

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เลนส์นูน

WATER HEATING BY CONVEX LENS SOLAR COLLECTOR



- โดย
- | | | | |
|--------------------|-------------|-------------|----------|
| 1. นายยศ | พิตรอาภรณ์ | เลขประจำตัว | 41014720 |
| 2. นางสาววันวิสาข์ | ชิมทราน | เลขประจำตัว | 41014740 |
| 3. นางสาวสุภารัตน์ | ศิษย์ชานนท์ | เลขประจำตัว | 41014781 |

พ.ศ.
๒๕๔๖
๒๕๔๖

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 45824
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2546

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒๕๕๐๕๑๗

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เลนส์นูน

โดย



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WATER HEATING BY CONVEX LENS SOLAR COLLECTOR

Mr. Yos Pit-a-porn

Miss Vanvisa Seumsarb

Miss Sudarat Sittanon

Mr. Kiattisak Roonprasang Advisor

2001

ABSTRACT

The article presented the development of convex-lens solar collector to heat water. This machine applied the advantage of convex lens in respect of gathering solar power at the focus point for high temperature. Working philosophy of the prototype started from pumping water to solar panel, using 13.5 cm diameter long convex lens with 31 cm long focus length to expose to solar power. The water running through copper tube would absorb the heat from its surface where was the focus-point center of 10 convex lens, situated 13.5 cm far from the focus point of one another. The water flowing through solar panels would go to 18 liter storage tank and would be pumped to the next stage of water heating. From the test and analysis conducted at the flow rate of 3, 5, 7, 10 and 12 liter/ min, taking 3 hours (from 11.00-14.00 hr.), the highest temperature achieved was 53.3°C. at flow rate of 12 liter/ min. The average heat transfer rate at solar panel is 1157.06 kW while heat, 24468 kJ

From the research, it was found that solar collector by convex lens could heat the water within limited space of solar panel, comparing with other types of solar collectors. It could be concluded that the production of this kind of solar collector was possible ,but high cost. Moreover, it was found that the system required 13.5 cm diameter long convex lens of 31 units, 12 liter/ minute flow rate starting at 29°C to get hot water at 100°C.

Key words: solar collector / convex lens / water heating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์เกียรติศักดิ์ รุ่งพระแสง ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ กรุณาให้ยืมเอกสารและข้อมูลที่มีค่ายิ่งในการวิจัย ตลอดจนคอยช่วยเหลือแก้ไขปัญหา ต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พิชัย นามประกาย ที่กรุณามอบ เอกสารทางวิชาการที่สำคัญสำหรับงานวิจัย รวมทั้งกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้การ อบรมสั่งสอน และให้ความรู้ทางด้านวิชาการจนสามารถนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมอาหารที่ให้กำลังใจให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการดำเนินการวิจัยและทำรูปเล่มและการดำเนินการต่าง ๆ เป็นอย่างดี

สุดท้ายขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ที่ให้เงินสนับสนุนโครงการวิจัยซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้งานวิจัยสามารถดำเนินแล้วเสร็จโดยสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
รายการสัญลักษณ์	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา	2
1.3 วัตถุประสงค์	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 ประโยชน์และการนำน้ำร้อนมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร	4
2.2 ค่าการนำความร้อนและคุณสมบัติของท่อทองแดง	4
2.3 การติดตั้งฉนวนความร้อน	5
2.4 ถึงเก็บน้ำร้อน	6
2.5 มุมที่เหมาะสมของการรวมแสง	7
2.6 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์พิจารณาที่ผิวโลก	10
2.7 ค่าคงที่สุริยะ	11
2.8 การวัดพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องมือ	13
2.9 การติดตั้งอุปกรณ์แสงอาทิตย์	14
2.10 การพิจารณาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการสิ้นเปลืองของการใช้ เชื้อเพลิงและพลังงานแสงอาทิตย์	18
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ	20

