

การประยุกต์ใช้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
ในโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

นุชจรินทร์ แก้วอาจ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์พลังงาน
สิงหาคม 2557
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

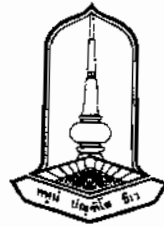
THE APPLICATION OF SOLAR HOT WATER SYSTEM
IN PASTEURIZED DAIRY FACTORY

NUTCHARIN KAEWART

PRESENTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF REQUIREMENTS FOR
THE BACHELOR OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS

AUGUST 2014

ALL RIGHTS RESERVED BY MAHASARAKHAM UNIVERSITY

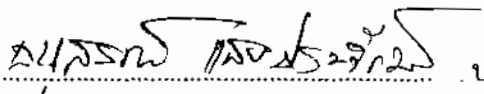


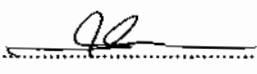
การประยุกต์ใช้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
ในโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์

นุชจรินทร์ แก้วอาจ

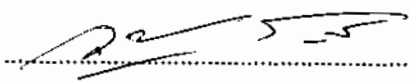
การศึกษาปัญหาพิเศษนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

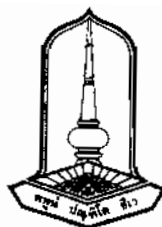

..... ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร. อนุสรณ์ แสงประจักษ์)


..... กรรมการ
(รศ. ชีรพจน์ พุทธิกิจวกวียงค์)


..... กรรมการ
(อ.ดร. เจนจิรา เปี่ยมดี)


..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(อ. วุฒิสาสตร์ โชคเกื้อ)

วันที่ 13 สิงหาคม 57



THE APPLICATION OF SOLAR HOT WATER SYSTEM IN PASTEURIZED DAIRY FACTORY

Nutcharin Kaewart

The special project has approved to be a partial fulfillment of requirement for the Degree of science in Applied Physics of Mahasarakham University.

Examining Committee:

Chairman

(Asst.Prof.Dr.Arnusorn Saengprajak)

Examining Member

(Assoc.Prof. Thirapote Puthikitakawiwong)

Examining Member

(Dr. Jenjira Piamdee)

Examining Member and Adviser

(Mr. Wutthisat Chokkuea)

Date 13 Aug 2017

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากท่าน อาจารย์วุฒิศาสตร์ โชคเกื้อ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำปรึกษารวมทั้งแนวคิดตลอดจนการ แก้ปัญหาข้อบกพร่องต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการครั้งนี้ ผู้ทำโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่สนับสนุนส่งเสริมด้านการศึกษามาโดยตลอด รวมทั้งให้ คำปรึกษาและกำลังใจในการดำเนินงานตลอดมา

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆน้องๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจที่ดีตลอดมา จนประสบความสำเร็จ ผู้ทำโครงการจึงขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นุชรินทร์ แก้วอาจ

ชื่อเรื่อง	การประยุกต์ใช้ระบบทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์		
ผู้วิจัย	นางสาวนุชจรินทร์ แก้วอาจ		
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาฟิสิกส์ประยุกต์		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์วุฒิศาสตร์ โชคเกื้อ		
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2557

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีแบบท่อแก้วดูดกลืนความร้อน และท่อแก่นำความร้อน อีกทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ การศึกษาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีใช้ท่อแก้วดูดกลืนความร้อนรุ่น SLL/SPL และท่อแก่นำความร้อนรุ่น All-glass heat pipe โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 ผลจากการทดลองพบว่า ท่อแก้วดูดกลืนความร้อนและท่อแก่นำความร้อนมีประสิทธิภาพ 35.18% และ 22.84%ตามลำดับ จากการศึกษาแบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์สมดุลพลังงาน พบว่าระบบสามารถนำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทดแทนการผลิตน้ำร้อนจากก๊าซหุงต้มและไฟฟ้าเป็นจำนวน 49,990.36 MJ/ปี คิดเป็นจำนวนเงินที่ประหยัดได้ 52,767.60 บาท/ปี ผลจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ขนาดระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 50 ตารางเมตร ต้องลงทุน 200,000 บาท โดยมีระยะเวลาคืนทุน 3.79 ปี ผลตอบแทนการลงทุน 23.08% และ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 81,511 บาท

TITLE The application of solar hot water system in pasteurized dairy factory
AUTHOR Nutcharin Kaewart
DEGREE Bachelor of science **MAJOR** Applied Physics
ADVISORS Mr. Wutthisat Chokkuea
UNIVERSITY Mahasarakham University **DATE** 2014

ABSTRACT

This research is a study the efficacy of a radiation absorber pipe, glass pipes, glass absorbs heat and thermal conductivity. The study of the possibility of using solar water heating systems in the dairy pasteurization. Study on Efficiency of a radiation absorber tube glass absorbs heat models SLL/SPL and a glass pipe heat model "All-glass heat pipe" is tested by the standards ASHRAE 93-77. The results of the experimental, glass pipes absorbs heat and direct glass pipes heat be efficient 35.18% and 22.84%, respectively, from simulation studies of solar hot water system for production of pasteurized milk by analyze the energy balance, the solar hot water system can be used instead of hot water from gas and electric boiler be amount 49,990.36 MJ/year, the total amount money saving 52,767.60 baht/year. The results of the economic analysis found size of solar hot water system 50 sqm would cost 200,000 Baht, payback period 3.79 years and 23.08% return on investment, net present value 81,511 baht.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพประกอบ	ช
สัญลักษณ์	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีพลังงานแสงอาทิตย์	3
2.2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	6
2.3 ประสิทธิภาพตัวรับรังสีอาทิตย์	10
2.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	12
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	16
3.1 การทดสอบหาประสิทธิภาพ	16
3.2 การจำลองระบบ	19
3.3 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์	21
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปราย	23
4.1 ข้อมูลจากการตรวจวัด	23
4.2 ผลการจำลองพลังงานความร้อน	26
4.3 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์	26

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	30
5.1 สรุปผลการทดลอง	30
5.2 ข้อเสนอแนะ	31
เอกสารที่เกี่ยวข้อง	31
ภาคผนวก	34
ก. ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพ	35
ข. ตัวอย่างการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์	38
ค. ตารางแสดงผลการทดลอง	44
ง. เครื่องมือการตรวจวัด	48
ประวัติย่อผู้ทำโครงการ	53

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดี – ข้อด้อยของตัวรับรังสีทั้งสองชนิด	9
ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดข้อมูลในแต่ละวัน (ตัวอย่าง 1 วัน)	23
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ	25
ตารางที่ ค.1 ผลการตรวจวัด วันที่ 7 มีนาคม 57	45
ตารางที่ ค.2 ผลการตรวจวัด วันที่ 8 มีนาคม 57	45
ตารางที่ ค.3 ผลการตรวจวัด วันที่ 10 มีนาคม 57	46
ตารางที่ ค.5 ผลการตรวจวัด วันที่ 11 มีนาคม 57	46
ตารางที่ ค.5 ผลการตรวจวัด วันที่ 13 มีนาคม 57	47

สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 2.1 การส่งผ่านรังสีอาทิตย์มายังโลก	4
ภาพประกอบ 2.2 แสดงมุมตกกระทบและมุมหักเหของแสง	6
ภาพประกอบ 2.3 ส่วนประกอบแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	7
ภาพประกอบ 2.4 ส่วนประกอบแผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ	8
ภาพประกอบ 3.1 ตำแหน่งการตรวจวัด	17
ภาพประกอบ 3.2 การติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูล	18
ภาพประกอบ 3.3 การติดตั้งเครื่องวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer)	18
ภาพประกอบ 3.4 แผนผังแบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	20
ภาพประกอบ 3.5 Cash flow แสดงค่าใช้จ่ายของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	22
ภาพประกอบ 4.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำร้อนกับความเข้มแสง	24
ภาพประกอบ 4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีกับความเข้มแสง	25
ภาพประกอบ 4.3 ปริมาณความร้อน และอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนที่คำนวณได้จากแบบจำลอง	26
ภาพประกอบ 4.4 Cash flow แสดงผลประโยชน์และการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน	27
ภาพประกอบ ๓.1 ลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	48
ภาพประกอบ ๓.2 ตัวเก็บรังสี 2 ชนิด (1) ท่อแบบดูดกลืนความร้อน (2) ท่อแบบนำความร้อน	48
ภาพประกอบ ๓.3 เครื่องบันทึกข้อมูล	49
ภาพประกอบ ๓.4 คอมพิวเตอร์	50
ภาพประกอบ ๓.5 ไพรานอมิเตอร์	50
ภาพประกอบ ๓.6 เครื่องบันทึกข้อมูล	51

สัญลักษณ์

ϕ	= ตำแหน่งที่ตั้งของแผงรับแสงอาทิตย์บนโลก บอกตำแหน่งเป็นเส้นรุ้ง ส่วนเส้นใต้ศูนย์สูตร
δ	= มุมที่แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ขณะอยู่ตอนเที่ยงวันเทียบกับระดับอิกเวเตอร์
β	= มุมที่ระนาบของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ทำกับแนวระนาบ
γ	= มุมการหันหน้าการรับพลังงานแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้
ω	= มุมที่เทียบกับเวลาเนื่องมาจากการหมุนรอบแกนของโลกเทียบได้เป็น 15 องศา ต่อ 1 ชั่วโมง
θ_1	= มุมที่เกิดจากแนวของรังสีแสงอาทิตย์ทำกับแนวของเส้นตั้งฉาก
θ_2	= มุมที่เกิดขึ้นจากแสงตกกระทบกระจกแล้วเบี่ยงเบนออกไปจากเส้นปกติ
n_1	= ค่าดัชนีหักเหของแสงผ่านอากาศ
n_2	= ค่าดัชนีหักเหของแสงผ่านกระจก
$\dot{Q}_{\text{call}}$	= อัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสี (MJ/hr)
$\dot{m}$	= อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสี (kg/hr)
C_p	= ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (MJ/kg°C)
T_1	= อุณหภูมิของน้ำเข้าตัวเก็บรังสี (°C)
T_2	= อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวเก็บรังสี (°C)
I_T	= รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบบนระนาบเอียง (MJ/m ² hr)
G	= ความเข้มของรังสี (W/m ² -hr)
A	= พื้นที่ของแผงแสงอาทิตย์ (m ²)
M_{LPG}	= ปริมาณการใช้แก๊ส LPG (kg/hr)
$\dot{Q}_{\text{aux}}$	= อัตราพลังงานความร้อนเสริม (kJ/hr)
η_0	= ประสิทธิภาพรวมในการใช้น้ำร้อนแบบเดิม (%)
H_L	= ค่าความร้อนของแก๊ส LPG มีค่าประมาณ 49,296 kJ/kg
AC	= ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดปีของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (Baht/year)
P	= ราคาเงินลงทุนทั้งหมด (Baht)
C_{LPG}	= ราคาแก๊ส LPG ต่อหน่วยมวล (Baht/kg)
OM	= ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษารายปี (Baht/year)
S	= มูลค่าซากระบบ (Baht)

สัญลักษณ์ (ต่อ)

i = อัตราดอกเบี้ยต่อปี

n = อายุการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (year)

CRF = Capital recovery factor

SFF = Sinking fund factor

CNF_n = กระแสเงินสดของปีที่ n (Baht)

i = อัตราผลตอบแทนในการลงทุน

N = อายุการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Year)

TIC = มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนทั้งหมด (Baht)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

พลังงานเป็นปัจจัยหลักพื้นฐานในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ ซึ่งในภาคการผลิตของอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีปัจจัยหลักสำคัญที่มีผลต่อการผลิต คือ พลังงานที่ใช้ เช่น ไฟฟ้า น้ำมัน แก๊ส และเชื้อเพลิงชีวมวลต่าง ๆ พลังงานที่ใช้กันในปัจจุบันเริ่มมีแนวโน้มของราคาจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามความต้องการของมนุษย์ เนื่องจากพลังงานที่กล่าวมานั้นล้วนแล้วเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปทั้งสิ้น ดังนั้นจึงมีการคิดหาพลังงานทดแทนขึ้นเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงหรือพลังงานต่าง ๆ พลังงานทดแทนเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีกได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล พลังงานน้ำ และพลังงานไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งพลังงานที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในปัจจุบันคือ พลังงานแสงอาทิตย์ เพราะประเทศไทยมีศักยภาพทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง(สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์, 2542) โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานเสนอให้การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกทดแทน ซึ่งมีการนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลาย เช่น โรงงานฆ่าสัตว์ โรงงานผลิตลูกชิ้น และโรงงานผลิตนม เป็นต้น

การใช้พลังงานความร้อนในหลายกระบวนการผลิตในโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำร้อน และสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมโคกก่อ จังหวัดมหาสารคาม มีโรงงานนมพาสเจอร์ไรส์ ที่ใช้น้ำร้อนประมาณ 4,500 ลิตร/วัน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานความร้อนในการซื้อแก๊ส LPGเป็นเชื้อเพลิง และค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 39,367.76–146,096.39 บาท/ปี ตามลำดับ โดยจะผลิตน้ำร้อนด้วยหม้อต้มไอน้ำ ฮีตเตอร์ไฟฟ้า และระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มีการใช้น้ำร้อนออกเป็น 2 ส่วนคือ กระบวนการทำความสะอาดอุปกรณ์ก่อน-หลังเลิกงานใช้น้ำร้อนจากหม้อต้มไอน้ำ และฮีตเตอร์ไฟฟ้า ส่วนกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ต้องผ่านการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำนมดิบจาก 8 °C เป็น 65 °C ก่อนเข้ากระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 70-80 °C ใช้น้ำร้อนจากหม้อต้มไอน้ำและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระบบเสริมในการอุ่นน้ำป้อนก่อนเข้าหม้อต้มไอน้ำ จากข้อมูลการใช้น้ำร้อนในโรงงานผลิตนมผงสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมโคกก่อ พบว่าการต้มน้ำร้อนโดยใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าและหม้อต้มไอน้ำที่ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง ส่งผลถึงเรื่องค่าใช้จ่ายสูง และในขณะเดียวกันก็ยังมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งมีผลทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกขึ้นอีกด้วย

จากปัญหาในการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับหม้อต้มไอน้ำในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตน้ำร้อนไม่เพียงพอกับความต้องการใช้น้ำร้อน ผู้จัดทำจึงได้ทำการศึกษาหาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์เพื่อปรับปรุงระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระบบเสริมให้กับ ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพื่อทำ

ความสะอาดอุปกรณ์ก่อน-หลังเลิกงาน เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊ส LPG ที่เป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำร้อนของหม้อต้มไอน้ำ และเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนที่มีอยู่ได้ใช้งานเต็มประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์โครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำร้อนของท่อแก้วดูดกลืนความร้อน และท่อแก้วนำความร้อน

1.2.2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ระบบทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทดแทนระบบทำน้ำร้อนจากหม้อไอน้ำ

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถหาประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำร้อนของท่อแก้วดูดกลืนความร้อน – ในท่อแก้วนำความร้อน

1.3.2 สามารถทราบถึงความเป็นไปได้ในการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบทำน้ำร้อนจากหม้อต้มไอน้ำ

1.3.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบทำน้ำแสงอาทิตย์ในโรงงานผลิตนม

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1.4.1 การศึกษาในครั้งนี้จะใช้ข้อมูลหลักจากสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมโคกก่อจำกัด

1.4.2 ชนิดแผง Solar Collector ใช้ของบริษัท TSingHua Solar

1.4.3 พื้นที่รับแสงของเครื่องทำน้ำร้อนแบบดูดกลืนความร้อน เท่ากับ 0.0565 ตารางเมตร

1.4.4 พื้นที่รับแสงของเครื่องทำน้ำร้อนแบบนำความร้อน เท่ากับ 0.0380 ตารางเมตร

1.4.5 เวลาในการทดลอง 06.00 น. – 17.00 น.

