr)	Q_{useful} (MJ/hr)	Q_{load} (MJ/hr)	Q_{aux} (MJ/hr)	T_{sf} (°C)
start								59.192
00 - 01	0.000	23.4	0.000	0.478	8.998	14.229	5.231	50.146
01 - 02	0.000	23.5	0.000	0.356	6.699	14.204	7.505	43.411
02 - 03	0.000	23.2	0.000	0.270	5.081	14.280	9.199	38.302
03 - 04	0.000	23.1	0.000	0.203	3.822	14.305	10.483	34.460
04 - 05	0.000	22.9	0.000	0.154	2.906	14.355	11.449	31.538
05 - 06	0.000	22.9	0.000	0.115	0.000	0.000	0.000	31.428
06 - 07	0.157	22.7	0.000	0.117	0.000	0.000	0.000	31.317
07 - 08	0.713	22.9	1.545	0.112	0.000	0.000	0.000	32.684
08 - 09	1.207	23.0	3.638	0.129	0.000	0.000	0.000	36.034
09 - 10	1.450	24.9	4.485	0.149	0.000	0.000	0.000	40.173
10 - 11	1.925	25.6	5.997	0.195	0.000	0.000	0.000	45.712
11 - 12	3.055	26.4	10.373	0.258	0.000	0.000	0.000	55.369
12 - 13	2.221	26.5	4.220	0.386	0.000	0.000	0.000	59.028
13 - 14	2.093	27.5	3.008	0.421	0.000	0.000	0.000	61.498
14 - 15	1.269	27.4	0.000	0.456	0.000	0.000	0.000	61.063
15 - 16	1.748	27.4	0.872	0.450	0.000	0.000	0.000	61.466
16 - 17	1.146	27.4	0.000	0.455	0.000	0.000	0.000	61.031
17 - 18	0.357	26.5	0.000	0.461	0.000	0.000	0.000	60.591
18 - 19	0.000	25.7	0.000	0.466	0.000	0.000	0.000	60.146
19 - 20	0.000	25.4	0.000	0.464	0.000	0.000	0.000	59.703
20 - 21	0.000	24.9	0.000	0.465	0.000	0.000	0.000	59.259
21 - 22	0.000	24.7	0.000	0.462	0.000	0.000	0.000	58.818
22 - 23	0.000	24.1	0.000	0.464	0.000	0.000	0.000	58.375
23 - 00	0.000	23.8	0.000	0.462	0.000	0.000	0.000	57.934
รวม	17.341		34.138	7.948	27.506	71.373	43.867	

ค่า Solar fraction ของระบบในเดือนกรกฎาคม มีค่าประมาณ 0.3854

ตารางที่ ข.8 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อนในเดือน สิงหาคม

เวลาสุริยะ (hr)	I_T (MJ/m ² hr)	T_{amb} (°C)	Q_{coll} (MJ/hr)	Q_{loss} (MJ/hr)	Q_{useful} (MJ/hr)	Q_{load} (MJ/hr)	Q_{aux} (MJ/hr)	T_{sf} (°C)
start								53.773
00 - 01	0.000	23.8	0.000	0.400	7.535	14.129	6.593	46.197
01 - 02	0.000	23.7	0.000	0.301	5.656	14.154	8.498	40.511
02 - 03	0.000	23.4	0.000	0.229	4.302	14.229	9.928	36.186
03 - 04	0.000	23.6	0.000	0.168	3.164	14.179	11.015	33.005
04 - 05	0.000	23.6	0.000	0.126	2.364	14.179	11.815	30.628
05 - 06	0.000	23.9	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000	30.542
06 - 07	0.050	23.9	0.000	0.089	0.000	0.000	0.000	30.457
07 - 08	0.441	24.9	0.876	0.074	0.000	0.000	0.000	31.222
08 - 09	1.011	26.3	3.763	0.066	0.000	0.000	0.000	34.752
09 - 10	1.671	27.3	6.374	0.100	0.000	0.000	0.000	40.742
10 - 11	1.380	28.1	3.810	0.169	0.000	0.000	0.000	44.218
11 - 12	0.918	29.4	1.099	0.198	0.000	0.000	0.000	45.078
12 - 13	1.029	29.9	1.552	0.203	0.000	0.000	0.000	46.365
13 - 14	1.470	30.0	3.409	0.219	0.000	0.000	0.000	49.411
14 - 15	1.090	31.0	1.123	0.246	0.000	0.000	0.000	50.248
15 - 16	0.845	30.2	0.000	0.268	0.000	0.000	0.000	49.992
16 - 17	0.547	29.7	0.000	0.271	0.000	0.000	0.000	49.733
17 - 18	0.294	27.7	0.000	0.294	0.000	0.000	0.000	49.452
18 - 19	0.000	27.4	0.000	0.295	0.000	0.000	0.000	49.171
19 - 20	0.000	26.6	0.000	0.302	0.000	0.000	0.000	48.883
20 - 21	0.000	26.6	0.000	0.298	0.000	0.000	0.000	48.599
21 - 22	0.000	26.0	0.000	0.302	0.000	0.000	0.000	48.311
22 - 23	0.000	25.7	0.000	0.302	0.000	0.000	0.000	48.022
23 - 00	0.000	25.9	0.000	0.296	0.000	0.000	0.000	47.740
รวม	10.746		22.006	5.306	23.021	70.870	47.849	

ค่า Solar fraction ของระบบในเดือนสิงหาคม มีค่าประมาณ 0.3248

ตารางที่ ข.9 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อนในเดือน กันยายน

เวลาสุริยะ (hr)	I_T (MJ/m ² hr)	T_{amb} (°C)	Q_{coll} (MJ/hr)	Q_{loss} (MJ/hr)	Q_{useful} (MJ/hr)	Q_{load} (MJ/hr)	Q_{aux} (MJ/hr)	T_{sf} (°C)
start								60.966
00 - 01	0.000	24.5	0.000	0.487	9.167	13.953	4.785	51.749
01 - 02	0.000	24.9	0.000	0.359	6.750	13.852	7.102	44.963
02 - 03	0.000	24.4	0.000	0.275	5.169	13.978	8.808	39.765
03 - 04	0.000	24.1	0.000	0.209	3.938	14.053	10.115	35.806
04 - 05	0.000	23.9	0.000	0.159	2.993	14.104	11.110	32.797
05 - 06	0.000	23.9	0.000	0.119	0.000	0.000	0.000	32.683
06 - 07	0.018	24.0	0.000	0.116	0.000	0.000	0.000	32.572
07 - 08	0.151	26.7	0.000	0.078	0.000	0.000	0.000	32.497
08 - 09	0.301	28.4	0.529	0.055	0.000	0.000	0.000	32.951
09 - 10	0.430	29.0	1.185	0.053	0.000	0.000	0.000	34.032
10 - 11	0.504	31.0	1.745	0.041	0.000	0.000	0.000	35.660
11 - 12	0.564	31.2	1.715	0.060	0.000	0.000	0.000	37.240
12 - 13	0.718	30.3	1.901	0.093	0.000	0.000	0.000	38.966
13 - 14	0.482	26.5	0.000	0.167	0.000	0.000	0.000	38.807
14 - 15	0.575	26.9	0.099	0.159	0.000	0.000	0.000	38.750
15 - 16	0.471	26.8	0.000	0.160	0.000	0.000	0.000	38.597
16 - 17	0.242	26.7	0.000	0.159	0.000	0.000	0.000	38.446
17 - 18	0.083	26.4	0.000	0.161	0.000	0.000	0.000	38.292
18 - 19	0.000	25.8	0.000	0.167	0.000	0.000	0.000	38.133
19 - 20	0.000	25.4	0.000	0.170	0.000	0.000	0.000	37.970
20 - 21	0.000	24.6	0.000	0.179	0.000	0.000	0.000	37.800
21 - 22	0.000	24.3	0.000	0.180	0.000	0.000	0.000	37.628
22 - 23	0.000	23.9	0.000	0.183	0.000	0.000	0.000	37.452
23 - 00	0.000	23.7	0.000	0.184	0.000	0.000	0.000	37.277
รวม	4.539		7.174	3.973	28.017	69.940	41.920	

ค่า Solar fraction ของระบบในเดือนกันยายน มีค่าประมาณ 0.4001

ตารางที่ ข.10 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อนในเดือน ตุลาคม

เวลาสุริยะ (hr)	I_T (MJ/m ² hr)	T_{amb} (°C)	Q_{coll} (MJ/hr)	Q_{loss} (MJ/hr)	Q_{useful} (MJ/hr)	Q_{load} (MJ/hr)	Q_{aux} (MJ/hr)	T_{sf} (°C)
start								60.725
00 - 01	0.000	25.3	0.000	0.509	9.573	13.752	4.179	53.754
01 - 02	0.000	24.5	0.000	0.391	7.354	13.953	6.598	46.360
02 - 03	0.000	23.8	0.000	0.301	5.672	14.129	8.457	40.658
03 - 04	0.000	23.5	0.000	0.229	4.313	14.204	9.891	36.321
04 - 05	0.000	22.8	0.000	0.181	3.399	14.380	10.981	32.904
05 - 06	0.000	22.8	0.000	0.135	0.000	0.000	0.000	32.775
06 - 07	0.089	22.5	0.000	0.137	0.000	0.000	0.000	32.644
07 - 08	0.465	25.1	0.546	0.101	0.000	0.000	0.000	33.069
08 - 09	1.322	27.1	5.023	0.080	0.000	0.000	0.000	37.788
09 - 10	2.390	28.0	9.311	0.131	0.000	0.000	0.000	46.551
10 - 11	2.552	28.9	8.324	0.236	0.000	0.000	0.000	54.273
11 - 12	2.041	29.9	4.361	0.326	0.000	0.000	0.000	58.125
12 - 13	2.817	30.9	7.455	0.364	0.000	0.000	0.000	64.895
13 - 14	3.440	30.8	8.917	0.456	0.000	0.000	0.000	72.972
14 - 15	2.177	31.4	1.165	0.555	0.000	0.000	0.000	73.554
15 - 16	2.100	31.2	0.616	0.566	0.000	0.000	0.000	73.602
16 - 17	1.194	30.4	0.000	0.577	0.000	0.000	0.000	73.051
17 - 18	0.660	28.8	0.000	0.591	0.000	0.000	0.000	72.487
18 - 19	0.000	27.2	0.000	0.605	0.000	0.000	0.000	71.909
19 - 20	0.000	26.6	0.000	0.605	0.000	0.000	0.000	71.331
20 - 21	0.000	25.9	0.000	0.607	0.000	0.000	0.000	70.752
21 - 22	0.000	26.2	0.000	0.595	0.000	0.000	0.000	70.183
22 - 23	0.000	26.4	0.000	0.585	0.000	0.000	0.000	69.625
23 - 00	0.000	25.7	0.000	0.587	0.000	0.000	0.000	69.065
รวม	21.247		45.718	9.450	30.311	70.418	40.106	

ค่า Solar fraction ของระบบในเดือนตุลาคม มีค่าประมาณ 0.4304

ตารางที่ ข.11 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อนในเดือน พฤศจิกายน

เวลาสุริยะ (hr)	I_T (MJ/m ² hr)	T_{amb} (°C)	Q_{coll} (MJ/hr)	Q_{loss} (MJ/hr)	Q_{useful} (MJ/hr)	Q_{load} (MJ/hr)	Q_{aux} (MJ/hr)	T_{sf} (°C)
start								63.593
00 - 01	0.000	21.3	0.000	0.565	10.632	14.757	4.125	52.903
01 - 02	0.000	21.1	0.000	0.425	7.995	14.807	6.812	44.865
02 - 03	0.000	21.0	0.000	0.319	6.000	14.833	8.833	38.833
03 - 04	0.000	20.7	0.000	0.242	4.559	14.908	10.349	34.250
04 - 05	0.000	20.2	0.000	0.188	3.532	15.034	11.502	30.699
05 - 06	0.000	19.6	0.000	0.148	0.000	0.000	0.000	30.557
06 - 07	0.010	19.8	0.000	0.144	0.000	0.000	0.000	30.420
07 - 08	0.426	22.3	0.233	0.108	0.000	0.000	0.000	30.539
08 - 09	1.289	22.2	4.334	0.111	0.000	0.000	0.000	34.570
09 - 10	2.174	23.2	7.916	0.152	0.000	0.000	0.000	41.982
10 - 11	2.797	24.9	9.631	0.228	0.000	0.000	0.000	50.958
11 - 12	3.171	24.6	9.356	0.352	0.000	0.000	0.000	59.554
12 - 13	3.368	26.2	8.736	0.446	0.000	0.000	0.000	67.468
13 - 14	3.222	26.6	6.350	0.546	0.000	0.000	0.000	73.009
14 - 15	2.671	26.3	2.390	0.624	0.000	0.000	0.000	74.695
15 - 16	1.937	26.4	0.000	0.645	0.000	0.000	0.000	74.079
16 - 17	1.134	25.8	0.000	0.645	0.000	0.000	0.000	73.464
17 - 18	0.010	22.5	0.000	0.681	0.000	0.000	0.000	72.814
18 - 19	0.000	21.9	0.000	0.680	0.000	0.000	0.000	72.164
19 - 20	0.000	18.5	0.000	0.717	0.000	0.000	0.000	71.480
20 - 21	0.000	18.8	0.000	0.704	0.000	0.000	0.000	70.808
21 - 22	0.000	18.5	0.000	0.699	0.000	0.000	0.000	70.141
22 - 23	0.000	19.8	0.000	0.673	0.000	0.000	0.000	69.499
23 - 00	0.000	19.4	0.000	0.669	0.000	0.000	0.000	68.860
รวม	22.209		48.946	10.711	32.718	74.339	41.621	

ค่า Solar fraction ของระบบในเดือนพฤศจิกายน มีค่าประมาณ 0.4401

ตารางที่ ข.12 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน และสัดส่วนภาระความร้อนในเดือน ธันวาคม

เวลาสุริยะ (hr)	I_T (MJ/m ² hr)	T_{amb} (°C)	Q_{coll} (MJ/hr)	Q_{loss} (MJ/hr)	Q_{useful} (MJ/hr)	Q_{load} (MJ/hr)	Q_{aux} (MJ/hr)	T_{sf} (°C)
start								56.352
00 - 01	0.000	15.5	0.000	0.546	10.270	16.215	5.945	46.026
01 - 02	0.000	15.7	0.000	0.405	7.624	16.165	8.541	38.361
02 - 03	0.000	15.1	0.000	0.311	5.848	16.316	10.468	32.482
03 - 04	0.000	15.2	0.000	0.231	4.345	16.291	11.946	28.114
04 - 05	0.000	14.8	0.000	0.178	3.347	16.391	13.044	24.749
05 - 06	0.000	13.9	0.000	0.145	0.000	0.000	0.000	24.610
06 - 07	0.000	13.2	0.000	0.152	0.000	0.000	0.000	24.465
07 - 08	0.375	14.8	0.000	0.129	0.000	0.000	0.000	24.341
08 - 09	1.287	16.9	4.528	0.099	0.000	0.000	0.000	28.569
09 - 10	2.061	20.6	8.134	0.106	0.000	0.000	0.000	36.233
10 - 11	2.764	24.0	10.563	0.163	0.000	0.000	0.000	46.160
11 - 12	3.169	25.9	10.713	0.271	0.000	0.000	0.000	56.129
12 - 13	3.339	28.2	9.811	0.373	0.000	0.000	0.000	65.139
13 - 14	3.249	28.4	7.404	0.491	0.000	0.000	0.000	71.739
14 - 15	2.728	27.1	3.128	0.596	0.000	0.000	0.000	74.156
15 - 16	2.132	26.3	0.000	0.639	0.000	0.000	0.000	73.545
16 - 17	1.432	24.6	0.000	0.654	0.000	0.000	0.000	72.921
17 - 18	0.000	21.2	0.000	0.691	0.000	0.000	0.000	72.261
18 - 19	0.000	18.6	0.000	0.717	0.000	0.000	0.000	71.577
19 - 20	0.000	18.6	0.000	0.708	0.000	0.000	0.000	70.901
20 - 21	0.000	18.4	0.000	0.701	0.000	0.000	0.000	70.232
21 - 22	0.000	18.2	0.000	0.695	0.000	0.000	0.000	69.568
22 - 23	0.000	17.2	0.000	0.700	0.000	0.000	0.000	68.900
23 - 00	0.000	16.1	0.000	0.705	0.000	0.000	0.000	68.227
รวม	22.536		54.281	10.406	31.434	81.378	49.944	

ค่า Solar fraction ของระบบในเดือนธันวาคม มีค่าประมาณ 0.3862

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty) จากการวัด ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

1. การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis)

การวัดข้อมูลต่างๆ เพื่อใช้ในการประมวลผล นักวิจัยจะต้องพิจารณาและเลือกตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เลือกอุปกรณ์และเทคนิคในการวัดที่เหมาะสม และในการวัดข้อมูลแต่ละตัว จะมีความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดข้อมูลเกิดขึ้นอยู่เสมอ ดังนั้นในการวัดเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในข้อมูลที่ได้ ต้องมีการหาค่าความผิดพลาดในการวัด กระบวนการในการหาค่าความผิดพลาด ของผลรวมที่ต้องการวิเคราะห์ที่เกิดจากการเกิดความผิดพลาดของข้อมูลเหล่านี้ เรียกว่า การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน

กำหนดผลลัพธ์ R ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล n ตัว คือ $x_1, x_2, \dots, x_n$ ซึ่งแต่ละตัวเป็นพารามิเตอร์อิสระที่ได้จากการวัดโดย

$$R = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (\text{ก.1})$$

และพารามิเตอร์แต่ละตัวมีค่าความผิดพลาด $(\pm \Delta x_1, \pm \Delta x_2, \dots, \pm \Delta x_n)$ ตามลำดับ ค่าความผิดพลาดเหล่านี้ก่อให้เกิดความผิดพลาดรวมในผลลัพธ์ $\pm DR$ ดังนั้นอาจเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

$$R \pm \Delta R = f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, \dots, x_n \pm \Delta x_n) \quad (\text{ก.2})$$

เมื่อกระจายฟังก์ชัน f โดยอนุกรมของเทย์เลอร์จะได้ (พิจารณาเฉพาะค่าบวก)

$$\begin{aligned} f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, \dots, x_n \pm \Delta x_n) &= f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &+ \Delta x_1 \frac{\partial f}{\partial x_1} + \Delta x_2 \frac{\partial f}{\partial x_2} + \dots + \Delta x_n \frac{\partial f}{\partial x_n} + \frac{1}{2} \left((\Delta x_1)^2 \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} + \dots \right) + \dots \end{aligned}$$

พิจารณาเฉพาะค่าในลำดับที่หนึ่งจะได้

$$\begin{aligned} f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, \dots, x_n \pm \Delta x_n) &= f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &+ \Delta x_1 \frac{\partial f}{\partial x_1} + \Delta x_2 \frac{\partial f}{\partial x_2} + \dots + \Delta x_n \frac{\partial f}{\partial x_n} \end{aligned} \quad (\text{ก.3})$$

บวกสมการ (ก.2) และ (ก.3) จะได้

$$|\Delta R| = \left| \Delta x_1 \frac{\partial f}{\partial x_1} \right| + \left| \Delta x_2 \frac{\partial f}{\partial x_2} \right| + \dots + \left| \Delta x_n \frac{\partial f}{\partial x_n} \right| \quad (\text{ก.4})$$

หรืออาจจะใช้หลักการของ The Root-Sum Square โดย

$$\Delta R = \left[\left(\Delta x_1 \frac{\partial f}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\Delta x_2 \frac{\partial f}{\partial x_2} \right)^2 + \dots + \left(\Delta x_n \frac{\partial f}{\partial x_n} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{ก.5})$$

$$\omega_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} \omega_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} \omega_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} \omega_n \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{ก.6})$$

ω_R คือค่า Uncertainty ในผลลัพธ์ และ $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ คือค่า Uncertainty ในพารามิเตอร์แต่ละตัวตามลำดับ

2. การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis) จากการวัด ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าต่างๆ ในการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ข้อมูลจากการวัด					ผลจากการคำนวณ		
m_f (lier/min)	I_T W/m^2	T_a $^{\circ}C$	T_{fi} $^{\circ}C$	T_{fo} $^{\circ}C$	Q_{coll} W	n_{coll}	$(T_{fi}-T_a)/I_T$ $^{\circ}C-m^2/W$
2.5	862	32.59	34.82	42.46	1333.817	0.7737	0.002587
2.5	810	32.61	34.92	42.08	1250.017	0.7716	0.002852
2.5	936	33.37	35.12	43.50	1463.008	0.7815	0.001870
2.5	925	34.37	35.00	43.41	1468.246	0.7936	0.000681
2.5	845	34.60	35.02	42.72	1344.292	0.7954	0.000497
2.5	899	34.46	35.14	43.30	1424.600	0.7923	0.000756
2.5	809	32.08	40.10	46.58	1131.300	0.6992	0.009913
2.5	874	32.69	40.12	47.11	1220.338	0.6981	0.008501
2.5	894	33.79	40.15	47.72	1321.596	0.7391	0.007114
2.5	856	33.00	40.20	47.20	1222.083	0.7138	0.008411
2.5	870	33.26	45.00	51.46	1127.808	0.6482	0.013494
2.5	950	33.82	45.00	52.52	1312.867	0.6910	0.011768
2.5	941	34.24	45.10	52.45	1283.188	0.6818	0.011541
2.5	908	33.86	45.12	52.12	1222.083	0.6730	0.012401
2.5	921	34.19	45.15	52.47	1277.950	0.6938	0.011900
2.5	929	34.56	45.19	52.53	1281.442	0.6897	0.011442
2.5	924	34.29	50.00	56.71	1171.454	0.6339	0.017002
2.5	884	34.32	50.11	56.36	1091.146	0.6172	0.017862
2.5	912	34.62	50.13	56.67	1141.775	0.6260	0.017007
2.5	870	34.62	50.17	56.44	1094.638	0.6291	0.017874
2.5	823	34.76	50.20	55.67	954.971	0.5802	0.018761
2.5	815	34.73	50.20	55.86	988.142	0.6062	0.018982

การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (η_{coll})

$$\eta_{coll} = \frac{\dot{Q}_{coll}}{I_T A_c} = \frac{\dot{m}_f C_p (T_{fo} - T_{fi})}{I_T A_c}$$

กำหนดให้

$$C_p = 4190 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$A_c = 2 \text{ m}^2$$

จากการวัด

$$\dot{m}_f = 2.5 \pm 10\% \text{ liter/min} = 0.042 \pm 10\% \text{ liter/s}$$

$$T_{fo} = 42.46 \pm 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{fi} = 34.82 \pm 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_a = 32.59 \pm 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$I_T = 862 \pm 5 \text{ W/m}^2$$

ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่คำนวณได้

$$\eta_{coll} = \frac{\dot{Q}_{coll}}{I_T A_c} = \frac{\dot{m}_f C_p (T_{fo} - T_{fi})}{I_T A_c} = \frac{0.042 \times 4190 \times (42.46 - 34.82)}{862 \times 2} = 0.7737$$

ค่าความไม่แน่นอนของประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์

$$\omega_{\eta_{coll}} = \left[\left(\frac{\partial \eta_{coll}}{\partial \dot{m}_f} \omega_{\dot{m}_f} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{coll}}{\partial T_{fo}} \omega_{T_{fo}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{coll}}{\partial T_{fi}} \omega_{T_{fi}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta_{coll}}{\partial I_T} \omega_{I_T} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{\partial \eta_{coll}}{\partial \dot{m}_f} = \frac{C_p (T_{fo} - T_{fi})}{I_T A_c} = \frac{4190 \times (42.46 - 34.82)}{862 \times 2} = 18.568$$

$$\frac{\partial \eta_{coll}}{\partial T_{fo}} = \frac{\dot{m}_f C_p}{I_T A_c} = \frac{0.042 \times 4190}{862 \times 2} = 0.1021$$

$$\frac{\partial \eta_{coll}}{\partial T_{fi}} = \frac{-\dot{m}_f C_p}{I_T A_c} = \frac{-0.042 \times 4190}{862 \times 2} = -0.1021$$

$$\frac{\partial \eta_{coll}}{\partial I_T} = \frac{-\dot{m}_f C_p (T_{fo} - T_{fi})}{I_T^2 A_c} = \frac{-0.042 \times 4190 \times (42.46 - 34.82)}{862^2 \times 2} = -0.000905$$

$$\omega_{\dot{m}_f} = 0.042 \times \frac{10}{100} = 0.0042 \text{ liter/s}$$

$$\omega_{T_{fo}} = 1.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\omega_{T_{fi}} = 1.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\omega_{I_T} = 5 \text{ W/m}^2$$

แทนค่า

$$\omega_{\eta_{coll}} = \left[(18.568 \times 0.0042)^2 + (0.1021 \times 1.5)^2 + (-0.1021 \times 1.5)^2 + (-0.000905 \times 5)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\omega_{\eta_{coll}} = 0.2302$$

$\therefore$ ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ = 0.7737 ± 0.2302 หรือ $0.7737 \pm 29.75\%$

การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของค่า $\Delta T_c = (T_{fi} - T_a) / I_T$

ΔT_c ที่คำนวณได้

$$\Delta T_c = \frac{(T_{fi} - T_a)}{I_T} = \frac{(34.82 - 32.59)}{862} = 0.002587 \text{ } ^\circ\text{C-m}^2/\text{W}$$

ค่าความไม่แน่นอนของ ΔT_c

$$\omega_{\Delta T_c} = \left[\left(\frac{\partial \Delta T_c}{\partial T_{fi}} \omega_{T_{fi}} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T_c}{\partial T_a} \omega_{T_a} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta T_c}{\partial I_T} \omega_{I_T} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{\partial \Delta T_c}{\partial T_{fi}} = \frac{1}{I_T} = \frac{1}{862} = 0.00116$$

$$\frac{\partial \Delta T_c}{\partial T_a} = \frac{-1}{I_T} = -\frac{1}{862} = -0.00116$$

$$\frac{\partial \Delta T_c}{\partial I_T} = \frac{-(T_{fi} - T_a)}{I_T^2} = \frac{-(34.82 - 32.59)}{862^2} = -0.000003$$

$$\omega_{T_f} = 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\omega_{T_a} = 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\omega_{I_T} = 5 \text{ W/m}^2$$

แทนค่า

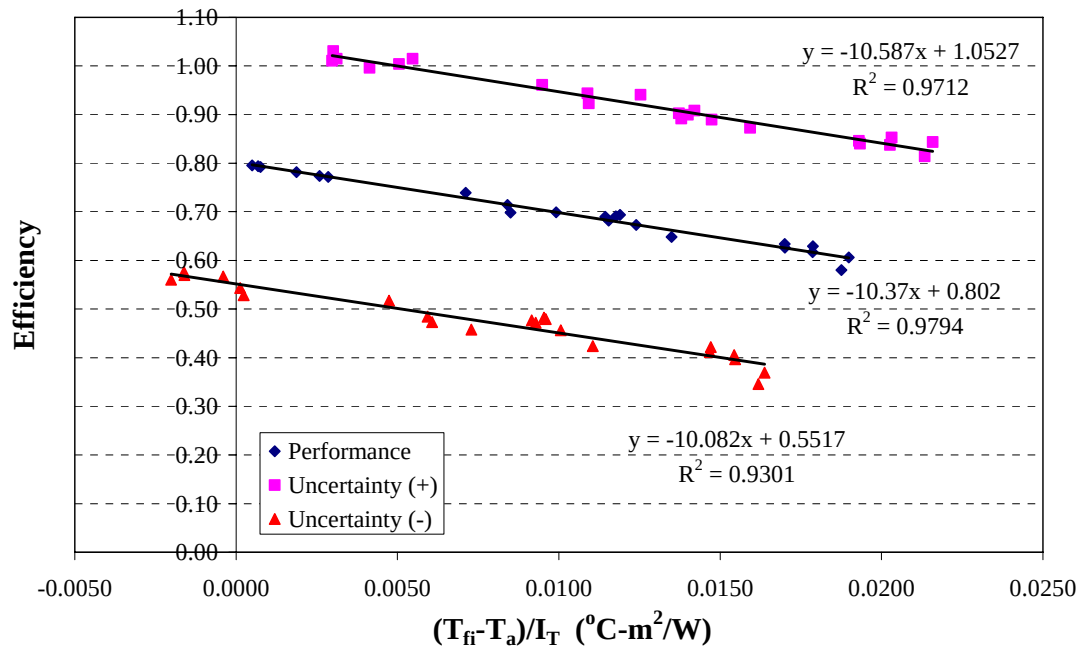
$$\omega_{\Delta T_c} = \left[(0.00116 \times 1.5)^2 + (-0.00116 \times 1.5)^2 + (-0.000003 \times 5)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\omega_{\Delta T_c} = 0.00246$$

$$\therefore \Delta T_c = 0.002587 \pm 0.00246 \text{ หรือ } 0.002587 \pm 95.13\%$$