3.1 การคำนวณพลังงานความร้อนของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การคำนวณหาค่าความจุความร้อนเฉพาะ	20
3.3 ลักษณะโครงสร้างของเครื่อง	20
3.4 การคำนวณหาความหนาของฉนวน	24
3.5 หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เลนส์นูน	24
บทที่ 4 การทดลองและเก็บข้อมูล	26
4.1 การทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้กับอัตราการไหลต่าง ๆ	26
4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	35
บทที่ 5 สรุปและเสนอแนะ	39
5.1 สรุป	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
ภาคผนวก	40
บรรณานุกรม	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าสภาพการนำความร้อนของโลหะ ของแข็งอโลหะ ของเหลว และก๊าซบางชนิด	4
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าระยะทางจากโลกไปยังดวงอาทิตย์ และปริมาณรังสี	12
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของพลังงานแสงอาทิตย์เทียบกับการใช้ ไฟฟ้า และแก๊ส	18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 แนวโคจรรอบดวงอาทิตย์ของโลก	8
รูปที่ 2.2 ทรงกลมของท้องฟ้า	9
รูปที่ 2.3 แสงอาทิตย์ตกกระทบยังโลก เมื่อแกนของโลกไม่เอียงทำมุม	10
รูปที่ 2.4 ระยะทางจากโลกถึงดวงอาทิตย์และมุมที่มองจากผิวโลกไปยังดวงอาทิตย์	11
รูปที่ 2.5 ผลของช่วงเวลาในปีที่มีต่ออัตราส่วนของการแผ่รังสีเข้ามายังโลกต่อค่าคงที่สุริยะ	13
รูปที่ 2.6 Equatorial Mounting หรือระบบเส้นศูนย์สูตร	15
รูปที่ 2.7 Azimuth Mounting หรือระบบเส้นขอบฟ้า	16
รูปที่ 2.8 การพิจารณามุมต่างๆ เพื่อหาค่ามุมเดคคลิเนชัน	16
รูปที่ 2.9 ตำแหน่งมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับโลกในรอบ 1 ปี	17
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่อง	21
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเครื่องโดยรวม	22
รูปที่ 3.3 โครงสร้างส่วนที่ 1	23
รูปที่ 3.4 ชุดจับเลนส์ส่วนที่ 2	23
รูปที่ 3.5 ชุดควบคุมส่วนที่ 3	24
รูปที่ 3.6 ทิศทางการไหลของน้ำ	25
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที	28
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที	29
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการไหล 7 ลิตรต่อนาที	30
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที	31
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการไหล 12 ลิตรต่อนาที	32
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่อัตราการไหลต่างๆ	33
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่อัตราการไหลกับอุณหภูมิสูงสุดที่เวลา 14.00 นาฬิกา	34
รูปที่ 4.8 ผังแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมจำลองระบบ	35
รูปที่ 4.9 ภาพการใช้งานโปรแกรมขณะเริ่มต้น	36
รูปที่ 4.10 การป้อนค่าอัตราการไหลกับอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ	37
รูปที่ 4.11 การแสดงผลขั้นตอนการหาพลังงานและอุณหภูมิสูงสุด	37
รูปที่ 4.12 ภาพการป้อนค่าอุณหภูมิที่ต้องการ	38

รูปที่ 4.13 ภาพแสดงจำนวนคนส่วนที่ใช้ที่อุณหภูมิ 100°C 38
 เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ นี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

Q	=	Heat	kW
m'	=	Mass flow rate	liter /min
C	=	Specific Heat	kJ/kg ^o c
Δ	=	Different	
T	=	Temperature	^o c
ϕ	=	Diameter	km
I	=	Intensity	W/ m ²
\emptyset	=	Radius	องศา
δ	=	มุมเดคคลิเนชัน	องศา
β	=	มุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้งระนาบรับแสงของแผงเดินส์	องศา
φ	=	มุมละติจูดของสถานที่ติดตั้งระนาบรับแสงของแผงเดินส์	องศา