1.4.6 ระยะเวลาในการบันทึกข้อมูล 3 นาที/ครั้ง

1.4.7 ระยะเวลาในการทดลอง 7 วัน

1.4.8 อัตราการไหลของน้ำไม่มี

1.4.9 พื้นที่รับแสงในการจำลอง 50 ตารางเมตร

1.4.10 ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 73.90% (ที่มา: Tsinghua Solar Systems Ltd.)

1.4.11 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้งาน 80 °C

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์ (สมพร หงษ์ก้อง , 2556)

ดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สำคัญที่สุดต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหมดบนโลก ดวงอาทิตย์จะมีลักษณะเป็นกลุ่มแก๊สทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.39×10^6 กิโลเมตร อยู่ห่างจากโลก 1.5×10^8 กิโลเมตร ดวงอาทิตย์หมุนรอบตัวเองหนึ่งรอบใช้เวลา 28 วัน ในขณะที่เดียวกันก็จะปล่อยพลังงานออกมาประมาณ 3.85×10^{23} กิโลวัตต์ และปริมาณดังกล่าวจะมีพลังงานที่ตกกระทบลงสู่โลกประมาณ 1.79×10^{14} กิโลวัตต์ เทียบเป็นพลังงานที่ได้รับใน 1 ปี คือ 1.51×10^{18} กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง การปลดปล่อยพลังงานจากดวงอาทิตย์ จะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอในช่วง 500 ล้านปีที่ผ่านมาและมีการทำนายว่าจะเป็นไปในปริมาณดังกล่าวอย่างน้อยอีก 50 ล้านปีต่อไป และพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือชั้นบรรยากาศของโลกมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในตลอดปี

โดยทั่วไปพลังงานของดวงอาทิตย์ที่ส่งออกมาจะมีผลกระทบไม่มากต่อลักษณะอากาศในแต่ละวัน แต่อาจมีผลต่อสภาพเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบางอย่างได้ ความแตกต่างในองค์ประกอบของสเปกตรัมของรังสีแสงอาทิตย์บางอย่างอาจมีส่วนสำคัญที่มีผลต่อสภาพอากาศได้

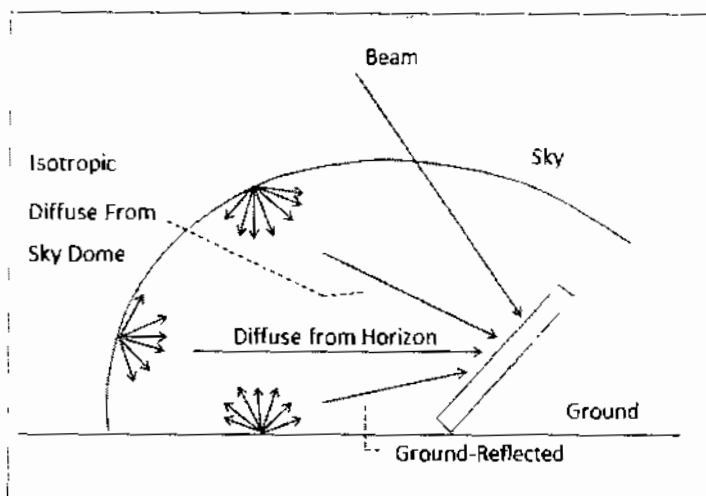
2.1.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ส่งมายังผิวโลก

เนื่องจากบรรยากาศของโลก ประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ ไอน้ำ ฝุ่น และอนุภาคต่างๆจึงทำให้เกิดรังสีของดวงอาทิตย์บางส่วนถูกดูดกลืน บางส่วนกระจัดกระจายมีทิศทางเบี่ยงเบนไป จึงเหลือรังสีอยู่บริเวณหนึ่งมาถึงผิวโลก ดังนั้นการแผ่รังสีมาผิวโลกจึงแบ่งได้ 3 ลักษณะเนื่องมาจากได้ผ่านชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

(1) การแผ่รังสีโดยตรง (Beam or direct radiation) คือ การแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ โดยไม่นับพลังงานแสงอาทิตย์ที่หักเหจากสิ่งอื่นๆ เช่น กระจกของอาคาร ฝุ่น เมฆ เป็นต้น

(2) การแผ่รังสีแบบแพร่กระจาย (Diffuse radiation) คือ รังสีที่พื้นผิวโลกได้รับหลังจากหักเห สะท้อน และกระเจิง จากสิ่งต่างๆ เช่น อาคาร ฝุ่น เมฆ เป็นต้น

(3) การแผ่รังสีรวม (total solar global radiation) คือ ผลรวมของการแผ่รังสีโดยตรงและการแผ่รังสีแบบแพร่กระจายที่พื้นผิวโลกได้รับ



ภาพประกอบ 2.1 การส่งผ่านรังสีอาทิตย์มายังโลก

2.1.2 ผลของชั้นบรรยากาศของโลกต่อการแผ่รังสีอาทิตย์

การหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์ และการหมุนรอบแกนเป็นเหตุให้ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลก ณ บริเวณต่าง ๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ตามวันเวลาและลักษณะของสเปกตรัมหลังจากที่ผ่านชั้นบรรยากาศของโลกจะแตกต่างจากลักษณะนอกชั้นบรรยากาศ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของภูมิประเทศของพื้นที่นั้น ๆ การดูดกลืนแสงโดยชั้นบรรยากาศของโลกจะเกิดขึ้นตลอดเวลา

(1) ช่วงอัลตราไวโอเล็ต มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 นาโนเมตร พลังงานจากรังสีอาทิตย์จะถูกดูดกลืนโดยแก๊สไนโตรเจน ออกซิเจน และแก๊สโอโซน เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมหรือโมเลกุลของแก๊สดังกล่าวจึงทำให้ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลกเกือบจะไม่มีแสงในช่วงที่มีคลื่นอัลตราไวโอเล็ตเหลืออยู่

(2) ช่วงแสงที่มองเห็นจะมีการดูดกลืนแสงโดยโมเลกุลของแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์ แก๊สโอโซน แก๊สออกซิเจนและไอน้ำ

(3) ช่วงอินฟราเรดจะมีการดูดกลืนแสงเนื่องมาจากการหมุนและการสั่นสะเทือนของโมเลกุลซึ่งได้แก่ น้ำ ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 700, 800, 1,400, 1,900, 2,700 และ 3,200 นาโนเมตร และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 1,600, 2,000, 2,700 และ 4,300 นาโนเมตร การดูดกลืนแสงดังกล่าวจะกีดกันบรรยากาศด้านล่างซึ่งมีความหนา 50 กิโลเมตร และพลังงานที่ถูกดูดกลืนจะทำให้เกิดความร้อนในชั้นบรรยากาศที่ระยะความยาวคลื่น 8,000 – 12,000 นาโนเมตร และบรรยากาศจะมีลักษณะโปร่งใส

2.1.3 ปัจจัยที่มีต่อพลังงานที่โลกจะได้รับจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

ปริมาณที่โลกจะได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะมากหรือน้อยนอกเหนือจากค่าคงที่ของพลังงานดวงอาทิตย์ ปริมาณพลังงานยังขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

(1) ความโปร่งใสของอากาศเนื่องจากบรรยากาศประกอบด้วย ฝุ่น เมฆ ไอน้ำ และ ก๊าซซึ่งมีส่วนในการกระจายการสะท้อนและการดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ในบริเวณเมฆหนาที่บหรืออากาศที่มีผลภาวะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงน้อย

(2) ความยาวนานของกลางวัน มีค่าแตกต่างกันไปตามละติจูดและฤดูกาลในวันที่มีระยะเวลากลางวันยาวจะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มาก บริเวณศูนย์สูตรจะมีระยะเวลากลางคืนและกลางวันเท่ากัน

2.1.4 มุมของแสงอาทิตย์ส่งกระทบบนโลก

ในตอนเที่ยงวันดวงอาทิตย์จะอยู่ตรงศีรษะพอดีความเข้มแสงของรังสีดวงอาทิตย์มีมากที่สุด แต่ในตอนเช้าและตอนเย็นรังสีดวงอาทิตย์จะส่องเป็นมุมเอียง ดังนั้นความเข้มแสงของรังสีจากดวงอาทิตย์จะน้อย

2.1.5 ทิศทางการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (ณัฐวุฒิ ยืนยง , เศวต นามโยธา , 2548)

ทิศทางการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ส่งมายังแผ่รับพลังงานแสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของแผ่รับแสงอาทิตย์บนโลกและตำแหน่งของโลกเทียบกับดวงอาทิตย์โดยสามารถอธิบายความสัมพันธ์รูปของมุมต่างๆ ดังภาพประกอบ 2.2 ได้แก่

(1) ตำแหน่งเส้นรุ้ง (latitude , ϕ) คือ ตำแหน่งที่ตั้งของแผ่รับแสงอาทิตย์บนโลก บอกตำแหน่งเป็นเส้นรุ้ง ส่วนเส้นใต้ศูนย์สูตร โดยถ้าอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรจะมีค่าเป็นบวก ส่วนใต้เส้นศูนย์สูตรจะมีค่าเป็นลบ , $-90^\circ \leq \phi \leq 90$

(2) มุมเดคลิเนชัน (Declination angle , δ) คือ มุมที่แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ขณะอยู่ตอนเที่ยงวันเทียบกับระดับฮิเคเตอร์ ซึ่งมีค่าเป็นบวกถ้าวัดไปทางทิศเหนือของฮิเคเตอร์ มุมเดคลิเนชันในหน่วยองศาสำหรับแต่ละวันจะคำนวณได้จากสูตร

$$\delta \equiv 23.45 \sin (366(284+n) / 365) \quad (2.1)$$

(3) มุมเอียง (Slope angle, β) คือ มุมที่ระนาบของแผ่รับพลังงานแสงอาทิตย์ทำกับแนวระนาบ (horizon) โดยมุมเอียงมีค่าตั้งแต่ 0 องศา ถึง 180 องศา ในการทดลองนี้ใช้มุม 15 องศา

(4) มุมอะซิมุท (Surface azimuth angle, γ) คือ มุมการหันหน้าการรับพลังงานแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ โดยจะมีค่าเป็น 0 องศา ถึง 180 องศา ถ้าแผ่รับหน้าไปทางทิศใต้ ถ้าเบนหันไปทางทิศตะวันออกจะมีค่าเป็นบวก และถ้าเบนหันหน้าไปทางทิศตะวันตกจะมีค่าเป็นลบ

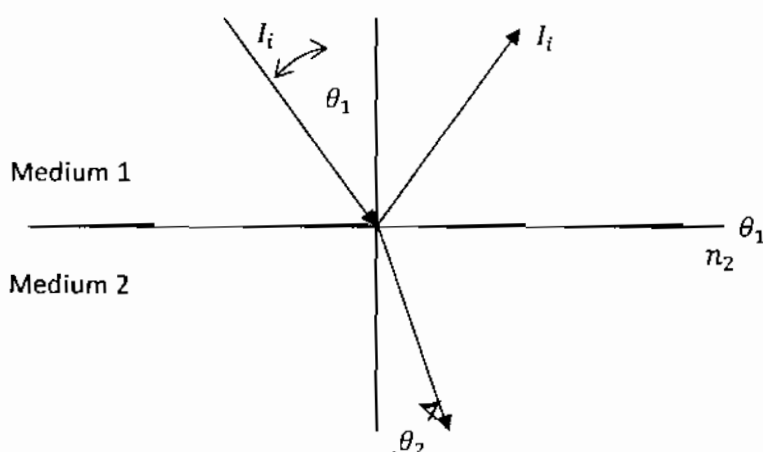
(5) มุมชั่วโมง (Hour angle, ω) คือ มุมที่เทียบกับเวลาเนื่องมาจากการหมุนรอบแกนของโลกเทียบได้เป็น 15 องศา ต่อ 1 ชั่วโมง โดยขณะตอนเที่ยงวันมุมจะมีค่าเป็นศูนย์ มีค่าเป็นลบในเวลาก่อนเที่ยงและมีค่าเป็นบวกหลังเวลาเที่ยง

(6) มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ (Angle of incidence, θ_1) คือ มุมที่เกิดจากแนวของรังสีแสงอาทิตย์ทำกับแนวของเส้นตั้งฉาก (normal line) ของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ มุมตกกระทบแสงอาทิตย์

(7) มุมหักเหของแสงอาทิตย์ผ่านกระจก (refraction angle, θ_2) คือมุมที่เกิดขึ้นจากแสงตกกระทบกระจกแล้วเบี่ยงเบนออกไปจากเส้นปกติ ดังภาพประกอบ 2.2 ซึ่งมีความสัมพันธ์ ดังนี้

โดยที่ n_1 คือ ค่าดัชนีหักเหของแสงผ่านอากาศ

n_2 คือ ค่าดัชนีหักเหของแสงผ่านกระจก



ภาพประกอบ 2.2 แสดงมุมตกกระทบและมุมหักเหของแสง

2.2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (พิสิฏฐ์ สงวนตระกูล , 2549)

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ คือเครื่องผลิตน้ำร้อนโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนที่แลกเปลี่ยนอุณหภูมิให้น้ำทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสามารถนำมาทดแทนระบบผลิตน้ำร้อนจากฮีตเตอร์ หรือสามารถนำมาอุ่นน้ำร้อนก่อนเข้าหม้อต้มไอน้ำระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ

2.2.1 ถังเก็บน้ำร้อน

2.2.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

2.2.1 ถังเก็บน้ำร้อน

ถังเก็บน้ำร้อนเป็นถังสองชั้น ชั้นในสำหรับเก็บน้ำร้อนที่ไหลมาจากแผงรับแสงอาทิตย์ทำด้วยโลหะที่ไม่เป็นสนิมและสามารถทนความดันได้สูงเช่น สเตนเลส เป็นต้น ส่วนถังชั้นนอกมักทำด้วยแผ่น