ตารางที่ ค.2 ค่า Uncertainty ของ (η_{coll}) และ $\Delta T_c = (T_f - T_a) / I_T$

n_{coll}	Uncertainty ($\pm$)	$(T_f - T_a) / I_T$ $^{\circ}\text{C-m}^2/\text{W}$	Uncertainty ($\pm$)
0.7737	0.2302	0.002587	0.002461
0.7716	0.2433	0.002852	0.002619
0.7815	0.2145	0.001870	0.002266
0.7936	0.2171	0.000681	0.002293
0.7954	0.2350	0.000497	0.002510
0.7923	0.2225	0.000756	0.002360
0.6992	0.2413	0.009913	0.002622
0.6981	0.2249	0.008501	0.002427
0.7391	0.2217	0.007114	0.002373
0.7138	0.2297	0.008411	0.002478
0.6482	0.2243	0.013494	0.002438
0.6910	0.2085	0.011768	0.002233
0.6818	0.2100	0.011541	0.002254
0.6730	0.2165	0.012401	0.002336
0.6938	0.2144	0.011900	0.002303
0.6897	0.2126	0.011442	0.002283
0.6339	0.2119	0.017002	0.002296
0.6172	0.2202	0.017862	0.002400
0.6260	0.2142	0.017007	0.002326
0.6291	0.2238	0.017874	0.002438
0.5802	0.2342	0.018761	0.002578
0.6062	0.2371	0.018982	0.002603



รูปที่ ค.1 Uncertainty จากการวัดของตัวเก็บรังอาทิตย์

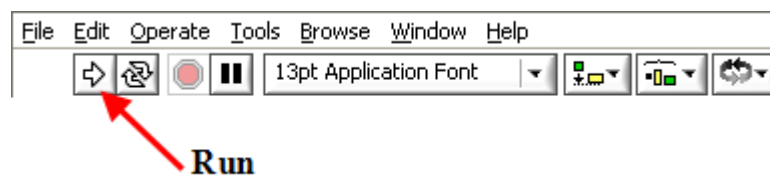
ภาคผนวก ง
การใช้งานแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

1. วิธีการใช้งานแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

วิธีการใช้งานของแบบจำลองนั้นขั้นตอนแรกทำการเปิดไฟล์ที่ชื่อ “00_Program SC” จากนั้นให้เลือกแถบเครื่องมือ Tools Palette โดยการเลือกที่ Window > Show Tools Palette แล้วคลิกที่ Operate Value เพื่อที่จะทำการป้อนข้อมูลลงในช่องต่างๆ ตามในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.2 ให้ครบทุกข้อ เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จแล้วทำการวิเคราะห์โดยคลิกที่ปุ่ม Run

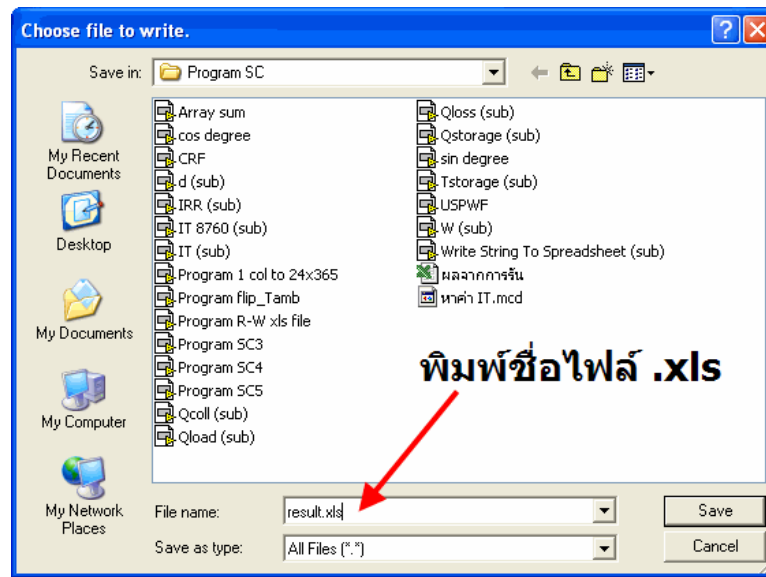


รูปที่ ๓.1 Tools Palette แล้วเลือก Operate Value



รูปที่ ๓.2 ปุ่มทำการรันโปรแกรม

ในการวิเคราะห์จะใช้เวลาสักพักหนึ่ง หลังจากทำการวิเคราะห์ผลเสร็จแล้วโปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง Choose file to write เพื่อให้บันทึกผลออกมาเป็นไฟล์ ซึ่งข้อมูลในไฟล์นี้ก็จะเหมือนกับผลที่แสดงในแบบจำลอง แต่จะทำการออกมาเป็นนามสกุล xls เพื่อให้ง่ายในการนำข้อมูลนี้ไปใช้ต่อไป หลังจากทำการบันทึกผลออกมาเป็นไฟล์นามสกุล xls แล้วสามารถเปิดไฟล์นี้ขึ้นมาดูได้โดยใช้โปรแกรม MS Excel ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.9

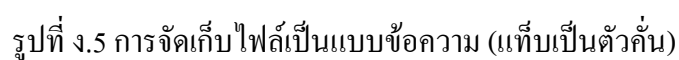


รูปที่ ง.3 หน้าต่างให้บันทึกผลที่ได้จากการรันแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

2. การแก้ไขข้อมูลสภาพอากาศในแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

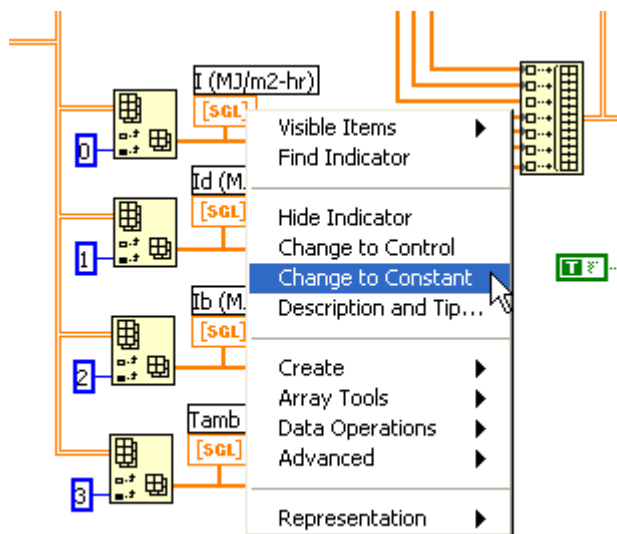
ในกรณีที่ต้องการนำแบบจำลองนี้ไปใช้กับจังหวัดอื่นๆ จำเป็นจะต้องใส่ข้อมูลสภาพอากาศให้ตรงกับจังหวัดที่จะนำการใช้งานโดยมีวิธีการทำดังนี้

ข้อมูลก่อนที่จะนำไปใส่ในจำลองนั้นเดิมที่จะต้องอยู่ในรูปของโปรแกรม MS Excel โดยจะประกอบไปด้วย ค่ารังสีอาทิตย์รวม ค่ารังสีอาทิตย์กระจาย ค่ารังสีอาทิตย์ตรง และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ซึ่งค่ารังสีอาทิตย์จะมีหน่วยเป็น ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{hr}$) และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีหน่วยเป็น ($^{\circ}\text{C}$) ทุกค่าจะเป็นค่าในรายชั่วโมงตลอดทั้งปี (รวมทั้งหมด 8760 ชั่วโมง)

รูปที่ ง.4 ข้อมูลสภาพอากาศในโปรแกรม MS Excel

รูปที่ ๖.5 การจัดเก็บไฟล์เป็นแบบข้อความ (แท็บเป็นตัวค้น)

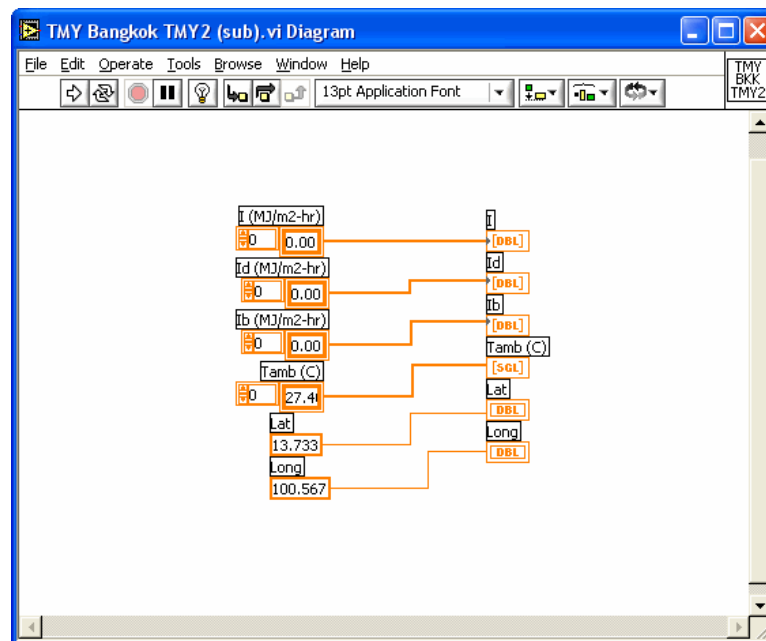
หลังจากนั้นทำการเปิดโปรแกรมที่ชื่อว่า “01_Program R-W xls file” แล้วกดปุ่ม Run โปรแกรมแสดงหน้าต่าง Choose file to read ให้เราเลือกไฟล์เมื่อสักครู่นี้ที่จัดเก็บมาอยู่ในรูป txt หลังจากนั้นโปรแกรมก็จะแสดงหน้าต่าง Choose file to write ซึ่งเราจะบันทึกหรือไม่ก็ได้ถ้าต้องการบันทึกก็ให้ใส่ชื่อไฟล์แล้วใส่นามสกุล xls ผลที่ได้ก็เหมือนเดิมแต่จะแสดง เดือน วัน และ เวลาข้างหน้าชุดข้อมูลเพิ่มขึ้นมา หลังจากนั้นให้เลือก Window > Show Diagram โปรแกรมจะแสดง Source code ให้คลิกขวาที่ไอคอน I ($\text{MJ/m}^2\text{-hr}$) แล้วเลือก Change to Constant จากนั้นก็จะได้ชุดข้อมูล เพื่อที่จะนำไปใช้ในแบบจำลองต่อไป โดยให้ทำทั้ง Id, Ib และ Tamb ด้วย



รูปที่ ๓.6 Source code ของ Program R-W xls file

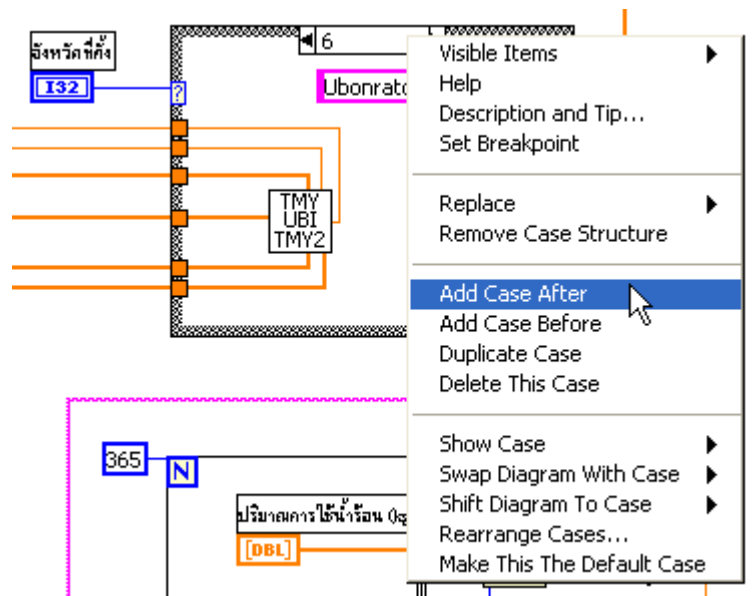
ทำการคัดลอกชุดข้อมูลที่ได้เปลี่ยนเรียบร้อยแล้วไปใส่ใน Source code ของโปรแกรม TMY Bangkok TMY2 (sub) โดยทำการแทนที่ชุดข้อมูลเดิม โดยเปลี่ยนค่า I, Id, Ib, Tamb, มุม ละติจูด และมุมลองจิจูดดังแสดงในรูปที่ ๓.7 จากนั้นก็ให้เชื่อมโยงสายต่อเข้าเหมือนเดิม แล้วทำการ บันทึกชื่อใหม่ เช่น “TMY Songkla 2548 (sub)” ห้ามทำการบันทึกทับโดยเด็ดขาด เพราะจะทำให้ ข้อมูล TMY Bangkok TMY2 (sub) ถูกเปลี่ยนไปเป็นของ TMY Songkla 2548 (sub)

*** หลังจากทำการปิดโปรแกรม Program R-W xls file ตัวโปรแกรม Lab VIEW จะถามว่า Save Changes? หมายถึง ต้องการให้บันทึกทับตัวโปรแกรม 01_Program R-W xls file ใหม่หรือไม่ ถ้าให้เลือก No ไม่ต้องบันทึกทับ



รูปที่ ง.7 ตัวแปรข้อมูลสภาพอากาศที่ต้องเปลี่ยน

หลังจากที่ทำการสั่งซื้อแล้วบันทึกไฟล์สภาพอากาศใหม่แล้ว ให้เปิด Source code ของ โปรแกรม “00_Program SC” ขึ้นมา แล้วหาบล็อกข้อมูลสภาพอากาศดังแสดงในรูปที่ ง.8



รูปที่ ง.8 บล็อกข้อมูลสภาพอากาศ

จากรูปที่ ง.8 จะเห็นว่ามียู่ 6 เคส ให้คลิกขวามุมบนซ้ายแล้วเลือก Add Case After เป็นการเพิ่มเคสที่ 7 เข้าไปในบล็อก หลังจากนั้นให้ลากไฟล์ TMY Songkla 2548 (sub) เข้ามา แล้วทำการต่อสายเข้ากลับบล็อกสภาพอากาศให้เหมือนกับเคสก่อนหน้า

เสร็จแล้วให้ไปเพิ่มรายชื่อจังหวัดในหน้าต่าง ลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ในข้อที่ 1 โดยการใช้เครื่องมือ Edit Text พิมพ์ชื่อจังหวัด “สงขลา” ต่อจากอุบลราชธานี ดังรูปที่ ง.9 โดยฟอนต์ที่พิมพ์ให้ใช้ Angsana UPC ขนาด 24



รูปที่ ง.9 การเพิ่มชื่อจังหวัดเข้าไปในรายการ

ภาคผนวก จ

ข้อมูลคำร้องสีอาทิตย จังหวัดเชียงใหม่ ปี 2548

ตารางที่ จ.1 ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
1	1	0.000	0.099	0.499	0.885	1.408	2.253	2.548	2.457	2.125	1.642	0.947	0.267
1	2	0.000	0.101	0.582	1.216	1.768	2.255	2.502	2.254	1.951	1.589	0.922	0.249
1	3	0.000	0.090	0.521	1.147	1.726	2.159	2.313	2.224	1.979	1.508	0.900	0.270
1	4	0.000	0.110	0.614	1.260	1.900	2.445	2.601	2.572	2.235	1.663	1.049	0.309
1	5	0.000	0.060	0.542	1.165	1.735	2.189	2.362	2.360	2.079	1.529	0.864	0.270
1	6	0.000	0.084	0.482	1.102	1.711	2.200	2.403	2.439	2.101	1.598	0.913	0.270
1	7	0.000	0.088	0.521	1.128	1.739	2.216	2.476	2.510	2.123	1.560	0.915	0.255
1	8	0.000	0.084	0.483	1.089	1.683	2.198	2.416	2.374	2.031	1.423	0.637	0.221
1	9	0.000	0.069	0.465	1.021	1.706	2.180	2.357	2.319	1.855	1.406	0.773	0.268
1	10	0.000	0.132	0.434	1.051	1.572	1.100	2.229	2.020	1.908	1.210	0.586	0.100
1	11	0.001	0.124	0.718	1.100	1.480	2.017	1.687	2.089	1.837	1.326	0.688	0.145
1	12	0.000	0.122	0.652	1.317	2.072	2.507	2.764	2.595	2.163	1.582	0.876	0.229
1	13	0.000	0.215	0.911	1.620	2.235	2.607	2.748	2.638	2.279	1.682	0.921	0.230
1	14	0.000	0.215	0.896	1.649	2.216	2.596	2.779	2.702	2.304	1.644	0.883	0.208
1	15	0.000	0.060	0.287	0.710	1.353	2.329	2.248	1.953	2.065	1.411	0.715	0.191
1	16	0.001	0.059	0.266	0.462	1.468	1.898	1.792	2.137	2.092	0.962	0.921	0.176
1	17	0.000	0.130	0.625	1.029	1.802	2.331	2.494	2.350	1.954	1.288	0.843	0.193
1	18	0.000	0.232	0.726	1.095	1.729	2.555	2.749	2.663	2.075	1.555	0.992	0.254
1	19	0.001	0.138	0.710	1.511	2.115	2.514	2.681	2.438	2.169	1.594	0.872	0.264
1	20	0.000	0.249	0.703	1.423	2.026	2.279	2.572	2.657	2.277	1.644	0.911	0.197
1	21	0.001	0.173	0.803	1.350	2.081	2.498	2.670	2.578	2.282	1.513	0.754	0.260
1	22	0.000	0.166	0.784	1.309	1.941	2.468	2.648	2.562	2.206	1.597	0.836	0.177
1	23	0.000	0.252	0.938	1.643	2.209	2.541	2.741	2.599	2.307	1.602	0.631	0.197
1	24	0.000	0.214	0.735	1.376	1.960	2.349	2.219	2.184	1.863	1.470	0.924	0.217
1	25	0.000	0.190	0.852	1.574	2.152	2.483	2.623	2.562	2.242	1.680	0.978	0.279
1	26	0.000	0.198	0.842	1.547	2.237	2.614	2.778	2.663	2.272	1.718	0.999	0.282
1	27	0.000	0.186	0.814	1.443	2.135	2.558	2.719	2.608	2.238	1.645	1.019	0.291
1	28	0.000	0.171	0.770	1.490	2.106	2.493	2.609	2.546	2.259	1.733	1.000	0.278
1	29	0.000	0.195	0.846	1.520	2.145	2.537	2.773	2.680	2.252	1.687	1.014	0.283
1	30	0.000	0.177	0.780	1.484	2.063	2.425	2.563	2.457	2.130	1.588	0.966	0.244
1	31	0.000	0.147	0.676	1.333	1.931	2.348	2.518	2.432	2.068	1.542	0.833	0.218
2	1	0.000	0.139	0.599	1.248	1.873	2.235	2.384	2.299	1.971	1.447	0.787	0.211
2	2	0.000	0.160	0.726	1.372	1.948	2.350	2.443	2.407	2.066	1.475	0.800	0.226
2	3	0.000	0.157	0.672	1.366	1.972	2.360	2.523	2.475	2.102	1.505	0.866	0.236
2	4	0.000	0.185	0.800	1.530	2.160	2.544	2.671	2.546	2.251	1.599	0.935	0.236
2	5	0.000	0.192	0.832	1.424	2.051	2.536	2.469	2.619	2.194	1.645	0.908	0.201
2	6	0.000	0.230	0.920	1.619	2.180	2.593	2.788	2.668	2.302	1.772	0.866	0.468
2	7	0.000	0.252	0.946	1.633	2.256	2.578	2.675	2.509	2.318	1.816	1.127	0.364
2	8	0.000	0.180	0.784	1.495	2.121	2.510	2.754	2.693	2.365	1.797	1.020	0.330
2	9	0.000	0.189	0.797	1.419	2.075	2.422	2.664	2.650	2.224	1.685	1.018	0.276
2	10	0.000	0.146	0.644	1.307	1.913	2.343	2.526	2.442	2.148	1.550	0.904	0.243
2	11	0.000	0.103	0.457	0.917	1.380	1.728	1.920	1.877	1.588	1.144	0.640	0.158
2	12	0.004	0.157	0.615	1.240	1.799	2.225	2.437	2.373	2.009	1.422	0.843	0.291
2	13	0.005	0.234	0.874	1.568	2.190	2.593	2.760	2.549	2.210	1.694	1.083	0.382
2	14	0.006	0.273	0.941	1.597	2.139	2.522	2.710	2.543	2.257	1.735	1.120	0.419
2	15	0.007	0.276	0.958	1.684	2.231	2.582	2.735	2.713	2.417	1.909	1.174	0.400

ที่มา: เสริม จันทร์ฉาย (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
2	16	0.007	0.272	0.952	1.627	2.191	2.568	2.706	2.643	2.286	1.737	1.072	0.392
2	17	0.007	0.280	0.958	1.620	2.221	2.599	2.776	2.724	2.365	1.763	1.064	0.384
2	18	0.006	0.264	0.922	1.609	2.127	2.522	2.657	2.566	2.219	1.653	1.014	0.380
2	19	0.006	0.219	0.763	1.413	1.992	2.370	2.560	2.425	1.974	1.512	0.963	0.349
2	20	0.006	0.182	0.696	1.275	1.794	2.080	2.267	2.307	2.063	1.569	0.834	0.279
2	21	0.009	0.176	0.629	1.355	1.967	2.399	2.595	2.517	2.179	1.630	0.992	0.353
2	22	0.006	0.224	0.790	1.410	1.975	2.349	2.531	2.414	2.139	1.644	0.982	0.328
2	23	0.004	0.289	1.000	1.708	2.220	2.624	2.845	2.728	2.389	1.827	1.163	0.454
2	24	0.003	0.269	0.903	1.571	2.092	2.448	2.611	2.506	2.111	1.684	1.062	0.384
2	25	0.002	0.237	0.840	1.488	1.990	2.315	2.550	2.645	2.333	1.753	1.011	0.335
2	26	0.004	0.256	0.819	1.394	1.929	2.382	2.601	2.538	2.268	1.826	1.112	0.416
2	27	0.006	0.270	0.837	1.560	2.120	2.498	2.727	2.534	2.126	1.539	1.060	0.373
2	28	0.006	0.258	0.835	1.497	2.128	2.538	2.803	2.729	2.371	1.820	1.154	0.423
3	1	0.006	0.360	1.056	1.754	2.423	2.881	3.083	2.985	2.566	2.014	1.333	0.522
3	2	0.006	0.359	1.077	1.846	2.481	2.867	3.089	2.897	2.549	2.069	1.345	0.538
3	3	0.006	0.316	1.000	1.709	2.232	2.554	2.698	2.554	2.129	1.632	0.965	0.371
3	4	0.006	0.132	0.350	1.081	1.652	2.175	2.498	2.051	2.199	1.604	1.024	0.380
3	5	0.000	0.034	0.144	0.325	0.622	0.907	1.448	1.356	1.092	1.010	0.586	0.250
3	6	0.010	0.307	0.949	1.693	2.289	2.786	2.973	2.923	2.557	1.969	1.194	0.441
3	7	0.010	0.279	0.873	1.524	2.148	2.668	2.869	2.794	2.474	1.862	1.114	0.348
3	8	0.010	0.265	0.817	1.501	2.143	2.571	2.728	2.688	1.950	0.485	0.705	0.372
3	9	0.011	0.325	0.987	1.719	2.353	2.796	2.838	2.715	2.294	1.320	1.015	0.443
3	10	0.011	0.332	0.970	1.697	2.298	2.675	2.919	2.888	2.243	0.659	0.585	0.378
3	11	0.012	0.323	0.953	1.621	2.199	2.626	2.845	2.725	2.426	1.839	1.003	0.368
3	12	0.014	0.284	0.834	1.457	1.985	2.271	2.493	2.515	2.208	1.580	0.912	0.327
3	13	0.014	0.284	0.800	1.436	1.941	2.444	2.658	2.630	2.299	1.696	0.677	0.248
3	14	0.014	0.266	0.769	1.438	1.999	2.326	2.526	2.393	1.439	0.873	0.376	0.269
3	15	0.010	0.213	0.891	1.381	2.184	2.324	2.162	1.889	1.822	0.930	1.146	0.443
3	16	0.014	0.302	0.875	1.947	2.595	3.149	3.301	3.184	2.767	2.127	1.112	0.280
3	17	0.026	0.476	1.261	2.065	2.779	3.206	3.335	3.186	2.793	2.155	1.343	0.519
3	18	0.022	0.399	1.121	1.812	2.416	2.734	2.949	3.000	2.515	1.805	1.051	0.198
3	19	0.022	0.362	0.998	1.737	2.332	2.731	2.942	2.812	2.480	1.492	0.128	0.090
3	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.671
3	22	0.101	0.504	1.220	1.937	2.537	2.946	3.040	2.951	2.532	1.905	1.201	0.452
3	23	0.085	0.419	1.007	1.630	2.172	2.572	2.661	2.491	2.153	1.644	0.957	0.355
3	24	0.081	0.395	0.952	1.610	2.243	2.790	2.884	2.672	2.226	1.603	0.949	0.380
3	25	0.098	0.496	1.275	1.747	2.262	2.408	1.886	1.759	2.027	1.686	1.053	0.433
3	26	0.138	0.650	1.433	2.187	2.831	3.308	2.153	1.571	1.305	1.344	0.800	0.289
3	27	0.071	0.485	1.267	2.030	2.598	3.009	2.479	3.175	2.743	1.996	1.172	0.430
3	28	0.108	0.508	1.148	1.826	2.410	2.795	2.959	2.778	2.356	1.571	1.025	0.355
3	29	0.112	0.494	1.115	1.757	2.340	2.786	2.934	2.797	2.301	1.811	0.921	0.355
3	30	0.117	0.546	1.215	1.930	2.560	2.966	3.196	3.079	2.623	1.978	1.145	0.386
3	31	0.112	0.517	1.142	1.795	2.382	2.841	3.096	3.098	2.714	1.861	1.223	0.514
4	1	0.075	0.432	0.949	1.612	1.790	2.328	2.541	2.406	2.173	1.951	1.073	0.400
4	2	0.056	0.437	1.051	1.701	2.205	2.663	2.915	2.964	2.537	1.731	1.021	0.245