สัญลักษณ์กำกับล่าง

p	=	Pressure
sc	=	Solar Collector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานจากแหล่งธรรมชาติ ที่สามารถนำไปใช้งานเชิงความร้อนได้โดยตรง และมีปริมาณไม่จำกัด อีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยปกติมนุษย์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติในชีวิตประจำวันอยู่แล้ว เมื่อสังคมมนุษย์มีการพัฒนาไปสู่ยุคอุตสาหกรรม ความต้องการพลังงานมีเพิ่มขึ้นมีการใช้พลังงานจากพลังงานที่สำคัญได้แก่ พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil) ในรูปของน้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และพลังงานจากธาตุกัมมันตรังสี การใช้พลังงานเหล่านี้ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่มีปริมาณจำกัดซึ่งถ้าใช้อย่างต่อเนื่องก็จะหมดไปในอนาคต นับตั้งแต่เกิดวิกฤตการณ์พลังงานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1973 เป็นต้นมา นักวิทยาศาสตร์จึงได้ทำการ ในการวิจัย และพัฒนาเพื่อนำพลังงานทดแทนจากธรรมชาติ เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม ความร้อนใต้พิภพ และพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อมาใช้ทดแทน หรือใช้ร่วมกันกับพลังงานฟอสซิล หรือธาตุกัมมันตรังสี เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานหลักไว้ และรักษาสภาพแวดล้อมของโลก โดยเฉพาะพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีอยู่โดยทั่วไป และมีความหนาแน่นสูงโดยเฉพาะพื้นที่ใกล้เส้นศูนย์สูตร เช่น ประเทศไทยจึงเป็นแหล่งพลังงานที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาไปสู่ระบบหลัก หรือระบบช่วยเสริมพลังงานหลักในการผลิตความร้อน ซึ่งเป็นพื้นฐานสำหรับพลังงานรูปแบบต่าง ๆ ต่อไป

เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์บางอย่างได้รับการพัฒนาจนถึงขั้นการนำมาใช้งานได้จริง แบ่งได้ 2 ประเภท

1. การนำความร้อนไปใช้งานโดยตรง ซึ่งใช้ตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Collector) รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ แลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำงานที่ไหลผ่าน ตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ และนำความร้อนที่แฝงอยู่ในสารทำงาน ไปใช้งานในระบบ

2. การนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปแปลงเป็นพลังงานรูปแบบอื่น ซึ่งก็คือ ไฟฟ้าโดยการใช้ตัวแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นตัวรับ และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้หลักการโฟโตอิเล็กทริกของสารกึ่งตัวนำ พลังงานที่ได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์อีกหลายชนิดที่อยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัยและพัฒนาโดยคาดว่าจะสามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต อย่างไรก็ตามการนำอุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์เหล่านี้มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ เราจำเป็นต้องทราบศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ของที่ตกกระทบสู่พื้นผิวรับแสง

ในปัจจุบันมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเทียบกับพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน ถ้าเราสามารถรับพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะเป็นการช่วยประหยัดพลังงานและต้นทุนในการผลิตเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะกับกระบวนการในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

ดร. พิเศษฐ์ ลิ้มสุวรรณ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ศึกษาเกี่ยวกับเลนส์ ในรายงานนี้กล่าวถึงการหักเหของแสงที่ผิวโค้ง และความหมายของจุดโฟกัสของเลนส์แบบต่าง ๆ นอกจากนี้ยังอธิบายความคลาดเคลื่อนของการหักเหเนื่องจากผิวโค้ง และแสงที่ใช้ แสดงให้เห็นว่าเลนส์นั้นสามารถใช้เป็นตัวรวมแสงได้

สันติ วัฒนายน และอรุ โรจนเสถียร ศึกษาเกี่ยวกับเลนส์น้ำ ในรายงานการทดลองใช้เลนส์น้ำในการรวมแสงสามารถให้ความร้อนใกล้จุดโฟกัสมีอุณหภูมิสูงประมาณ $500 - 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$

รองศาสตราจารย์ ประโมทย์ อุณหวัฑฒะ และนิสิตปริญญาโท จักรกมล เสกสรรวิริยะ แผนกวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์รวมแสงอาทิตย์ (Solar Focusing Concentrators) ผลการทดลองสรุปว่า คุณสมบัติของผิวหน้าสะท้อนแสง และความโค้งของผิวหน้าอุปกรณ์รวมแสงเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะกำหนดอัตราส่วนการรวมแสง