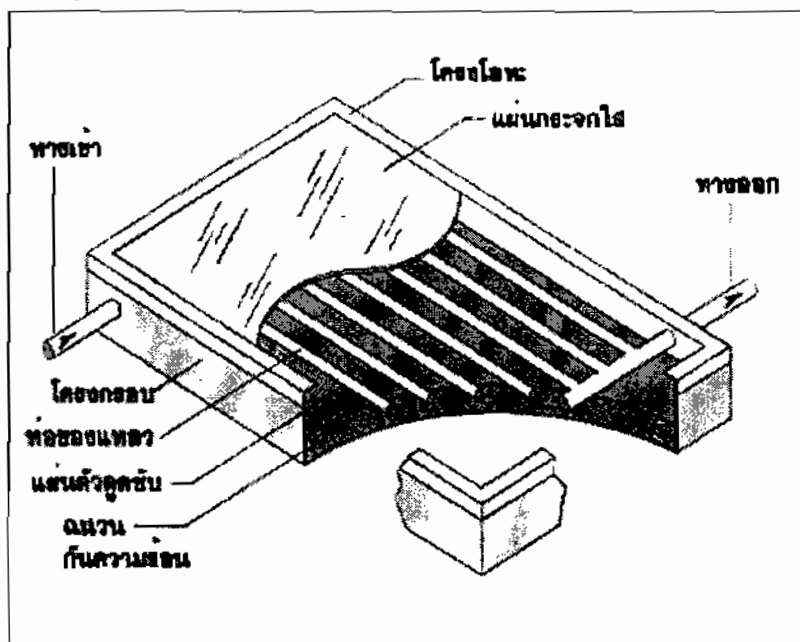
อะลูมิเนียม โดยภายในหุ้มด้วยฉนวนไมโครไฟเบอร์แบบถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ชนิดทนความร้อนซึ่งจะช่วยให้สามารถกักเก็บความร้อนได้ดีขึ้น

2.2.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ถือว่าเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อน และถ่ายเทให้กับของไหลที่ไหลอยู่ภายในตัวเก็บรังสี ทำให้การไหลดังกล่าวนี้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ตัวเก็บรังสีที่ดีจะต้องมีความสามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดี มีการสูญเสียความร้อนน้อยและสามารถถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนให้แก่ของไหลได้รวดเร็ว โดยทั่วไปตัวเก็บรังสีจะยึดติดอยู่กับที่หันหน้าไปทางทิศใต้และเอียงทำมุมประมาณละติจูดของตำแหน่งที่อยู่ชนิดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มี 2 ชนิด ดังนี้

2.2.2.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat Plate Solar Collector)

ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบสามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ $40-90^{\circ}\text{C}$ มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมแบนเป็นส่วนที่รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่ไหลอยู่ในท่อทองแดงภายในแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีส่วนประกอบตามภาพประกอบ 2.3



ภาพประกอบ 2.3 ส่วนประกอบแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

2.2.2.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Evacuated Tube Solar Collector)

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงสุดประมาณ $80-150^{\circ}\text{C}$ เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งที่มีลักษณะเป็นหลอดแก้วสองชั้น ระหว่างชั้นเป็นสุญญากาศเพื่อลดการสูญเสียความร้อน ภายใน

เคลือบด้วยสารเคลือบรังสีมีประสิทธิภาพสูงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการน้ำร้อนอุณหภูมิสูงและปริมาณมากมีส่วนประกอบตามภาพประกอบ 2.4



ภาพประกอบ 2.4 ส่วนประกอบแผงรับรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ

(2.2.2.2.1) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศสามารถจำแนกออกได้ 2 แบบ ดังนี้

(1) ท่อแก้วแบบสุญญากาศชนิดไม่มีสารทำงาน หลักการทำงานคือ เมื่อน้ำได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จะมีความหนาแน่นน้อยลงจึงทำให้น้ำร้อนไหลขึ้นสู่ด้านบนของท่อแก้วเพื่อนำไปเก็บในถังเก็บน้ำร้อนโดยน้ำเย็นจึงไหลเข้ามาแทนที่

(2) ท่อแก้วแบบสุญญากาศชนิดมีสารทำงาน หลักการทำงานคือ เมื่อท่อแก้วได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำให้อากาศถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำงานที่อยู่ภายในท่อแก้วชั้นใน จึงทำให้สารทำงานเกิดการเดือดจนระเหยกลายเป็นไอลอยขึ้นสู่ด้านบนของท่อแก้วเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำจึงเกิดการควบแน่นทำให้อากาศกลายเป็นของเหลวไหลกลับลงด้านล่างของท่อแก้ว สำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดนี้สามารถทำความร้อนได้สูงถึง $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ และเป็นรังสีอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในปัจจุบันนี้อีกด้วย

ตาราง 2.1 เปรียบเทียบข้อดี - ข้อด้อยของตัวรับรังสีทั้งสองชนิด

ข้อดี	
แบบแผ่นเรียบ	แบบหลอดแก้วสุญญากาศ
- ราคาถูกกว่าแบบหลอดสุญญากาศ (ราคารวมค่าติดตั้งต่อตารางเมตรประมาณ 8,000 – 10,000 บาท กรณีระบบใหญ่)	- ประสิทธิภาพสูงถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิตัวดูดรังสีและอากาศแวดล้อมสูงมาก
- การติดตั้งทำได้หลายรูปแบบ เช่น ติดตั้งบนหลังคา ติดตั้งเป็นส่วนหนึ่งของหลังคาเป็นผนัง	- ประสิทธิภาพสูงแม้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ
- ราคาต่อสมรรถนะการทำความร้อนสูง	- เหมาะกับการใช้งานอุณหภูมิสูงเช่น การผลิตไอน้ำ
- การประกอบ ติดตั้งทำได้ง่าย	- ขนส่งได้ง่ายกว่า เนื่องจากน้ำหนักเบา บางชนิดสามารถประกอบได้บริเวณพื้นที่ติดตั้งระบบ
-	- สามารถปรับทิศทางการรับรังสีอาทิตย์ของแผ่นดูดรังสีภายในหลอดแก้วได้
-	- ติดตั้งได้หลายรูปแบบ เช่น แนวนอนราบกับพื้นหลังคา ช่วยลดแรงลมปะทะ และลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง
ข้อด้อย	
แบบแผ่นเรียบ	แบบหลอดแก้วสุญญากาศ
- ประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบหลอดสุญญากาศ (เนื่องจากมีค่าการสูญเสียความร้อนรวมที่สูงกว่า)	- ราคาสูงกว่าแบบแผ่นเรียบ (ราคารวมค่าติดตั้งต่อตารางเมตรประมาณ 10,000 – 12,000 บาท กรณีระบบใหญ่)
- ระบบ support การติดตั้งต้องเป็นลักษณะพื้นราบเรียบ	- ไม่สามารถติดตั้งแบบนอนราบได้กรณีเป็นแบบ heat pipe (ต้องมีมุมเอียงประมาณ 25°)
- ต้องการพื้นที่ติดตั้งมากกว่าแบบหลอดสุญญากาศ	- ไม่สามารถติดตั้งแบบเป็นส่วนหนึ่งของหลังคาได้
- ไม่เหมาะกับการใช้งานอุณหภูมิสูงเช่น การผลิตไอน้ำ	-

2.2.2.2.2 หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถแบ่งตามการใช้งานออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

การผลิตน้ำร้อนชนิดไหลเวียนตามธรรมชาติ (Thermosiphon system) เป็นชนิดที่มีถังเก็บอยู่สูงกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ ใช้หลักการหมุนเวียนตามธรรมชาติ เมื่อน้ำได้รับความร้อน

จากแสงอาทิตย์จะมีความหนาแน่นน้อยลงจึงไหลขึ้นสู่ด้านบนของถัง น้ำเย็นจึงไหลเข้ามาแทนที่ เหมาะสำหรับการใช้ในที่อยู่อาศัยหรือมีปริมาณการใช้ไม่สูงมากนัก

(1) การผลิตน้ำร้อนชนิดใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียน

การผลิตน้ำร้อนชนิดใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียน เหมาะสำหรับการใช้ผลิตน้ำร้อนจำนวนมากและมีการใช้อย่างต่อเนื่อง เช่น โรงแรม โรงพยาบาล และอุตสาหกรรมบางประเภท

(2) การผลิตน้ำร้อนชนิดผสมผสาน

การผลิตน้ำร้อนชนิดผสมผสาน ได้แก่ ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน เป็นการนำเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์มาผสมผสานกับความร้อนเหลือทิ้งจากการระบายความร้อนของเครื่องทำความเย็นหรือเครื่องปรับอากาศโดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เพื่อลดขนาดพื้นที่แผงรับรังสีความร้อนและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า ทั้งยังเป็นการลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานเชิงพาณิชย์ในการผลิตน้ำร้อนได้อีกด้วย

2.3 ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี (จาตุพงค์ วาฤทธิ์ , 2550)

ประสิทธิภาพในการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ (collector efficiency, η_{coll}) พิจารณาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่สภาวะคงตัวที่ขณะใดๆ ค่ารังสีที่ถูกดูดกลืนเท่ากับ ค่าอัตราความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ รวมกับ ค่าอัตราความร้อนที่สูญเสียจากผิวดูดรังสีซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{Q}_{coll} = \dot{m}C_p(T_2 - T_1) \quad (2.2)$$

เมื่อ $\dot{Q}_{coll}$ = อัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสี (MJ/hr)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสี (kg)

C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (MJ/kg°C)

T_1 = อุณหภูมิของน้ำเข้าตัวเก็บรังสี (°C)

T_2 = อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวเก็บรังสี (°C)

$$\eta_{coll} = \frac{\dot{Q}_{coll}}{I_T A_c} = \frac{\dot{m}C_p(T_2 - T_1)}{I_T A_c} \quad (2.3)$$

ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า η_{coll} และ $(T_2 - T_1) / I_T$ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวอยู่ในรูปสมการเส้นตรง

$$\eta_{coll} = \dot{m}C_p(T_2 - T_1)/GA \quad (2.4)$$

- เมื่อ $\dot{m}$ = อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสี (kg)
 C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (MJ/kg°C)
 T_1 = อุณหภูมิของน้ำเข้าตัวเก็บรังสี (°C)
 T_2 = อุณหภูมิของน้ำออกจากตัวเก็บรังสี (°C)
 I_T = รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงที่ตกกระทบตั้งฉากบนระนาบเอียง (MJ/m²)
 G = ความเข้มของรังสี
 A = พื้นที่ของแผงแสงอาทิตย์

2.4 ความร้อนเสริมจากแก๊ส (พิสิฐฐ์ สงวนตระกูล , 2549)

ในกรณีระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำอุณหภูมิน้ำป้อนได้สูงเพียงพอกับความร้อนที่ต้องการระบบจำเป็นต้องมีอุปเสริมเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้ขดลวดไฟฟ้าทำความร้อนกันแต่ของโรงผลิตนมถั่วเหลืองนี้ปัจจุบันได้ใช้แก๊สหุงต้มในการทำน้ำร้อน ดังนั้นเราสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบให้ความร้อนนี้ได้ จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ลงได้อีกโดยที่ให้อัตราการให้พลังงานความร้อนเสริม ($\dot{Q}_{aux}$) สามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_{aux} = \dot{m}_L C_p (T_2 - T_1) \quad (2.5)$$

และปริมาตรแก๊สที่ใช้ LPG ที่ใช้ในการให้ความร้อนเสริม สามารถคำนวณได้จาก

$$M_{LPG} = \frac{\dot{Q}_{aux}}{\eta_o H_L} \quad (2.6)$$

- เมื่อ M_{LPG} = ปริมาณการใช้แก๊ส LPG (kg/hr)
 $\dot{Q}_{aux}$ = อัตราพลังงานความร้อนเสริม (kJ/hr)
 η_o = ประสิทธิภาพรวมในการใช้น้ำร้อนแบบเดิม
 H_L = ค่าความร้อนของแก๊ส LPG มีค่าประมาณ 49,296 kJ/kg
 (ที่มา : <http://gasprice.pook.com>)

ประสิทธิภาพรวมในการใช้น้ำร้อนแบบเดิม (η_o) ประเมินมาจากปริมาณความร้อนที่ต้องการในการทำน้ำร้อนให้มีอุณหภูมิ และปริมาณตามที่ต้องการ ต่อปริมาณความร้อนที่ได้จากแก๊สในแต่ละเดือน ของโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์มีการใช้แก๊สไปเท่าไร

2.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การเลือกระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์มาใช้งานนั้น นอกจากจะคำนึงถึงประสิทธิภาพของระบบ แล้วสิ่งที่สำคัญอีกอย่างคือ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ถึงแม้ว่าระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพสูงเพียงใดก็ตาม แต่ถ้าการลงทุนสูงก็ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานการตัดสินใจว่าจะเลือกระบบการผลิตน้ำร้อนแบบไหนนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายและต้นทุนพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ระบบทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในกระบวนการผลิตนม และความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการเลือกระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์มาใช้งานกับโรงงานผลิตนม

2.5.1 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (Annual Cost)

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี เป็นวิธีการเทียบค่าของเงินสด ณ เวลาใด ๆ ให้มาอยู่ในรูปของเงินสุทธิที่เกิดขึ้นในแต่ละปีอย่างสม่ำเสมอ โดยค่าทั้งหมดจะถูกแปลงเป็นค่าใช้จ่ายรายปีแต่ละปี และพารามิเตอร์ของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม หมายถึง พารามิเตอร์ซึ่งนำไปใช้ออกแบบระบบ จะทำให้ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดปีของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ต่ำสุด ค่าใช้จ่ายรายปีสุทธิของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สามารถหาได้จาก

$$AC = (P)(CRF) + (M_{LPG}C_{LPG}) + OM - S(SFF) \quad (2.7)$$

$$\text{โดยที่ } CRF = [i(1+i)^n]/[(1+i)^n - 1] \quad (2.8)$$

$$SFF = i/[(1+i)^n - 1] \quad (2.9)$$

เมื่อ AC = ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดปีของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (Baht/year)

P = ราคาเงินลงทุนทั้งหมด (Baht)

M_{LPG} = ปริมาณแก๊ส LPG ที่ใช้ในความร้อนเสริมต่อปี (kg/year)

C_{LPG} = ราคาแก๊ส LPG ต่อหน่วยมวล (Baht/kg)

OM = ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษารายปี (Baht/year)

S = มูลค่าซากระบบ (Baht)

i = อัตราดอกเบี้ยต่อปี

n = อายุการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (year)

CRF = Capital recovery factor

SFF = Sinking fund factor

2.5.2 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

ในการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ เป็นวิธีการรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดมาเป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีมูลค่าปัจจุบันต่ำแสดงว่าระบบนั้นน่าสนใจในการลงทุน

$$NPV = (P) + (M_{LPG}C_{LPG} + OM)(USPWF) - S(SPPWF) \quad (2.10)$$

$$\text{โดยที่ } USPWF = [(1+i)^n - 1]/[i(1+i)^n] \quad (2.11)$$

$$SPPWF = 1/(1+i)^n \quad (2.12)$$

เมื่อ USPWF = Uniform – series present worth factor

SPWF = Single payment present worth factor

2.5.3 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period, SPP)

การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน เป็นวิธีการหนึ่งในการพิจารณาว่าระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์เมื่อลงทุนไปแล้วจะสามารถคืนทุนให้แก่ผู้ลงทุนได้เมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้อยู่ ซึ่งระยะเวลาคืนทุนยังขึ้นยังต้องการสูงระยะเวลาคืนทุนที่นิยมใช้จะเป็นแบบวิธีระยะคืนทุนแบบง่าย โดยระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้จากเงินลงทุนเบื้องต้นของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ต่อค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ต่อปี

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{ผลประหยัด}} \quad (2.13)$$

2.5.4 การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return, IRR)

อัตราผลตอบแทนการลงทุนหรืออัตราส่วนลดที่ทำให้เงินมูลค่าปัจจุบันสุทธิในการลงทุน (Net Present Value, NPV) เท่ากับศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์วิธีนี้มีการนำเอาอัตราดอกเบี้ยมารวมคำนวณด้วยทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้องมากขึ้น วิธีการหาอัตราผลตอบแทนในการลงทุนเป็นการหาโดยใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error)

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{CNF_n}{(1+i)^n} - TIC = 0 \quad (2.14)$$

เมื่อ CNF_n = กระแสเงินสดของปีที่ n (Baht)

i = อัตราผลตอบแทนในการลงทุน

N = อายุการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Year)

TIC = มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนทั้งหมด (Baht)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยการเลือกขนาดระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สำหรับโรงฆ่าสัตว์ พิสิฐฐ์ สงวนตระกูล และคณะ (2549) เป็นการศึกษาเพื่อเลือกขนาดของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับโรงงานฆ่าสัตว์โดยใช้ข้อมูลการใช้ความร้อนของโรงงานฆ่าสัตว์ขนาดเล็ก ในเขตเทศบาลแห่งหนึ่ง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ ประกอบกับข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ได้มีการทดสอบ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบขนาด 2 m^2 ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 ผลจากการทดสอบแสดงว่าค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ F_{RU} เป็น 0.802 และ $10.37 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$ ตามลำดับค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของถังเก็บน้ำร้อนขนาด 200 ลิตร คือ $3.247 \text{ W/}^\circ\text{C}$ จากผลการศึกษาในกรณีที่น้ำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้กับโรงงานฆ่าสัตว์ที่มีความต้องการน้ำร้อนประมาณ 1,500 ลิตร/วัน ที่อุณหภูมิ $80 \text{ }^\circ\text{C}$ พบว่าขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมคือ 24 m^2 และถังเก็บน้ำร้อนขนาด 1200 ลิตร เนื่องจากเป็นระบบที่ให้เงินลงทุนเทียบเท่ารายปีต่ำที่สุดอยู่ที่ 391,752 บาท/ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 2,719,983 บาท ระยะเวลาคืนทุน 2.55 ปี และอัตราผลตอบแทนในการลงทุนเป็น 38.4%

2. งานวิจัยศักยภาพเชิงอุณหภูมิของการผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ในภาคอุตสาหกรรม จารุวัฒน์ เจริญจิต และคณะ (2555: วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา) ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวเก็บรังสีแบบต่าง ๆ ว่าตัวเก็บรังสีแบบใดจะมีศักยภาพเชิงอุณหภูมิของการผลิตน้ำร้อน เมื่อนำอุณหภูมิน้ำร้อนที่สามารถผลิตได้ มาพิจารณาร่วมกับข้อมูลช่วงอุณหภูมิที่ต้องการในภาคอุตสาหกรรมพบว่าตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ (FPC) เหมาะสำหรับ ใช้เป็นแหล่งความร้อนช่วงอุณหภูมิต่ำ โดยที่ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ (ETC) และตัวเก็บรังสีแบบซีพีซี (CPC) เหมาะสำหรับใช้เป็นแหล่งความร้อนช่วงอุณหภูมิปานกลางในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ จึงเป็นเทคโนโลยีที่ควรมีการศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพให้สูงขึ้นเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน จากการศึกษาและพัฒนาการผลิตตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบให้ผลิตอุณหภูมิได้สูงขึ้นเทียบเท่า (ETC) และ (CPC) โดยพัฒนาคุณสมบัติการดูดกลืนรังสี ลดการสูญเสียความร้อน และมีราคาต่อหน่วยลดลงหรือ พัฒนาแนวทางการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2 ชนิดทำงานร่วมกันในลักษณะ (combine cycle) รูปแบบต่าง ๆ โดยเป็นแหล่งความร้อนหลักหรือความร้อนเสริมที่เหมาะสมกับกระบวนการความร้อนต่าง ๆ ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในส่วนของการประหยัด เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานตลอดจนการปลดปล่อยมลพิษ และก๊าซเรือนกระจก ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต

3. งานวิจัยระบบทำน้ำร้อนด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับการล้างแบบ Cleaning In Place ของศูนย์รับนํ้ามันดิบ จาตุพงศ์ วาฤทธิ์ และคณะ (2550: วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.) เป็นการศึกษาและออกแบบระบบทำน้ำร้อนด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์รับนํ้ามันดิบแบบ Cleaning In Place(CIP) ของบริษัทตัวอย่างในจังหวัดเชียงใหม่ เลือกระบบทำน้ำร้อนด้วยตัวเก็บ

รังสีขนาด 4 m^2 มีถึงน้ำสะสมความร้อนขนาด 360 ลิตร อัตราการไหลแบบบังคับที่ 1 lpm ผลการทดสอบพบว่าตัวเก็บรังสีให้พลังงานความร้อนสะสมตลอดช่วงเวลารับรังสี 8 ชั่วโมงที่ 42.5 MJ เมื่อติดตั้งที่ศูนย์รับน้ำนมดิบในเดือนกุมภาพันธ์ 2550 ระบบที่ออกแบบสามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในถังสะสมได้ $30.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ คลาดเคลื่อนไปจากทฤษฎี 1.3% ชุดทดสอบใช้เงินลงทุนเริ่มต้น 80,000 บาท ลดค่าใช้จ่ายเพื่อทำความร้อนในการทำความสะดวกอุปกรณ์รับน้ำนมดิบได้ปีละ 21,900 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 3.7 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายในที่ 27.2%

บทที่ 3

วิธีดำเนินงาน

ในการวิเคราะห์ระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ ในที่นี้จะมีการออกแบบการทดลองโดยจะมีการใช้แบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และถังเก็บน้ำร้อน ข้อมูลสภาพอากาศและลักษณะการใช้ความร้อนของโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์มาทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบ และการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาค่าใช้จ่ายต่างๆ ของระบบที่สามารถประหยัดได้เมื่อเทียบกับระบบทำน้ำร้อนจากหม้อไอน้ำและฮีตเตอร์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

3.1 การทดสอบหาประสิทธิภาพ

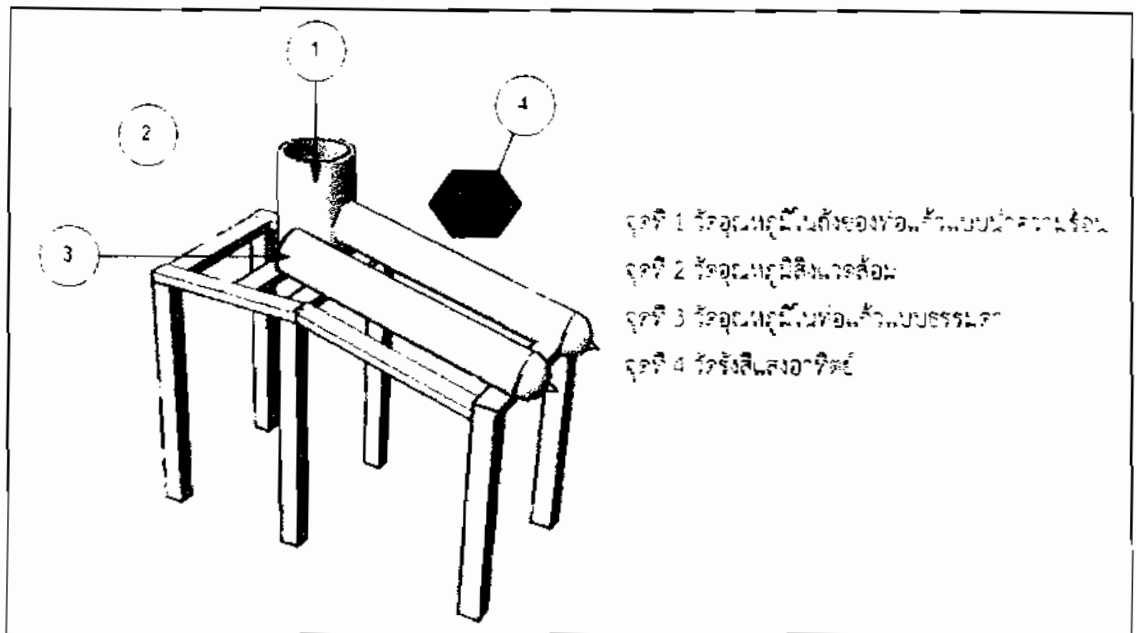
การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มีวิธีการทดสอบโดยมีการออกแบบการทดลองขึ้นมา เก็บข้อมูลตามที่ออกแบบ โดยจะนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณในบทที่ 2 (สมการ 2.4) เพื่อหาประสิทธิภาพตามวิธีการออกแบบ

3.1.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นการออกแบบที่มีขั้นตอนในการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพ ซึ่งจะต้องมีข้อมูลที่ต้องใช้ในการคำนวณที่คือสามารถวัดความเข้มแสงอาทิตย์, มีข้อมูลการใช้ น้ำ, รายละเอียดของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์และพื้นที่ในการรับแสงทั้งหมดโดยจะมีการวิเคราะห์และออกแบบการทดลองดูจากปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ ข้อมูลการใช้ น้ำว่าปริมาณน้ำที่ต้องใช้และช่วงเวลาการใช้งาน และรายละเอียดของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

3.1.2 การตรวจวัด

การตรวจวัดในการออกแบบการทดลองต้องมีตำแหน่งในการวัดที่ชัดเจน เพื่อป้องกันค่าความคลาดเคลื่อนสามารถดูได้จาก ภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 ตำแหน่งการตรวจวัด

จากภาพประกอบ 3.2 ตำแหน่งการตรวจวัด พบว่าจากการออกแบบการทดลองที่ใช้สมการ 2.4 เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพ มีตัวแปรในการคำนวณดังต่อไปนี้ อัตราการไหลของน้ำ (m) ซึ่งอัตราการไหลในที่นี้จะไม่มีเพราะเป็นการทดสอบแบบน้ำนิ่งแต่จะใช้มวลของน้ำที่ระเหยไปแทนและมีการชั่งมวลน้ำทุกวันก่อน-หลังการทดลอง ส่วนความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT) ได้จาก $(T_2 - T_1)$ สำหรับความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2) จะได้จากการตรวจวัดและพื้นที่รับแสงทั้งหมด (m^2)

3.1.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

วิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และศึกษาถึงความคุ้มค่าเศรษฐศาสตร์ในการนำระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ โดยในการศึกษาจะทำการทำสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แล้วนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

1. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แสดงใน(ภาคผนวก ง.1) และส่วนประกอบต่างๆของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แสดงใน(ภาคผนวก ง.2)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล (ภาคผนวก ง.)

(1) เครื่องบันทึกข้อมูล (Dataloger)

(2) คอมพิวเตอร์

(3) ไทแรนอมิเตอร์

(4) สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Thermo couple type K)

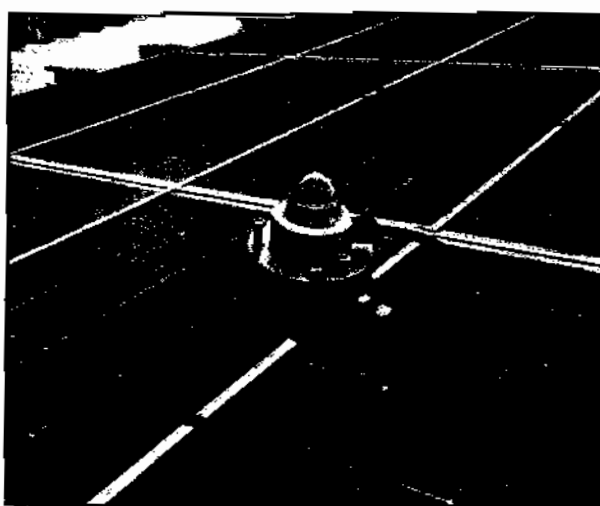
3.1.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์

1. ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) เพื่อวัดอุณหภูมิน้ำร้อนในท่อแก้วแบบนำความร้อน (T_{w1}) และแบบธรรมดา (T_{w2}) ในตัวเก็บรังสีวัดความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ (T_s) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี และอุณหภูมิแวดล้อมอากาศ (T_a) รวมทั้งหมด 4 ตำแหน่งดังแสดงในภาพประกอบ 3.2



ภาพประกอบ 3.2 การติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูล

2. ติดตั้งเครื่องวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer) นำเครื่องวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์มาวางที่แท่นระนาบโดยปรับตั้งให้ระดับน้ำตรงศูนย์ แล้วต่อสายเพื่อวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) 1 ตำแหน่ง และตั้งบันทึกค่าความเข้มแสงอาทิตย์ดังแสดงในภาพประกอบ 3.3



ภาพประกอบ 3.3 การติดตั้งเครื่องวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer)