ที่มา: เสริม จันทรฉาย (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
4	3	0.061	0.555	0.894	1.310	1.952	2.192	1.298	0.544	0.816	0.910	0.776	0.163
4	4	0.011	0.098	0.251	0.545	0.718	1.033	1.027	0.509	0.725	0.477	0.192	0.183
4	5	0.034	0.239	0.569	0.617	0.702	0.641	0.610	1.088	0.858	0.472	0.560	0.116
4	6	0.064	0.347	0.774	2.245	2.316	3.076	3.325	3.210	2.767	2.074	1.278	0.482
4	7	0.102	0.649	1.419	2.150	2.714	3.070	3.200	3.085	2.707	2.033	1.216	0.443
4	8	0.101	0.658	1.412	2.119	2.744	3.129	3.262	3.154	2.721	2.042	1.055	0.464
4	9	0.117	0.724	1.513	2.214	2.771	3.124	3.282	3.170	2.699	2.036	1.272	0.431
4	10	0.116	0.701	1.476	2.204	2.784	3.189	3.356	3.188	2.779	2.112	1.286	0.593
4	11	0.124	0.711	1.497	2.280	2.895	3.266	3.397	3.209	2.748	0.755	1.077	0.076
4	12	0.110	0.656	1.458	2.146	2.807	3.222	3.258	2.070	0.665	0.526	1.416	0.521
4	13	0.071	0.559	1.500	2.212	2.795	3.186	3.317	3.040	2.652	2.027	1.385	0.217
4	14	0.098	0.603	1.370	1.967	2.968	3.472	3.556	3.329	2.811	2.254	1.446	0.595
4	15	0.154	0.731	1.596	2.363	2.972	3.407	3.511	3.348	2.888	2.227	1.436	0.587
4	16	0.151	0.861	1.655	2.434	3.124	3.253	3.547	3.313	2.789	2.187	1.528	0.757
4	17	0.164	0.763	1.576	2.289	2.938	3.331	3.433	3.244	2.834	2.166	1.343	0.529
4	18	0.213	0.741	1.292	2.303	2.934	3.381	3.543	3.414	2.923	2.142	1.291	0.370
4	19	0.133	0.729	1.460	2.153	2.751	3.143	3.243	3.123	2.676	2.037	1.253	0.444
4	20	0.106	0.417	1.275	1.924	2.688	2.873	3.069	3.108	2.058	0.556	0.160	0.060
4	21	0.181	0.877	1.506	2.246	2.834	3.183	3.188	3.051	2.701	1.715	0.769	0.187
4	22	0.202	0.878	1.683	2.351	2.939	3.266	3.369	3.203	2.791	2.107	1.144	0.489
4	23	0.175	0.783	1.529	2.218	2.786	3.107	3.109	0.376	0.614	0.329	0.385	0.302
4	24	0.172	0.777	1.502	2.212	2.806	3.160	3.261	2.929	2.690	1.185	0.507	0.315
4	25	0.167	0.779	1.511	2.208	2.745	3.128	3.156	1.516	0.466	1.214	0.655	0.538
4	26	0.169	0.730	1.456	2.145	2.704	3.031	3.179	2.697	2.120	2.048	0.722	0.253
4	27	0.191	0.841	1.618	2.305	2.987	3.377	3.508	3.286	2.736	2.190	1.364	0.602
4	28	0.209	0.904	1.707	2.393	2.960	3.275	3.204	3.280	1.665	1.120	1.050	0.258
4	29	0.223	0.929	1.700	2.397	2.973	3.310	3.402	2.310	2.810	1.154	0.536	0.310
4	30	0.224	0.943	1.722	2.381	2.956	3.287	3.387	3.182	2.828	1.713	0.560	0.576
5	1	0.212	0.874	1.648	2.356	2.950	3.287	3.432	1.906	2.934	1.427	0.788	0.431
5	2	0.198	0.396	1.093	2.510	3.060	3.235	2.165	2.888	1.124	0.889	0.197	0.051
5	3	0.202	0.718	1.432	2.479	3.077	3.379	3.204	3.340	2.949	1.301	1.035	0.568
5	4	0.211	1.015	1.807	2.498	3.066	3.410	3.610	2.948	2.882	2.164	1.256	0.748
5	5	0.195	0.691	1.137	1.358	2.383	1.776	1.934	1.966	2.184	0.977	0.581	0.290
5	6	0.095	0.388	0.816	1.439	1.672	1.238	0.750	0.616	0.449	0.378	0.548	0.211
5	7	0.055	0.198	0.423	0.977	0.901	1.739	1.022	0.864	0.656	0.691	0.285	0.191
5	8	0.090	0.259	0.417	0.522	1.016	0.632	0.466	0.516	0.295	0.395	0.439	0.233
5	9	0.243	0.771	1.066	1.915	2.062	1.938	3.498	3.789	2.461	0.796	1.347	0.716
5	10	0.191	0.671	1.568	2.577	2.148	2.576	3.320	2.361	2.608	2.235	1.067	0.340
5	11	0.270	0.928	1.736	2.377	2.970	2.849	2.754	2.091	1.583	0.643	0.507	0.614
5	12	0.145	0.816	1.104	1.376	1.523	2.569	2.368	1.873	2.362	1.520	0.593	0.351
5	13	0.179	0.573	1.205	1.723	2.374	1.801	2.845	2.442	0.873	0.964	0.663	0.285
5	14	0.249	0.740	1.708	2.284	1.914	3.247	3.477	3.238	1.876	0.380	0.289	0.372
5	15	0.200	0.686	1.723	2.400	2.971	3.284	3.365	3.196	2.881	1.646	0.494	0.425
5	16	0.269	0.785	1.641	2.409	2.789	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	17	0.000	0.000	0.000	2.444	2.851	3.329	3.289	3.201	2.738	2.158	0.697	0.383
5	18	0.230	0.626	1.421	2.439	3.052	3.065	3.249	3.239	2.444	0.390	0.281	0.280

ที่มา: เสริม จันทรฉาย (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
5	19	0.279	0.926	1.607	2.269	2.831	3.086	2.957	3.158	2.616	1.193	0.369	0.105
5	20	0.202	0.654	0.356	0.793	2.010	3.026	2.677	3.130	2.847	2.233	1.334	0.545
5	21	0.314	1.030	1.661	2.421	3.001	3.276	2.819	2.785	2.378	1.054	0.592	0.407
5	22	0.128	0.463	1.073	1.230	2.439	3.161	3.299	3.204	2.823	2.187	1.127	0.595
5	23	0.314	0.962	1.745	2.449	3.023	3.380	3.475	3.260	2.900	0.858	0.517	0.727
5	24	0.313	1.010	1.780	2.178	2.983	3.326	3.451	3.239	2.865	2.023	0.365	0.275
5	25	0.194	0.472	1.232	2.017	2.688	3.212	3.407	3.201	2.926	2.315	1.507	0.500
5	26	0.327	1.037	1.707	2.442	2.949	3.344	3.235	2.162	1.074	2.113	1.419	0.355
5	27	0.120	0.379	1.197	1.376	1.397	2.224	2.899	2.323	1.642	0.388	0.423	0.292
5	28	0.231	0.919	1.443	1.688	1.883	1.863	2.173	3.084	1.949	1.715	0.992	0.819
5	29	0.227	0.817	1.705	2.288	2.534	3.322	3.132	1.922	2.933	2.241	0.239	0.055
5	30	0.104	0.204	0.108	0.098	0.487	1.214	1.502	0.932	1.135	1.800	1.334	0.617
5	31	0.153	0.390	0.639	0.772	2.158	3.326	2.744	2.868	2.966	2.377	1.252	0.368
6	1	0.182	0.654	1.957	1.846	2.739	2.792	2.567	3.801	0.966	0.061	0.118	0.127
6	2	0.245	0.521	0.914	1.094	2.720	2.391	1.616	1.801	1.637	2.021	1.390	0.276
6	3	0.225	0.495	0.748	0.833	1.392	2.215	0.000	2.002	0.724	0.714	0.808	0.605
6	4	0.273	0.826	0.951	2.055	2.509	2.449	2.670	3.345	1.690	1.664	0.505	0.077
6	5	0.148	0.367	0.866	1.249	1.529	1.192	0.946	1.143	1.623	1.453	0.737	0.267
6	6	0.312	0.917	1.753	2.597	3.102	3.617	1.709	2.009	2.585	1.911	1.302	0.406
6	7	0.116	0.619	1.718	2.419	3.313	2.188	2.193	2.041	1.381	1.042	0.415	0.171
6	8	0.164	0.571	1.269	1.064	1.622	2.930	2.345	0.849	0.781	0.737	0.371	0.138
6	9	0.176	0.530	0.608	1.365	2.316	2.849	1.901	1.164	1.859	1.021	0.443	0.356
6	10	0.269	0.924	0.992	1.484	3.150	2.341	2.239	1.916	2.081	0.354	0.504	0.280
6	11	0.277	1.013	1.701	2.101	2.257	1.757	1.852	2.381	1.768	2.249	1.752	0.948
6	12	0.110	0.264	0.704	1.167	1.036	1.042	1.671	2.341	2.804	0.861	0.370	0.231
6	13	0.076	0.438	0.570	0.994	2.099	2.306	2.749	2.247	2.205	1.743	1.264	0.501
6	14	0.262	0.706	0.892	1.559	1.792	1.878	1.678	1.480	2.005	0.899	0.879	0.352
6	15	0.140	0.426	0.888	1.457	1.874	3.191	2.613	1.995	0.961	1.183	0.933	0.545
6	16	0.164	0.311	0.732	1.462	2.454	2.984	2.556	1.794	2.148	1.009	1.132	0.716
6	17	0.086	0.425	0.902	1.817	2.473	3.117	2.290	2.312	1.335	0.420	1.513	0.257
6	18	0.253	0.744	1.179	0.928	0.809	1.598	3.519	2.760	2.276	1.322	1.278	0.789
6	19	0.218	0.278	0.756	1.862	2.434	3.499	3.521	1.906	2.449	1.051	0.468	0.462
6	20	0.285	0.948	1.555	1.856	2.435	3.397	3.701	1.563	1.371	0.885	0.643	0.663
6	21	0.133	0.457	0.932	1.661	2.305	3.460	3.498	2.919	2.785	2.252	1.158	0.221
6	22	0.180	0.535	0.587	0.972	1.081	0.461	0.531	1.068	0.775	0.619	0.733	0.403
6	23	0.151	0.128	0.199	1.016	2.157	2.001	2.006	2.022	1.673	1.478	0.824	0.412
6	24	0.164	0.492	0.952	1.106	1.813	1.859	1.162	2.307	2.069	0.909	0.679	0.485
6	25	0.123	0.293	0.901	1.573	1.777	2.046	2.159	0.886	0.932	0.749	0.543	0.380
6	26	0.211	0.565	1.533	1.552	2.494	2.234	2.030	1.830	1.634	1.188	0.479	0.294
6	27	0.181	0.416	0.971	0.994	1.056	1.379	0.691	1.424	1.125	1.195	0.682	0.663
6	28	0.156	0.513	0.658	1.267	2.518	3.274	2.985	2.113	1.729	1.523	0.436	0.213
6	29	0.121	0.585	1.175	2.419	1.829	1.596	1.859	2.252	1.903	2.335	1.266	0.804
6	30	0.183	0.771	1.398	2.180	1.048	2.153	2.164	2.599	1.552	1.368	1.616	1.304
7	1	0.173	1.078	1.483	1.440	1.138	1.641	3.143	2.230	1.466	0.899	0.918	0.260
7	2	0.121	0.586	1.734	2.377	2.014	2.681	1.169	1.573	1.688	1.250	0.812	0.759
7	3	0.134	0.393	0.925	2.459	2.376	1.074	1.472	1.779	1.807	1.349	1.855	0.501

ที่มา: เสริม จันทรฉาย (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
7	4	0.166	0.612	1.036	2.576	2.195	2.811	3.009	2.588	2.479	2.624	1.475	0.194
7	5	0.144	0.439	1.221	1.951	1.676	2.423	3.082	2.516	2.795	2.202	1.793	0.167
7	6	0.170	0.483	1.391	1.612	2.489	2.390	3.221	3.191	3.058	2.274	1.971	0.557
7	7	0.281	1.038	1.691	2.421	1.473	1.147	3.134	3.139	3.086	2.496	1.604	0.787
7	8	0.212	0.816	1.567	2.531	2.296	2.853	2.421	2.948	2.146	2.575	0.832	0.285
7	9	0.196	0.681	1.224	2.042	1.848	1.250	1.512	3.507	2.219	1.109	0.672	0.195
7	10	0.168	0.779	1.267	1.496	1.984	3.182	2.307	2.173	1.310	1.864	1.270	0.382
7	11	0.191	1.196	1.099	1.987	2.268	2.717	3.419	3.405	3.057	1.398	1.148	0.571
7	12	0.103	0.411	0.873	1.660	2.379	2.447	1.285	1.024	0.787	0.643	0.696	0.427
7	13	0.064	0.352	0.643	0.839	1.752	1.437	1.232	2.749	1.806	1.192	0.604	0.288
7	14	0.085	0.519	1.271	2.359	2.295	2.774	1.067	3.292	3.114	1.264	0.495	0.045
7	15	0.095	0.657	0.829	1.279	1.746	1.642	1.808	2.868	1.096	0.885	0.953	0.821
7	16	0.072	0.219	0.750	1.032	1.437	2.412	3.360	3.420	2.862	2.843	1.321	1.158
7	17	0.243	0.974	1.806	2.528	2.728	3.238	2.478	2.085	3.283	2.172	1.637	0.970
7	18	0.248	1.028	1.526	2.296	2.709	3.494	1.954	1.811	2.528	1.227	1.086	0.810
7	19	0.194	1.271	2.345	1.398	2.283	2.277	2.865	3.433	1.625	0.413	0.272	0.061
7	20	0.179	0.593	0.928	1.200	1.701	1.774	1.553	1.952	2.990	1.331	0.874	0.568
7	21	0.032	0.148	0.464	0.490	0.630	0.991	1.674	1.050	1.020	1.132	1.013	0.967
7	22	0.107	0.402	0.795	0.775	1.129	2.315	2.546	2.752	2.750	1.553	0.995	0.130
7	23	0.101	0.238	0.691	1.316	1.012	1.716	1.985	1.722	1.648	1.833	0.849	0.275
7	24	0.121	0.387	0.681	1.335	1.558	1.545	1.679	1.549	1.321	0.419	0.267	0.067
7	25	0.097	0.530	0.690	0.879	1.070	1.007	1.452	0.648	0.591	0.371	0.585	0.538
7	26	0.062	0.274	0.355	0.610	1.113	0.959	0.488	2.594	2.348	1.714	0.871	0.312
7	27	0.162	0.492	0.966	1.066	2.174	2.570	1.331	1.148	2.066	1.283	1.396	0.451
7	28	0.215	0.987	1.671	2.226	3.057	1.442	3.149	2.040	1.348	2.383	1.120	0.300
7	29	0.208	0.695	1.512	2.588	1.717	2.313	3.521	3.051	1.394	0.540	0.483	0.423
7	30	0.098	0.402	1.243	2.378	1.721	1.937	1.742	1.700	1.707	2.723	1.501	0.419
7	31	0.118	0.430	0.934	1.786	2.482	2.028	1.581	1.709	1.367	1.102	0.719	0.412
8	1	0.064	0.209	0.293	0.597	0.507	0.600	0.697	0.522	0.375	0.426	0.351	0.183
8	2	0.125	0.438	0.894	0.825	1.910	2.652	2.694	3.437	2.668	1.867	0.949	0.542
8	3	0.130	0.698	1.349	1.612	1.543	2.599	2.249	2.563	2.000	1.689	0.277	0.249
8	4	0.098	0.257	0.865	2.499	1.776	1.995	2.565	1.670	2.457	1.205	0.467	0.270
8	5	0.079	0.240	0.376	1.055	1.604	1.138	0.976	0.912	1.065	1.071	0.569	0.286
8	6	0.098	0.456	1.103	2.110	2.769	1.760	0.950	0.671	0.915	1.437	1.352	0.495
8	7	0.200	0.398	0.832	1.060	1.424	1.939	1.988	1.069	0.323	0.912	0.894	0.381
8	8	0.071	0.499	1.282	1.728	2.651	3.159	1.231	0.769	0.772	0.870	0.191	0.172
8	9	0.078	0.266	0.217	0.706	0.863	1.661	1.256	1.517	0.999	0.836	0.693	0.436
8	10	0.080	0.219	0.623	1.159	1.177	2.025	1.014	2.251	1.608	1.598	1.034	0.447
8	11	0.066	0.413	1.189	2.083	2.414	2.565	2.390	0.992	1.950	0.269	0.655	0.244
8	12	0.103	0.247	0.530	0.645	1.000	0.871	0.575	0.684	0.425	0.313	0.219	0.270
8	13	0.010	0.100	0.266	0.683	1.118	0.826	1.332	1.675	1.068	0.473	0.541	0.073
8	14	0.175	0.584	0.827	1.445	1.135	1.341	1.278	1.809	1.457	1.228	0.706	0.593
8	15	0.032	0.383	1.355	1.597	1.497	3.071	1.535	1.676	1.518	1.343	0.715	0.212
8	16	0.053	0.456	1.038	1.710	1.408	0.936	1.049	1.500	1.114	0.866	0.564	0.315
8	17	0.028	0.196	0.263	0.528	0.742	0.692	0.923	0.403	0.543	0.209	0.088	0.080
8	18	0.078	0.308	0.603	0.850	0.725	0.980	0.952	1.648	1.954	1.526	0.405	0.094

ที่มา: เสริม จันทรฉาย (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
8	19	0.037	0.198	0.485	0.870	0.576	1.131	2.275	1.644	0.831	0.581	0.687	0.385
8	20	0.031	0.263	0.876	2.028	2.345	3.009	2.366	2.330	1.469	2.427	1.634	0.433
8	21	0.082	0.432	0.554	2.111	2.437	1.971	1.382	1.541	2.087	1.541	0.658	0.199
8	22	0.090	0.512	1.166	1.957	2.474	2.002	1.717	1.534	1.617	0.877	0.410	0.356
8	23	0.068	0.258	0.557	1.068	1.114	1.403	1.967	2.261	2.150	2.157	1.571	0.657
8	24	0.096	0.670	1.001	1.686	2.779	3.505	1.756	3.277	1.292	1.159	0.690	0.531
8	25	0.173	0.869	1.541	2.188	2.707	2.982	3.093	3.641	1.633	1.016	1.084	0.335
8	26	0.046	0.269	0.855	1.167	1.343	1.638	1.952	1.304	1.220	1.554	0.419	0.228
8	27	0.090	0.509	0.559	0.802	0.956	2.758	1.793	3.405	2.715	2.692	1.254	0.377
8	28	0.048	0.275	0.570	1.572	0.914	1.620	1.341	1.276	0.394	0.379	0.547	0.348
8	29	0.109	0.428	1.148	2.141	2.818	2.473	2.724	2.171	0.959	0.675	0.857	0.363
8	30	0.109	0.372	1.048	1.457	2.082	1.800	1.111	1.391	1.297	1.085	0.189	0.221
8	31	0.192	1.074	2.084	1.743	2.408	1.669	3.685	2.635	2.183	1.479	0.073	0.012
9	1	0.031	0.238	0.589	0.941	1.992	0.760	2.074	0.766	1.672	1.355	1.483	0.600
9	2	0.065	0.277	0.910	1.881	3.089	2.501	3.514	2.880	3.120	0.655	1.697	0.468
9	3	0.043	0.488	0.924	0.356	0.077	0.032	0.299	1.919	2.450	1.317	0.916	0.487
9	4	0.032	0.290	0.924	1.509	1.535	2.531	3.004	3.149	2.758	2.138	1.334	0.414
9	5	0.116	0.717	1.305	1.895	2.243	2.537	2.258	2.391	0.202	0.678	1.362	0.544
9	6	0.093	0.514	1.363	2.262	2.623	2.047	2.295	2.312	2.173	0.755	0.633	0.341
9	7	0.033	0.530	0.766	2.082	3.093	3.079	3.108	3.477	2.013	0.905	0.591	0.265
9	8	0.054	0.330	0.723	1.026	1.272	2.672	2.691	2.285	1.299	0.741	0.394	0.222
9	9	0.119	0.359	0.662	0.775	1.811	1.994	1.791	1.888	2.166	0.974	0.660	0.651
9	10	0.046	0.256	0.338	0.401	0.947	1.744	2.882	2.316	1.702	1.509	0.840	0.212
9	11	0.034	0.259	0.700	1.140	1.158	1.723	3.260	2.689	2.851	1.529	0.425	0.369
9	12	0.009	0.095	0.281	0.780	0.815	2.605	2.209	2.741	2.608	1.650	0.456	0.320
9	13	0.054	0.465	0.994	0.750	1.306	2.804	3.124	2.898	2.797	1.840	0.771	0.280
9	14	0.070	0.189	0.570	1.128	1.655	1.141	1.043	1.858	1.779	1.432	0.569	0.149
9	15	0.024	0.212	0.386	0.491	1.200	0.942	1.639	0.630	0.997	0.733	0.531	0.123
9	16	0.076	0.345	0.844	0.988	2.129	2.080	2.463	1.929	2.265	0.821	0.719	0.274
9	17	0.036	0.232	0.465	0.838	0.766	1.694	2.778	3.309	2.830	2.138	1.335	0.548
9	18	0.119	0.851	0.725	1.253	2.812	2.711	3.464	2.793	2.267	2.304	0.850	0.240
9	19	0.014	0.173	0.386	0.476	0.969	1.429	2.005	1.889	1.873	0.888	0.438	0.268
9	20	0.032	0.244	1.076	2.089	1.342	1.415	1.977	1.451	0.973	1.109	0.445	0.109
9	21	0.034	0.202	0.564	0.529	0.694	1.283	2.188	1.196	1.369	2.213	1.003	0.104
9	22	0.065	0.380	0.909	1.602	2.767	3.555	3.047	3.328	2.727	2.569	1.539	0.424
9	23	0.134	0.784	1.477	1.327	2.741	3.168	2.981	2.575	1.804	2.192	1.364	0.111
9	24	0.041	0.402	0.813	1.619	2.184	1.633	2.363	2.418	2.488	1.654	0.572	0.245
9	25	0.111	0.799	1.617	2.507	2.567	2.573	2.359	2.876	2.738	2.086	1.251	0.426
9	26	0.081	0.747	1.381	1.233	1.273	1.638	2.978	2.740	1.227	1.660	0.963	0.431
9	27	0.091	0.414	1.241	1.620	1.449	1.874	3.527	1.776	1.450	1.136	0.649	0.176
9	28	0.018	0.152	0.303	0.434	0.508	0.569	0.724	0.485	0.578	0.474	0.243	0.079
9	29	0.031	0.263	0.735	0.895	1.206	1.834	2.437	1.309	1.555	0.682	0.217	0.132
9	30	0.034	0.312	0.549	0.739	0.969	0.879	1.401	1.558	1.961	1.306	0.973	0.146
10	1	0.082	0.440	0.839	1.334	2.251	2.043	2.404	2.843	2.318	2.045	0.280	0.114
10	2	0.085	0.844	1.620	1.575	3.040	3.118	3.382	2.177	0.619	0.400	0.755	0.218
10	3	0.122	0.650	1.120	1.135	2.511	2.898	3.354	2.645	2.455	0.224	0.282	0.204

ที่มา: เสริม จันทรฉาย (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
10	4	0.091	0.460	0.883	2.027	1.827	2.492	1.598	2.167	2.090	1.946	1.119	0.288
10	5	0.088	0.463	1.264	2.234	2.425	1.966	2.664	3.225	2.038	1.934	1.074	0.379
10	6	0.095	0.639	1.193	2.173	2.753	2.560	2.159	2.523	2.626	1.732	0.901	0.245
10	7	0.083	0.637	1.400	2.127	2.805	3.113	2.786	1.544	0.571	1.697	1.138	0.234
10	8	0.050	0.259	0.516	1.227	2.866	2.993	3.058	2.319	2.501	1.712	0.614	0.142
10	9	0.056	0.169	0.408	0.646	0.449	0.869	2.032	2.690	1.498	1.281	0.736	0.131
10	10	0.086	0.649	1.109	2.039	2.668	2.870	2.912	1.838	1.772	1.350	0.739	0.212
10	11	0.110	0.694	1.521	2.217	2.829	3.178	3.019	1.849	2.306	1.703	0.584	0.236
10	12	0.083	0.667	1.424	2.241	2.765	3.074	2.827	2.188	1.502	1.821	0.827	0.189
10	13	0.046	0.280	0.483	0.898	2.173	2.361	2.411	2.006	1.717	1.822	0.673	0.070
10	14	0.071	0.309	1.231	2.416	2.448	2.362	2.366	1.682	1.602	0.961	0.685	0.161
10	15	0.151	0.845	1.050	1.684	1.755	2.278	2.046	2.775	2.471	1.464	0.766	0.142
10	16	0.077	0.596	1.368	2.000	2.697	3.406	2.885	2.854	2.016	1.795	0.683	0.199
10	17	0.072	0.596	1.369	1.889	2.264	1.929	3.034	3.034	1.974	1.692	0.900	0.187
10	18	0.073	0.607	1.385	2.127	2.662	3.012	2.264	3.086	1.898	1.688	0.858	0.162
10	19	0.068	0.593	1.340	2.088	2.170	1.949	2.210	2.548	2.235	1.212	0.797	0.217
10	20	0.041	0.533	1.164	1.840	2.445	2.801	2.599	2.040	1.925	1.249	0.811	0.153
10	21	0.033	0.226	1.110	2.051	2.612	2.942	1.938	1.915	1.581	1.129	0.786	0.148
10	22	0.055	0.442	1.055	1.709	2.586	2.852	2.103	1.970	1.617	1.257	0.478	0.094
10	23	0.036	0.519	1.227	1.966	2.542	2.942	2.368	2.683	2.115	1.309	0.363	0.059
10	24	0.041	0.387	0.963	1.890	2.571	2.350	1.406	0.418	1.089	0.785	0.634	0.098
10	25	0.027	0.242	0.563	1.262	2.400	2.928	2.380	2.675	1.400	0.665	0.715	0.166
10	26	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	27	0.045	0.364	0.889	1.440	2.268	3.219	2.315	1.126	1.931	0.933	0.352	0.078
10	28	0.043	0.502	1.141	1.179	2.246	2.358	2.905	2.711	2.304	1.126	0.672	0.089
10	29	0.046	0.466	1.142	2.073	1.915	1.730	2.637	2.844	1.415	0.550	0.547	0.055
10	30	0.013	0.136	0.188	0.337	0.377	2.100	1.326	1.382	0.333	0.906	0.520	0.019
10	31	0.012	0.080	0.364	0.842	1.465	0.729	1.082	0.779	0.464	0.616	0.355	0.007
11	1	0.024	0.212	0.456	0.675	0.890	1.119	1.532	1.303	1.254	0.793	0.346	0.115
11	2	0.024	0.297	0.991	2.000	2.729	3.016	3.060	2.842	2.397	1.518	0.797	0.106
11	3	0.041	0.302	1.220	1.942	2.492	1.701	2.260	2.349	1.656	1.242	0.647	0.130
11	4	0.044	0.339	0.570	1.406	1.547	1.497	1.387	1.250	1.012	1.079	0.898	0.187
11	5	0.026	0.566	1.045	1.258	1.251	1.382	1.827	1.320	1.303	0.765	0.461	0.034
11	6	0.018	0.276	1.298	1.239	1.701	2.459	2.688	2.682	2.251	1.626	0.774	0.119
11	7	0.038	0.419	1.077	1.717	2.427	2.462	3.026	2.713	1.968	1.693	0.743	0.143
11	8	0.012	0.457	1.236	0.836	2.028	2.373	2.033	2.469	2.047	1.341	0.653	0.155
11	9	0.047	0.476	0.095	1.370	1.561	1.958	1.478	2.889	2.212	1.172	0.880	0.015
11	10	0.017	0.193	0.472	1.298	1.219	2.105	2.410	2.343	0.458	0.926	0.796	0.104
11	11	0.015	0.378	1.135	1.476	2.262	2.510	2.058	1.956	2.267	1.338	0.184	0.035
11	12	0.022	0.416	1.236	1.948	2.332	2.903	2.967	2.750	2.291	1.633	0.869	0.145
11	13	0.010	0.189	0.868	2.034	2.547	2.854	2.962	2.737	2.281	1.619	0.850	0.150
11	14	0.020	0.292	1.037	1.688	2.520	2.833	2.890	2.644	2.263	1.593	0.861	0.142
11	15	0.019	0.392	1.214	2.039	2.570	2.880	2.819	2.705	2.251	1.626	0.878	0.146
11	16	0.017	0.380	0.978	1.393	1.763	2.800	2.470	2.444	2.023	1.407	0.544	0.097
11	17	0.001	0.324	0.876	1.080	2.177	2.909	2.413	2.450	1.842	1.472	0.687	0.097
11	18	0.005	0.169	0.503	1.484	2.539	2.823	2.934	1.626	1.704	1.182	0.807	0.165