ประโมทย์ อุณหวัฑฒะ ศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง Focusing Collectors กรณีของลำแสงขนาน (ถือว่าแสงมาจากดวงอาทิตย์เป็นลำแสงขนาน) เมื่อมาตกกระทบที่พื้นที่ผิวหน้าตัดของทรงกลมหรือทรงกระบอกจะมีการสะท้อนกลับไปที่พื้นที่ผิวหน้าตัด ทำให้แสงไม่โฟกัสที่จุดเดียวกัน แต่สำหรับ Collector ที่เป็นรูปพาราโบลิกแสงจะโฟกัสที่จุดเดียว อย่างไรก็ตามอาจใช้พื้นที่ผิวทรงกลมเป็นส่วนเล็ก ๆ ของ Collector ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบ และสร้างระบบเก็บพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำน้ำร้อน โดยใช้หลักการรวมแสงของเลนส์นูน
2. เพื่อทดสอบ และปรับปรุงระบบเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ให้สามารถทำน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิสูง $100\text{ }^{\circ}\text{C}$
3. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิของน้ำ และพลังงานที่จุดโฟกัสของเลนส์นูน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษา และวิเคราะห์การนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้โดยใช้เลนส์นูนเพื่อทำน้ำร้อน ที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ในช่วงเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์
2. ศึกษาพลังงานความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์ ที่ส่งผ่านเลนส์นูน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.5 เซนติเมตรที่อัตราการไหลของน้ำ 3, 5, 7, 10 และ 12 ลิตรต่อนาที
3. วิเคราะห์ระบบทำความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรมจำลองระบบสำหรับการคำนวณหาจำนวนเลนส์ และอุณหภูมิที่สถานะต่างๆ กัน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบทำความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในแบบที่แตกต่างออกไป โดยเน้นที่การทำงานที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น
2. ทำให้ทราบถึงปริมาณพลังงานที่ได้จากตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้เลนส์นูน และความเป็นไปได้ที่จะสามารถทำน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงถึงจุดเดือดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ประโยชน์ และการนำความร้อนมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

1. ใช้ในการปอกเปลือกผักผลไม้โดยจุ่มผัก และผลไม้ลงในน้ำเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส
2. ใช้ในการลวกผักและผลไม้เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเอนไซม์ ช่วยในการคงสี
3. ใช้ในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้ออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการอาหาร

2.2 ค่าการนำความร้อน และคุณสมบัติของท่อทองแดง

ตารางที่ 2.1 ค่าสภาพการนำความร้อนของโลหะ ของแข็ง โลหะ ของเหลวและก๊าซบางชนิด [7]

ชนิดสาร	ค่าสภาพการนำความร้อน ที่อุณหภูมิ 300 K (W/m.K)
ทองแดง	386
อลูมิเนียม	204
เหล็กกล้า	54
แก้ว	0.75
พลาสติก	0.2-0.3
น้ำ	0.6
น้ำมันเครื่องยนต์	0.15
ฟร็อนเหลว	0.07
ไฮโดรเจน	0.18
อากาศ	0.026

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อน้ำที่ใช้ในการรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ส่วนมากใช้ ทองแดง เหล็ก อะลูมิเนียม สังกะสี สเตนเลส แต่ที่นิยมได้แก่ ทองแดง เพราะจากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าค่าสภาพการนำความร้อนของทองแดงจะดีกว่าอลูมิเนียม ประมาณ 2 เท่า และมากกว่าเหล็กกล้าถึง 8 เท่า นอกจากนี้ยังทนทานต่อการกัดกร่อนและการเกาะของหินปูนได้ดีมาก แต่ยังคงมีปัญหาในเรื่องของราคา

การเดินทางของน้ำร้อนไม่ควรใช้ท่อพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบซึ่งใช้ความดัน เพราะความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 - 70 องศาเซลเซียส อาจทำให้ท่อพลาสติก เกิดการรั่วได้ในบริเวณรอยต่อ อนึ่ง ท่อพลาสติก ไม่สามารถทนต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากแสงแดดได้ด้วยเช่นกัน ดังนั้นการใช้ท่อพลาสติก ในระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ จึงควรหลีกเลี่ยงอย่างยิ่ง

ในการใช้ท่อแก้วที่มีการติดครีบทองแดงภายในท่อ เพื่อช่วยในการรับความร้อนจะประสบปัญหาการแตกร้าวของท่อแก้ว เนื่องจากครีบทองแดงจะขยายตัวมากกว่าท่อแก้ว

ในกรณีของเหล็ก นอกจากจะมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าทองแดงแล้ว ยังมีปัญหาเรื่องตะกรัน และสนิมอีกด้วย

2.3 การติดตั้งฉนวนกันความร้อน [11]