3.1.2.3 วิธีทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์

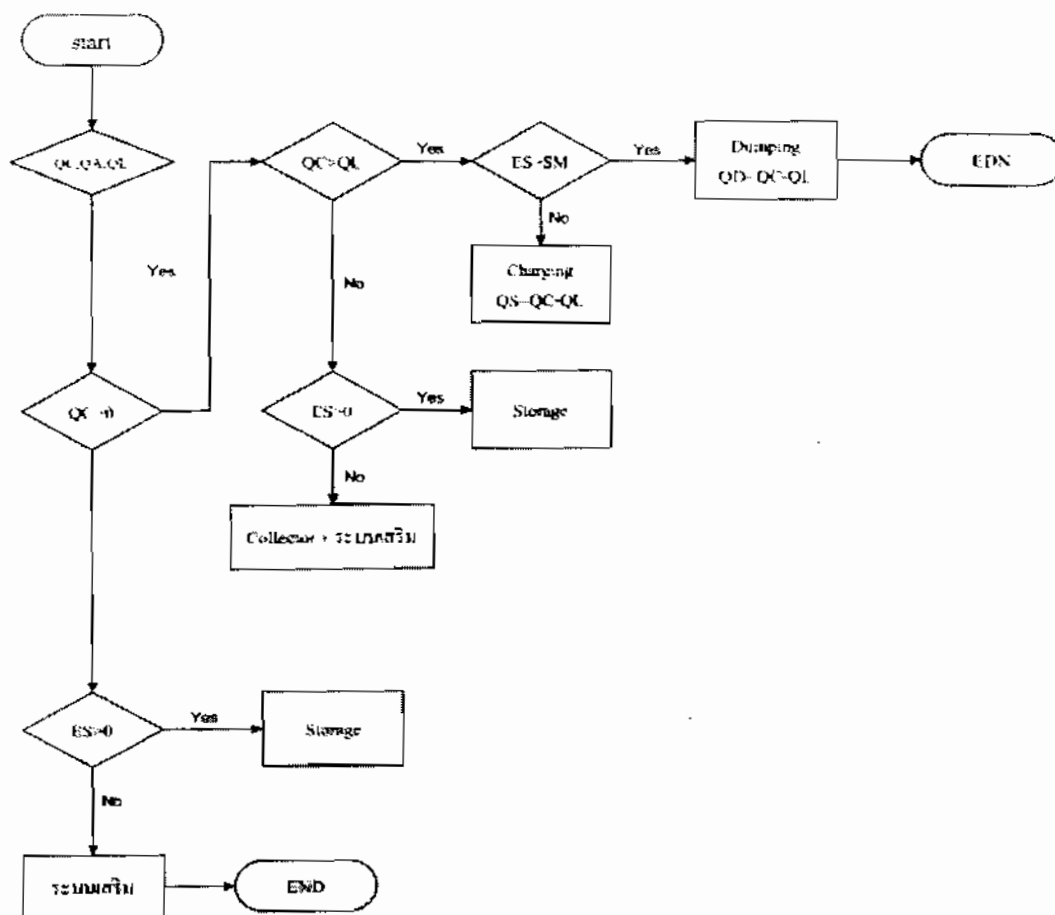
- (1) ทดสอบในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส เวลาในการทดสอบ 06:00 น. – 17:00 น.
- (2) ทำการต่อตัวเก็บรังสีเข้ากับชุดทดสอบสมรรถนะ
- (3) นำน้ำที่ชั่งมา 314 g และ 1,020 g มาใส่ในห่อดูดกลืนความร้อน – ในห่อนำความร้อนตามลำดับ
- (4) ติดตั้งจุดที่จะทำการวัดอุณหภูมิในห่อ – น้ำในถัง อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และค่ารังสีอาทิตย์
- (5) ทำการเดินเครื่องทดสอบสมรรถนะตัวเก็บรังสี โดยน้ำไม่มีการไหล
- (6) ตั้งอุณหภูมิน้ำในตัวเก็บรังสีเริ่มต้นที่ 25 °C
- (7) รอให้ระบบอยู่ในสภาวะสมดุล ก่อนประมาณ 10 นาที แล้วทำการบันทึกค่าตามจุดต่าง ๆ ที่วัด
- (8) หลัง 17:00 น. ชั่งน้ำในห่อดูดกลืนความร้อน – ในห่อนำความร้อน
- (9) ทดสอบทั้งหมด 7 วัน

3.2 การจำลองระบบ

เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์มีข้อจำกัดของช่วงเวลาและเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาล การวิเคราะห์ระบบด้วยวิธีการจำลองการทำงานเป็นวิธีหนึ่งที่ยิยมในการหาคำตอบ นำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อออกแบบระบบให้เพียงพอกับความต้องการที่จะใช้งาน สำหรับการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ ต้องใช้ข้อมูลปริมาณค่ารังสีตรง และการใช้น้ำร้อนตามช่วงเวลาเพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

3.3.1. Flow Chart

พิจารณาเริ่มจากปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ (QC) ปริมาณการใช้งาน (QL) ความร้อนที่ให้แก่ระบบ (QA) และปริมาณพลังงานที่ระบายสู่ภายนอก (QD) ซึ่งจะนำมาเขียนเป็นแบบจำลองได้ดังภาพประกอบ 3.4



ภาพประกอบ 3.4 แผนผังแบบจำลองระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

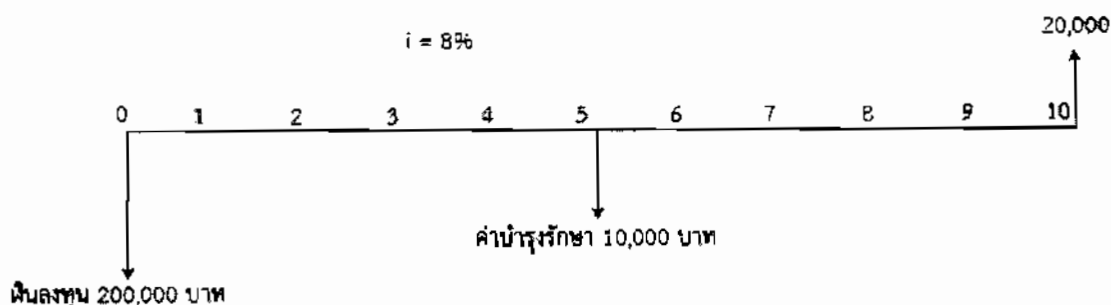
พิจารณาภาพประกอบ 3.4 เริ่มต้นจากข้อมูลปริมาณพลังงานจากแสงอาทิตย์ (QC) ปริมาณการใช้งาน (QL) พลังงานที่ระบายสู่ภายนอก (QD) และพลังงานความร้อนที่ให้แก่ระบบ (QA) ข้อมูลที่ได้ถูกนำมากำหนดเงื่อนไขการทำงานตามช่วงเวลาในการวิเคราะห์ระบบพิจารณาจากพลังงานแสงอาทิตย์มีค่ามากกว่าศูนย์หรือไม่ เมื่อมากกว่าศูนย์ก็นำไปเทียบกับปริมาณการใช้งานว่าพอหรือไม่ ถ้ามีมากกว่าไหลลดการใช้งานให้พิจารณาว่าพลังงานความร้อนที่สามารถกักเก็บความร้อน (ES) มีค่ามากกว่าความสามารถของถังกักเก็บพลังงานความร้อนสูงสุด (SM) หรือไม่ ถ้ามากเกินไปให้ระบายทิ้ง ถ้าน้อยกว่าให้นำพลังงานที่ได้มากักเก็บในถังเก็บกักความร้อน หากเปรียบเทียบพลังงานแสงอาทิตย์กับปริมาณการใช้งานมีค่าน้อยกว่าให้นำมาพิจารณาพลังงานความร้อนที่ถูกกักเก็บว่ามากกว่าศูนย์หรือไม่ ถ้ามากกว่า

จะถูกส่งไปเก็บในถังเก็บน้ำร้อน (QS) ถ้าน้อยกว่าให้ใช้พลังงานความร้อนที่ถูกกักเก็บรวมกับความร้อนเสริม และจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ค่าน้อยกว่าศูนย์ให้พิจารณานำความร้อนที่ถูกกักเก็บมาใช้ก่อน ถ้าเกิดไม่เพียงพอให้พิจารณาใช้พลังงานเสริมแก่ระบบเพื่อให้การผลิตน้ำร้อนของระบบพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุด

3.3 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะประกอบไปด้วยข้อมูลลักษณะการใช้ความร้อนจากหม้อต้มไอน้ำและฮีตเตอร์ ข้อมูลการใช้ระบบความร้อนเสริมในกรณีที่อุณหภูมิไม่เพียงพอความต้องการ และข้อมูลค่าใช้จ่ายเริ่มต้นทางด้านเศรษฐศาสตร์ ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์นี้ได้ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับเงินลงทุน ค่าซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ซึ่งตัวอย่างการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ข. โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาดังต่อไปนี้

1. เงินลงทุนทั้งหมด 200,000 บาท
2. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ลูกค้ารายย่อยขั้นต้น กำหนด 8% ต่อปี (ธนาคารกรุงเทพ กรกฎาคม , 2557)
3. ค่าบำรุงรักษาระบบกำหนดให้เป็น 15% ของเงินลงทุน ทุกๆ 5 ปี เท่ากับ 10,000 บาท
4. มูลค่าซากของระบบเมื่อหมดอายุการใช้งานเป็น 10 % ของเงินลงทุน เท่ากับ 20,000 บาท
5. อายุการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 10 ปี
6. ต้นทุนของพลังงานจากแก๊สกำหนดให้เป็น 19.33 บาท/กิโลกรัม
(<http://www.gasprice.kapook.com>)



ภาพประกอบ 3.5 Cash flow แสดงค่าใช้จ่ายของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

จากภาพประกอบ 3.5 ค่าใช้จ่ายของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการลงทุนติดตั้ง 200,000 บาท ค่าบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทุกๆ 5 ปี อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 8% ต่อ

ปี (ธนาคารกรุงเทพ กรกฎาคม, 2557) มูลค่าซาก 10% ของเงินลงทุนทั้งหมดและมีอายุการใช้งาน 10 ปี จากข้อมูลที่มีในข้างต้นสามารถนำไปคำนวณหาค่า IRR เพื่อเป็นการตัดสินใจว่าน่าลงทุนหรือไม่

3.4.1 ระบบทำน้ำร้อนจากหม้อต้มไอน้ำและฮีตเตอร์

1. ประสิทธิภาพการใช้น้ำร้อนจากหม้อต้มไอน้ำและฮีตเตอร์ ข้อมูลในส่วนนี้ประเมินได้จาก ปริมาณความร้อนที่ต้องการจริงในการทำน้ำร้อนให้กับภาระแต่ละเดือน ต่อปริมาณความร้อนที่ได้จาก เชื้อเพลิงในแต่ละเดือน

2. ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำน้ำร้อนวิธีเดิม (MJ/kg)
3. ราคาต่อหน่วยของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทำน้ำร้อนวิธีเดิม (Baht/kg)

3.4.2 ระบบให้ความร้อนเสริม ในกรณีที่อุณหภูมิไม่เพียงพอต่อความต้องการ

1. เลือกใช้ความร้อนเสริมจาก Solar Collector
2. ประสิทธิภาพของ Solar Collector (%)
3. ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายปี ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{-year}$)
4. ราคาเริ่มการติดตั้ง Solar Collector (Baht)

3.4.3 ค่าใช้จ่ายทางด้านเศรษฐศาสตร์

1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งหมด (Baht)
2. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ (%)
3. อายุการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ (year)

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปราย

4.1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพ

ในการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำการทดสอบในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส มีเมฆน้อย โดยวิธีการทดสอบทำการบันทึกค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

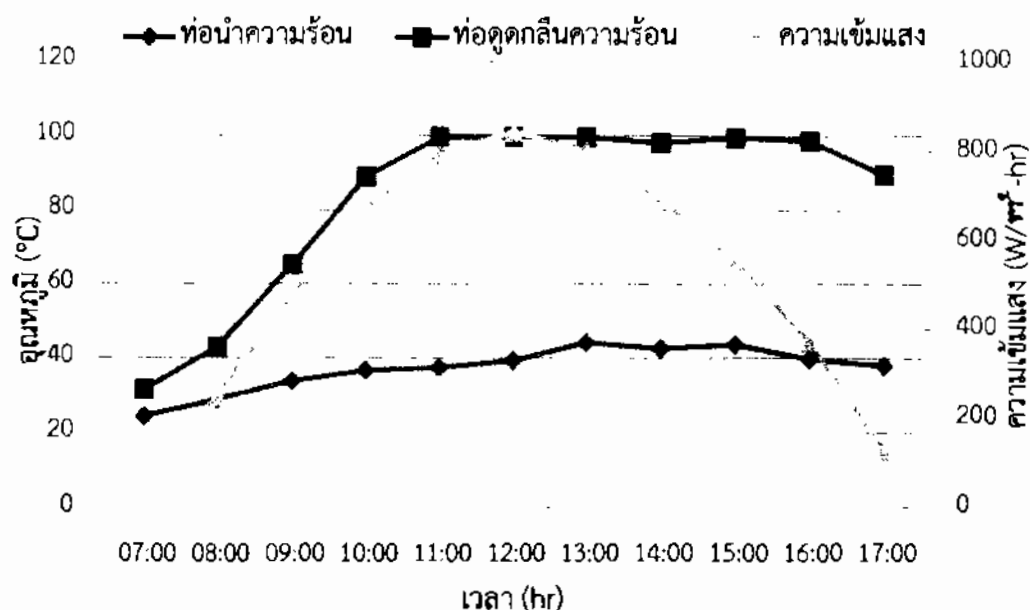
4.1.1 ข้อมูลจากการตรวจวัด

จากการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มีการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพ จากแบบที่จำลองขึ้นมาโดยมีตัวอย่างในการบันทึกค่าในตารางดังต่อไปนี้

ตาราง 4.1 ผลการตรวจวัดข้อมูลในแต่ละวัน (ตัวอย่าง 1 วัน)

วันที่	เวลา (hr)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ค่าความเข้มแสง W/m ² -hr
		ท่อน้ำความร้อน	ท่อดูดกลืนความร้อน	สิ่งแวดล้อม	
5/3/57	06:00 - 07:00	24.450	31.540	22.785	64.552
5/3/57	07:00 - 08:00	28.899	43.030	28.160	249.212
5/3/57	08:00 - 09:00	33.870	65.362	35.658	474.278
5/3/57	09:00 - 10:00	36.731	89.043	41.338	671.647
5/3/57	10:00 - 11:00	37.441	99.729	43.706	792.455
5/3/57	11:00 - 12:00	39.358	99.736	45.375	843.081
5/3/57	12:00 - 13:00	44.206	99.749	45.801	800.504
5/3/57	13:00 - 14:00	42.640	98.278	44.913	689.105
5/3/57	14:00 - 15:00	43.696	99.601	46.064	553.080
5/3/57	15:00 - 16:00	39.732	98.759	44.469	369.852
5/3/57	16:00 - 17:00	38.042	89.599	40.191	128.164

จากตาราง 4.1 ผลการตรวจวัดข้อมูลของวันที่ 5 มี.ค. 2557 การทดสอบหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี ของท่อทั้ง 2 ชนิด ทำการทดสอบในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสไม่มีเมฆมาก ความเข้มแสงอาทิตย์สูงถึง 843.081 W/m²-hr โดยวิธีการจะทดสอบทำการบันทึกค่าต่างๆ ตามหัวข้อ 3.1.2 (3) มีผลปรากฏดังภาพประกอบ 4.1 ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 4.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำร้อนกับความเข้มแสง

จากกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำร้อนกับความเข้มแสงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าท่อแก้ว ดูดกลืนความร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงอาทิตย์น้ำในท่อจะมีอุณหภูมิสูงสุดตั้งแต่ 11:00 – 16:00 น. เพราะเกิดการสะสมความร้อนถึงแม้ค่าความเข้มแสงจะเริ่มลดลงตั้งแต่ 14:00 น. แต่ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนไม่ลดลงตามเพราะค่าความเข้มแสงที่ลดลงนั้น อุณหภูมิยังสูงอยู่จึงทำให้น้ำ ร้อนได้ หลังจากนั้นอุณหภูมิของน้ำร้อนภายในท่อจะลดลงเรื่อย ๆ ตามความเข้มแสงอาทิตย์ ส่วนท่อ แก้วชนิดนำความร้อนได้ดี จะมีอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ได้รับการแลกเปลี่ยนความร้อนจากท่อแก้ว อุณหภูมิไม่สูงมากเพราะน้ำร้อนไม่ได้สะสมอยู่ในตัวเก็บรังสี มีการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมและ อัตราการไหลของน้ำไม่มีเลยทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้น้อยลง โดยอีกปัจจัยหนึ่งคือท่อแก้ว ชนิดนำความร้อนได้ดีนั้น มีหลักการการทำงานที่ไม่เหมือนท่อแก้วดูดกลืนความร้อน เพราะท่อแก้วนำ ความร้อนจะถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำงานทำให้สารทำงานเกิดการเดือดระเหยกลายเป็นไอขึ้นสู่ ด้านบนเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับน้ำ จึงทำให้สารทำงานเกิดการควบแน่นและไหลลงด้านล่างวน เป็นวัฏจักรแบบนี้ไปจนกว่าจะจบการทดลอง จึงส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ได้รับการแลกเปลี่ยนความ ร้อนมีอุณหภูมิค่า ซึ่งไม่ว่าค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะมากแค่ไหนก็ตามอุณหภูมิของน้ำร้อนใน 1 วัน จะมีค่าสูงสุดที่ 47 °C