ที่มา: เสริม จันทร์ฉาย (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
11	19	0.015	0.366	1.112	1.467	1.899	2.909	2.582	2.012	1.647	1.323	0.588	0.123
11	20	0.013	0.190	0.427	1.054	2.473	2.506	2.686	2.399	2.147	1.536	0.879	0.149
11	21	0.007	0.076	0.362	0.527	0.661	0.913	0.763	1.342	1.949	1.344	0.674	0.141
11	22	0.014	0.424	0.824	0.994	1.576	1.448	2.110	1.501	1.049	0.896	0.640	0.139
11	23	0.010	0.356	1.135	1.850	2.447	2.797	2.776	2.099	2.061	1.529	0.791	0.128
11	24	0.013	0.263	1.092	1.852	2.395	2.418	2.019	2.330	1.616	1.216	0.762	0.128
11	25	0.007	0.292	0.976	1.622	2.034	2.586	2.620	2.445	1.917	1.442	0.656	0.121
11	26	0.010	0.342	1.018	1.781	2.356	2.680	2.700	2.546	2.038	1.345	0.593	0.132
11	27	0.008	0.356	1.059	1.715	2.243	2.590	2.739	2.476	2.293	1.489	0.710	0.118
11	28	0.009	0.350	1.052	1.785	2.338	2.664	2.621	2.211	1.792	1.468	0.747	0.113
11	29	0.008	0.340	1.048	1.801	2.346	2.672	2.850	2.740	2.194	1.497	0.715	0.109
11	30	0.008	0.345	1.035	1.765	2.303	2.633	2.800	2.639	2.230	0.766	0.735	0.121
12	1	0.006	0.336	1.031	1.735	2.307	2.626	2.173	1.102	1.852	1.197	0.729	0.113
12	2	0.006	0.324	0.997	1.702	2.248	2.610	2.722	2.605	2.122	1.496	0.738	0.108
12	3	0.006	0.365	1.042	1.681	2.291	2.433	2.474	2.363	2.073	1.420	0.567	0.087
12	4	0.006	0.281	0.968	1.654	2.209	2.530	2.604	2.382	2.071	1.439	0.693	0.121
12	5	0.009	0.191	0.547	1.396	1.907	2.521	1.882	1.187	1.644	0.657	0.360	0.037
12	6	0.001	0.069	0.240	0.521	0.235	0.875	2.467	2.326	1.898	0.855	0.431	0.029
12	7	0.000	0.032	0.110	0.140	0.148	0.133	0.216	0.615	0.704	0.785	0.339	0.044
12	8	0.003	0.113	0.353	0.549	0.726	1.095	1.054	0.801	0.755	0.431	0.206	0.048
12	9	0.004	0.141	0.643	1.204	2.174	2.117	2.248	1.968	1.433	1.479	0.771	0.117
12	10	0.002	0.127	0.412	0.679	0.757	1.264	1.060	1.291	1.978	1.155	0.703	0.117
12	11	0.005	0.203	0.748	1.586	2.113	2.629	2.648	2.444	1.590	1.488	0.538	0.061
12	12	0.001	0.145	0.913	1.665	2.265	2.062	1.203	0.979	0.303	0.568	0.259	0.068
12	13	0.002	0.148	0.531	1.010	1.366	1.831	1.762	1.244	1.755	0.389	0.283	0.099
12	14	0.002	0.351	1.036	0.970	1.803	1.147	2.111	2.462	2.106	1.177	0.653	0.117
12	15	0.002	0.293	1.015	1.687	2.302	2.638	2.765	2.661	2.187	1.592	0.875	0.156
12	16	0.004	0.412	1.165	1.746	2.263	2.605	2.507	2.517	1.989	1.500	0.781	0.150
12	17	0.001	0.195	0.830	1.476	2.120	2.485	2.395	2.200	1.801	1.557	0.444	0.047
12	18	0.001	0.223	0.891	1.372	2.124	2.554	2.603	1.670	1.415	0.729	0.522	0.069
12	19	0.000	0.200	0.823	1.552	2.123	2.459	2.560	2.321	1.899	0.846	0.480	0.132
12	20	0.000	0.167	0.776	1.475	2.103	2.483	2.596	2.471	2.098	1.488	0.774	0.151
12	21	0.001	0.130	0.530	0.967	1.417	1.177	1.393	1.123	0.651	0.432	0.185	0.034
12	22	0.000	0.061	0.359	0.734	1.735	1.744	1.861	1.681	1.344	0.800	0.349	0.067
12	23	0.001	0.217	0.334	0.777	1.143	1.655	1.342	0.967	0.726	0.639	0.346	0.085
12	24	0.000	0.160	0.554	0.851	0.981	1.756	1.617	1.749	1.223	0.612	0.263	0.113
12	25	0.001	0.061	0.286	0.782	0.517	0.619	1.002	0.972	1.535	0.565	0.313	0.062
12	26	0.000	0.016	0.226	0.102	0.398	1.303	1.199	0.525	0.338	0.317	0.216	0.060
12	27	0.000	0.161	0.601	1.482	2.182	2.539	2.668	2.526	2.255	1.829	0.889	0.197
12	28	0.000	0.142	0.913	1.691	2.300	2.683	2.821	2.656	2.271	1.691	0.957	0.201
12	29	0.000	0.160	0.892	1.571	2.203	2.560	2.690	2.454	2.168	1.631	0.894	0.203
12	30	0.000	0.187	0.792	1.547	2.197	2.599	2.703	2.536	2.178	1.620	0.933	0.217
12	31	0.000	0.203	0.829	1.540	2.206	2.623	2.778	2.681	2.313	1.718	0.975	0.238

ที่มา: เสริม จันทรฉาย (2549)

ตารางที่ จ.2 ค่ารังสีอาทิตย์กระจายรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
1	1	0.000	0.085	0.379	0.766	1.129	0.905	0.648	0.555	0.497	0.395	0.286	0.125
1	2	0.000	0.079	0.288	0.456	0.552	0.570	0.584	0.710	0.664	0.461	0.333	0.117
1	3	0.000	0.068	0.274	0.449	0.560	0.599	0.684	0.677	0.631	0.440	0.283	0.120
1	4	0.000	0.073	0.237	0.379	0.408	0.381	0.403	0.398	0.433	0.429	0.298	0.134
1	5	0.000	0.051	0.259	0.402	0.505	0.558	0.605	0.575	0.487	0.402	0.281	0.133
1	6	0.000	0.065	0.264	0.443	0.567	0.599	0.599	0.533	0.446	0.388	0.300	0.134
1	7	0.000	0.068	0.265	0.435	0.548	0.590	0.589	0.540	0.506	0.420	0.289	0.124
1	8	0.000	0.067	0.279	0.451	0.580	0.617	0.624	0.598	0.547	0.496	0.395	0.154
1	9	0.000	0.064	0.295	0.480	0.687	0.757	0.743	0.766	0.703	0.583	0.400	0.174
1	10	0.000	0.103	0.371	0.740	0.932	0.731	0.977	0.838	0.733	0.534	0.367	0.090
1	11	0.001	0.113	0.506	0.741	0.894	0.906	0.999	0.977	0.721	0.589	0.431	0.124
1	12	0.000	0.094	0.332	0.495	0.528	0.502	0.452	0.488	0.545	0.444	0.262	0.087
1	13	0.000	0.095	0.213	0.284	0.312	0.340	0.355	0.366	0.332	0.269	0.218	0.086
1	14	0.000	0.092	0.219	0.285	0.369	0.398	0.351	0.326	0.327	0.305	0.249	0.094
1	15	0.000	0.057	0.268	0.630	1.069	0.921	0.843	0.839	0.682	0.563	0.331	0.128
1	16	0.000	0.058	0.247	0.420	1.093	1.260	1.325	1.277	0.849	0.673	0.474	0.119
1	17	0.000	0.110	0.444	0.600	0.782	0.740	0.731	0.704	0.702	0.595	0.364	0.108
1	18	0.000	0.176	0.482	0.580	0.666	0.578	0.488	0.500	0.579	0.471	0.369	0.139
1	19	0.001	0.097	0.291	0.424	0.477	0.552	0.549	0.650	0.637	0.470	0.347	0.143
1	20	0.000	0.175	0.347	0.446	0.579	0.771	0.555	0.398	0.397	0.368	0.280	0.103
1	21	0.001	0.107	0.301	0.444	0.559	0.580	0.558	0.507	0.488	0.531	0.381	0.139
1	22	0.000	0.135	0.467	0.638	0.782	0.688	0.651	0.563	0.528	0.500	0.373	0.120
1	23	0.000	0.125	0.275	0.319	0.477	0.600	0.479	0.505	0.612	0.425	0.274	0.126
1	24	0.000	0.167	0.471	0.534	0.560	0.642	0.926	1.054	0.896	0.638	0.417	0.159
1	25	0.000	0.095	0.248	0.333	0.384	0.461	0.514	0.481	0.434	0.409	0.296	0.117
1	26	0.000	0.093	0.232	0.319	0.329	0.351	0.372	0.387	0.387	0.337	0.258	0.107
1	27	0.000	0.094	0.255	0.367	0.384	0.386	0.400	0.404	0.377	0.336	0.248	0.107
1	28	0.000	0.093	0.265	0.366	0.403	0.443	0.476	0.440	0.377	0.322	0.267	0.119
1	29	0.000	0.095	0.237	0.358	0.407	0.412	0.366	0.355	0.372	0.329	0.262	0.118
1	30	0.000	0.094	0.262	0.363	0.444	0.501	0.528	0.521	0.462	0.386	0.278	0.110
1	31	0.000	0.094	0.289	0.439	0.516	0.573	0.567	0.547	0.529	0.431	0.319	0.121
2	1	0.000	0.097	0.287	0.454	0.569	0.651	0.666	0.640	0.590	0.467	0.322	0.124
2	2	0.000	0.100	0.299	0.452	0.545	0.614	0.666	0.652	0.590	0.508	0.347	0.131
2	3	0.000	0.108	0.319	0.488	0.567	0.585	0.604	0.586	0.540	0.479	0.340	0.128
2	4	0.000	0.100	0.260	0.357	0.421	0.446	0.467	0.491	0.467	0.450	0.317	0.121
2	5	0.000	0.119	0.310	0.403	0.584	0.599	0.543	0.581	0.688	0.462	0.317	0.138
2	6	0.000	0.104	0.243	0.321	0.384	0.405	0.405	0.441	0.438	0.420	0.307	0.166
2	7	0.000	0.100	0.228	0.330	0.357	0.428	0.500	0.507	0.412	0.340	0.265	0.131
2	8	0.000	0.099	0.271	0.387	0.446	0.471	0.449	0.410	0.402	0.346	0.275	0.136
2	9	0.000	0.105	0.288	0.428	0.500	0.567	0.544	0.486	0.477	0.443	0.293	0.123
2	10	0.000	0.093	0.289	0.454	0.558	0.615	0.632	0.607	0.550	0.465	0.321	0.124
2	11	0.000	0.083	0.288	0.502	0.689	0.813	0.847	0.812	0.702	0.549	0.336	0.115
2	12	0.004	0.120	0.363	0.581	0.731	0.779	0.783	0.772	0.723	0.588	0.388	0.165
2	13	0.005	0.121	0.295	0.423	0.497	0.502	0.526	0.568	0.555	0.467	0.333	0.148
2	14	0.006	0.120	0.270	0.374	0.469	0.524	0.529	0.560	0.531	0.444	0.317	0.165
2	15	0.006	0.128	0.281	0.379	0.464	0.529	0.559	0.493	0.452	0.397	0.324	0.172

ที่มา: เสริม จันทรรักษ์ (2549)

ตารางที่ จ.2 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์กระจายรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
2	16	0.006	0.126	0.289	0.395	0.469	0.522	0.549	0.536	0.518	0.454	0.320	0.157
2	17	0.006	0.125	0.278	0.374	0.455	0.510	0.513	0.467	0.457	0.403	0.309	0.152
2	18	0.006	0.125	0.285	0.399	0.479	0.531	0.559	0.563	0.527	0.465	0.345	0.166
2	19	0.006	0.124	0.322	0.465	0.560	0.619	0.637	0.636	0.600	0.510	0.346	0.155
2	20	0.006	0.118	0.330	0.506	0.626	0.726	0.774	0.770	0.681	0.599	0.383	0.164
2	21	0.009	0.138	0.357	0.630	0.734	0.769	0.738	0.672	0.607	0.519	0.357	0.164
2	22	0.006	0.131	0.325	0.485	0.607	0.672	0.688	0.671	0.664	0.510	0.353	0.164
2	23	0.004	0.136	0.293	0.398	0.492	0.538	0.536	0.531	0.506	0.454	0.338	0.181
2	24	0.002	0.135	0.305	0.433	0.547	0.643	0.681	0.684	0.612	0.517	0.364	0.177
2	25	0.002	0.136	0.333	0.490	0.631	0.725	0.731	0.635	0.568	0.487	0.351	0.164
2	26	0.004	0.166	0.417	0.625	0.658	0.751	0.743	0.714	0.610	0.461	0.361	0.180
2	27	0.006	0.165	0.357	0.507	0.616	0.679	0.664	0.677	0.695	0.610	0.419	0.201
2	28	0.006	0.160	0.360	0.523	0.630	0.669	0.615	0.589	0.544	0.462	0.347	0.182
3	1	0.006	0.149	0.317	0.430	0.462	0.436	0.381	0.384	0.420	0.394	0.293	0.154
3	2	0.006	0.150	0.296	0.384	0.430	0.444	0.423	0.462	0.455	0.364	0.280	0.177
3	3	0.006	0.156	0.332	0.461	0.558	0.626	0.655	0.676	0.669	0.564	0.393	0.191
3	4	0.006	0.125	0.331	0.725	1.082	1.103	1.071	0.946	0.837	0.657	0.476	0.233
3	5	0.000	0.031	0.130	0.295	0.567	0.813	1.307	1.219	0.987	0.906	0.528	0.226
3	6	0.010	0.207	0.472	0.703	0.876	0.946	0.948	0.857	0.760	0.627	0.467	0.232
3	7	0.010	0.201	0.492	0.739	0.901	0.953	0.958	0.873	0.757	0.643	0.465	0.210
3	8	0.010	0.190	0.450	0.682	0.839	0.932	0.967	0.953	1.061	0.433	0.485	0.224
3	9	0.010	0.187	0.402	0.578	0.702	0.770	0.831	0.973	0.907	0.651	0.569	0.280
3	10	0.010	0.200	0.418	0.598	0.704	0.805	0.798	0.741	0.728	0.485	0.407	0.222
3	11	0.011	0.191	0.412	0.583	0.710	0.776	0.781	0.761	0.705	0.667	0.531	0.255
3	12	0.014	0.201	0.469	0.672	0.814	0.905	0.942	0.911	0.834	0.721	0.555	0.247
3	13	0.012	0.227	0.532	0.819	1.076	1.121	1.163	1.158	1.062	0.907	0.503	0.205
3	14	0.014	0.223	0.593	0.995	1.276	1.476	1.550	1.462	1.043	0.743	0.337	0.237
3	15	0.009	0.190	0.754	1.107	1.602	1.724	1.729	1.455	1.257	0.808	0.667	0.284
3	16	0.014	0.213	0.492	0.699	0.802	0.648	0.656	0.619	0.596	0.532	0.405	0.191
3	17	0.020	0.200	0.356	0.448	0.479	0.491	0.487	0.532	0.501	0.435	0.342	0.193
3	18	0.020	0.218	0.430	0.626	0.816	0.925	0.995	0.854	0.814	0.729	0.511	0.177
3	19	0.021	0.243	0.600	0.941	1.062	1.180	1.137	1.081	1.183	0.740	0.114	0.083
3	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.198
3	22	0.090	0.445	1.043	1.521	1.649	1.367	0.962	0.847	0.842	0.594	0.424	0.202
3	23	0.072	0.343	0.785	1.137	1.227	0.885	0.914	0.879	0.791	0.653	0.491	0.240
3	24	0.055	0.232	0.466	0.677	0.812	0.863	0.902	0.919	0.859	0.718	0.503	0.233
3	25	0.069	0.304	0.645	0.849	1.021	1.169	1.064	1.015	0.920	0.847	0.625	0.311
3	26	0.068	0.273	0.448	0.568	0.717	0.910	0.803	0.912	0.878	0.708	0.471	0.236
3	27	0.053	0.244	0.485	0.625	0.761	0.902	0.924	0.910	0.774	0.646	0.465	0.265
3	28	0.067	0.271	0.493	0.664	0.779	0.838	0.842	0.893	0.891	0.681	0.451	0.208
3	29	0.072	0.278	0.506	0.684	0.798	0.867	0.902	0.940	0.823	0.616	0.430	0.206
3	30	0.068	0.275	0.479	0.621	0.726	0.764	0.705	0.637	0.594	0.514	0.399	0.193
3	31	0.064	0.263	0.476	0.653	0.766	0.793	0.723	0.575	0.532	0.539	0.387	0.210
4	1	0.064	0.322	0.598	0.885	1.054	1.110	1.082	1.043	0.888	0.662	0.487	0.271
4	2	0.045	0.259	0.522	0.735	0.876	0.978	0.951	0.726	0.679	0.648	0.562	0.195

ที่มา: เสริม จันทรฉาย (2549)

ตารางที่ จ.2 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์กระจายรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
4	3	0.048	0.392	0.771	1.113	1.406	1.475	1.138	0.496	0.744	0.798	0.593	0.150
4	4	0.011	0.088	0.226	0.486	0.633	0.921	0.898	0.454	0.641	0.424	0.169	0.160
4	5	0.029	0.208	0.497	0.543	0.616	0.565	0.542	0.943	0.756	0.417	0.485	0.104
4	6	0.057	0.291	0.652	1.071	1.312	1.123	0.761	0.673	0.605	0.539	0.417	0.228
4	7	0.078	0.311	0.502	0.630	0.738	0.814	0.807	0.741	0.655	0.570	0.431	0.221
4	8	0.074	0.299	0.469	0.598	0.666	0.692	0.684	0.658	0.622	0.560	0.409	0.211
4	9	0.074	0.273	0.409	0.518	0.610	0.674	0.652	0.635	0.612	0.602	0.400	0.202
4	10	0.078	0.295	0.459	0.560	0.648	0.651	0.594	0.574	0.528	0.477	0.446	0.243
4	11	0.083	0.280	0.402	0.466	0.495	0.486	0.497	0.537	0.516	0.638	0.480	0.067
4	12	0.084	0.298	0.479	0.557	0.619	0.672	0.953	1.105	0.413	0.417	0.847	0.350
4	13	0.061	0.357	0.531	0.619	0.729	0.728	0.679	0.717	0.782	0.664	0.459	0.140
4	14	0.079	0.378	0.660	0.705	0.682	0.553	0.571	0.524	0.448	0.395	0.333	0.227
4	15	0.109	0.324	0.472	0.557	0.598	0.544	0.536	0.567	0.510	0.465	0.377	0.227
4	16	0.094	0.299	0.417	0.511	0.550	0.660	0.585	0.607	0.666	0.672	0.593	0.384
4	17	0.115	0.345	0.491	0.583	0.601	0.589	0.579	0.570	0.523	0.455	0.381	0.236
4	18	0.152	0.383	0.501	0.528	0.557	0.536	0.467	0.424	0.440	0.511	0.448	0.202
4	19	0.089	0.331	0.507	0.636	0.738	0.756	0.739	0.690	0.626	0.540	0.408	0.211
4	20	0.093	0.317	0.640	0.810	1.012	1.050	1.033	1.144	1.074	0.476	0.139	0.050
4	21	0.124	0.403	0.537	0.630	0.671	0.752	0.813	0.755	0.668	0.759	0.558	0.164
4	22	0.114	0.298	0.424	0.508	0.554	0.611	0.638	0.645	0.743	0.723	0.521	0.275
4	23	0.112	0.337	0.508	0.643	0.740	0.816	1.023	0.337	0.526	0.291	0.336	0.240
4	24	0.114	0.342	0.517	0.652	0.740	0.771	0.760	0.759	0.969	0.818	0.433	0.269
4	25	0.110	0.352	0.514	0.632	0.731	0.785	0.936	0.790	0.420	0.823	0.562	0.330
4	26	0.119	0.355	0.544	0.698	0.803	0.844	0.823	0.771	0.795	0.945	0.413	0.208
4	27	0.124	0.343	0.507	0.625	0.617	0.583	0.553	0.573	0.574	0.526	0.413	0.226
4	28	0.129	0.342	0.448	0.488	0.553	0.611	0.704	0.707	0.762	0.814	0.539	0.187
4	29	0.128	0.315	0.421	0.502	0.567	0.581	0.688	0.781	0.636	0.524	0.428	0.213
4	30	0.125	0.286	0.392	0.476	0.524	0.555	0.579	0.640	0.631	0.491	0.407	0.332
5	1	0.130	0.330	0.456	0.528	0.584	0.614	0.681	0.907	0.853	0.671	0.511	0.275
5	2	0.167	0.353	0.595	0.802	0.751	0.787	1.145	1.241	0.688	0.710	0.176	0.046
5	3	0.160	0.429	0.562	0.590	0.518	0.532	0.600	0.588	0.845	0.640	0.672	0.425
5	4	0.120	0.311	0.425	0.444	0.481	0.529	0.657	0.823	1.346	1.230	0.863	0.604
5	5	0.169	0.512	0.656	0.864	1.308	1.493	1.351	1.314	1.500	0.858	0.510	0.245
5	6	0.084	0.345	0.726	1.158	1.361	1.095	0.673	0.548	0.409	0.330	0.483	0.187
5	7	0.046	0.174	0.369	0.857	0.791	1.517	0.921	0.762	0.575	0.609	0.249	0.162
5	8	0.078	0.226	0.364	0.460	0.900	0.557	0.405	0.459	0.257	0.348	0.386	0.206
5	9	0.190	0.532	0.796	0.953	1.201	1.344	0.796	0.880	0.719	0.548	0.477	0.279
5	10	0.157	0.512	0.828	0.662	1.416	1.352	1.282	1.095	0.885	0.583	0.586	0.276
5	11	0.165	0.408	0.517	0.741	0.792	1.165	0.993	1.136	1.255	0.567	0.417	0.398
5	12	0.129	0.430	0.857	1.214	1.329	1.567	1.390	1.283	1.175	0.812	0.457	0.304
5	13	0.157	0.460	0.736	1.100	1.412	1.419	1.660	1.340	0.689	0.845	0.578	0.245
5	14	0.188	0.503	0.921	1.092	1.545	1.147	0.726	0.627	0.664	0.341	0.250	0.320
5	15	0.156	0.376	0.526	0.596	0.631	0.660	0.668	0.669	0.952	0.780	0.402	0.304
5	16	0.213	0.461	0.589	0.666	0.714	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	17	0.000	0.000	0.000	0.863	0.875	0.895	0.831	0.729	0.733	0.686	0.439	0.312
5	18	0.182	0.409	0.580	0.741	0.876	0.785	0.828	0.829	0.638	0.249	0.239	0.233

ที่มา: เสริม จันทรฉาย (2549)

ตารางที่ จ.2 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์กระจายรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
5	19	0.198	0.436	0.610	0.733	0.839	0.860	1.013	0.868	0.731	0.528	0.322	0.086
5	20	0.179	0.459	0.319	0.651	1.302	1.460	1.015	0.627	0.578	0.526	0.465	0.312
5	21	0.217	0.493	0.726	0.786	0.718	0.843	1.054	0.931	1.079	0.730	0.507	0.351
5	22	0.113	0.412	0.870	1.057	1.170	0.910	0.776	0.620	0.528	0.497	0.376	0.379
5	23	0.191	0.379	0.505	0.558	0.584	0.563	0.549	0.578	0.591	0.428	0.436	0.405
5	24	0.169	0.348	0.479	0.595	0.671	0.647	0.612	0.550	0.495	0.466	0.294	0.176
5	25	0.169	0.408	0.901	1.222	1.261	0.935	0.771	0.767	0.739	0.629	0.540	0.337
5	26	0.239	0.508	0.537	0.627	0.678	0.728	0.818	0.899	0.813	0.933	0.845	0.291
5	27	0.108	0.341	0.933	1.184	1.229	1.763	1.700	1.514	1.150	0.345	0.376	0.259
5	28	0.169	0.558	0.702	1.059	1.407	1.640	1.781	1.189	0.655	0.834	0.617	0.381
5	29	0.182	0.479	0.748	0.805	1.395	1.160	0.984	0.910	0.724	0.812	0.208	0.047
5	30	0.090	0.180	0.097	0.087	0.430	1.055	1.297	0.829	0.981	1.004	0.455	0.274
5	31	0.138	0.348	0.571	0.695	1.103	1.064	1.040	0.868	0.633	0.517	0.583	0.263
6	1	0.159	0.513	0.912	0.961	0.985	0.925	0.966	0.981	0.579	0.051	0.102	0.108
6	2	0.214	0.460	0.786	0.957	1.364	1.100	1.339	1.348	1.401	0.995	0.507	0.223
6	3	0.201	0.433	0.656	0.751	1.175	1.822	0.000	1.019	0.633	0.638	0.686	0.413
6	4	0.203	0.676	0.833	1.366	1.124	0.947	0.818	0.958	0.972	1.015	0.439	0.062
6	5	0.131	0.327	0.774	0.969	1.331	1.017	0.817	0.694	1.269	1.112	0.591	0.238
6	6	0.197	0.429	0.545	0.776	0.854	0.879	0.997	0.981	0.714	0.683	0.514	0.295
6	7	0.103	0.412	0.869	0.932	1.100	1.157	1.127	1.325	1.196	0.858	0.377	0.154
6	8	0.144	0.389	0.828	0.945	1.295	1.178	0.946	0.740	0.678	0.657	0.330	0.123
6	9	0.160	0.454	0.549	1.049	0.926	1.102	1.380	0.979	1.300	0.741	0.397	0.309
6	10	0.193	0.679	0.860	0.999	0.910	1.588	1.794	1.212	0.893	0.316	0.440	0.244
6	11	0.202	0.492	0.953	1.313	1.336	1.496	1.657	1.614	0.864	0.445	0.250	0.203
6	12	0.097	0.236	0.630	0.945	0.869	0.925	1.013	0.878	1.248	0.777	0.337	0.203
6	13	0.069	0.390	0.508	0.883	1.568	1.612	1.589	1.462	1.278	0.810	0.488	0.214
6	14	0.212	0.518	0.774	1.232	1.298	1.416	1.416	1.262	1.360	0.781	0.762	0.312
6	15	0.123	0.379	0.766	1.129	1.286	1.822	1.656	1.561	0.829	0.797	0.533	0.332
6	16	0.145	0.276	0.650	1.214	1.462	1.453	1.339	1.217	1.188	0.821	0.767	0.434
6	17	0.074	0.379	0.781	1.243	1.334	1.330	1.339	1.556	0.937	0.373	0.759	0.218
6	18	0.208	0.567	0.889	0.826	0.715	1.355	1.450	1.205	1.201	0.893	0.868	0.358
6	19	0.193	0.253	0.676	1.185	1.252	1.211	0.902	0.969	0.969	0.719	0.403	0.363
6	20	0.208	0.415	0.664	0.697	0.756	0.788	0.777	0.901	1.061	0.776	0.576	0.431
6	21	0.115	0.398	0.816	1.116	1.336	1.414	0.905	0.968	0.993	0.823	0.575	0.198
6	22	0.157	0.466	0.522	0.858	0.967	0.415	0.483	0.956	0.700	0.554	0.632	0.360
6	23	0.133	0.118	0.177	0.890	1.677	1.693	1.648	1.586	1.082	0.890	0.480	0.341
6	24	0.148	0.435	0.842	0.982	1.527	1.594	1.035	1.873	1.556	0.800	0.576	0.384
6	25	0.108	0.263	0.788	1.292	1.519	1.698	1.783	0.800	0.826	0.662	0.479	0.342
6	26	0.187	0.495	0.941	1.357	1.558	1.824	1.618	1.555	1.335	0.900	0.431	0.267
6	27	0.156	0.378	0.744	0.893	0.958	1.235	0.606	1.257	1.010	1.049	0.586	0.419
6	28	0.138	0.459	0.590	1.118	1.617	1.422	1.738	1.734	1.377	0.999	0.369	0.182
6	29	0.105	0.485	0.664	0.769	1.036	1.354	1.584	1.499	1.114	0.775	0.598	0.418
6	30	0.155	0.436	0.622	0.966	0.950	1.765	1.676	1.453	1.101	1.031	0.931	0.720
7	1	0.093	0.298	0.679	1.119	0.859	1.312	1.105	1.217	1.105	0.750	0.734	0.229
7	2	0.108	0.448	0.498	0.699	1.112	1.429	1.008	1.361	1.383	0.818	0.715	0.537
7	3	0.118	0.353	0.796	0.759	0.999	0.962	1.333	1.509	1.312	0.880	0.518	0.445