การติดตั้งฉนวนกันความร้อน สำหรับท่อจ่ายน้ำร้อนนั้น ควรติดตั้งให้มีฉนวน และหนาแน่น เพื่อลดการสูญเสียความร้อน ดังนั้นก่อนการติดตั้งฉนวน ควรตรวจสอบการรั่วซึมตามข้อต่อต่าง ๆ เสียก่อนการเลือกขนาดความหนาของฉนวนสำหรับท่อจ่ายน้ำร้อนนั้น วัสดุที่นิยมใช้ได้แก่

1. ฉนวนใยแก้ว (fiber glass)

ใช้ใยแก้วบุรอบท่อทองแดง ข้อดีคือไม่เปลี่ยนแปลงสภาพเมื่อถูกความร้อนนาน ๆ แต่มีข้อเสียคือ ใยแก้วจะดูดความชื้นได้มาก ถ้ามีความชื้นสูงถึงร้อยละ 70 - 80 เช่นประเทศไทยในตอนเย็น อากาศที่เย็นจะทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำทำให้อุณหภูมิในท่อลดลงได้ และทำให้ใยแก้วเสื่อมสภาพเร็วกว่ากำหนด โดยทั่วไปจะใช้ฉนวนหุ้มท่อขนาดความหนาประมาณ 3/8 ถึง 1/2 นิ้ว สำหรับประเภทฉนวนใยแก้วหรือใยสังเคราะห์

2. โพลียูรีเทน (polyurethane)

ทนอุณหภูมิสูงได้ไม่ดีเท่าใยแก้ว มีคุณสมบัติทนความร้อนได้ดี ไม่ดูดซึมน้ำ และน้ำหนักเบา ใช้กันทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ถังเก็บน้ำร้อน [11]

ถังเก็บน้ำร้อนทำหน้าที่เก็บน้ำร้อนไว้ใช้เมื่อมีแสง และให้น้ำสามารถไหลเวียนในท่อทองแดงรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้เต็มที่ ระบบนี้จะมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ในถังน้ำร้อน จากถังเก็บจะไหลไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยเครื่องเก็บพลังงานแสงอาทิตย์นี้มีระบบหมุนเวียนของน้ำร้อนเป็นระบบปั๊มโดยตรง (active-direct system) เพื่อช่วยในการหมุนเวียนของน้ำ น้ำจะไหลเวียนเข้าไปในถังเก็บ และถูกปั๊มดูดขึ้นไปยังส่วนรับความร้อน แล้วไหลเวียนกลับไปยังถังเก็บอีกครั้ง

ถังเก็บน้ำร้อนนี้แยกได้เป็น 3 ชั้นคือ

1. ชั้นถังน้ำร้อนหรือชั้นในสุด เป็นส่วนที่ใช้เก็บน้ำร้อนโดยตรง ปกติจะมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกหรือทรงแคบรูปชูล เพื่อลดปัญหาความเสียหาย (รั่ว) จากความดัน และการผุกร่อนซึ่งกรณีถึงทรงเหลี่ยมจะเกิดปัญหาดังกล่าวสูงมาก วัสดุที่ใช้มักเป็นเหล็กอย่างดีหรือเหล็กสแตนเลส หรือบางครั้งก็อาจมีประเภทใช้เป็นถังแก้วเคลือบปรอท ลักษณะเหมือนกันกับกระติกน้ำร้อนทั่วไป แต่จะมีราคาแพง และยุ่งยากในการผลิตมากกว่า จึงไม่เป็นที่นิยม เว้นแต่ว่าเป็นชุดซึ่งสั่งจากต่างประเทศบางรุ่นเท่านั้น
2. ชั้นฉนวนกันความร้อน คล้ายกับฉนวนใต้แผงรับความร้อน แต่จะบุหรือหล่อฉนวนหุ้มรอบถังน้ำร้อนทั้งหมด โดยมีความหนาประมาณ 2 ถึง 8 ซม. ซึ่งฉนวนนี้ก็จะทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนของน้ำร้อนในถังเก็บนั่นเอง ฉนวนสำหรับถังเก็บน้ำร้อนนี้ ไม่ควรใช้ประเภทที่อุ้มน้ำ เพราะอาจเกิดการรั่วซึมจากน้ำฝนไหลเข้าไปยังชั้นของฉนวนได้
3. ชั้นเปลือกนอกสุด เป็นชั้นนอกสุดที่หุ้มชั้นฉนวนกันความร้อนไว้อีกทีหนึ่งโดยทั่วไปจะใช้แผ่นเหล็กพ่นสีหรือชุบโครเมียม เพื่อความสวยงามหรืออาจเป็นแผ่นเหล็กสแตนเลสอย่างดี ซึ่งสามารถทนแดดทนฝนได้นาน