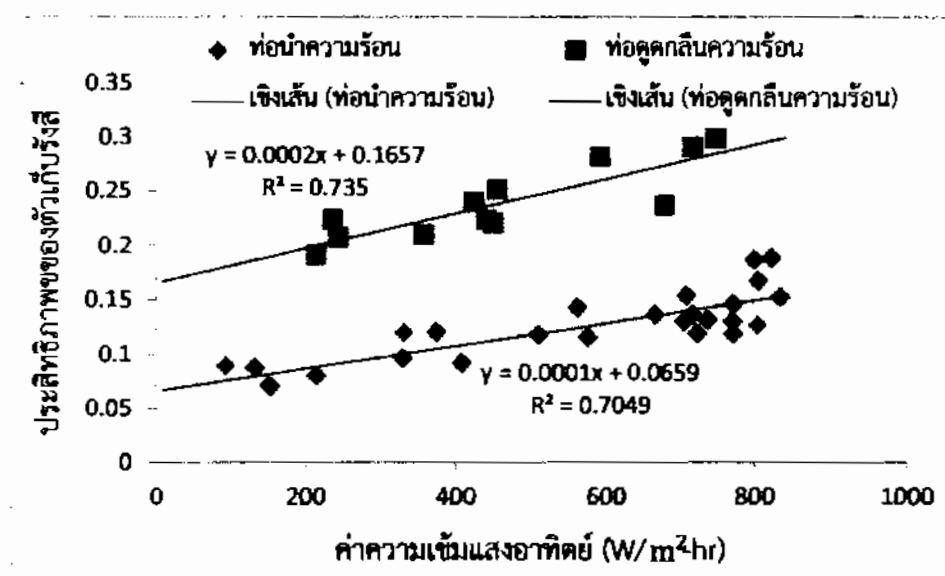
4.1.2 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพ

จากผลการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2 ชนิด ระหว่างท่อแก้ว ดูดกลืนความร้อน และท่อแก้วนำความร้อน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดใดจะมีประสิทธิภาพในการ แลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีที่สุด เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์กับค่าความเข้มแสงอาทิตย์

ตาราง 4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ความเข้มแสง	ท่อน้ำความร้อน	ท่อคดกลืนความร้อน
100	7%	15%
200	8%	16%
300	11%	18%
400	15%	16%
500	16%	19%
600	21%	20%
700	24%	23%
800	33%	28%
900	53%	29%
1000	71%	29%

จากตารางการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสามารถนำมาแสดงความสัมพันธ์ได้ดังภาพประกอบ 4.2 โดยการดูจากค่าที่ใกล้เส้นแนวโน้มมากที่สุด



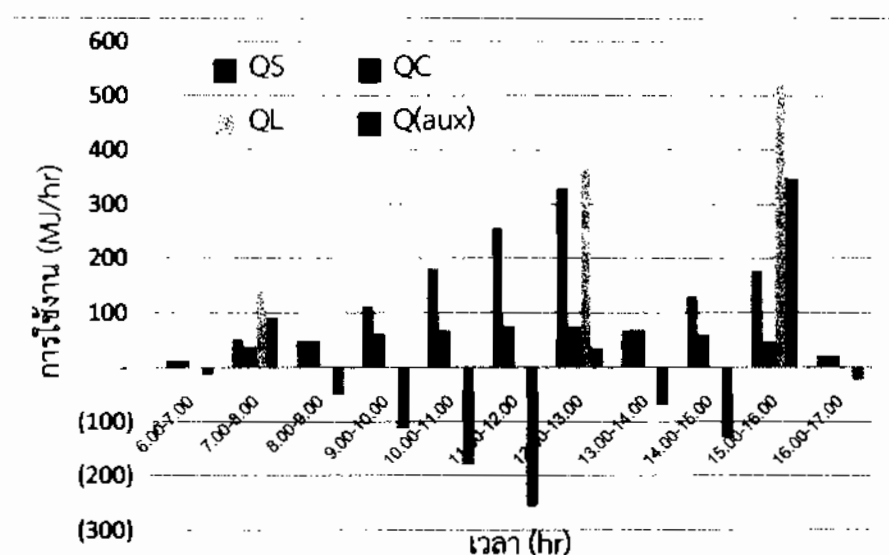
ภาพประกอบ 4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีกับความเข้มแสง

จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์และความเข้มแสงมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือเพิ่มขึ้นตามมุมชั่วโมงคือมุมที่แทนที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์และจะเพิ่มขึ้นสูงสุดที่มุมซิมิธ (θ_z) ที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับแนวตั้งกับแนวระนาบที่อยู่ตำแหน่งตรงศีรษะและจะลดลงตามมุมชั่วโมงจนครบระยะเวลาการทดลอง

4.2 ผลการจำลองพลังงานความร้อน

การวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองจะนำผลที่ได้จากการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์และถังเก็บน้ำร้อนมาใส่เข้าไปในแบบจำลองเพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนต่าง ๆ ที่ได้จากระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ และเมื่อนำข้อมูลการใช้ น้ำร้อนของโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์จะได้ผลดังภาพประกอบ

4.3



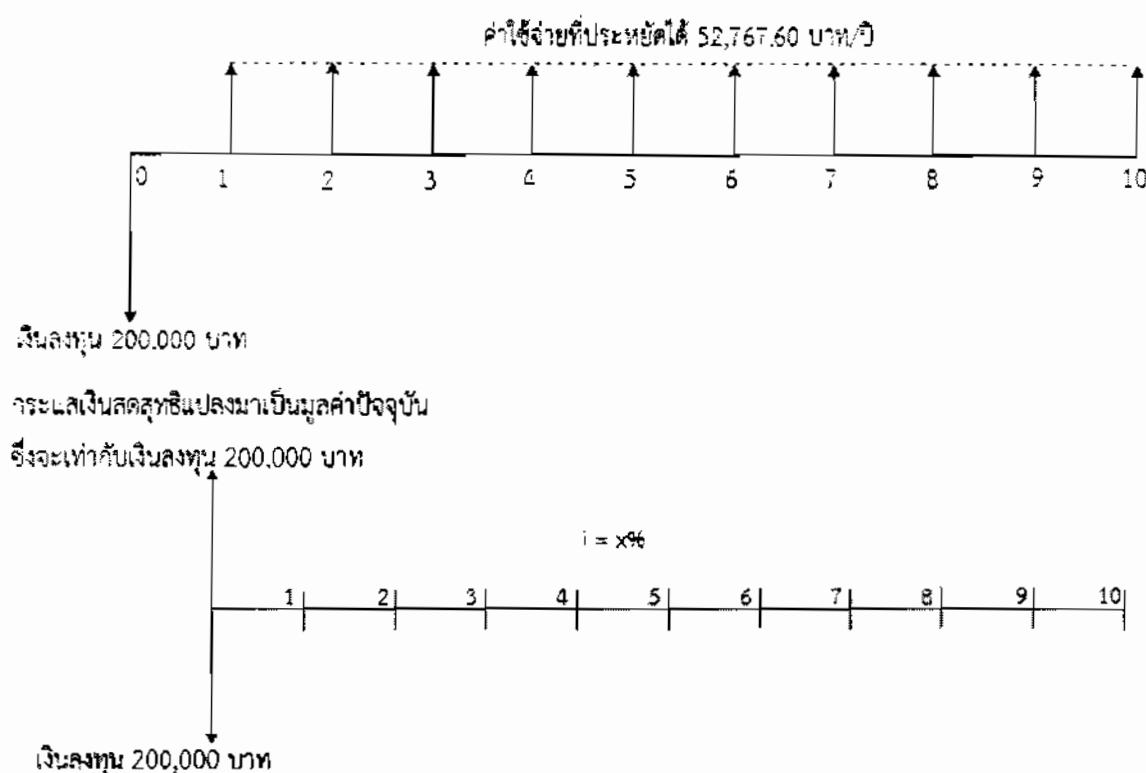
ภาพประกอบ 4.3 ปริมาณความร้อน และอุณหภูมิในถังเก็บน้ำร้อนที่คำนวณได้จากแบบจำลอง

จากภาพประกอบ 4.3 พบว่าจากการใช้น้ำร้อนในโรงงานโดยจะดูได้จากกราฟแท่งสี่เหลี่ยม (QL) จะใช้อยู่ 3 ครั้ง คือ 07:00-08:00, 12:00-13:00, 15:00-16:00 น. ส่วนแท่งสีแดงคือความร้อนของแสงอาทิตย์ที่มีตลอดทั้งวัน (QC) สีน้ำเงินคือความร้อนที่สะสมจากแสงอาทิตย์ (QS) เพื่อนำไปใช้ผลิตน้ำร้อนแทนระบบเดิม และสีม่วงคือปริมาณการกักเก็บน้ำร้อนเมื่อไม่มีการใช้งาน(Q(aux)) เมื่อ QS ไม่เพียงพอต่อการผลิตน้ำร้อนก็จะใช้น้ำร้อนในส่วน Q(aux) มาช่วยผลิตน้ำร้อนให้เพียงพอต่อความต้องการ

4.3 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การเลือกระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์มาใช้งานนั้น นอกจากจะคำนึงถึงประสิทธิภาพของระบบแล้วสิ่งที่สำคัญอีกอย่างคือ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ถึงแม้ว่าระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพสูงเพียงใดก็ตาม แต่ถ้ามการลงทุนสูงอาจจะไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน การตัดสินใจว่าจะเลือกระบบผลิตน้ำร้อนแบบไหนนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายและต้นทุนพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการเลือกระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานกับโรงงานผลิตนมผงร่วมกับหม้อต้มไอน้ำแทนฮีตเตอร์ไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ในหัวข้อ (3.4) ค่าใช้จ่ายของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการลงทุนติดตั้ง 200,000 บาท ค่าบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทุกๆ 5 ปี อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 8% ต่อปี (ธนาคารกรุงเทพ กรกฎาคม, 2557) มูลค่าซาก 10% ของเงินลงทุนทั้งหมดเมื่อสิ้นอายุโครงการและมีอายุการใช้งาน 10 ปี จากข้อมูลที่มีในข้างต้นสามารถนำไปคำนวณหาค่า IRR เพื่อเป็นการตัดสินใจว่าน่าลงทุนหรือไม่ (รายละเอียดการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ข) ซึ่งจากการคำนวณสามารถนำมาแสดงใน Cash flow diagram ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 4.4 Cash flow แสดงผลประหยัดและการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

จากภาพประกอบ 4.4 สามารถวิเคราะห์หาอัตราผลตอบแทนการลงทุนและระยะเวลาคืนทุน (จากการคำนวณในภาคผนวก ข.) โดยโครงการที่มีค่าผลตอบแทนในการลงทุนสูงกว่า (Minimum attractive rate of return, MIRR) เป็นโครงการที่น่าจะถูกละเลือก ซึ่ง MIRR ในที่นี้หมายถึง อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8% ต่อปี (ธนาคารกรุงเทพ กรกฎาคม, 2557) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราผลตอบแทนในการลงทุนติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่า MIRR ซึ่งโครงการนี้น่าลงทุน

4.3.1 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period, SPP)

การวิเคราะห์หาจำนวนปีที่คุ้มทุนของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถหาได้จากค่าใช้จ่ายในการทำน้ำร้อนวิธีเดิมต่อค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เมื่อติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{ผลประหยัด}}$$

$$= \frac{200,000}{52,767.60}$$

$$= 3.79 \text{ year}$$

จากการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากการคำนวณใน ภาคผนวก ข. โดยมีข้อมูลดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 สรุปการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

ปีที่	ผลประหยัด	กระแสเงินสดสุทธิ	รายได้สุทธิ
0	-200000.00	-200000.00	-200000.00
1	52,767.60	48,858.88	0.926
2	52,767.60	45,239.71	1.783
3	52,767.60	41,888.62	2.577
4	52,767.60	38,785.76	3.312
5	52,767.60	35,912.74	3.993
6	52,767.60	33,252.54	4.623
7	52,767.60	30,789.39	5.206
8	52,767.60	28,508.69	5.747
9	52,767.60	26,396.94	6.247
10	52,767.60	24,441.61	6.710

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาด 50 ตารางเมตร สามารถให้ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี 52,767.60 บาท/ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 81,511 บาท ระยะเวลาคืน

ทุน 3.79 ปีอัตราผลตอบแทนในการลงทุน 23.08% ซึ่งการคำนวณข้างต้นนี้เป็นการประเมินแบบคร่าวๆ โดยการวิเคราะห์แบบละเอียดจะทำการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมาเป็นตัวอ้างอิง และถือว่าการติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ควรจะลงทุนอย่างมากเพราะค่า IRR มากกว่าการลงทุน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาการนำตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ของสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมโคกก่อ ได้ทำการศึกษาค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์โดยการออกแบบจำลอง และเพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ เมื่อนำไปใช้งานแล้วให้เปรียบเทียบกับระบบทำน้ำร้อนแบบเดิมของโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์แห่งนี้

5.1.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ

จากการทดลองตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทั้ง 2 แบบ คือท่อแก้วดูดกลืนความร้อนและท่อแก้วนำความร้อน มีประสิทธิภาพ 35.18% และ 22.84% ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบพบว่าประสิทธิภาพของท่อแก้วดูดกลืนความร้อนมีประสิทธิภาพสูงกว่าท่อแก้วนำความร้อนอยู่ 12% โดยจะพบว่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงอาทิตย์ และในช่วงเวลา 12:00 – 13:00 น. พบว่าความเข้มแสงอาทิตย์จะสูง แต่ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีจะน้อยเพราะอุณหภูมิร้อนมากๆ ตัวเก็บรังสีจะเกิดการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมมากเช่นกัน

5.1.2 ผลการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง

ปริมาณความต้องการน้ำร้อนของโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ที่ได้ทำการศึกษานี้อยู่ที่ 4,500 ลิตร/วัน และอุณหภูมิ 70-80 °C โดยมีค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊ส LPG 39,367.76 บาท/ปี และค่าไฟฟ้า 146,096.39 บาท/ปี เมื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แล้วนั้นจึงมีแนวคิดปรับปรุงให้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มาทำความสะอาดอุปกรณ์ให้เป็นระบบเสริมการผลิตน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊ส LPG จากการจำลองใช้งานจริงของโรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์พบว่าสามารถประหยัดได้ 52,767.60 บาท/ปี