ที่มา: เสริม จันทรฉาย (2549)

ตารางที่ จ.2 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์กระจายรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
7	4	0.140	0.526	0.881	0.817	1.297	1.457	0.981	0.780	0.751	0.621	0.393	0.179
7	5	0.131	0.307	0.609	1.090	1.274	1.670	0.793	0.731	0.633	0.600	0.543	0.138
7	6	0.148	0.425	0.595	0.519	0.743	0.729	0.505	1.019	0.350	0.346	0.430	0.419
7	7	0.138	0.267	0.449	0.849	0.915	0.909	0.719	0.534	0.633	0.451	0.319	0.252
7	8	0.124	0.435	0.488	0.449	0.860	1.128	1.326	1.212	0.986	0.452	0.589	0.254
7	9	0.159	0.555	0.792	1.173	1.307	1.039	1.072	1.144	1.245	0.849	0.598	0.166
7	10	0.151	0.508	0.936	1.262	1.588	1.702	1.374	1.449	1.091	1.134	0.754	0.342
7	11	0.156	0.655	0.676	0.703	0.788	1.101	1.299	0.938	0.729	0.754	0.795	0.460
7	12	0.094	0.363	0.770	1.282	1.300	1.532	1.012	0.919	0.712	0.583	0.586	0.373
7	13	0.060	0.310	0.570	0.745	1.475	1.189	1.110	1.833	1.153	0.984	0.538	0.254
7	14	0.074	0.457	0.957	1.402	1.152	1.247	0.715	1.207	0.854	0.983	0.299	0.040
7	15	0.086	0.503	0.695	0.999	1.212	1.343	1.302	1.229	0.953	0.686	0.688	0.549
7	16	0.062	0.195	0.663	0.911	1.212	1.788	1.101	0.813	0.677	0.555	0.441	0.474
7	17	0.109	0.207	0.257	0.295	0.533	0.456	0.707	0.818	0.575	0.927	0.588	0.358
7	18	0.161	0.321	0.327	0.694	0.625	0.743	1.048	0.990	1.200	0.767	0.660	0.526
7	19	0.150	0.605	0.869	1.121	1.634	1.790	1.320	0.968	0.806	0.381	0.237	0.045
7	20	0.151	0.501	0.759	1.055	1.452	1.538	1.357	1.525	1.506	1.070	0.761	0.476
7	21	0.029	0.129	0.410	0.438	0.547	0.884	1.403	0.945	0.917	0.899	0.816	0.591
7	22	0.095	0.340	0.708	0.692	1.012	1.750	1.938	1.809	1.155	0.883	0.686	0.118
7	23	0.087	0.206	0.614	1.025	0.890	1.522	1.726	1.499	1.260	0.978	0.719	0.248
7	24	0.107	0.340	0.601	1.181	1.355	1.355	1.500	1.346	1.160	0.374	0.238	0.057
7	25	0.086	0.456	0.607	0.776	0.953	0.889	1.286	0.588	0.521	0.320	0.455	0.475
7	26	0.055	0.239	0.314	0.543	0.977	0.834	0.431	1.721	1.679	1.194	0.759	0.278
7	27	0.141	0.434	0.844	0.961	1.489	1.490	1.209	0.987	1.217	0.745	0.616	0.384
7	28	0.099	0.192	0.523	0.831	1.133	1.158	0.920	1.113	1.044	0.524	0.451	0.262
7	29	0.144	0.404	0.730	0.336	1.118	1.374	0.766	0.744	0.990	0.491	0.435	0.364
7	30	0.083	0.353	0.667	0.728	1.189	1.163	1.231	1.417	1.163	0.922	0.697	0.367
7	31	0.105	0.377	0.767	1.162	1.282	1.303	1.382	1.407	1.137	0.838	0.631	0.364
8	1	0.057	0.186	0.265	0.529	0.451	0.532	0.617	0.461	0.329	0.372	0.306	0.161
8	2	0.109	0.386	0.786	0.734	1.504	1.403	1.514	1.612	1.147	1.090	0.655	0.381
8	3	0.114	0.575	0.967	1.252	1.253	1.367	1.147	1.299	1.397	0.910	0.249	0.218
8	4	0.086	0.229	0.741	1.124	1.062	1.649	1.258	0.867	1.031	0.764	0.413	0.233
8	5	0.072	0.214	0.333	0.916	1.266	0.958	0.873	0.808	0.941	0.945	0.508	0.257
8	6	0.089	0.405	0.886	1.111	1.238	1.426	0.823	0.589	0.788	0.879	0.733	0.386
8	7	0.174	0.356	0.686	0.937	1.256	1.649	1.628	0.792	0.293	0.774	0.744	0.321
8	8	0.064	0.441	0.931	1.357	1.651	1.805	1.066	0.686	0.668	0.769	0.167	0.146
8	9	0.068	0.234	0.193	0.627	0.769	1.450	1.112	1.155	0.895	0.755	0.609	0.377
8	10	0.072	0.198	0.550	1.028	1.050	1.714	0.916	1.463	1.323	0.943	0.660	0.388
8	11	0.060	0.336	0.943	1.405	1.614	1.768	1.608	0.860	1.517	0.240	0.569	0.216
8	12	0.090	0.219	0.474	0.571	0.886	0.781	0.516	0.595	0.372	0.278	0.193	0.234
8	13	0.010	0.090	0.236	0.599	0.989	0.726	1.159	1.374	0.893	0.409	0.471	0.062
8	14	0.149	0.493	0.734	1.209	1.012	1.185	1.122	1.393	1.221	0.847	0.610	0.425
8	15	0.025	0.335	0.984	1.343	1.324	1.992	1.343	1.469	1.354	1.129	0.638	0.186
8	16	0.047	0.388	0.865	1.318	1.232	0.821	0.916	1.242	0.982	0.765	0.501	0.270
8	17	0.025	0.171	0.233	0.464	0.656	0.612	0.817	0.353	0.477	0.182	0.078	0.071
8	18	0.069	0.270	0.531	0.755	0.641	0.864	0.843	1.427	1.553	1.152	0.358	0.081

ที่มา: เสริม จันทรฉาย (2549)

ตารางที่ จ.2 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์กระจายรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
8	19	0.033	0.171	0.430	0.776	0.517	1.009	1.788	1.362	0.739	0.517	0.596	0.340
8	20	0.030	0.231	0.695	1.395	1.325	1.533	1.745	1.677	1.021	1.072	0.739	0.329
8	21	0.071	0.347	0.493	0.973	1.460	1.552	1.194	1.361	1.444	1.009	0.570	0.177
8	22	0.079	0.435	0.935	1.176	1.349	1.707	1.516	1.330	1.261	0.751	0.357	0.307
8	23	0.058	0.231	0.493	0.931	0.986	1.202	1.553	1.545	1.379	0.881	0.767	0.444
8	24	0.084	0.483	0.838	1.059	1.157	1.318	1.230	0.972	1.098	0.865	0.598	0.329
8	25	0.125	0.420	0.583	1.247	1.718	1.894	1.779	1.279	1.041	0.807	0.798	0.294
8	26	0.040	0.239	0.707	1.000	1.194	1.438	1.623	1.122	1.026	1.072	0.379	0.200
8	27	0.078	0.420	0.479	0.717	0.845	1.793	1.432	1.204	1.163	0.905	0.576	0.281
8	28	0.041	0.242	0.501	1.136	0.803	1.379	1.123	1.002	0.350	0.336	0.482	0.222
8	29	0.093	0.384	0.755	0.927	0.924	0.988	1.297	1.297	0.860	0.610	0.666	0.317
8	30	0.095	0.330	0.790	1.108	1.343	1.158	0.984	1.111	1.026	0.738	0.170	0.195
8	31	0.149	0.650	0.797	0.906	0.864	0.938	0.906	1.043	0.930	0.741	0.079	0.009
9	1	0.027	0.210	0.518	0.835	1.242	0.671	1.335	0.681	0.997	0.620	0.503	0.219
9	2	0.060	0.243	0.772	1.392	1.040	0.826	0.605	0.528	0.635	0.554	0.553	0.221
9	3	0.037	0.412	0.746	0.305	0.063	0.027	0.265	1.142	1.255	0.968	0.629	0.362
9	4	0.026	0.257	0.798	1.183	1.356	1.552	1.579	1.233	1.014	0.881	0.640	0.263
9	5	0.095	0.540	0.865	1.110	1.268	1.233	1.122	1.189	0.187	0.568	0.656	0.353
9	6	0.081	0.404	0.705	0.870	1.019	1.235	1.323	1.272	1.007	0.666	0.550	0.289
9	7	0.027	0.467	0.674	0.860	0.842	0.842	0.889	0.945	1.092	0.814	0.528	0.232
9	8	0.047	0.285	0.636	0.884	1.127	1.691	1.307	1.173	1.138	0.643	0.343	0.182
9	9	0.104	0.317	0.570	0.687	1.428	1.458	1.300	1.403	0.933	0.723	0.531	0.347
9	10	0.041	0.226	0.293	0.353	0.813	1.473	1.894	1.367	1.101	0.869	0.583	0.190
9	11	0.031	0.231	0.612	0.990	1.014	1.455	1.853	1.685	0.920	0.599	0.376	0.254
9	12	0.009	0.083	0.250	0.688	0.720	1.531	1.219	1.023	0.724	0.693	0.404	0.283
9	13	0.048	0.378	0.710	0.681	1.079	1.555	1.387	1.145	1.134	1.028	0.596	0.242
9	14	0.062	0.170	0.510	0.984	1.395	1.017	0.898	1.479	1.226	0.883	0.434	0.128
9	15	0.020	0.188	0.341	0.434	1.065	0.838	1.401	0.559	0.880	0.653	0.474	0.112
9	16	0.067	0.305	0.724	0.886	1.292	1.429	1.127	1.247	1.194	0.677	0.625	0.243
9	17	0.033	0.207	0.415	0.743	0.681	1.070	0.860	0.410	0.366	0.244	0.196	0.145
9	18	0.061	0.400	0.511	1.107	1.359	1.111	0.775	1.074	0.678	0.529	0.480	0.210
9	19	0.014	0.152	0.338	0.423	0.860	1.262	1.662	1.586	1.481	0.767	0.360	0.237
9	20	0.029	0.218	0.885	1.273	1.190	1.250	1.669	1.281	0.862	0.953	0.394	0.092
9	21	0.031	0.181	0.511	0.480	0.615	1.153	1.820	1.041	1.079	0.878	0.393	0.086
9	22	0.060	0.340	0.783	1.009	0.621	0.548	0.562	0.430	0.627	0.812	0.552	0.278
9	23	0.077	0.368	0.621	0.911	0.891	0.838	0.845	0.668	0.574	0.413	0.493	0.100
9	24	0.036	0.351	0.704	1.256	1.206	1.065	0.865	0.641	0.860	0.514	0.330	0.140
9	25	0.064	0.224	0.712	1.045	0.723	0.593	0.574	0.522	0.358	0.324	0.319	0.141
9	26	0.071	0.457	0.606	0.930	1.112	0.979	0.693	0.854	0.734	0.564	0.386	0.212
9	27	0.078	0.338	0.770	1.004	1.124	1.397	1.460	1.333	1.060	0.821	0.542	0.138
9	28	0.016	0.136	0.269	0.388	0.450	0.507	0.641	0.420	0.501	0.418	0.214	0.069
9	29	0.026	0.236	0.652	0.748	1.071	1.328	1.428	1.090	0.942	0.564	0.196	0.118
9	30	0.031	0.275	0.486	0.653	0.845	0.781	1.255	1.408	1.507	0.834	0.462	0.126
10	1	0.071	0.384	0.743	1.107	1.615	1.241	0.894	0.456	0.687	0.377	0.239	0.092
10	2	0.074	0.265	0.253	0.559	0.435	0.658	0.785	0.677	0.286	0.315	0.238	0.143
10	3	0.063	0.267	0.703	0.790	0.801	0.650	0.717	0.831	0.640	0.196	0.243	0.170

ที่มา: เสริม จันทรฉาย (2549)

ตารางที่ จ.2 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์กระจายรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
10	4	0.073	0.331	0.621	1.015	1.398	1.531	1.328	0.862	0.523	0.360	0.291	0.136
10	5	0.077	0.398	0.656	0.620	0.960	0.997	0.925	0.935	0.661	0.573	0.397	0.254
10	6	0.069	0.381	0.730	0.793	0.854	1.023	0.990	1.036	0.862	0.772	0.488	0.167
10	7	0.069	0.364	0.641	0.817	0.837	0.785	1.055	0.852	0.498	0.950	0.586	0.182
10	8	0.047	0.233	0.475	1.065	0.886	0.921	1.499	1.046	0.612	0.575	0.420	0.128
10	9	0.051	0.155	0.368	0.589	0.409	0.786	1.440	1.464	1.308	0.865	0.443	0.118
10	10	0.071	0.374	0.843	1.034	0.800	0.850	0.894	0.964	0.878	0.648	0.428	0.129
10	11	0.087	0.296	0.441	0.511	0.553	0.643	0.937	0.931	0.883	0.678	0.389	0.169
10	12	0.058	0.249	0.398	0.441	0.493	0.539	0.780	0.966	0.890	0.492	0.330	0.102
10	13	0.042	0.248	0.441	0.790	1.621	1.776	1.522	1.143	0.811	0.501	0.378	0.063
10	14	0.063	0.269	0.774	0.822	0.745	1.132	1.263	1.159	1.081	0.770	0.538	0.141
10	15	0.133	0.524	0.805	1.136	1.267	1.320	1.251	1.000	0.880	0.661	0.456	0.097
10	16	0.066	0.343	0.622	0.764	1.025	1.055	0.852	1.040	0.869	0.693	0.384	0.130
10	17	0.060	0.363	0.643	0.755	0.952	1.005	0.915	0.810	0.692	0.512	0.337	0.105
10	18	0.056	0.307	0.501	0.620	0.679	0.824	0.912	1.179	0.916	0.687	0.492	0.104
10	19	0.057	0.333	0.590	0.762	1.365	1.091	1.144	0.976	1.055	0.690	0.459	0.171
10	20	0.036	0.378	0.744	1.193	1.081	1.326	1.488	1.183	1.065	0.668	0.404	0.104
10	21	0.029	0.202	0.690	0.855	0.943	1.012	1.176	1.036	0.933	0.671	0.387	0.104
10	22	0.047	0.367	0.766	0.957	0.927	1.019	0.997	1.025	0.876	0.730	0.362	0.078
10	23	0.031	0.392	0.687	0.859	0.901	1.026	1.045	0.976	0.795	0.733	0.311	0.051
10	24	0.035	0.335	0.612	0.916	1.251	1.648	1.250	0.383	0.945	0.692	0.443	0.084
10	25	0.024	0.221	0.459	0.994	1.127	1.395	1.209	1.121	0.964	0.573	0.456	0.112
10	26	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	27	0.040	0.321	0.708	1.159	1.127	1.153	1.211	0.899	0.832	0.517	0.309	0.067
10	28	0.040	0.376	0.766	0.802	0.900	0.940	0.787	0.683	0.657	0.505	0.395	0.077
10	29	0.041	0.311	0.632	0.906	0.781	0.829	0.707	0.607	0.782	0.480	0.413	0.048
10	30	0.012	0.124	0.174	0.305	0.338	1.515	1.189	1.179	0.307	0.777	0.435	0.017
10	31	0.010	0.073	0.331	0.770	1.303	0.672	0.994	0.692	0.420	0.557	0.320	0.007
11	1	0.022	0.195	0.417	0.620	0.811	1.014	1.380	1.190	1.134	0.721	0.315	0.104
11	2	0.022	0.253	0.554	0.621	0.446	0.413	0.460	0.423	0.347	0.510	0.373	0.086
11	3	0.037	0.274	0.588	0.581	0.718	1.004	1.090	1.148	0.870	0.674	0.301	0.089
11	4	0.037	0.268	0.507	1.069	1.345	1.343	1.263	1.136	0.907	0.671	0.379	0.100
11	5	0.025	0.299	0.414	0.653	0.987	1.154	1.286	1.090	0.986	0.652	0.248	0.029
11	6	0.016	0.229	0.655	0.904	1.021	1.030	0.668	0.502	0.451	0.315	0.201	0.055
11	7	0.032	0.275	0.336	0.477	0.352	0.457	0.510	0.368	0.358	0.407	0.357	0.102
11	8	0.010	0.295	0.658	0.690	1.224	1.150	0.728	0.569	0.651	0.363	0.232	0.099
11	9	0.042	0.285	0.087	0.911	1.233	1.221	0.850	0.413	0.366	0.550	0.368	0.014
11	10	0.016	0.177	0.431	0.945	1.026	1.525	0.898	0.968	0.415	0.699	0.355	0.052
11	11	0.015	0.224	0.456	0.470	0.580	0.534	0.563	0.451	0.428	0.455	0.164	0.033
11	12	0.020	0.278	0.263	0.245	0.319	0.212	0.211	0.198	0.179	0.155	0.150	0.041
11	13	0.009	0.174	0.384	0.247	0.250	0.267	0.309	0.306	0.233	0.188	0.157	0.046
11	14	0.016	0.211	0.448	0.562	0.355	0.283	0.274	0.315	0.222	0.203	0.157	0.045
11	15	0.017	0.285	0.510	0.343	0.249	0.267	0.319	0.267	0.228	0.195	0.152	0.041
11	16	0.015	0.257	0.631	0.801	0.796	0.529	1.038	0.638	0.493	0.389	0.294	0.074
11	17	0.014	0.211	0.643	0.765	0.775	0.743	0.666	0.625	0.743	0.404	0.300	0.083
11	18	0.005	0.123	0.431	1.043	0.960	0.855	1.328	1.112	0.912	0.721	0.399	0.098

ที่มา: เสริม จันทรฉาย (2549)

ตารางที่ จ.2 (ต่อ) ค่ารังสีอาทิตย์กระจายรายชั่วโมง จ.เชียงใหม่ 2548 (MJ/m²hr)

เดือน	วัน	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
11	19	0.015	0.250	0.456	0.924	1.060	0.869	0.604	0.617	0.483	0.352	0.234	0.069
11	20	0.012	0.175	0.379	0.736	0.951	0.765	0.630	0.633	0.492	0.361	0.352	0.090
11	21	0.006	0.068	0.340	0.481	0.614	0.848	0.705	0.971	0.968	0.400	0.275	0.082
11	22	0.014	0.250	0.528	0.842	0.837	0.853	0.875	0.827	0.770	0.638	0.350	0.088
11	23	0.010	0.141	0.279	0.350	0.387	0.470	0.614	0.507	0.454	0.341	0.226	0.061
11	24	0.012	0.221	0.372	0.402	0.436	0.495	0.573	0.594	0.495	0.386	0.233	0.060
11	25	0.006	0.165	0.377	0.568	0.642	0.594	0.605	0.621	0.614	0.376	0.218	0.066
11	26	0.010	0.183	0.327	0.390	0.398	0.404	0.407	0.405	0.395	0.325	0.271	0.086
11	27	0.007	0.186	0.331	0.423	0.500	0.475	0.452	0.583	0.759	0.421	0.221	0.056
11	28	0.009	0.157	0.288	0.358	0.390	0.410	0.479	0.668	0.615	0.342	0.203	0.053
11	29	0.007	0.162	0.284	0.332	0.364	0.381	0.502	0.702	0.498	0.364	0.207	0.052
11	30	0.007	0.176	0.295	0.408	0.431	0.441	0.662	0.714	0.699	0.351	0.214	0.058
12	1	0.006	0.140	0.259	0.321	0.335	0.389	0.593	0.559	0.524	0.311	0.186	0.047
12	2	0.006	0.149	0.269	0.357	0.399	0.409	0.366	0.317	0.312	0.291	0.210	0.050
12	3	0.006	0.222	0.392	0.445	0.450	0.523	0.576	0.501	0.368	0.330	0.236	0.061
12	4	0.006	0.138	0.299	0.392	0.439	0.471	0.477	0.438	0.350	0.294	0.223	0.067
12	5	0.009	0.174	0.503	0.816	0.810	0.879	0.796	0.765	0.790	0.461	0.316	0.033
12	6	0.001	0.064	0.223	0.483	0.219	0.802	1.343	0.881	0.869	0.765	0.390	0.029
12	7	0.000	0.030	0.104	0.133	0.139	0.123	0.202	0.573	0.658	0.717	0.300	0.041
12	8	0.002	0.104	0.329	0.511	0.677	1.015	0.981	0.746	0.702	0.404	0.193	0.046
12	9	0.004	0.129	0.441	0.819	0.526	0.854	0.979	1.020	0.889	0.700	0.367	0.074
12	10	0.002	0.119	0.378	0.616	0.698	1.137	0.984	0.800	0.455	0.374	0.263	0.060
12	11	0.005	0.156	0.426	0.448	0.433	0.528	0.545	0.543	0.461	0.456	0.320	0.051
12	12	0.001	0.120	0.322	0.305	0.353	0.617	0.818	0.884	0.283	0.522	0.240	0.058
12	13	0.002	0.134	0.461	0.807	0.971	1.026	1.247	0.792	0.868	0.330	0.232	0.069
12	14	0.002	0.222	0.571	0.788	0.583	0.801	0.845	0.599	0.630	0.593	0.333	0.077
12	15	0.001	0.152	0.248	0.338	0.410	0.358	0.331	0.345	0.366	0.258	0.190	0.057
12	16	0.004	0.252	0.404	0.343	0.336	0.522	0.905	0.429	0.497	0.343	0.227	0.072
12	17	0.001	0.136	0.350	0.486	0.523	0.570	0.868	0.729	0.720	0.664	0.319	0.046
12	18	0.001	0.143	0.299	0.514	0.565	0.573	0.604	0.756	0.880	0.500	0.351	0.067
12	19	0.000	0.134	0.373	0.511	0.610	0.664	0.703	0.832	0.802	0.615	0.405	0.103
12	20	0.000	0.128	0.381	0.538	0.599	0.620	0.604	0.544	0.486	0.423	0.299	0.092
12	21	0.001	0.120	0.465	0.726	1.085	1.100	1.245	1.031	0.617	0.412	0.177	0.032
12	22	0.000	0.057	0.336	0.668	1.216	1.251	1.455	1.423	1.155	0.735	0.329	0.064
12	23	0.001	0.203	0.317	0.731	1.066	1.376	1.252	0.909	0.690	0.602	0.325	0.082
12	24	0.000	0.144	0.480	0.728	0.868	1.081	1.361	1.248	0.982	0.564	0.250	0.102
12	25	0.001	0.058	0.268	0.724	0.490	0.579	0.931	0.907	1.077	0.521	0.294	0.060
12	26	0.000	0.016	0.212	0.094	0.364	1.143	1.103	0.495	0.319	0.299	0.205	0.055
12	27	0.000	0.123	0.341	0.364	0.397	0.568	0.495	0.367	0.405	0.470	0.284	0.076
12	28	0.000	0.076	0.179	0.219	0.240	0.244	0.250	0.264	0.253	0.214	0.162	0.062
12	29	0.000	0.115	0.298	0.291	0.305	0.394	0.374	0.483	0.393	0.332	0.221	0.076
12	30	0.000	0.099	0.245	0.307	0.325	0.327	0.384	0.366	0.331	0.252	0.185	0.074
12	31	0.000	0.114	0.271	0.338	0.299	0.268	0.252	0.242	0.227	0.208	0.176	0.074

ที่มา: เสริม จันทรฉาย (2549)

ภาคผนวก จ

ข้อมูลอุณหภูมิกากาศ จังหวัดเชียงใหม่ ปี 2548

ตารางที่ ค.1 อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
1	1	15.9	15.4	15.0	14.7	14.4	13.6	13.6	14.6	17.6	21.4	22.3	24.7	26.7	28.1	28.9	29.6	28.3	23.7	22.4	20.9	19.3	18.6	17.5	16.9
1	2	16.9	15.7	15.2	14.4	14.7	14.1	13.8	14.9	18.7	21.5	23.9	26.0	27.0	28.6	30.1	29.5	28.6	23.8	21.8	20.7	20.2	18.8	18.8	17.4
1	3	16.5	16.1	15.4	14.9	14.8	14.4	13.9	14.6	18.0	21.3	24.2	25.3	27.2	28.3	28.9	28.9	28.4	24.8	22.4	22.0	20.0	19.0	18.2	18.2
1	4	16.8	16.2	16.0	15.9	14.7	14.8	14.4	15.6	19.0	21.9	24.5	26.5	27.0	29.1	29.3	29.6	28.8	24.6	23.1	21.6	20.4	20.3	18.6	18.4
1	5	16.7	16.4	15.9	15.3	15.3	15.4	15.2	15.7	19.1	21.8	24.0	25.9	27.3	30.2	29.9	30.4	29.1	24.9	22.9	21.9	21.1	20.3	20.1	18.4
1	6	18.3	16.9	16.5	15.6	15.6	15.0	15.0	16.1	18.7	21.3	25.0	26.9	27.4	28.9	29.7	29.8	29.2	24.8	22.5	20.7	20.3	19.2	18.4	17.4
1	7	16.6	16.1	15.9	15.6	14.6	14.4	14.5	15.5	18.1	20.7	23.5	25.8	27.1	28.9	29.2	29.4	29.4	25.1	22.4	20.8	20.4	19.7	19.1	17.5
1	8	16.8	16.3	15.8	15.4	15.6	14.7	14.4	15.5	18.5	21.3	24.2	26.4	28.1	29.8	29.3	31.1	30.3	25.0	23.0	21.7	20.9	19.5	18.9	18.0
1	9	17.0	16.4	16.1	16.2	15.8	15.2	15.3	16.5	18.7	19.8	21.6	24.9	26.8	27.9	28.0	28.2	28.2	24.7	22.9	21.5	20.4	20.4	19.3	19.2
1	10	18.3	18.0	16.8	16.9	16.0	15.8	15.6	16.9	19.8	21.3	24.6	26.0	28.1	30.5	29.8	29.4	29.2	24.4	23.1	22.4	21.0	20.1	19.2	19.0
1	11	18.1	17.4	16.8	16.7	16.2	16.4	15.3	16.8	19.1	20.8	23.3	26.7	28.5	30.1	29.6	29.9	29.8	26.2	24.2	22.8	22.5	22.1	21.6	21.1
1	12	20.9	19.7	19.7	19.1	18.3	17.6	17.9	18.8	20.8	21.7	25.5	26.8	28.5	29.1	28.4	27.8	25.1	24.0	23.0	20.4	20.4	19.8	19.6	19.0
1	13	18.9	18.4	18.3	17.9	17.8	17.7	17.2	17.5	18.1	21.2	23.6	24.8	26.4	28.2	28.5	28.4	28.3	26.0	23.1	22.3	21.5	22.4	22.7	21.3
1	14	20.3	19.6	18.6	17.9	18.0	17.7	17.6	18.5	20.6	22.7	24.6	25.9	26.9	28.2	29.0	29.5	29.7	27.7	23.8	21.4	21.9	21.3	21.2	19.9
1	15	19.0	18.9	18.6	17.2	16.7	16.2	15.6	17.7	19.8	22.9	24.5	26.8	28.6	29.8	29.6	29.9	29.7	26.0	23.0	22.2	21.3	20.8	19.4	18.3
1	16	17.5	16.5	16.5	15.6	15.0	14.6	14.7	15.2	18.0	21.4	24.4	26.0	28.1	28.7	29.7	29.7	29.6	25.0	22.7	22.5	21.1	19.0	17.4	17.6
1	17	16.8	15.3	14.3	13.7	13.3	13.4	13.8	14.5	16.9	20.5	22.8	24.6	26.5	28.7	28.9	29.2	29.2	25.7	22.8	22.0	21.3	20.6	18.9	18.0
1	18	17.6	16.9	16.6	16.1	15.7	14.7	14.3	16.4	18.8	21.4	23.6	26.3	27.3	28.7	29.2	29.6	29.3	24.9	23.1	20.5	19.4	18.9	17.1	18.0
1	19	17.2	15.5	14.7	13.0	13.0	12.6	12.1	13.6	17.9	20.4	23.9	26.0	28.5	29.3	30.5	30.3	30.5	25.0	22.6	20.9	19.7	17.9	16.7	16.4
1	20	16.0	15.4	14.0	13.3	13.2	12.4	12.1	14.1	17.0	22.0	22.7	25.2	27.7	28.6	30.1	30.2	29.8	24.6	22.3	20.4	18.9	17.6	15.8	16.5
1	21	15.4	14.2	13.3	12.6	12.4	12.1	11.6	13.0	17.0	21.0	21.8	25.4	26.9	28.5	29.7	29.1	28.8	26.4	23.3	21.0	21.1	20.6	19.5	18.4
1	22	17.3	16.5	15.9	15.9	15.6	15.3	15.8	16.6	18.1	20.4	23.3	26.1	26.9	28.4	29.4	29.5	29.8	27.0	24.6	22.8	21.9	19.7	19.4	18.5
1	23	16.9	17.5	16.2	15.3	14.6	14.7	14.0	14.4	20.1	22.5	24.5	26.1	27.4	28.6	29.6	29.8	29.2	26.4	23.0	22.5	20.5	18.0	17.8	18.4
1	24	17.8	16.5	16.6	16.5	15.7	15.2	15.0	15.9	18.9	21.6	24.4	26.1	27.4	27.9	28.7	29.0	28.1	27.4	26.5	25.3	23.0	24.1	24.1	23.4