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่โรงงานผลิตนมพาสเจอร์ไรส์แห่งนี้ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ขนาด 50 ตารางเมตร เนื่องจากเป็นระบบที่ให้เงินลงทุนเทียบเท่ารายปีและมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ต่ำสุด 154,074.86 บาท/ปี และ 81,511 บาท ตามลำดับ โดยที่ให้ระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนในการลงทุนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ 3.79 ปี และ 23.08% ตามลำดับ ซึ่งถือว่าการติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ควรลงทุนอย่างมากเพราะ IRR มากกว่าการลงทุน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการนำแบบจำลองไปใช้ในการวิเคราะห์ควรใช้ค่าสภาพอากาศ ได้แก่ ความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศแต่ละท้องถิ่นไม่เท่ากัน

5.2.2 ควรมีการออกแบบเครื่องทดสอบให้มีความแข็งแรง

5.2.3 ควรเลือกสถานที่ในการติดตั้งเครื่องทดสอบที่เอื้อต่อการบำรุงรักษา

เอกสารอ้างอิง



เอกสารอ้างอิง

1. กล้าณรงค์ คำสมบัติ . อมร ตอนเมือง. เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วทรงกลม ร่วมกับท่อความร้อนแบบสั่นงอที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ. ปรินุณนิพนธ์ วศ.บ.มหาสารคาม สาขาวิศวกรรมเครื่องกล(พลังงาน) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม: (2549).
2. จาตุพงศ์ วาฤทธิ์ , สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ , ชานนท์ เวียนทอง และณัฐวุฒิ ดุษฎี. ระบบทำน้ำร้อน ด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์สำหรับการล้างแบบ Cleaning In Place ของศูนย์รับน้ำมันดิบ. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้: (2550). 623-632
3. จารุวัฒน์ เจริญจิต. ศักยภาพเชิงอุณหภูมิจากการผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ในภาคอุตสาหกรรม. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย: (2555). 174-181
4. ณัฐวุฒิ ยืนยง , เสวต นามโยธา. การทดสอบประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์แบบท่อแก้วทรงกลม. ปรินุณนิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : สาขาวิศวกรรมเครื่องกล (การผลิต) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. (2548).
5. พิสิฏฐ์ สงวนตระกูล. การเลือกขนาดระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์สำหรับโรงฆ่าสัตว์. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (2549).
6. .สมพร หงส์ก. การประเมินแบบจำลองรังสีอาทิตย์ในแนวตั้งและความส่องสว่างของท้องฟ้า. ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม: (2556). 4-6.
7. Soteris A. Kalogirou. (2004). Solar thermal collector and applications. Department of Mechanical Engineering , Higher Technical , P.O.Box 20423 , Nicosia 2152 , Cyprus.
8. <http://www.gasprice.kapook.com.online> . [17 May 2014]
9. http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพ



1. การคำนวณหาประสิทธิภาพ (ตัวอย่าง 1 วัน)

ข้อมูลจากการทดลอง

ตาราง ก.1 ผลการตรวจวัดข้อมูลในแต่ละวัน

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ค่าความเข้มแสง W/m ²
		ท่อน้ำความร้อน	ท่อตุกกลืนความร้อน	สิ่งแวดล้อม	
5/3/57	06:00 - 07:00	27.003	28.741	25.523	34.794
5/3/57	07:00 -08:00	29.996	34.447	30.346	266.159
5/3/57	08:00 - 09:00	31.779	49.194	35.314	454.707
5/3/57	09:00 - 10:00	34.368	68.069	38.643	423.731
5/3/57	10:00 - 11:00	37.679	84.607	41.588	717.865
5/3/57	11:00 -12:00	39.84	98.176	44.735	800.031
5/3/57	12:00 -13:00	40.772	99.722	44.415	834.261
5/3/57	13:00 - 14:00	39.942	99.606	42.661	771.556
5/3/57	14:00 - 15:00	36.762	97.634	40.399	214.211
5/3/57	15:00 -16:00	39.224	97.405	43.668	408.573
5/3/57	16:00 -17:00	36.806	93.995	39.436	149.679

แยกพิจารณาหาประสิทธิภาพของแต่ละตัว สมมติพิจารณาในช่วงเวลา 8:00-9:00 น.

กำหนดให้

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_{\text{ท่อน้ำความร้อน}} &= 1,211.4 \text{ g} \\
 \dot{m}_{\text{ท่อตุกกลืนความร้อน}} &= 314 \text{ g} \\
 C_p &= 4.187 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \\
 A_{\text{ท่อน้ำความร้อน}} &= 0.0380 \text{ m}^2 \\
 A_{\text{ท่อตุกกลืนความร้อน}} &= 0.0565 \text{ m}^2 \\
 G &= 1966.5 \text{ MJ/hr}
 \end{aligned}$$

ตัวเก็บรังสีแบบท่อน้ำความร้อน

อัตราการความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสี $\dot{Q}_{\text{coll}} = \dot{m}C_p(T_2 - T_1)$

$$= [1.1214][4.187][33.87 - 24.46]$$

$$= 44.17 \text{ kJ/hr}$$

ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีแบบนำความร้อน

$$\begin{aligned}\eta_{\text{coll}} &= \dot{Q}_{\text{coll}} / GA \\ &= \frac{44.17}{1966.5 \times 0.0380} \\ &= 59.11\%\end{aligned}$$

ตัวเก็บรังสีแบบท่อแก้วดูดกลืนความร้อน

$$\begin{aligned}\text{อัตราความร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสี } \dot{Q}_{\text{coll}} &= \dot{m}C_p(T_2 - T_1) \\ &= [314/1000][4.187][65.36 - 31.37] \\ &= 33.99 \text{ kJ/hr}\end{aligned}$$

ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีแบบดูดกลืนความร้อน

$$\begin{aligned}\eta_{\text{coll}} &= \dot{Q}_{\text{coll}} / GA \\ &= \frac{33.99}{1966.5 \times 0.0565} \\ &= 40.22\%\end{aligned}$$

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์



1. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์นี้ได้ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับเงินลงทุน ค่าซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาดังต่อไปนี้

1. เงินลงทุนทั้งหมด 200,000 บาท
2. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ลูกค้ารายย่อยชั้นดี กำหนด 8% ต่อปี (ธนาคารกรุงเทพ กรกฎาคม ,2557)
3. ค่าบำรุงรักษาระบบกำหนดให้เป็น 15% ของเงินลงทุนทุกๆ 5 ปี เท่ากับ 10,000 บาท
4. มูลค่าซากของระบบเมื่อหมดอายุการใช้งานเป็น 10% ของเงินลงทุนเท่ากับ 20,000 บาท
5. อายุการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 10 ปี
6. ต้นทุนของพลังงานจากแก๊สกำหนดให้เป็น 19.33 บาท/กิโลกรัม
(ที่มา: <http://gasprice.kapook.com>)

1.1 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี (Annual)

จากสมการ (2.7) ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

$$AC = (P)(CRF) + (M_{LPG}C_{LPG}) + OM - S(SFF) \quad (2.7)$$

โดยที่ $P = 200,000$ บาท

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0.08(1+0.08)^{10}}{(1+0.08)^{10} - 1} = 0.15 \quad (2.8)$$

M_{LPG} = ปริมาณแก๊ส LPG ที่ใช้ในความร้อนเสริมต่อปี 6,249.89 kg/year (ผลจากการวิเคราะห์)

C_{LPG} = ราคาแก๊ส LPG ต่อหน่วยมวลเป็น 19.33 Baht/kg

OM = ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษาระบบคิดเป็น 5% ของเงินลงทุนเริ่มต้นจะเท่ากับ 10,000 Baht/year

S = มูลค่าซากระบบคิดเป็น 10% ของเงินลงทุนเริ่มต้นจะเท่ากับ 20,000 Baht

$$SFF = \frac{i}{(1+i)^n - 1} = \frac{0.08}{(1+0.08)^{10} - 1} = 0.069 \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} AC &= (200,000 \times 0.15) + (6,249 \times 19.33) + 10,000 - (20,000 \times 0.08) \\ &= 154,074.86 \text{ Baht/year} \end{aligned}$$

1.2 การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

จากสมการที่ (2.10) มูลค่าปัจจุบันสุทธิของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

$$NPV = (P) + (M_{LPG}C_{LPG} + OM)(USPWF) - S(SPPWF) \quad (2.10)$$

$$\text{โดยที่ } USPWF = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \frac{(1+0.08)^{10} - 1}{0.08(1+0.08)^{10}} = 6.71 \quad (2.11)$$

$$SPPWF = \frac{1}{(1+i)^n} = \frac{1}{(1+0.08)^{10}} = 0.463 \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} \therefore NPV &= 200,000 + (10,000 + 12,0810.374)(6.71) - (20,000 \times 0.463) \\ &= 81,5544 \text{ Baht} \end{aligned}$$

1.3 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period, SPP)

การวิเคราะห์หาจำนวนปีที่คุ้มทุนของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถหาได้จากค่าใช้จ่ายในการทำน้ำร้อนวิธีเดิมต่อค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เมื่อติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว

การหาค่าใช้จ่ายในการทำน้ำร้อนโดยวิธีเดิม

กำหนดให้

อุณหภูมิน้ำก่อนต้ม	=	25 °C
อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน	=	80 °C
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	=	0.00419 MJ/kg.°C
ค่าความจุความร้อนของแก๊ส LPG	=	45.958 MJ/kg.°C
ประสิทธิภาพในการใช้น้ำร้อน	=	80 %
ราคาแก๊ส	=	19.33 Baht/kg
ปริมาณการใช้น้ำร้อน	=	4,200 L/d

$$\text{ความร้อนที่ต้องการโดยใช่วิธีการต้มน้ำแบบเดิม } \dot{Q}_{coll} = \dot{m}C_p(T_2 - T_1) \quad (2.2)$$

$$= 4,200 \times 0.0049 \times (80-25)$$

$$= 967.89 \quad \text{MJ/day}$$

หรือคิดเป็น

$$= 353,279.85 \quad \text{MJ/year}$$

เมื่อประสิทธิภาพในการใช้น้ำร้อนเป็น 80% ดังนั้นปริมาณแก๊ส LPG ที่ต้องใช้จริงในโรงงาน

ผลิตนมผงแห่งนี้เป็น จากสมการ (2.9)

$$M_{\text{LPG}} = \frac{\dot{Q}_{\text{aux}}}{\eta_0 H_L} = \frac{353,279.85}{0.8 \times 45.958} \quad (2.6)$$

$$= 9,608.77 \quad \text{kg/year}$$

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊ส LPG ระบบเดิม

$$= 9,608.769 \times 19.33$$

$$= 185,737.51 \quad \text{Baht/year}$$

การหาค่าใช้จ่ายพลังงานเสริมในระบบพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีคำนวณ (ยกตัวอย่างเดือน มกราคม)

กำหนด

อุณหภูมิน้ำก่อนต้ม	=	25 °C
อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน	=	80 °C
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	=	4.187 kJ/kg.K
ความเข้มแสง	=	5.1 MJ/m ²
ค่าความจุความร้อนของแก๊ส LPG	=	49,296 kJ/kg
ประสิทธิภาพ Solar Collector	=	73.90 %
ราคาแก๊ส	=	19.33 Baht/kg
พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	=	50 ตารางเมตร

$$\text{จำนวนครั้งการใช้น้ำร้อน} = 3.5 \quad \text{ครั้ง}$$

$$\begin{aligned} \text{ความร้อนที่ต้องการโดยใช้วิธีการต้มน้ำแบบเดิม } Q &= \eta \times G \times A \\ &= 0.739 \times 5.10 \times 50 \times 3.5 \\ &= 659,557.50 \quad \text{kJ/day} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณแก๊สที่ใช้} &= (659,557.5/49,296) \times 19.33 \\ &= 258.63 \quad \text{B/day} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือคิดเป็น} &= 258.63 \times 30 \\ &= 7,758.79 \quad \text{B/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้} &= 70,919.56 - 18,151.97 \\ \text{ผลประโยชน์ใน 1 ปี} &= 52,767.60 \quad \text{Baht/year} \end{aligned}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{เงินลงทุน/ผลประโยชน์} \quad (2.13)$$

$$= \frac{200,000}{52,767.60}$$

$$= 3.79 \text{ year}$$

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน 3.79 ปี (หรือ 45 เดือน 15 วัน)

1.4 การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return, IRR)

ผลตอบแทนในการลงทุนสามารถหาได้จากสมการที่ 2.17 โดยโครงการที่มีค่าผลตอบแทนในการลงทุนสูงกว่า MIRR (Minimum attractive rate of return) เป็นโครงการที่น่าจะถูกเลือก ในที่นี้จะกำหนดให้ผลตอบแทนแต่ละปี หรือค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้มีค่าเท่ากันทุกปี

$$\text{จากสมการ} \quad NPV = \sum_{n=1}^N \frac{CNP_n}{(1+i)^n} - TIC = 0 \quad (2.14)$$

NCF_n = กระแสเงินสดสุทธิของปีที่ n ซึ่งในการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนในการลงทุน หมายถึงกระแสเงินสดที่ได้รับสุทธิในแต่ละปี ซึ่งได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เท่ากับ 52,767.60 Baht/year

TIC = เงินลงทุนเริ่มต้นมีค่าเป็น 200,000 Baht

$$NPV = \frac{52,767.60}{(1+i)} + \frac{52,767.60}{(1+i)^2} + \frac{52,767.60}{(1+i)^3} + \frac{52,767.60}{(1+i)^4} + \frac{52,767.60}{(1+i)^5} + \frac{52,767.60}{(1+i)^6} + \frac{52,767.60}{(1+i)^7} + \frac{52,767.60}{(1+i)^8} + \frac{52,767.60}{(1+i)^9} + \frac{52,767.60}{(1+i)^{10}} - 200,000 = 0$$

∴ IRR = 0.2308 หรือ 23.08%

ภาคผนวก ค
ตารางแสดงผลการทดลอง



ตารางที่ ค.1 ผลการตรวจวัด วันที่ 7 มีนาคม 57

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ค่าความเข้มแสง W/m ²	ประสิทธิภาพ	
		ท่อน้ำ ความร้อน	ท่อตุดกลืน ความร้อน	สิ่งแวดล้อม		ท่อน้ำ ความร้อน	ท่อตุดกลืน ความร้อน
7/3/2557	06:00 - 07:00	25.898	33.86	24.297	50.087	N/A	N/A
7/3/2557	07:00 - 08:00	29.125	38.17	27.076	214.736	75.74%	14.22%
7/3/2557	08:00 - 09:00	35.004	52.151	31.527	440.372	64.72%	22.32%
7/3/2557	09:00 - 10:00	36.809	69.377	34.53	604.036	40.96%	23.43%
7/3/2557	10:00 - 11:00	34.423	79.711	35.917	357.753	22.45%	20.97%
7/3/2557	11:00 - 12:00	41.622	82.769	36.758	835.440	29.78%	16.62%
7/3/2557	12:00 - 13:00	39.287	90.058	39.641	771.083	19.87%	14.88%
7/3/2557	13:00 - 14:00	43.521	99.775	44.229	705.520	20.38%	17.58%
7/3/2557	14:00 - 15:00	40.674	99.579	42.549	653.262	14.29%	17.73%
7/3/2557	15:00 - 16:00	36.864	96.995	39.951	329.609	9.62%	18.29%
7/3/2557	16:00 - 17:00	36.796	94.125	38.742	194.634	8.90%	16.60%

ตารางที่ ค.2 ผลการตรวจวัด วันที่ 8 มีนาคม 57

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ค่าความเข้มแสง W/m ²	ประสิทธิภาพ	
		ท่อน้ำ ความร้อน	ท่อตุดกลืน ความร้อน	สิ่งแวดล้อม		ท่อน้ำ ความร้อน	ท่อตุดกลืน ความร้อน
8/3/2557	06:00 - 07:00	26.235	27.867	25.31	50.554	12.17%	11.05%
8/3/2557	07:00 - 08:00	29.378	33.023	27.471	244.047	64.75%	20.70%
8/3/2557	08:00 - 09:00	33.669	44.657	31.756	449.315	51.34%	22.03%
8/3/2557	09:00 - 10:00	36.616	62.612	36.398	634.942	34.26%	21.65%
8/3/2557	10:00 - 11:00	40.299	80.266	40.031	729.485	28.00%	19.67%
8/3/2557	11:00 - 12:00	41.123	94.281	40.616	840.417	20.36%	17.11%
8/3/2557	12:00 - 13:00	38.765	99.727	41.551	771.206	13.02%	14.05%
8/3/2557	13:00 - 14:00	41.733	99.648	42.031	737.890	13.17%	14.39%
8/3/2557	14:00 - 15:00	38.001	98.384	41.306	530.580	8.79%	15.01%
8/3/2557	15:00 - 16:00	37.221	98.199	40.876	357.267	7.51%	16.04%
8/3/2557	16:00 - 17:00	36.941	92.711	39.381	152.096	7.02%	14.71%



ตารางที่ ค.3 ผลการตรวจวัด วันที่ 10 มีนาคม 57

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ค่าความเข้มแสง W/m ²	ประสิทธิภาพ	
		ท่อน้ำ ความร้อน	ท่อตุดกลืน ความร้อน	สิ่งแวดล้อม		ท่อน้ำ ความร้อน	ท่อตุดกลืน ความร้อน
10/3/2557	06:00 - 07:00	25.437	27.986	24.38	51.532	106.66%	17.24%
10/3/2557	07:00 - 08:00	26.452	33.075	25.709	236.277	33.08%	22.37%
10/3/2557	08:00 - 09:00	28.638	45.277	29.211	430.619	25.70%	23.03%
10/3/2557	09:00 - 10:00	31.846	62.143	32.944	628.033	23.48%	22.06%
10/3/2557	10:00 - 11:00	34.901	79.999	36.963	737.229	20.30%	20.07%
10/3/2557	11:00 -12:00	36.928	94.186	39.035	804.846	16.79%	17.53%
10/3/2557	12:00 -13:00	38.708	99.922	41.295	771.828	14.61%	14.43%
10/3/2557	13:00 - 14:00	42.102	99.815	41.153	709.363	15.39%	14.71%
10/3/2557	14:00 - 15:00	34.431	93.707	39.69	154.811	7.83%	14.89%
10/3/2557	15:00 -16:00	25.16	82.574	33.559	58.156	0.20%	15.04%
10/3/2557	16:00 -17:00	26.542	71.164	27.341	9.546	1.30%	13.26%

ตารางที่ ค.4 ผลการตรวจวัด วันที่ 11 มีนาคม 57

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ค่าความเข้มแสง W/m ²	ประสิทธิภาพ	
		ท่อน้ำ ความร้อน	ท่อตุดกลืน ความร้อน	สิ่งแวดล้อม		ท่อน้ำ ความร้อน	ท่อตุดกลืน ความร้อน
11/3/2557	06:00 - 07:00	24.36	30.40	22.61	47.69	269.04%	2.18%
11/3/2557	07:00 - 08:00	26.27	35.15	24.35	114.92	88.17%	24.86%
11/3/2557	08:00 - 09:00	30.70	44.45	26.91	408.50	79.13%	27.50%
11/3/2557	09:00 - 10:00	31.91	67.24	30.31	592.57	35.97%	28.21%
11/3/2557	10:00 - 11:00	33.89	86.77	34.53	706.87	24.79%	24.32%
11/3/2557	11:00 -12:00	37.61	98.81	37.35	733.24	22.43%	19.88%
11/3/2557	12:00 -13:00	33.45	98.26	34.45	374.48	12.05%	18.06%
11/3/2557	13:00 - 14:00	37.74	100.86	35.00	666.80	13.65%	17.54%
11/3/2557	14:00 - 15:00	37.81	100.94	33.48	509.97	11.81%	15.12%
11/3/2557	15:00 -16:00	39.57	98.96	33.47	331.95	12.03%	15.52%
11/3/2557	16:00 -17:00	35.65	91.48	31.26	131.26	8.77%	13.86%



ตารางที่ ค.5 ผลการตรวจวัด วันที่ 13 มีนาคม 57

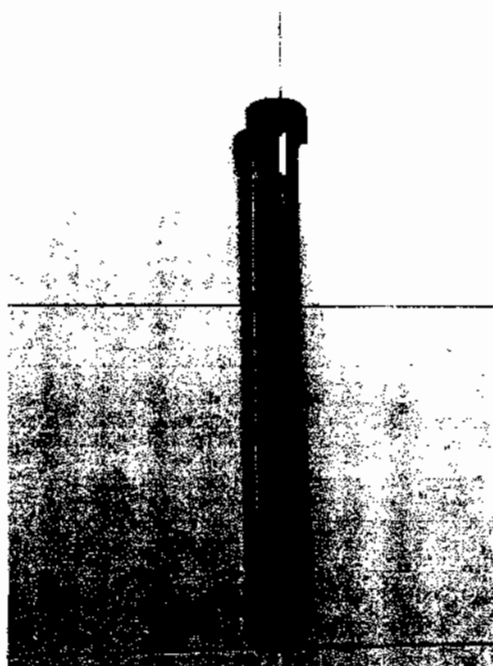
วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ค่าความเข้มแสง W/m ²	ประสิทธิภาพ	
		ท่อน้ำ ความร้อน	ท่อตุ่ดกลืน ความร้อน	สิ่งแวดล้อม		ท่อน้ำ ความร้อน	ท่อตุ่ดกลืน ความร้อน
13/3/2557	06:00 - 07:00	27.381	32.509	26.725	53.360	N/A	N/A
13/3/2557	07:00 - 08:00	30.094	44.097	29.253	250.340	71.50%	55.41%
13/3/2557	08:00 - 09:00	32.624	65.613	32.681	456.049	39.96%	44.43%
13/3/2557	09:00 - 10:00	34.301	100.663	35.136	622.946	25.05%	42.91%
13/3/2557	10:00 - 11:00	38.63	110.958	44.289	749.205	23.64%	29.88%
13/3/2557	11:00 - 12:00	40.462	99.523	47.809	822.868	18.82%	17.81%
13/3/2557	12:00 - 13:00	38.902	98.902	43.358	804.561	12.70%	16.74%
13/3/2557	13:00 - 14:00	40.64	99.268	44.764	723.879	11.93%	16.62%
13/3/2557	14:00 - 15:00	42.395	99.402	43.715	575.639	11.61%	14.41%
13/3/2557	15:00 - 16:00	40.337	97.94	42.561	372.094	9.20%	15.10%
13/3/2557	16:00 - 17:00	38.452	90.518	38.644	144.896	7.60%	13.54%

ภาคผนวก ง
เครื่องมือในการตรวจวัด





ภาพประกอบ ง.1 ลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์



(1)

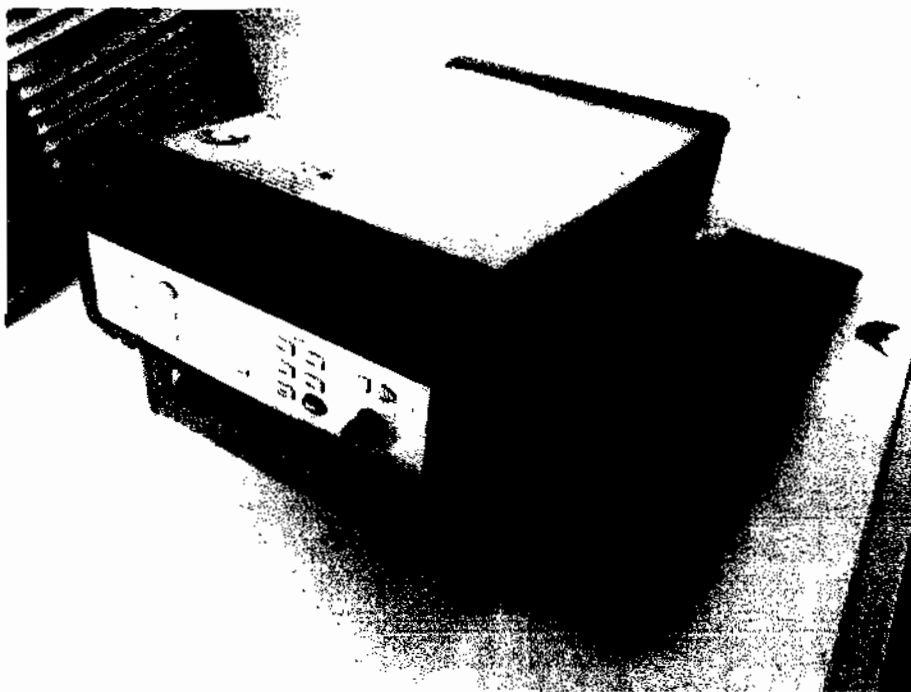


(2)

ภาพประกอบ ง.2 ตัวเก็บรังสี 2 ชนิด (1) ท่อแบบดูดกลืนความร้อน (2) ท่อแบบนำความร้อน

1. เครื่องบันทึกข้อมูล (Datalogger)

การวัดอุณหภูมิของน้ำในตัวเก็บรังสีและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จะใช้ดาต้าลอจเกอร์ (Datalogger) รุ่น HP Agilent 34970A Data Acquisition & Switching Unit เพื่อทำการบันทึกค่าที่วัดได้ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ ตามช่วงเวลาที่เรากำหนดไว้ ซึ่งเราสามารถนำข้อมูลที่บันทึกไว้ นำออกมาแสดงผลในรูปของกราฟ หรือตารางได้ และที่เลือกใช้ดาต้าลอจเกอร์มาบันทึกข้อมูลแทนเพราะว่าช่วยลดเวลาการทำงาน ที่ต้องคอยจดบันทึกค่าตามช่วงเวลาที่เรากำหนดไว้ ช่วยลดความผิดพลาดในการจดบันทึก ช่วยจัดเก็บข้อมูลให้เป็นหมวดหมู่ และแสดงผลได้อย่างเป็นระเบียบ และยังสามารถวัดค่าได้ต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง อีกด้วย



ภาพประกอบ ง.3 เครื่องบันทึกข้อมูล

2. คอมพิวเตอร์แบบ PC

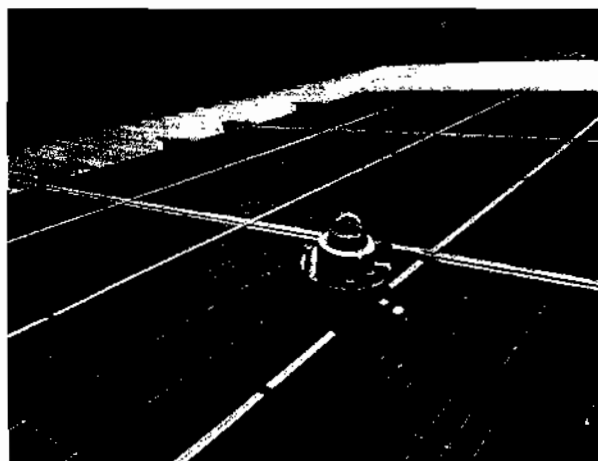
ใช้ในการบันทึกข้อมูลที่เครื่องดาต้าลอจิกเกอร์ ทำการตรวจวัดข้อมูลมาตามช่วงเวลาที่เรากำหนดโดยใช้คอมพิวเตอร์ต่อเข้ากับดาต้าลอจิกเกอร์ และทำการตั้งค่าทั้งหมดในคอมพิวเตอร์



ภาพประกอบ ง.4 คอมพิวเตอร์

3. ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer)

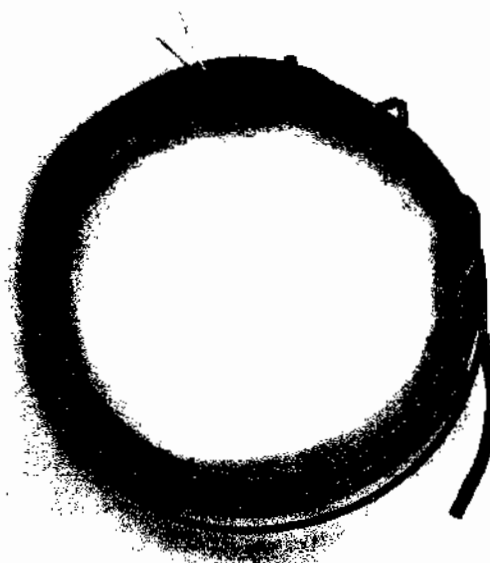
การวัดปริมาณความเข้มของรังสีอาทิตย์ โดยใช้ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ยี่ห้อ Hukseflux รุ่น เซนเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ Solar Radiation Sensor - Second Class รุ่น LP02 ซึ่งไพรานอมิเตอร์รุ่นนี้จะมี Range ในการวัดแสงอยู่ที่ 0 – 2,000 Wm⁻²



ภาพประกอบ ง.5 ไพรานอมิเตอร์

4. สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Thermo couple type K)

การวัดอุณหภูมิของน้ำในตู้เก็บรังสีและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ใช้เป็นสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพราะสามารถวัดอุณหภูมิได้สูง ทนอุณหภูมิได้ถึง 1300°C และที่อุณหภูมิต่ำถึง -250°C มีค่าความเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมคัปเปิลชนิดอื่น และสามารถใช้กับงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้อีกด้วย



ภาพประกอบ ง.6 ดาต้าล็อกเกอร์

ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

ชื่อ นามสกุล	นางสาวนุชจรินทร์ แก้วอาจ
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 31 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2534
จังหวัด และประเทศที่เกิด	อำเภออย่างสีสุราช จังหวัดมหาสารคาม ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนนาอุดมประชาสรรค์ อำเภอนาอุดม จังหวัดมหาสารคาม 44180 พ.ศ. 2552 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนาอุดมประชาสรรค์ อำเภอนาอุดม จังหวัดมหาสารคาม 44180 พ.ศ. 2557 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์สายพลังงาน(วท.บ.) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลสามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	67 หมู่ 7 บ้านหนองจิก ตำบลบ้านกู่ อำเภออย่างสีสุราช จังหวัดมหาสารคาม 44210
เบอร์โทรศัพท์	089-5111348
E-mail	beau_nutcharin1991@hotmail.com