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ ฉ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
1	25	23.2	22.7	21.8	21.5	21.4	20.7	20.4	19.7	20.9	21.8	23.5	24.6	25.3	27.1	27.6	27.2	27.0	26.0	24.2	24.0	23.1	22.4	21.1	20.4
1	26	21.0	19.7	20.4	20.9	19.0	17.4	17.6	18.7	20.4	22.1	24.2	25.0	26.5	26.9	27.5	28.4	28.4	27.2	23.6	22.6	21.4	20.9	21.1	20.5
1	27	19.3	18.3	17.6	17.3	16.3	15.3	15.3	16.8	19.6	21.8	24.0	26.8	27.8	28.6	29.7	30.1	29.7	26.5	26.2	25.3	25.0	23.7	22.0	21.2
1	28	21.2	19.8	20.0	20.7	20.1	19.5	19.5	20.4	20.7	21.7	25.3	27.7	28.5	29.9	30.4	30.0	29.0	28.9	26.9	25.6	24.3	23.2	21.1	20.5
1	29	19.8	18.8	17.6	17.0	16.6	16.8	16.2	17.8	20.9	23.3	26.5	29.4	29.1	30.6	30.9	30.6	30.3	26.7	23.8	22.9	21.4	20.7	18.4	18.3
1	30	17.5	17.2	17.1	15.7	14.9	14.0	14.5	15.6	20.1	22.9	25.2	27.6	29.1	30.1	31.1	31.1	31.2	28.9	25.4	24.1	23.7	22.8	20.8	19.6
1	31	19.3	18.3	17.1	16.6	15.7	14.7	14.3	16.0	19.4	22.5	25.8	28.8	29.8	31.9	32.3	32.7	32.3	29.6	26.2	24.4	23.3	21.0	19.2	19.9
2	1	19.5	17.4	17.3	16.0	16.6	15.8	14.3	17.8	21.4	24.4	28.2	29.7	30.9	31.9	32.3	33.1	32.3	28.7	26.0	24.3	22.6	21.1	19.9	19.1
2	2	19.3	17.0	16.5	15.8	16.5	15.5	15.8	17.1	20.3	22.7	26.2	27.3	29.6	31.1	31.7	32.5	32.7	30.5	26.3	25.4	24.5	22.6	21.7	20.8
2	3	20.1	19.5	18.0	18.3	16.8	16.3	16.0	18.8	21.3	23.3	26.9	29.5	30.9	32.4	32.8	32.5	32.1	30.9	30.1	27.4	25.5	25.8	25.2	24.6
2	4	24.9	23.7	22.6	22.2	21.8	21.6	21.2	23.8	25.8	28.3	29.6	31.3	33.0	33.8	35.0	35.2	34.4	32.2	30.2	27.5	27.6	26.1	22.7	21.3
2	5	20.9	20.2	18.4	17.4	16.9	16.0	15.4	17.4	22.2	23.5	26.4	28.2	30.4	32.2	32.5	33.5	33.4	30.5	27.2	25.7	24.1	23.6	24.7	21.8
2	6	21.0	19.9	19.6	19.9	19.6	19.8	18.8	23.5	24.5	26.6	28.0	29.6	31.1	32.1	32.7	33.0	30.7	30.1	28.1	26.9	25.6	24.5	23.6	23.1
2	7	22.5	21.7	21.1	20.5	20.3	20.3	20.8	20.3	23.2	24.2	25.9	26.7	27.9	29.6	30.2	30.3	30.2	28.2	26.3	24.9	23.5	22.6	21.6	21.1
2	8	21.1	21.0	21.3	20.9	21.0	20.9	20.9	21.3	22.4	24.3	24.3	27.1	26.4	27.6	29.2	29.0	28.7	27.8	27.4	26.2	25.8	25.0	22.9	22.5
2	9	22.2	21.9	21.5	21.4	19.9	19.8	20.4	20.4	20.7	21.3	22.7	25.1	25.8	26.1	26.9	27.3	27.9	26.5	25.2	23.2	22.3	21.1	20.1	19.8
2	10	19.3	18.3	17.8	17.6	18.3	18.2	18.6	19.9	21.4	23.4	24.3	25.6	25.8	27.5	27.7	28.8	28.2	27.2	24.1	22.7	21.7	20.9	20.3	19.8
2	11	19.5	18.7	18.2	18.0	17.2	16.7	16.5	17.7	20.9	23.3	25.9	26.8	28.1	29.4	30.2	30.0	29.7	29.0	25.4	23.8	22.7	22.3	20.9	20.4
2	12	20.1	18.7	18.4	18.2	17.4	16.9	16.5	17.7	21.4	23.8	27.3	29.4	29.7	31.3	31.3	31.3	31.5	31.0	26.4	23.9	22.9	22.7	22.3	20.1
2	13	21.0	19.5	19.3	18.9	18.5	18.0	17.1	18.1	22.3	24.5	25.7	27.2	29.0	28.6	28.5	28.8	28.3	27.3	26.1	24.9	24.2	23.8	22.2	20.2
2	14	20.2	19.0	18.6	18.9	18.5	17.1	16.9	17.6	20.2	23.0	25.5	26.3	26.9	27.4	28.4	28.6	28.1	27.0	25.6	23.0	21.5	23.0	21.2	20.4
2	15	19.8	18.9	19.0	19.2	17.6	17.8	17.7	18.3	20.4	22.5	25.0	27.1	28.5	29.5	30.5	30.7	29.4	28.2	26.6	25.6	24.5	23.6	22.6	20.9
2	16	21.1	19.6	19.0	18.8	17.0	16.9	16.8	17.6	20.6	23.3	25.3	27.9	28.7	30.4	30.8	31.0	31.1	29.4	26.8	24.6	23.2	23.4	22.7	21.8
2	17	20.9	20.5	20.3	19.7	18.8	18.4	18.4	17.7	20.3	23.0	25.8	28.1	29.3	30.8	31.2	31.3	31.2	28.5	25.0	24.1	23.7	23.3	21.8	21.5

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
2	18	20.3	19.6	18.5	18.1	17.3	17.1	16.5	17.2	20.3	22.3	25.6	27.8	29.5	30.3	31.5	31.7	31.0	29.3	25.8	24.1	23.5	23.6	23.4	22.3
2	19	22.1	21.8	21.1	19.0	18.4	17.7	17.4	18.4	20.6	23.5	26.6	28.8	29.6	31.0	31.4	31.7	31.4	28.9	28.7	26.8	24.6	23.6	21.5	20.6
2	20	19.9	18.5	18.9	18.8	17.1	15.8	16.0	18.0	21.5	23.4	25.5	28.1	30.1	31.2	31.7	31.6	31.0	29.2	26.2	24.5	28.6	24.4	24.5	23.0
2	21	21.7	22.0	21.2	19.8	18.6	17.7	17.6	18.5	21.8	24.4	27.5	29.0	30.4	31.6	31.6	32.4	32.1	30.8	26.6	24.5	25.0	23.9	22.0	21.2
2	22	20.4	20.5	20.3	18.8	17.8	17.1	16.8	19.3	22.6	25.2	26.4	28.7	29.9	31.7	32.1	33.1	32.4	31.6	27.5	25.0	24.0	22.9	21.9	20.3
2	23	18.7	20.2	18.7	17.9	17.3	16.7	16.8	19.3	22.4	25.8	28.8	29.4	31.1	32.8	33.9	34.0	33.6	32.3	30.4	29.3	26.7	25.9	24.0	21.9
2	24	21.7	20.0	18.8	18.8	19.2	17.1	16.3	18.8	22.6	24.5	27.2	29.8	30.4	31.3	32.0	32.5	32.9	31.4	26.6	23.7	24.2	23.5	20.8	19.6
2	25	19.4	17.9	18.0	16.8	16.8	15.8	14.7	16.9	20.8	22.9	26.4	27.9	29.4	32.1	33.6	33.4	32.1	30.6	25.3	24.0	23.2	22.1	20.3	19.3
2	26	18.9	17.9	18.4	18.0	16.4	16.0	15.8	16.6	19.9	22.6	25.2	28.8	30.1	31.4	32.5	32.8	32.5	31.0	26.8	25.2	26.4	26.5	21.4	20.7
2	27	20.0	18.7	17.4	16.6	15.9	15.8	15.0	16.5	18.6	23.0	25.1	27.5	29.9	32.3	32.7	32.8	32.2	29.8	26.3	24.1	24.5	25.4	22.2	20.8
2	28	21.2	20.0	19.1	18.2	17.5	17.0	16.8	18.4	22.0	24.6	26.7	28.6	29.9	31.6	32.7	33.1	32.8	31.3	27.1	25.1	24.2	23.7	22.7	20.4
3	1	20.2	18.2	18.0	17.6	16.8	16.6	16.4	18.5	22.8	24.5	26.6	28.8	31.2	32.4	33.4	33.4	33.4	32.4	28.4	25.0	25.0	23.7	22.0	19.9
3	2	19.7	19.8	18.1	17.4	17.1	17.1	16.0	18.6	22.7	25.1	28.2	30.4	31.6	33.0	33.7	33.5	33.6	33.2	28.4	25.3	23.9	23.6	22.2	20.7
3	3	21.1	20.8	19.5	19.6	18.2	17.3	17.4	20.0	23.1	26.5	28.0	30.4	31.9	33.8	35.2	34.9	34.5	32.8	28.4	25.8	24.9	23.2	23.5	21.8
3	4	20.9	20.1	19.6	19.8	18.8	17.8	18.4	21.1	23.7	26.7	30.4	32.1	33.0	34.5	35.9	36.3	35.8	34.3	29.0	28.8	27.1	27.7	25.0	22.8
3	5	23.4	21.4	20.2	18.6	17.4	17.2	16.4	19.2	22.7	25.2	29.4	30.5	32.1	33.3	34.4	34.9	35.3	33.5	27.8	27.8	26.9	26.0	24.6	21.3
3	6	20.5	19.0	19.0	17.5	16.7	16.4	15.4	18.7	22.5	24.9	28.6	30.2	31.7	33.0	33.5	34.1	33.4	33.0	29.3	27.9	26.7	28.3	27.8	27.6
3	7	24.7	23.2	22.9	22.7	22.4	22.0	21.8	23.4	25.1	27.7	29.2	30.7	31.4	32.1	32.4	32.2	32.0	30.7	29.6	28.4	28.5	27.7	27.3	27.6
3	8	26.9	26.3	26.1	25.9	25.5	25.1	24.5	24.6	25.0	25.1	25.9	28.7	29.7	30.3	30.2	31.0	30.6	30.0	28.4	26.7	25.7	25.8	25.4	25.4
3	9	24.8	23.2	22.7	21.9	21.5	21.0	21.2	23.2	25.9	26.5	28.0	28.8	29.3	31.8	32.7	32.1	31.9	30.5	27.7	26.5	25.2	23.9	22.7	21.7
3	10	21.5	20.1	19.8	19.5	18.4	18.5	17.5	19.4	22.4	25.0	27.6	29.4	31.9	32.4	34.0	34.1	34.2	32.5	28.4	27.4	27.0	26.2	23.7	23.6
3	11	21.9	21.2	21.8	20.8	21.8	20.6	19.6	21.2	24.7	27.0	28.3	33.2	34.7	35.4	35.8	36.8	36.4	35.0	31.0	33.0	30.5	29.3	28.0	26.0
3	12	24.9	24.5	23.5	23.0	23.7	22.1	21.5	23.0	28.0	29.1	31.4	32.6	34.1	35.4	36.2	36.0	35.5	33.5	31.1	29.4	29.3	26.5	26.7	25.5
3	13	24.8	24.5	24.6	23.2	21.9	21.9	22.0	23.0	26.9	28.9	31.3	33.0	34.9	36.1	36.7	37.0	37.2	35.7	32.2	30.6	29.8	28.7	28.3	26.7

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
3	14	25.9	25.4	23.6	23.8	22.9	22.9	21.7	24.2	26.1	28.6	31.5	33.2	35.2	36.6	37.4	37.8	37.5	36.1	31.7	30.4	29.3	28.0	27.6	26.1
3	15	25.4	25.2	25.6	25.0	23.0	23.7	23.7	25.0	27.4	29.7	32.4	34.0	35.0	36.4	37.1	37.4	34.2	32.7	31.6	30.7	30.1	29.5	28.0	26.9
3	16	26.0	25.1	24.8	24.1	23.8	23.7	23.5	25.8	27.7	30.3	30.9	31.9	32.7	34.7	35.3	35.6	35.4	34.4	32.7	30.8	28.8	28.8	27.3	28.0
3	17	26.4	25.2	24.5	23.0	23.0	23.5	22.8	25.3	28.0	30.0	31.1	32.9	33.9	35.8	36.4	35.8	35.6	34.5	31.6	29.3	29.4	28.0	26.4	25.5
3	18	24.6	22.0	21.4	22.3	20.4	19.6	20.0	21.4	24.0	26.3	29.2	30.7	32.6	34.6	36.1	35.9	35.2	33.5	30.5	28.4	30.2	29.9	27.9	26.1
3	19	25.8	23.9	24.1	22.9	21.8	21.6	21.1	22.7	25.8	29.0	31.4	32.7	34.0	35.4	36.0	36.5	36.1	34.6	31.6	32.4	31.6	29.8	28.0	26.8
3	20	27.8	24.8	24.9	23.8	22.5	20.5	20.7	24.5	28.3	30.5	32.1	33.7	34.4	36.2	37.1	36.8	36.2	34.1	32.3	32.2	30.5	30.0	27.7	26.7
3	21	25.3	24.6	24.1	23.8	22.7	21.9	22.2	24.8	27.9	29.0	31.5	33.2	34.3	36.0	36.5	36.7	36.6	34.8	32.9	32.2	33.1	32.1	30.7	27.7
3	22	26.5	23.5	22.7	22.7	23.2	23.9	22.7	24.3	26.4	28.7	32.0	33.0	34.9	35.6	36.3	36.7	36.5	34.3	31.5	29.1	30.7	29.4	28.4	28.3
3	23	25.5	22.6	22.2	22.1	22.7	22.4	20.9	23.2	27.1	30.0	31.5	33.2	34.5	36.0	37.1	37.6	36.9	34.5	32.2	33.4	32.7	28.8	28.1	26.4
3	24	24.3	24.1	23.5	23.5	22.4	21.7	21.8	24.6	27.0	28.3	31.4	32.2	34.1	34.9	36.2	36.4	36.3	34.6	31.2	30.3	30.9	30.4	27.4	25.8
3	25	24.7	24.3	23.6	23.0	22.0	21.7	20.9	24.7	26.6	28.4	31.7	32.5	34.1	35.3	36.6	36.6	36.8	34.8	32.1	30.0	31.0	28.9	30.2	28.6
3	26	27.2	25.2	24.2	23.9	23.4	22.6	23.7	24.6	26.5	29.1	31.0	32.9	33.8	35.2	36.7	36.5	36.3	35.1	31.1	29.9	30.3	28.4	29.6	30.1
3	27	30.1	27.0	25.9	25.6	23.6	23.0	22.5	24.7	27.2	28.9	31.6	33.8	35.4	37.2	37.2	37.3	36.9	35.8	31.5	29.7	32.2	29.3	27.4	25.9
3	28	25.6	25.0	24.5	23.9	22.9	21.6	22.0	24.3	27.4	29.4	31.5	33.4	35.8	38.5	39.1	39.0	38.3	36.3	32.3	30.0	31.4	29.9	27.8	27.1
3	29	24.5	23.8	24.0	23.8	23.0	21.3	21.6	25.3	27.5	30.1	31.9	34.1	35.3	36.1	37.1	37.4	36.9	35.4	32.0	29.9	29.3	28.7	29.3	28.4
3	30	26.7	25.9	24.5	24.6	23.3	22.5	21.8	25.2	27.5	30.1	33.0	33.6	35.6	36.7	38.5	39.1	38.2	36.3	32.3	31.9	32.1	31.4	28.4	27.0
3	31	25.3	25.0	24.2	22.8	22.5	22.4	21.3	24.9	28.0	29.8	31.8	33.5	35.2	37.2	37.5	38.5	38.3	36.6	31.2	33.0	30.8	30.9	29.7	30.8
4	1	29.9	28.8	27.4	25.3	24.6	24.2	22.9	25.4	28.8	30.6	33.0	33.2	34.8	31.4	28.7	30.4	27.0	27.7	28.0	26.8	27.2	27.0	25.0	24.6
4	2	23.8	25.2	24.4	23.6	22.2	21.9	21.5	24.3	25.2	27.0	30.2	31.7	32.6	34.0	34.5	35.5	34.9	34.1	32.1	30.9	30.5	29.6	28.2	26.7
4	3	26.5	26.4	25.7	25.3	23.7	23.2	23.1	25.9	28.5	31.9	32.3	34.1	35.4	37.1	35.6	35.7	35.6	34.2	31.2	28.3	29.5	27.7	27.4	27.3
4	4	26.1	25.4	24.8	24.2	24.2	25.1	25.6	26.9	27.8	28.8	30.6	31.1	31.9	33.6	32.6	33.0	32.8	31.5	31.1	26.6	25.1	25.3	25.0	24.5
4	5	24.0	23.8	23.4	23.0	22.6	21.9	22.2	25.3	26.9	27.7	30.1	30.7	32.2	32.5	32.5	29.0	30.8	29.4	27.7	27.3	26.3	25.0	25.0	24.4
4	6	24.3	23.1	23.1	22.9	23.1	22.5	22.1	24.5	27.3	29.5	30.9	32.6	33.8	34.9	36.1	36.0	36.0	31.5	30.4	29.2	27.2	26.9	26.3	25.5

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
4	7	25.5	24.3	24.6	24.5	24.0	23.0	22.7	25.7	28.6	29.9	31.9	33.3	35.0	35.2	35.3	36.4	36.1	35.2	33.1	31.0	30.3	29.4	28.7	28.5
4	8	27.9	27.6	27.0	26.2	25.0	24.9	25.3	28.2	29.3	30.9	32.2	32.8	34.6	34.8	36.9	36.8	35.8	35.1	32.9	30.3	29.9	28.4	27.5	26.6
4	9	26.9	25.8	25.4	25.3	25.0	24.9	24.8	27.1	29.3	30.2	31.6	32.9	33.8	31.7	34.0	34.0	33.5	32.3	31.0	30.1	28.4	28.8	28.4	27.8
4	10	26.0	25.2	25.0	24.3	23.2	23.1	23.5	27.8	30.4	31.1	31.9	33.2	34.3	35.8	36.6	36.6	36.5	35.1	34.2	33.8	33.0	31.5	29.4	29.2
4	11	27.9	27.8	27.0	25.1	24.1	24.5	24.2	28.0	30.1	32.1	34.6	34.4	35.7	36.7	36.6	37.0	37.4	36.7	34.2	33.7	34.2	34.0	30.3	29.4
4	12	28.0	27.4	27.2	26.3	26.1	25.5	24.9	29.2	31.2	32.8	34.9	35.5	35.0	35.2	36.3	36.8	37.6	36.6	33.3	34.2	34.2	32.0	30.8	29.8
4	13	29.0	27.4	28.2	26.2	25.1	24.5	24.9	29.1	30.5	32.9	34.8	36.5	37.2	37.9	36.9	38.3	37.7	36.5	33.0	33.9	34.2	33.4	31.7	29.2
4	14	28.8	27.8	26.5	25.3	25.3	24.8	24.4	28.7	31.7	32.2	33.6	34.9	37.0	38.0	38.6	39.0	38.0	37.7	35.8	34.6	33.6	33.7	30.4	28.1
4	15	27.1	26.2	24.5	24.7	24.2	24.2	24.0	29.1	30.1	32.0	33.8	35.1	36.3	37.7	38.5	39.1	38.8	37.8	36.3	33.5	34.0	31.6	29.3	29.4
4	16	28.1	26.5	25.8	25.5	24.8	25.5	26.0	29.2	30.3	32.1	34.0	35.4	36.5	37.6	38.1	38.7	37.9	36.6	35.0	34.2	33.0	32.6	31.7	30.7
4	17	30.2	30.1	29.5	29.5	28.8	27.2	27.3	28.6	30.8	31.7	32.9	33.1	34.8	35.8	36.8	37.2	37.5	35.6	34.4	32.9	31.6	32.3	30.3	29.6
4	18	28.2	28.2	28.1	27.4	26.3	25.9	25.9	29.9	31.1	33.2	33.2	35.0	36.1	37.8	37.0	37.2	37.0	35.7	31.6	33.2	30.8	30.1	29.4	28.4
4	19	28.4	28.2	28.0	26.0	23.9	23.9	24.0	25.8	26.1	27.9	31.4	30.8	32.2	33.1	33.4	34.5	35.1	32.4	31.7	30.8	29.3	27.6	26.5	25.5
4	20	24.6	25.4	24.4	24.0	23.2	23.0	23.9	26.6	29.3	30.2	32.4	33.7	34.7	36.8	36.8	36.7	33.4	32.3	29.8	28.9	28.6	27.8	26.9	26.2
4	21	25.9	25.0	24.5	24.1	23.4	23.2	23.7	27.5	30.3	31.3	32.9	35.7	35.9	37.0	37.5	37.4	37.1	36.2	33.4	32.3	30.2	29.8	29.6	29.6
4	22	28.8	29.3	26.4	25.9	25.0	25.0	25.4	28.4	31.2	32.0	34.8	35.8	37.6	37.7	38.2	38.7	36.0	36.1	34.8	34.9	31.5	30.0	29.3	28.8
4	23	26.8	25.8	25.5	26.9	24.4	23.8	24.2	28.4	30.4	32.3	34.0	35.5	36.9	38.3	39.2	38.8	38.3	37.6	36.3	33.9	32.5	31.3	32.5	33.4
4	24	31.0	29.7	28.8	28.3	27.8	27.4	26.5	30.8	32.7	34.4	35.0	36.5	37.5	38.4	38.7	38.5	35.5	36.0	34.0	32.2	31.2	29.8	28.2	28.0
4	25	27.1	26.7	26.6	26.1	25.6	24.6	25.7	28.4	30.8	32.6	34.9	36.0	36.9	39.6	38.1	38.5	38.3	36.2	33.6	30.8	30.0	29.6	29.5	27.8
4	26	28.7	27.4	26.9	26.5	29.2	27.2	27.7	29.5	32.0	33.1	34.4	37.7	40.0	40.1	41.0	39.0	38.0	36.1	35.2	35.2	33.6	32.2	31.1	30.3
4	27	31.4	29.9	28.8	27.7	27.2	26.9	27.2	30.2	31.2	32.9	34.7	35.6	35.3	38.1	39.2	35.5	34.7	33.4	32.2	31.3	30.5	30.1	29.4	29.2
4	28	25.0	25.5	24.9	24.6	24.1	23.9	24.3	26.6	27.6	28.3	30.0	30.4	31.7	32.8	34.0	33.8	33.7	33.2	31.7	30.2	29.9	27.8	24.1	23.3
4	29	22.8	22.6	23.2	22.8	23.0	22.7	23.1	24.1	25.4	27.6	30.5	31.5	34.0	33.8	33.9	33.3	31.3	32.8	31.9	29.3	28.8	28.1	29.1	27.7
4	30	26.7	26.3	25.7	25.3	25.1	24.7	25.8	28.4	29.9	32.0	33.7	35.4	34.9	38.9	35.5	34.8	35.0	32.9	31.9	31.7	30.5	29.9	29.3	26.7

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
5	1	27.9	26.8	25.8	26.7	25.6	24.7	25.8	28.0	30.5	32.1	34.1	35.4	37.1	37.6	36.5	37.1	37.4	35.4	33.5	32.9	32.0	31.7	25.9	26.0
5	2	25.9	26.2	26.4	25.5	25.0	24.8	25.9	27.7	30.1	31.5	33.1	33.8	35.4	37.2	34.8	34.6	35.2	31.0	31.6	30.8	24.3	24.3	23.4	23.6
5	3	23.3	23.4	22.9	22.8	22.9	22.9	23.6	25.7	27.3	29.6	31.1	32.2	34.2	36.0	37.3	34.1	34.6	32.6	31.3	27.3	29.0	27.5	24.1	23.9
5	4	24.0	24.2	23.2	23.2	23.5	23.6	23.9	24.4	26.9	27.9	29.2	31.1	31.6	33.8	34.0	33.0	33.4	32.8	32.0	30.8	30.6	30.1	29.1	29.2
5	5	28.9	28.3	27.3	26.6	26.6	26.9	26.8	28.6	30.6	31.8	33.3	34.0	34.9	35.7	34.9	24.3	22.7	23.9	23.7	24.2	24.4	24.5	24.2	24.1
5	6	23.7	23.6	23.9	23.8	23.8	24.1	24.2	25.0	26.1	26.8	27.7	29.5	29.8	30.2	31.0	30.6	26.0	26.5	26.1	26.1	25.3	25.6	25.4	25.3
5	7	25.3	25.2	24.9	24.9	24.5	24.3	24.8	25.5	26.5	27.2	29.4	30.5	29.8	26.0	26.1	26.8	23.8	24.4	24.0	23.9	23.9	24.2	24.3	25.3
5	8	24.1	24.0	23.8	23.6	23.4	23.5	24.3	26.5	27.7	28.5	29.7	30.2	31.9	32.8	33.6	34.4	34.4	33.6	32.2	30.8	30.0	29.7	29.1	28.4
5	9	27.9	27.5	26.6	25.9	25.2	24.9	26.5	27.6	28.8	30.1	31.5	32.6	33.6	34.8	35.6	36.0	36.3	35.4	31.8	30.2	30.1	29.9	29.3	28.6
5	10	28.6	27.8	27.3	26.8	25.5	25.1	26.6	27.7	29.9	31.7	32.1	33.8	33.3	34.1	35.0	33.9	32.9	32.8	30.7	30.1	29.3	28.8	27.7	27.3
5	11	26.8	26.1	25.7	25.3	24.9	25.1	26.8	28.4	29.5	30.2	32.2	32.3	33.6	33.7	33.7	29.3	27.7	27.0	26.1	26.2	26.0	25.8	25.5	25.2
5	12	25.4	24.6	24.4	24.3	24.5	24.5	24.9	26.4	28.3	28.5	30.0	30.1	32.0	32.3	32.3	32.5	32.4	32.3	31.2	29.7	28.8	28.4	27.6	27.2
5	13	27.3	26.6	26.4	25.6	25.3	24.6	25.4	27.8	29.3	30.5	33.1	34.5	35.3	36.9	37.4	35.2	34.8	34.2	31.1	30.9	29.4	25.5	26.7	26.2
5	14	26.5	26.4	25.6	25.3	25.5	24.9	26.0	27.7	29.1	30.4	31.4	32.4	32.8	33.3	33.3	33.4	33.9	31.1	30.5	29.5	27.9	27.7	27.3	27.0
5	15	27.1	26.8	26.5	26.1	25.8	25.5	26.5	27.5	28.6	30.0	30.4	31.5	32.2	32.5	33.3	33.9	34.0	32.7	31.6	28.7	28.1	25.8	25.6	25.4
5	16	25.2	25.0	24.9	25.0	24.4	25.0	25.3	26.2	27.8	29.3	30.1	31.6	31.8	33.0	33.1	33.3	32.9	32.6	32.2	29.4	29.4	28.2	27.0	27.3
5	17	26.1	25.5	24.4	24.7	25.1	24.5	24.9	26.6	27.2	28.9	30.5	30.8	31.4	32.4	31.8	32.7	31.9	28.7	25.7	25.3	24.8	25.0	24.8	25.0
5	18	25.1	24.8	24.6	24.1	23.7	23.6	23.8	24.8	26.1	26.9	27.5	27.8	29.3	30.5	30.6	30.9	28.6	28.8	28.6	26.2	26.4	25.9	25.5	25.3
5	19	25.4	25.3	25.2	25.3	25.2	25.1	24.5	25.3	26.3	24.7	25.0	26.6	27.4	26.0	24.8	25.4	25.8	25.7	25.1	24.7	24.5	24.2	24.5	24.6
5	20	24.5	23.7	24.5	24.0	23.8	24.0	24.1	24.4	24.0	24.2	24.4	24.2	23.4	23.8	23.9	23.4	24.8	24.6	24.7	23.9	23.9	23.1	23.4	22.8
5	21	22.7	22.7	22.4	22.4	22.7	22.6	23.0	23.4	24.4	25.8	27.2	28.8	29.2	30.1	30.8	30.8	27.5	25.0	24.4	23.0	22.7	23.1	22.9	22.8
5	22	23.0	22.2	22.1	22.1	22.0	22.1	22.5	24.5	24.3	25.6	26.1	27.6	29.3	29.7	29.9	30.4	30.8	30.2	29.8	27.9	26.3	25.8	25.8	25.6
5	23	25.4	24.5	23.9	23.5	22.9	23.0	22.4	25.5	27.5	28.9	29.9	31.4	32.0	32.6	33.5	33.6	32.8	31.9	31.0	27.5	26.8	26.5	26.0	25.6
5	24	25.2	25.0	24.0	23.6	24.2	23.9	25.3	26.9	28.4	30.8	31.3	31.4	32.4	32.2	32.2	32.9	32.2	32.5	30.1	28.3	27.5	27.5	28.1	27.2

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
5	25	25.5	25.2	25.4	25.1	24.2	23.0	25.0	27.5	28.0	29.8	30.9	32.4	32.2	32.7	33.1	33.9	31.3	30.7	29.8	28.2	27.8	27.4	25.8	24.6
5	26	23.9	23.8	24.0	24.2	24.3	24.1	24.7	26.5	27.9	29.6	30.4	31.3	34.7	33.7	33.0	32.1	33.8	34.0	31.5	27.2	26.0	26.8	26.0	25.5
5	27	25.5	25.3	24.9	24.6	24.8	25.0	24.8	24.3	26.1	26.7	27.4	27.9	28.8	29.1	30.4	32.1	30.3	29.4	28.8	28.0	25.1	24.8	23.9	23.9
5	28	23.9	23.6	23.6	23.4	23.4	23.5	23.8	27.0	26.8	27.4	28.1	28.4	29.4	29.7	29.9	29.9	32.0	28.7	27.6	25.6	23.9	24.2	23.9	23.9
5	29	23.7	23.4	24.0	24.1	24.4	24.6	24.6	25.2	26.4	27.5	28.3	29.9	30.4	30.6	30.0	27.6	26.4	26.6	26.7	26.5	25.4	25.1	25.5	25.7
5	30	24.8	24.7	24.2	23.9	23.6	23.7	24.3	26.0	28.6	29.4	29.5	29.9	28.9	26.7	29.3	29.9	27.1	26.7	27.3	27.0	26.5	25.0	24.2	23.6
5	31	23.7	23.7	23.7	24.1	23.7	23.4	24.0	26.3	28.3	28.5	28.4	22.8	24.9	28.5	29.2	28.7	26.6	25.5	25.9	25.0	26.0	24.8	24.9	24.7
6	1	24.5	24.3	24.4	24.9	24.4	24.4	24.4	25.2	25.4	27.1	26.8	27.6	29.5	29.8	29.6	32.1	27.7	26.5	25.8	24.7	24.3	24.7	24.2	24.2
6	2	23.8	23.9	23.9	23.7	23.8	23.6	24.6	29.3	27.2	29.0	28.7	30.9	31.2	32.6	34.6	33.5	32.3	29.9	28.7	27.2	26.8	26.1	26.2	24.9
6	3	25.9	24.9	24.2	23.3	23.0	23.0	25.3	27.8	29.3	30.7	30.4	30.4	31.0	31.3	32.2	32.1	32.5	31.1	30.2	28.3	27.6	27.0	26.5	26.3
6	4	25.8	25.0	24.5	24.0	23.6	23.2	26.0	26.7	28.5	28.4	30.1	30.6	31.9	32.4	32.3	33.0	33.2	32.3	31.7	21.7	28.9	28.3	27.9	26.4
6	5	26.3	25.9	25.3	24.9	24.9	24.6	26.6	28.0	29.9	30.4	31.3	32.5	33.3	33.8	34.7	34.3	34.2	33.6	32.8	30.7	29.4	28.4	26.9	25.9
6	6	26.3	25.2	24.8	24.7	24.4	24.3	24.6	25.7	27.7	28.4	30.2	30.9	31.1	32.1	32.5	33.5	33.2	32.8	31.8	29.9	28.3	28.6	27.1	27.2
6	7	27.2	26.2	26.7	25.1	25.1	24.8	25.4	24.2	23.6	24.8	27.4	28.1	28.4	29.3	30.0	29.9	30.8	29.1	28.1	27.5	27.2	26.6	25.7	25.2
6	8	25.5	24.5	23.9	24.2	23.9	23.9	24.0	24.7	25.6	26.7	29.8	30.0	32.1	30.9	26.2	25.9	26.3	26.3	26.4	25.6	25.4	25.4	25.2	25.0
6	9	24.6	24.7	24.5	24.5	24.0	23.6	24.4	25.8	27.0	28.8	29.6	29.9	29.0	29.1	29.7	26.5	26.2	26.8	26.2	25.6	25.9	26.0	26.0	24.9
6	10	24.5	23.8	23.6	23.7	24.4	24.2	25.2	25.6	28.2	28.6	28.5	29.7	28.9	26.9	29.3	30.3	29.4	27.2	27.0	24.5	25.0	24.9	25.1	25.0
6	11	24.7	24.7	23.7	23.6	23.2	23.6	24.1	25.0	25.3	27.3	28.3	28.7	29.1	29.8	29.5	26.5	28.3	27.8	27.0	26.1	26.1	25.7	25.6	25.4
6	12	24.8	24.7	24.1	24.3	24.5	24.4	24.0	25.8	26.4	26.2	29.0	28.9	23.9	25.6	25.9	26.2	26.2	26.1	25.4	24.8	24.8	24.3	24.5	24.3
6	13	24.0	23.8	23.3	23.0	22.5	22.3	23.5	25.6	26.4	28.5	29.4	30.9	30.8	32.0	32.0	33.0	32.2	32.1	30.8	28.9	28.1	28.0	27.8	27.5
6	14	26.6	25.9	25.0	25.4	25.2	25.3	24.9	25.3	28.2	29.1	29.5	31.8	31.7	32.1	32.0	25.2	29.1	28.1	27.4	26.4	25.8	26.3	25.9	25.9
6	15	25.2	23.4	24.2	24.0	24.1	24.1	24.4	24.7	25.4	26.9	27.9	29.1	29.7	31.0	24.3	24.7	24.7	25.0	24.8	24.5	24.5	24.6	24.1	24.1
6	16	24.0	23.6	23.8	23.9	23.8	23.7	24.1	24.8	24.8	25.9	26.1	26.4	26.8	28.5	28.9	28.9	28.2	28.0	27.4	26.0	26.4	25.8	25.7	25.4
6	17	25.5	25.1	24.9	24.8	24.7	24.3	24.7	25.1	24.8	26.1	26.9	27.8	27.7	26.8	27.0	24.5	24.7	25.5	25.6	25.1	24.9	25.2	24.9	24.3

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
6	18	23.4	23.3	23.5	23.6	23.8	23.7	23.9	24.0	24.4	26.0	27.5	28.5	29.0	27.3	30.1	30.2	29.4	28.8	27.9	26.6	25.8	25.6	25.1	24.5
6	19	23.7	23.2	23.4	23.5	22.2	22.3	22.7	23.5	24.7	26.0	26.5	27.2	28.4	28.6	28.9	28.0	28.3	28.2	28.3	27.4	26.9	26.5	26.0	25.5
6	20	25.2	24.9	25.0	24.7	23.8	23.5	23.8	24.8	25.7	27.0	28.6	29.2	30.3	30.6	29.3	29.1	27.8	27.5	27.5	26.8	26.9	26.6	25.4	25.5
6	21	25.3	25.1	24.7	25.2	24.7	25.1	25.2	26.0	26.4	27.4	27.6	26.6	27.1	28.8	28.1	28.0	28.1	27.8	27.4	26.8	27.1	26.1	25.2	24.8
6	22	25.0	24.5	24.0	23.8	23.5	23.6	24.2	26.3	26.9	27.6	29.6	29.6	29.7	30.5	29.9	29.8	29.3	29.2	28.2	27.4	25.8	24.7	24.5	24.7
6	23	24.2	24.1	23.7	23.7	23.8	23.8	24.6	26.0	26.4	27.5	28.0	28.3	29.1	30.3	29.5	28.0	27.9	27.5	27.3	26.8	26.3	25.9	25.9	25.5
6	24	25.1	24.9	24.8	24.5	24.4	24.3	24.6	25.5	26.1	27.4	29.1	30.1	30.9	31.6	31.0	31.1	31.4	30.0	29.0	27.9	27.2	25.6	24.8	25.5
6	25	24.8	24.0	23.9	23.7	22.6	23.0	23.1	24.9	26.8	28.1	29.0	29.6	32.7	31.8	30.6	29.7	29.8	27.8	28.2	27.2	26.4	25.7	25.4	24.6
6	26	24.6	24.1	23.6	23.9	23.2	23.0	24.0	25.6	27.7	28.7	29.2	30.3	31.2	32.2	32.8	32.1	31.7	30.1	29.3	27.8	27.7	27.0	26.0	26.3
6	27	25.9	25.8	24.7	24.7	24.4	24.6	24.9	25.6	27.1	28.0	29.1	30.6	30.8	31.4	31.5	31.1	30.1	26.0	24.4	23.8	23.5	23.7	23.8	23.9
6	28	23.9	24.1	24.1	23.9	23.9	23.8	24.2	24.9	26.0	27.1	27.5	28.0	28.4	27.5	26.8	27.1	25.8	24.4	24.0	24.1	24.0	23.9	23.5	23.6
6	29	23.6	23.5	23.5	23.4	23.4	23.6	23.6	23.7	23.7	23.6	24.3	24.5	24.9	24.8	25.5	26.2	26.7	26.6	26.3	25.4	25.2	24.7	24.1	24.1
6	30	24.3	24.6	24.5	24.4	24.0	24.0	24.3	26.9	26.9	28.0	29.6	30.5	31.3	31.5	27.2	30.9	27.6	28.0	27.0	26.7	25.9	26.0	25.8	25.6
7	1	25.2	24.7	24.1	23.9	23.8	23.7	24.4	27.1	28.5	29.4	30.5	30.5	31.7	33.1	33.5	33.7	29.7	26.3	27.1	26.7	26.4	26.2	25.8	26.1
7	2	25.5	25.3	24.7	24.9	25.0	24.6	25.8	27.6	27.9	28.5	29.8	30.9	31.2	32.5	33.0	33.6	33.3	29.9	27.4	26.4	26.3	25.8	25.3	24.6
7	3	24.7	24.8	24.2	24.1	24.1	23.9	24.9	26.5	27.3	28.7	28.5	29.9	30.8	31.5	31.5	32.4	33.1	31.4	29.5	25.3	25.2	25.0	24.6	24.2
7	4	24.2	24.2	23.9	23.7	23.9	24.1	24.4	25.4	25.6	26.3	27.0	27.5	28.5	28.7	28.6	28.5	28.6	28.7	28.0	27.5	27.7	26.6	25.7	25.4
7	5	25.4	25.2	25.0	24.9	24.7	23.9	24.5	25.8	26.6	27.9	30.7	30.2	31.2	31.4	30.5	30.3	29.8	28.9	28.1	27.6	26.9	26.1	25.8	
7	6	25.7	25.7	25.6	24.6	24.5	24.2	23.8	24.4	25.0	24.7	24.6	25.0	25.2	25.3	25.1	25.4	25.4	25.5	25.1	24.6	24.7	24.4	23.5	23.6
7	7	23.5	23.5	23.5	23.6	23.6	23.3	23.6	24.1	25.0	26.1	26.5	27.4	27.9	28.0	29.3	29.4	28.7	27.8	26.7	25.4	23.5	23.2	23.3	23.0
7	8	23.0	23.1	23.1	23.2	22.8	22.6	23.5	23.7	25.0	25.6	27.6	28.4	29.2	30.5	31.1	27.0	27.6	26.6	26.5	25.8	25.2	25.4	23.9	23.8
7	9	23.5	23.3	23.5	23.2	23.2	23.1	23.0	23.6	24.9	25.7	26.6	26.9	27.2	28.4	29.1	29.1	29.3	28.7	27.8	25.8	24.5	25.0	23.4	23.2
7	10	23.4	23.5	23.2	23.1	22.9	22.9	22.7	22.9	23.0	24.9	25.6	26.4	26.5	27.5	27.4	27.4	27.4	26.5	25.7	25.4	24.9	24.7	24.1	23.8
7	11	23.1	22.9	22.7	22.7	22.7	22.2	22.6	23.8	24.5	26.2	26.8	27.3	28.5	25.6	27.8	27.3	28.0	27.0	25.9	25.5	23.5	22.9	22.6	22.6

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
7	12	23.0	22.9	22.7	22.6	22.7	22.8	22.9	23.9	24.6	25.1	25.9	27.4	28.6	29.3	30.2	29.9	25.5	24.3	24.8	23.9	23.9	24.0	23.7	23.7
7	13	23.7	24.0	23.7	23.5	23.6	23.6	23.6	24.1	25.3	25.4	26.2	26.7	27.4	28.1	29.2	28.3	27.9	28.0	24.2	24.2	24.5	24.7	22.7	23.5
7	14	23.3	23.4	23.5	23.4	22.0	23.1	23.4	23.7	24.9	24.8	26.1	26.7	27.6	29.3	29.3	30.1	30.3	28.4	27.7	27.1	25.4	24.3	24.8	24.6
7	15	24.5	24.6	24.1	24.1	23.9	23.5	23.7	25.4	26.2	26.9	28.1	29.4	30.0	30.3	31.0	31.0	30.5	30.8	28.2	27.1	26.6	26.6	25.8	25.8
7	16	24.9	25.1	24.2	23.8	23.8	23.8	24.1	25.0	26.7	27.7	29.2	29.7	30.1	31.9	30.6	31.1	31.0	30.9	29.5	28.6	27.9	27.9	27.1	27.2
7	17	27.0	25.8	26.2	25.8	25.6	25.4	25.3	26.7	28.1	29.4	30.1	30.8	31.7	32.2	31.8	29.4	30.3	29.3	29.4	28.7	27.8	26.0	26.7	26.1
7	18	26.1	25.4	25.5	25.2	24.4	24.5	24.5	26.8	29.4	29.7	30.4	30.8	32.0	31.8	32.4	32.2	32.2	31.1	30.6	28.9	29.7	27.9	27.2	26.2
7	19	24.7	25.0	24.4	24.2	23.8	23.4	24.6	26.3	27.7	28.3	30.8	30.8	31.5	32.8	32.4	33.9	33.2	31.9	31.4	28.8	29.7	28.2	27.5	26.8
7	20	26.5	26.2	25.4	25.4	24.9	24.8	25.6	25.9	26.8	29.0	30.3	30.6	32.6	32.6	34.2	34.2	29.3	26.0	26.7	26.0	26.2	25.8	26.0	25.8
7	21	25.2	25.1	24.7	24.7	24.2	24.1	24.4	26.3	27.0	27.8	28.5	30.2	31.2	32.3	31.7	25.8	28.0	27.6	26.3	26.2	25.5	24.6	24.1	23.9
7	22	23.4	23.6	23.6	23.8	23.8	23.3	23.8	24.5	24.8	25.6	26.6	26.8	27.6	28.5	30.4	30.2	29.6	28.1	27.2	24.2	23.5	24.0	24.6	23.8
7	23	23.8	23.4	23.5	23.3	23.6	23.4	23.5	23.1	23.2	23.4	23.8	24.0	23.9	24.0	24.4	25.2	25.2	24.9	24.6	23.7	23.4	23.5	23.4	23.6
7	24	23.3	23.4	23.4	23.4	23.1	23.1	23.2	24.1	25.4	25.8	26.3	27.2	29.4	30.8	31.2	31.1	29.4	24.4	23.6	23.6	23.6	23.7	23.6	23.5
7	25	23.6	23.5	23.5	23.7	23.6	23.6	23.4	24.4	25.3	26.5	27.9	28.7	28.4	29.8	26.3	26.6	27.4	26.9	26.5	26.1	23.2	23.2	23.3	23.2
7	26	23.2	23.2	23.0	22.9	22.8	22.7	22.7	24.3	25.3	26.2	27.8	28.2	27.7	27.4	30.4	29.0	26.4	26.5	26.1	24.4	24.6	24.5	24.5	24.6
7	27	24.3	24.2	23.5	23.4	23.4	23.2	23.5	24.7	25.7	25.9	26.8	27.1	26.9	27.6	27.5	24.7	23.6	24.6	24.5	24.5	24.6	24.1	23.9	24.2
7	28	23.7	23.7	23.7	23.5	23.5	23.3	23.7	24.5	25.4	26.1	28.6	28.7	29.2	29.1	29.5	30.2	28.4	29.2	27.7	26.6	25.6	24.5	23.7	22.9
7	29	22.7	22.6	22.8	22.6	22.7	22.7	22.8	23.6	25.3	26.9	28.2	29.3	30.5	30.9	30.9	32.3	31.5	29.9	28.8	28.1	26.8	26.9	24.9	24.9
7	30	24.7	24.9	24.6	24.8	24.5	24.2	24.2	25.6	26.9	27.6	29.9	29.7	30.7	28.1	26.1	26.0	27.1	26.9	26.1	25.6	25.5	24.7	24.7	24.3
7	31	24.1	24.0	24.1	24.0	23.7	23.5	24.0	26.1	27.3	28.2	27.7	28.6	28.3	27.4	28.7	27.4	27.0	26.9	25.9	24.6	24.6	24.7	24.9	24.7
8	1	23.3	23.4	23.5	23.2	23.6	23.7	23.8	24.3	23.9	25.1	27.0	27.6	29.3	30.1	29.5	29.5	28.9	26.4	25.7	25.2	24.7	24.2	24.3	24.4
8	2	24.0	23.7	24.0	24.0	23.7	22.9	23.4	24.0	25.0	27.4	27.0	28.0	25.2	26.1	27.0	28.0	27.8	27.2	26.0	25.1	24.8	24.4	24.5	23.9
8	3	24.2	23.7	23.7	23.6	23.3	23.2	23.7	24.9	25.4	26.4	27.6	28.4	28.3	28.3	28.6	29.3	29.2	26.6	26.2	25.2	25.0	24.7	24.9	24.9
8	4	24.4	24.5	24.3	24.0	23.9	23.7	23.4	24.4	24.8	25.6	26.7	27.0	28.8	28.1	25.3	24.1	24.2	23.9	24.1	23.7	23.8	23.2	23.2	23.2

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
8	5	22.6	22.6	22.6	22.8	22.6	22.4	22.7	23.2	23.9	24.0	25.8	26.8	26.8	27.4	28.9	28.3	26.5	26.6	26.4	26.1	25.5	25.5	25.0	24.0
8	6	23.8	23.8	23.7	23.7	23.4	23.3	23.6	24.5	25.7	27.3	27.9	28.4	28.8	27.7	24.1	26.0	26.8	27.7	27.1	26.3	25.9	25.7	25.3	25.3
8	7	24.9	24.5	24.7	24.5	24.3	23.4	23.8	25.1	26.6	27.6	29.1	30.0	30.7	31.5	31.5	29.7	28.6	28.1	27.7	26.1	25.3	24.9	24.8	24.7
8	8	24.6	24.6	24.4	24.5	24.6	24.4	24.7	25.7	26.0	29.0	28.9	29.9	30.9	31.5	32.8	29.2	25.4	26.0	25.5	25.8	25.4	25.1	25.0	24.8
8	9	25.0	24.7	24.9	24.9	24.5	24.4	24.5	25.2	26.2	27.5	29.2	29.8	29.7	31.2	30.9	28.2	27.9	27.9	27.7	24.5	24.4	24.7	24.5	24.3
8	10	24.3	23.9	23.9	23.7	23.8	23.8	24.1	25.1	26.0	26.6	27.5	28.6	30.2	29.2	29.1	25.6	24.6	23.5	23.2	23.2	23.1	23.2	23.4	23.5
8	11	23.3	23.4	23.2	23.1	22.8	23.1	23.4	24.3	25.2	26.3	27.3	27.5	27.8	29.6	29.9	30.7	30.0	29.2	28.1	24.4	23.8	23.8	24.0	24.2
8	12	24.0	23.7	23.6	23.3	23.3	23.1	23.5	25.3	26.4	27.5	28.0	27.6	28.7	30.1	29.9	30.7	29.3	26.1	24.3	24.4	24.3	24.3	24.2	24.0
8	13	23.7	23.2	23.3	23.2	23.1	22.7	23.0	25.3	26.4	27.7	28.6	29.4	27.0	27.7	28.6	29.9	31.3	30.2	29.2	28.7	27.3	26.3	26.2	25.0
8	14	24.9	23.9	23.5	23.6	22.9	22.7	22.9	24.7	26.0	27.1	28.7	29.4	29.9	30.4	27.3	30.1	30.1	29.2	28.2	27.1	26.8	26.2	26.3	25.8
8	15	25.3	24.9	24.7	24.3	24.4	24.1	24.0	24.8	25.5	26.6	27.0	26.9	27.4	28.4	28.8	29.3	27.1	27.2	26.9	25.7	25.1	24.6	24.1	23.9
8	16	23.8	23.7	23.4	23.6	23.6	23.9	23.9	24.9	26.3	27.3	28.1	29.4	29.9	30.0	31.0	30.2	29.7	27.7	27.4	26.6	26.6	26.0	25.7	25.9
8	17	25.3	24.7	24.7	24.6	24.4	24.5	24.7	26.0	27.9	28.7	29.0	30.2	29.9	30.7	30.7	31.0	30.7	29.9	28.2	26.7	26.0	25.9	26.4	26.0
8	18	25.7	25.6	25.1	24.9	24.0	23.9	24.1	25.1	27.2	27.3	28.4	28.7	29.7	30.6	30.5	30.5	30.7	29.2	27.9	27.5	25.7	25.8	25.8	25.6
8	19	25.4	25.0	24.6	24.6	24.5	24.4	24.6	25.3	25.3	26.8	27.7	28.7	29.6	31.6	33.1	31.3	30.3	25.8	26.0	24.5	24.3	24.4	24.5	24.5
8	20	24.2	23.8	23.9	24.1	24.0	23.9	24.1	25.4	26.6	26.9	28.6	29.8	29.5	31.9	32.0	31.1	31.6	28.6	28.4	27.9	26.3	23.8	24.8	24.6
8	21	24.1	23.4	23.7	23.7	23.7	23.9	23.6	25.9	26.5	27.1	29.4	31.1	31.7	32.5	32.6	33.5	32.6	31.1	29.4	28.0	27.8	27.4	26.9	26.4
8	22	25.3	26.0	25.1	25.0	24.5	24.1	24.7	27.6	28.9	29.9	30.1	31.3	31.9	32.0	31.3	31.1	29.7	28.9	28.6	27.7	27.3	26.4	26.6	26.4
8	23	26.4	25.6	25.1	24.9	24.8	24.1	24.5	26.7	27.8	29.5	32.1	32.6	33.0	32.4	30.8	33.6	31.6	30.6	29.8	28.2	28.2	27.8	27.1	26.0
8	24	25.7	25.6	25.1	25.3	24.9	25.3	25.6	25.8	26.8	28.0	29.2	29.2	29.7	30.2	30.6	31.5	31.6	31.1	28.7	28.2	28.7	27.8	27.0	26.7
8	25	26.1	26.4	25.9	24.7	24.4	24.3	24.9	27.0	28.3	29.8	29.9	31.0	32.4	31.3	31.9	32.7	32.8	30.9	29.7	29.5	28.9	27.5	27.2	26.5
8	26	26.1	25.2	25.7	25.4	24.6	24.8	25.0	26.6	29.2	30.4	31.6	31.5	32.4	32.4	33.5	32.8	32.9	28.8	28.9	28.9	28.2	27.6	27.0	26.4
8	27	25.8	24.9	24.8	24.7	24.3	24.0	24.5	26.2	27.9	28.4	30.0	29.9	31.4	32.0	32.5	31.2	31.0	30.2	29.7	28.6	27.9	27.1	27.1	26.9
8	28	26.5	24.4	24.4	24.3	24.7	24.4	25.1	26.1	26.8	28.5	30.9	30.6	31.9	31.2	28.9	27.4	27.1	26.5	26.3	26.0	26.3	26.0	25.6	25.5

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
8	29	25.3	25.1	24.9	25.1	24.8	24.8	24.9	25.4	26.2	27.3	28.8	29.3	29.6	30.4	30.3	30.3	30.3	29.7	28.7	27.8	27.4	26.9	26.5	26.0
8	30	25.5	25.3	25.0	25.5	25.4	25.0	25.0	25.9	27.0	27.5	28.3	28.6	29.1	29.9	30.0	29.5	24.5	24.7	24.6	24.1	24.3	24.3	23.9	23.5
8	31	23.5	23.7	23.9	23.9	23.8	23.4	23.7	24.7	26.0	27.3	28.4	27.7	28.5	29.9	30.1	32.2	31.8	29.9	28.0	27.4	27.9	26.7	26.3	26.2
9	1	25.8	25.8	25.1	24.3	23.9	24.0	23.8	26.7	28.4	30.1	31.1	30.8	32.9	31.9	26.1	27.3	28.8	27.9	27.3	26.2	26.3	25.5	25.5	24.9
9	2	25.3	24.9	24.3	24.0	24.1	23.9	24.3	26.0	26.7	27.6	27.9	29.1	31.1	32.7	33.1	32.8	31.2	31.2	29.1	28.0	26.3	25.0	23.5	23.6
9	3	23.7	23.9	23.9	23.6	24.0	23.9	24.0	24.5	26.2	27.0	28.0	28.9	29.3	28.0	30.0	29.1	28.4	28.5	27.4	27.6	27.1	25.1	24.3	24.2
9	4	23.8	23.6	23.1	23.2	23.5	23.3	22.8	23.2	23.8	24.1	25.1	25.3	26.7	27.1	28.1	27.8	27.4	26.6	26.3	25.4	24.8	25.2	25.2	25.2
9	5	25.2	24.0	24.0	24.4	24.1	24.1	24.3	25.3	26.9	28.7	29.6	30.7	31.1	31.2	32.4	32.5	32.2	30.5	28.7	27.1	25.8	26.2	25.9	24.8
9	6	24.6	24.0	23.6	24.0	23.2	22.7	23.2	25.9	27.4	29.1	29.4	30.9	30.6	31.7	32.6	32.7	32.1	29.4	27.9	27.1	27.5	26.0	25.7	24.9
9	7	24.9	24.1	24.1	23.7	23.9	23.7	23.8	25.4	26.5	27.6	29.3	29.1	29.5	30.5	30.5	30.1	29.8	29.1	28.1	27.9	27.5	26.9	26.4	25.8
9	8	26.2	25.5	25.1	25.0	24.7	24.3	24.7	25.8	27.1	28.0	28.6	28.8	26.9	28.3	30.0	28.6	25.0	24.6	25.0	25.5	24.4	23.7	24.0	23.8
9	9	23.9	23.7	23.7	23.6	23.6	23.8	24.0	24.6	25.5	26.6	27.5	28.1	29.2	28.9	30.0	28.4	23.9	22.9	23.3	22.9	23.7	22.9	23.0	23.0
9	10	23.0	23.2	23.2	23.1	22.4	22.7	22.6	23.0	23.4	23.6	24.3	24.4	24.4	24.4	25.0	24.4	24.4	24.2	23.8	23.3	23.1	22.9	22.8	22.6
9	11	22.6	22.6	22.4	21.8	21.9	22.0	22.3	23.1	23.8	23.4	25.0	26.9	26.6	27.3	27.7	27.9	27.3	26.5	25.6	25.2	24.9	24.6	23.4	23.4
9	12	23.2	22.9	23.1	22.8	22.9	22.7	23.3	23.6	26.0	26.2	27.7	28.3	28.9	29.7	29.6	24.0	24.1	24.3	24.2	24.6	23.5	23.7	23.4	23.0
9	13	23.2	23.3	23.1	22.5	22.6	22.8	23.0	24.3	25.3	26.1	28.8	29.4	30.2	30.3	31.4	31.3	29.0	28.1	27.7	26.3	25.9	25.1	22.3	22.3
9	14	22.4	22.5	22.4	22.7	22.7	22.9	22.7	23.0	23.8	24.9	25.8	27.2	28.2	28.9	29.4	28.8	27.6	26.3	25.2	23.6	22.7	22.6	23.3	23.2
9	15	23.2	23.0	22.9	23.0	22.8	22.9	23.3	24.1	24.8	26.0	27.2	27.9	28.1	30.0	25.6	26.2	26.8	25.7	25.1	23.9	24.0	23.2	23.4	23.4
9	16	23.1	23.2	23.0	22.9	22.9	22.9	22.9	23.3	25.4	25.8	26.6	26.9	28.0	28.2	28.5	29.8	28.6	24.9	24.0	24.6	24.9	24.6	24.1	23.8
9	17	23.8	23.7	23.5	23.7	23.6	23.2	23.4	23.4	23.6	25.0	25.2	25.8	25.7	24.4	24.6	24.8	24.9	24.9	24.4	23.2	23.2	23.3	23.2	23.1
9	18	22.8	22.4	22.4	22.3	21.9	22.0	27.6	23.4	24.7	26.2	27.7	27.0	29.8	28.7	29.9	29.4	29.1	28.5	26.9	25.8	25.3	25.0	24.8	25.2
9	19	24.4	24.1	23.8	23.6	23.3	23.2	23.4	24.1	23.4	24.2	23.9	25.5	25.5	26.9	28.7	30.0	28.6	27.5	25.8	24.8	23.6	23.6	23.0	22.7
9	20	22.2	22.3	22.1	22.0	22.0	21.9	22.1	24.9	27.6	27.1	30.6	29.8	31.1	24.5	24.0	24.2	24.7	24.3	23.9	23.7	23.4	23.5	23.5	23.5
9	21	23.5	23.4	23.2	23.1	22.7	22.6	22.4	23.0	22.8	24.4	26.0	26.1	28.9	25.2	25.3	26.1	26.1	25.6	24.3	24.0	24.0	23.8	23.6	23.6

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
9	22	23.3	23.2	23.2	23.0	22.9	22.7	22.8	23.6	26.1	26.3	28.0	29.3	29.6	27.9	29.9	28.4	27.8	27.0	26.0	24.3	24.4	23.9	23.7	23.6
9	23	23.0	23.1	22.9	22.9	22.8	22.1	22.4	23.6	25.5	26.3	27.9	29.4	30.2	32.2	32.3	32.0	31.2	30.3	27.8	26.7	26.2	25.7	25.1	24.7
9	24	24.6	24.3	24.0	23.7	23.7	24.0	24.0	25.8	28.6	29.2	30.2	30.1	32.2	32.6	31.2	30.1	29.2	27.1	26.1	25.5	24.9	24.7	24.3	23.9
9	25	23.9	23.8	23.5	23.9	23.4	22.9	23.1	24.1	25.1	28.1	29.1	31.4	31.9	32.3	32.7	32.9	32.7	30.5	28.9	27.3	26.3	25.5	25.7	24.7
9	26	24.4	24.2	23.9	23.4	23.2	23.4	23.5	26.1	28.8	30.5	30.4	31.4	32.1	31.3	30.7	28.0	27.9	27.6	27.0	26.9	27.2	26.5	26.7	25.2
9	27	25.1	25.0	24.0	24.0	23.5	23.4	24.2	27.4	28.7	29.4	31.1	31.4	32.2	31.4	32.2	32.5	32.3	30.8	28.1	27.8	26.8	26.1	25.4	23.9
9	28	24.5	24.9	24.4	24.1	23.9	23.9	24.0	26.7	28.4	29.0	31.0	31.2	30.3	26.5	26.9	26.8	26.7	26.4	25.8	25.4	24.6	24.3	23.9	23.7
9	29	23.3	23.1	23.2	23.0	23.0	22.8	22.9	24.2	24.3	25.5	28.8	30.2	29.2	30.9	30.5	31.5	30.1	28.2	27.4	27.0	26.1	25.1	24.4	24.4
9	30	23.5	22.7	22.4	22.3	22.0	21.5	21.6	23.4	25.3	26.2	28.1	29.8	30.5	31.7	32.1	32.1	31.9	28.5	26.1	25.6	24.9	24.7	24.5	23.7
10	1	23.4	22.4	22.5	22.4	22.3	21.8	22.0	24.4	25.7	28.9	30.7	32.3	33.8	34.0	33.7	33.5	32.5	29.8	28.4	27.2	26.6	26.8	26.0	26.0
10	2	24.5	23.2	22.2	22.9	22.7	22.2	22.5	23.5	25.9	29.4	29.7	30.8	31.4	30.0	30.2	29.8	27.5	26.4	25.3	24.1	23.7	23.1	23.9	23.3
10	3	23.5	23.0	23.2	22.9	22.3	22.5	22.4	23.3	25.6	26.9	29.3	29.8	30.6	29.4	31.7	30.6	30.0	29.5	27.2	25.9	25.2	24.7	24.6	24.8
10	4	24.5	24.2	23.5	23.2	23.0	22.5	22.3	24.3	25.9	27.8	28.7	29.1	30.3	30.5	31.1	30.8	30.0	28.1	26.9	26.4	26.6	25.7	25.1	25.8
10	5	25.3	24.5	23.8	23.5	22.8	22.8	22.5	25.1	27.1	28.0	28.9	29.9	30.9	30.8	31.4	31.2	30.4	28.8	27.2	26.6	25.9	26.2	26.4	25.7
10	6	25.3	25.0	24.2	23.7	23.5	23.1	23.1	25.5	27.3	28.1	28.9	30.0	30.3	30.6	30.7	30.9	30.0	28.9	28.2	26.7	26.3	26.2	25.1	24.6
10	7	23.8	23.3	22.6	22.4	22.6	22.4	22.9	24.7	26.8	27.2	28.7	29.9	30.8	31.1	31.5	30.8	30.5	29.5	26.8	26.6	26.5	26.3	25.0	25.4
10	8	24.2	23.8	23.3	22.9	22.6	22.4	22.7	25.0	27.4	28.9	29.6	30.7	31.0	31.5	31.7	31.4	30.7	28.6	27.1	25.6	25.5	24.8	24.4	24.0
10	9	23.8	23.5	23.2	23.0	22.7	22.8	22.7	24.2	26.1	28.1	29.6	30.9	31.9	32.3	32.3	32.1	31.6	29.3	27.4	26.7	26.1	26.4	25.4	25.2
10	10	24.5	24.2	24.4	24.0	23.8	23.7	24.1	24.6	26.7	27.8	29.0	30.6	31.4	32.9	32.7	31.4	29.3	28.6	26.3	26.2	26.2	26.1	26.2	26.2
10	11	25.5	25.2	25.0	24.9	24.2	24.3	24.4	25.6	26.1	28.3	29.8	31.1	30.5	31.0	31.0	27.4	27.3	26.6	25.8	23.9	24.6	24.7	24.3	24.1
10	12	23.4	23.9	23.7	23.1	23.3	23.0	23.3	24.6	25.4	25.4	26.7	28.0	28.7	28.5	28.0	27.4	26.9	24.4	24.5	24.4	23.8	23.8	23.4	22.8
10	13	22.3	22.0	21.8	21.9	21.4	21.3	22.0	23.2	24.9	26.1	27.1	28.9	29.5	29.9	30.4	30.0	29.8	28.2	27.8	26.3	25.4	25.0	24.1	23.9
10	14	23.5	22.8	22.4	22.3	21.8	21.8	21.9	23.0	23.1	26.2	28.2	30.3	30.6	31.7	31.4	31.2	30.2	27.9	26.4	25.3	24.7	24.3	24.6	24.1
10	15	22.9	23.2	23.0	22.6	22.5	22.8	23.0	24.9	26.8	27.4	28.0	29.2	30.1	29.4	30.7	30.4	28.7	27.5	25.5	24.9	25.0	24.6	24.4	23.9

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
10	16	23.5	23.1	22.9	22.6	22.5	22.4	22.6	23.5	25.2	27.0	29.1	29.8	29.7	31.3	31.6	31.4	30.4	27.2	27.1	25.4	24.9	24.2	23.5	
10	17	23.9	23.6	23.5	23.4	23.2	22.9	22.8	24.4	26.4	27.5	29.6	30.9	30.6	32.0	32.4	33.1	31.5	28.5	27.6	26.0	24.9	25.2	25.1	24.3
10	18	24.0	23.1	23.0	22.7	22.6	22.4	23.1	22.7	23.0	24.0	25.3	27.1	28.3	28.4	28.7	29.2	29.0	27.0	25.6	24.5	24.2	23.9	23.1	23.0
10	19	23.0	22.9	22.9	23.0	22.7	22.9	23.3	23.7	24.9	26.6	30.1	30.4	29.9	30.7	31.7	31.0	30.4	27.6	27.0	26.4	24.2	23.8	23.3	22.9
10	20	22.4	22.2	21.8	21.8	21.7	21.5	21.4	22.7	24.7	26.5	28.2	30.3	31.1	31.6	31.7	31.5	30.8	27.7	26.4	25.5	24.9	23.8	23.1	22.9
10	21	22.3	22.4	21.8	21.5	21.4	21.3	21.6	23.7	25.6	27.1	28.1	29.6	30.7	31.9	31.3	32.0	30.7	27.8	26.9	26.2	26.1	26.5	25.0	24.7
10	22	23.9	23.6	23.0	23.0	23.8	21.8	21.7	22.0	22.9	23.1	23.2	23.3	22.4	22.7	22.5	22.2	22.4	22.4	22.1	22.2	22.0	21.9	21.5	21.5
10	23	21.2	21.1	21.2	20.6	20.0	20.1	19.8	21.8	24.2	25.2	26.3	28.8	28.2	29.4	29.7	29.2	28.4	26.1	24.9	24.1	23.2	22.9	22.7	21.8
10	24	21.4	21.0	20.9	20.5	20.6	20.4	20.4	21.6	23.0	25.5	29.6	29.0	31.5	30.8	30.6	30.4	29.4	25.9	24.6	23.0	23.6	22.6	22.1	21.0
10	25	20.9	20.3	19.9	19.5	19.4	19.3	19.6	21.1	24.2	27.6	30.0	29.3	31.4	31.8	30.8	30.3	29.7	27.0	25.5	24.2	23.0	22.3	21.4	21.2
10	26	20.6	19.8	19.6	19.3	19.0	19.1	19.0	20.7	25.4	27.7	29.1	29.8	30.4	31.3	29.7	30.0	28.5	25.5	24.3	24.0	23.4	23.3	21.0	20.5
10	27	19.4	19.3	18.8	18.9	17.9	18.6	18.0	19.7	21.5	25.0	28.0	29.5	29.5	29.2	29.5	28.1	27.4	25.2	24.2	23.9	22.9	21.9	21.8	21.2
10	28	20.1	19.0	19.3	18.8	18.2	17.8	18.0	19.8	22.5	25.8	28.7	29.3	30.6	30.5	28.9	29.2	28.2	24.9	23.9	22.5	22.4	21.9	21.1	20.5
10	29	20.3	19.6	19.4	19.2	19.3	18.6	19.4	20.5	22.1	24.8	28.8	30.1	31.5	30.7	30.6	30.5	29.6	25.9	24.5	23.9	23.2	22.1	22.0	20.6
10	30	20.4	20.1	19.5	19.2	19.3	18.9	19.3	21.6	25.2	26.0	29.1	30.2	32.1	32.4	31.9	30.9	30.3	26.2	24.8	24.6	23.8	23.3	22.4	21.7
10	31	20.6	20.9	20.4	20.3	19.8	20.1	19.5	21.7	23.5	26.0	29.5	30.2	30.8	31.4	32.0	31.3	30.2	26.3	25.8	24.6	24.2	24.2	23.3	23.1
11	1	21.8	21.1	21.0	20.6	20.2	20.0	20.1	21.7	24.6	27.9	29.9	31.2	30.1	30.5	32.5	32.5	30.3	28.1	25.6	25.3	24.3	24.7	23.9	22.7
11	2	22.3	21.3	20.8	20.8	20.1	20.6	20.5	22.4	26.3	28.5	28.6	29.5	29.3	29.5	29.6	29.8	29.3	26.1	25.1	23.7	23.6	22.7	21.5	21.4
11	3	21.3	20.3	19.7	19.7	19.1	19.4	19.2	21.4	24.0	27.6	29.4	30.0	30.5	29.4	29.8	29.5	29.1	25.2	24.1	23.6	22.8	21.7	21.0	21.2
11	4	20.5	19.9	20.0	19.1	19.1	19.0	18.9	20.5	22.8	25.9	28.9	30.0	29.4	30.3	30.8	29.9	29.5	25.2	24.8	23.7	21.9	22.1	22.5	21.7
11	5	20.4	20.0	19.6	18.9	19.2	18.5	18.7	20.5	22.8	25.1	28.0	30.6	30.2	31.8	31.4	31.3	30.6	26.1	25.1	24.7	23.6	23.6	22.0	21.6
11	6	21.0	20.6	20.1	20.2	20.2	19.4	19.6	21.4	24.0	25.5	28.5	30.4	30.8	31.7	31.7	31.2	30.5	26.5	25.3	24.4	24.1	23.0	22.7	22.1
11	7	22.0	21.8	20.6	20.7	19.9	19.7	20.0	22.5	23.8	27.1	28.2	29.9	30.9	31.9	32.1	32.1	30.6	25.9	25.0	24.9	24.2	22.6	22.2	21.8
11	8	21.7	21.0	20.8	20.6	19.8	19.9	19.6	21.9	24.4	27.6	28.2	30.2	30.7	31.6	31.2	31.3	30.8	26.4	25.5	24.7	24.7	23.4	23.0	22.8

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
11	9	21.6	21.5	21.3	20.7	20.6	20.0	20.3	23.6	25.7	28.4	30.4	30.3	30.5	31.9	32.2	31.7	31.6	27.7	25.7	25.3	24.1	23.6	23.0	22.3
11	10	21.6	21.4	21.5	21.2	20.6	20.2	20.0	23.4	25.7	27.0	29.2	30.5	31.9	33.0	32.1	32.4	31.6	27.3	26.1	24.7	24.1	23.4	22.9	22.3
11	11	22.3	21.7	20.8	20.4	20.1	19.7	19.4	21.5	24.4	26.3	28.9	31.1	33.3	32.9	32.3	33.0	31.8	27.4	25.3	25.1	23.5	24.1	22.9	22.2
11	12	21.3	21.2	20.8	20.5	20.7	20.8	20.1	23.7	25.5	28.2	29.7	31.5	31.4	32.7	33.4	33.7	32.1	27.5	27.3	25.6	25.0	24.4	24.1	23.4
11	13	22.9	22.5	22.0	21.4	21.4	20.7	20.9	23.6	26.0	27.8	29.2	31.7	32.1	32.9	32.7	32.9	31.8	27.5	26.6	25.3	24.7	24.2	22.9	22.8
11	14	22.4	22.1	21.5	21.5	20.8	20.6	20.3	22.9	27.5	27.8	29.9	31.4	32.8	33.0	33.2	33.3	32.5	27.7	26.8	25.3	25.5	25.0	24.4	24.1
11	15	23.0	22.2	21.2	21.3	21.2	20.5	20.4	23.0	25.9	27.5	29.7	30.8	32.0	33.7	33.6	32.8	32.0	27.0	26.5	25.5	24.5	24.1	23.8	23.3
11	16	22.6	22.4	22.5	22.1	21.1	20.8	20.7	22.7	25.5	26.9	29.0	30.0	30.9	30.4	31.1	31.4	29.8	27.5	25.9	26.9	27.3	24.3	23.6	23.3
11	17	23.5	22.8	22.5	22.2	21.7	21.4	21.5	23.7	25.3	25.6	27.5	29.1	29.2	31.6	30.9	31.0	30.4	29.3	26.2	25.6	25.0	23.2	22.9	23.1
11	18	22.7	22.8	22.8	22.8	22.9	22.2	22.7	22.8	23.4	24.8	24.9	25.0	25.4	26.7	26.8	27.8	26.4	25.4	24.7	22.6	21.2	21.2	20.7	20.3
11	19	20.1	20.0	19.1	18.7	18.9	19.3	19.6	20.8	22.0	26.3	25.8	27.2	27.7	28.2	27.3	28.1	26.9	25.2	24.2	22.9	22.8	21.7	20.8	20.3
11	20	20.0	19.2	19.7	19.1	18.9	18.6	18.8	20.0	21.0	23.3	25.2	25.7	26.7	27.9	28.0	27.7	26.5	24.6	22.9	22.0	21.2	21.0	20.7	20.0
11	21	19.6	19.1	18.9	18.8	19.4	19.1	18.8	19.9	22.9	25.3	26.3	27.6	29.5	28.9	29.0	29.8	28.4	27.4	25.0	23.7	23.7	23.5	22.9	22.4
11	22	22.2	22.2	22.0	21.8	21.6	20.9	20.9	21.8	23.4	25.9	26.7	27.5	29.2	28.3	29.2	28.6	27.9	26.4	24.7	25.3	25.0	22.5	23.3	23.1
11	23	21.5	20.2	19.5	18.8	19.4	19.8	19.2	20.3	23.5	25.8	26.3	27.8	28.7	29.8	30.0	29.3	27.1	24.1	23.2	22.3	22.0	21.3	20.5	18.6
11	24	18.3	17.6	17.0	17.0	16.0	16.3	15.7	18.4	22.0	22.9	27.4	27.3	28.3	29.2	28.7	29.3	28.1	23.4	22.5	22.4	21.5	21.1	21.6	20.7
11	25	21.1	20.2	19.8	19.9	18.4	18.1	17.3	18.5	21.5	22.7	28.8	27.7	28.0	28.5	29.3	28.2	27.3	25.6	24.2	23.3	22.2	22.2	21.5	21.3
11	26	20.7	20.5	20.4	20.4	20.5	20.2	20.1	20.6	21.3	22.2	23.8	24.6	25.5	26.4	25.6	22.1	21.0	20.6	20.0	20.3	20.0	20.0	20.3	20.0
11	27	20.0	19.8	19.9	19.9	19.9	20.3	20.1	20.3	21.2	22.3	24.1	26.4	26.1	26.5	26.2	25.4	24.7	23.3	22.5	22.8	21.7	20.9	20.1	20.3
11	28	20.2	19.1	18.7	19.1	19.4	19.0	18.9	22.3	21.8	23.2	26.6	24.7	25.1	25.5	25.7	26.1	25.5	23.7	23.7	21.5	21.1	21.1	21.8	21.7
11	29	21.3	21.1	21.0	20.7	20.2	19.6	19.8	22.3	22.2	23.2	24.9	24.6	26.2	26.6	26.3	26.4	25.8	22.5	21.9	18.5	18.8	18.5	19.8	19.4
11	30	19.1	18.9	19.0	19.0	18.4	17.9	18.0	19.8	20.6	22.2	24.3	24.7	26.7	25.6	27.8	25.5	25.7	24.2	23.2	22.4	22.6	22.8	22.2	20.7
12	1	20.1	19.0	19.8	19.7	18.8	18.6	18.7	19.8	23.0	25.4	25.6	27.7	28.6	28.3	29.1	29.0	27.6	23.5	23.3	21.8	20.9	20.0	18.9	18.4
12	2	18.3	17.9	17.4	16.9	16.4	16.2	16.3	18.7	22.2	24.3	27.1	28.8	28.9	29.9	30.0	29.5	27.5	23.6	21.1	20.8	20.1	19.0	18.5	18.4

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
12	3	17.2	16.6	16.1	16.0	15.5	15.2	15.2	17.7	19.3	21.8	25.0	27.2	28.6	29.8	29.7	29.6	27.8	23.3	21.7	21.2	20.6	19.8	18.5	17.7
12	4	17.3	16.8	16.2	16.3	15.8	15.1	15.5	17.9	20.8	22.8	27.9	28.6	28.9	29.4	29.9	29.1	26.8	22.7	22.3	21.3	18.8	18.4	18.0	16.6
12	5	16.0	15.6	15.1	14.9	14.5	14.5	14.2	16.6	20.5	22.6	23.8	26.9	28.1	27.6	29.6	28.5	25.9	22.3	21.8	22.1	20.7	20.6	19.9	20.1
12	6	19.5	18.3	18.3	18.1	17.4	16.8	16.7	18.8	19.5	23.0	26.8	27.3	27.1	28.1	27.4	27.6	27.0	23.7	22.9	22.4	21.5	21.4	20.2	20.0
12	7	20.0	20.6	20.9	19.4	19.1	19.2	18.6	19.8	22.5	25.1	26.5	26.6	23.9	24.8	24.9	25.1	23.8	21.3	20.4	19.7	19.5	19.2	18.8	15.7
12	8	15.4	14.2	13.8	13.7	13.1	12.9	12.7	14.5	17.0	21.7	24.4	25.4	26.4	26.7	26.4	25.9	24.2	20.7	19.0	19.4	17.5	16.9	15.3	14.9
12	9	13.6	14.0	12.9	12.4	11.9	11.8	11.6	13.6	16.0	20.3	21.8	25.1	25.1	25.5	26.8	26.7	25.0	20.7	18.7	17.8	17.6	17.3	16.3	15.2
12	10	14.6	13.8	14.1	13.3	13.0	12.4	12.8	14.0	16.6	19.8	23.6	26.1	25.7	26.7	26.5	26.6	24.5	21.1	19.9	20.0	18.1	16.8	16.4	15.8
12	11	14.6	14.5	14.1	13.5	13.2	13.8	12.8	14.3	16.5	21.1	23.7	25.0	26.6	27.0	27.4	26.7	25.5	21.2	19.9	18.6	17.1	16.6	16.2	15.3
12	12	14.9	14.3	13.9	13.5	13.2	12.8	12.6	14.1	17.1	20.1	23.2	26.8	27.8	27.2	26.6	27.3	25.8	21.7	20.7	20.4	20.1	16.8	19.4	18.2
12	13	15.4	14.9	14.2	12.9	12.8	12.5	12.5	14.8	18.1	19.7	24.0	25.0	25.0	27.0	25.9	26.1	25.3	20.9	18.5	18.1	17.1	16.7	16.1	14.6
12	14	14.2	14.1	13.6	13.2	12.6	12.6	12.5	14.0	16.3	20.1	21.3	23.9	25.7	25.6	26.1	26.6	25.8	21.1	19.5	17.9	17.6	17.3	16.8	15.4
12	15	15.5	15.7	15.1	15.2	14.8	13.9	13.2	14.8	16.9	20.6	24.0	25.9	28.2	28.4	27.1	26.3	24.6	21.2	18.6	18.6	18.4	18.2	17.2	16.1
12	16	16.2	16.2	13.9	14.3	13.7	13.3	13.7	15.1	17.0	21.4	24.2	26.2	25.6	28.1	27.0	27.4	25.5	21.1	18.9	18.4	17.4	17.1	16.5	14.5
12	17	15.2	14.6	13.9	13.5	13.4	12.8	12.5	14.4	16.8	18.8	21.5	25.0	26.9	26.6	28.5	26.8	25.8	22.0	19.9	18.5	17.5	17.5	16.0	15.2
12	18	14.4	14.3	13.9	13.2	13.1	12.6	12.8	14.6	16.3	18.3	22.3	24.9	26.8	27.4	28.5	28.0	26.6	21.8	19.4	18.8	17.3	17.0	15.8	14.9
12	19	14.8	14.0	13.8	13.3	13.1	13.2	12.3	14.2	17.1	19.9	23.4	26.1	26.1	28.4	28.1	27.7	26.4	21.5	18.8	18.3	17.1	15.9	15.0	14.1
12	20	13.9	13.1	12.8	12.5	12.3	12.4	11.9	13.8	17.0	19.2	21.0	25.4	25.0	26.8	27.0	27.2	26.5	20.7	19.4	19.8	17.8	17.2	16.0	15.0
12	21	14.8	14.3	13.3	12.9	13.1	12.6	12.1	14.3	17.9	20.7	23.3	24.5	25.3	26.8	27.3	27.1	26.6	21.7	20.1	19.7	18.3	18.1	16.1	16.0
12	22	15.4	14.5	14.8	13.7	13.6	13.0	13.1	13.8	16.6	19.1	24.2	27.2	26.4	29.4	27.2	27.6	26.5	22.1	19.5	19.1	18.3	17.5	16.4	14.9
12	23	14.5	14.6	13.6	14.2	13.7	13.2	13.2	14.9	17.8	19.3	23.4	25.9	27.9	29.0	29.2	28.3	27.2	22.3	20.4	19.5	18.9	16.9	16.7	16.2
12	24	15.2	15.0	14.9	14.3	13.8	13.6	13.7	14.8	18.0	22.1	24.7	26.6	28.9	28.3	28.6	28.8	28.0	23.3	20.7	19.8	18.8	17.8	16.8	17.1
12	25	16.1	15.4	15.7	14.8	14.6	14.6	14.2	15.3	19.2	20.6	26.0	27.2	28.1	29.1	29.1	29.2	27.9	23.9	21.9	19.5	18.8	18.0	17.0	17.2
12	26	16.0	15.4	15.3	14.8	14.5	14.4	14.5	15.3	19.2	22.0	23.4	25.1	26.8	28.5	29.6	29.1	28.6	23.4	21.2	20.8	19.7	19.1	18.9	17.7

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) อุณหภูมิอากาศรายชั่วโมง จังหวัดเชียงใหม่ 2548

เดือน	วันที่	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
12	27	17.3	17.5	16.7	16.0	15.4	15.1	15.2	16.3	18.2	20.8	24.9	26.1	28.9	27.9	29.2	29.0	27.5	23.8	21.6	21.2	20.6	19.0	18.1	18.3
12	28	17.6	16.9	16.5	16.4	15.3	15.0	15.2	16.2	17.9	19.7	24.0	24.7	27.0	29.6	28.6	28.6	27.9	23.4	21.2	21.2	20.1	19.0	18.0	17.6
12	29	17.4	16.7	16.6	15.7	15.0	14.8	14.8	15.4	17.6	20.2	23.0	25.1	26.5	27.9	28.3	28.6	28.1	23.9	21.5	20.1	19.9	19.1	17.8	17.3
12	30	16.9	16.5	15.8	15.0	14.5	13.9	13.6	14.6	17.0	19.7	23.5	25.4	27.4	28.3	28.5	29.2	28.8	22.7	20.9	19.5	18.0	18.1	17.5	16.5
12	31	16.2	15.4	15.3	14.5	14.5	14.3	14.0	15.2	17.3	19.6	23.2	25.6	26.7	27.9	27.7	28.1	27.8	23.7	21.5	19.8	19.4	22.4	19.3	18.5

ที่มา: ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ (2549)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย พิสิฐ สวงนระการกุล
วัน เดือน ปีเกิด	30 มกราคม 2523
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาประถมศึกษา โรงเรียนอนุบาลชัยนาท ปีการศึกษา 2537 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนชัยนาทพิทยาคม ปีการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนครสวรรค์ ปีการศึกษา 2541 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2544
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2544 – 2545 ผู้ช่วยที่ปรึกษาโครงการชุมชนชีวิตธุรกิจ ไทย (ITB)