ถังเก็บน้ำร้อนนี้จะทำหน้าที่เก็บน้ำร้อนไว้ใช้งาน และจะเพิ่มอุณหภูมิของน้ำขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ยังไม่ได้ใช้งาน โดยจะรับความร้อนจากท่อตลอดเวลาที่ยังมีแสงอาทิตย์

สำหรับเวลากลางคืน ถังเก็บน้ำร้อนก็ยังคงสามารถเก็บน้ำร้อนเพื่อใช้งานได้ตลอดเวลาซึ่งโดยปกติ ถังเก็บน้ำร้อนนี้จะสามารถเก็บถังน้ำร้อนไว้ได้ไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมง และหากสร้างประกอบด้วยวัสดุคุณภาพดี ฝีมือประณีตแล้ว อาจเก็บรักษาความร้อนได้นานถึง 48 ชั่วโมง

อย่างไรก็ตาม ขนาดปริมาณความจุ และปริมาณการใช้น้ำร้อนในแต่ละวัน ย่อมจะมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำร้อนในถังเก็บด้วย เช่นถ้างถังเก็บน้ำร้อนมีขนาดใหญ่ การเปลี่ยนแปลงของ

อุณหภูมิของน้ำร้อนก็จะเปลี่ยนแปลงช้า ๆ ซึ่งก็จะดีกว่าการใช้น้ำร้อนขนาดเล็ก แต่การใช้น้ำร้อนขนาดใหญ่ก็อาจมีข้อเสียที่อุณหภูมิของน้ำร้อนจะลดลงเร็วเกินไปหากใช้เวลานานเกินไป ซึ่งจะทำให้การใช้น้ำร้อนไม่คุ้มค่า ถึงแม้ว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนจะลดลงเร็วเกินไป แต่ถ้าการใช้น้ำร้อนขนาดใหญ่ก็ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่อมจะมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งแพงกว่า และในกรณีที่ติดตั้งถึงบนหลังคาหรือบนอาคารก็ย่อมต้องคำนึงถึงน้ำหนักของถัง และน้ำหนักของน้ำซึ่งบรรจุขณะใช้งานด้วย

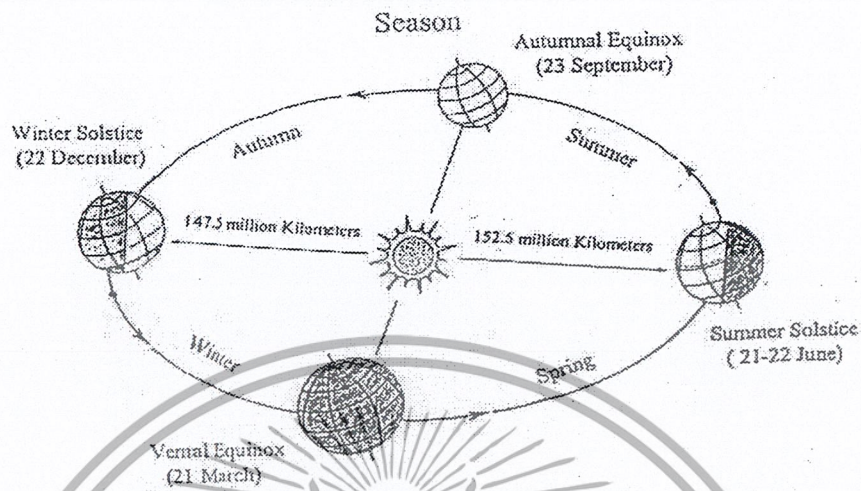
ในบางกรณีใช้ น้ำที่ใช้มีคุณภาพต่ำ เช่น มีความเป็นกรดหรือเป็นค่าสูงหรือทำให้เกิดตะกรัน ดังนั้น จึงต้องมีการป้องกันระบบแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นระบบที่มีราคาลงทุนสูงไว้ก่อน โดยการใช้ระบบปิด ของไหลใช้งานซึ่งไหลหมุนเวียนอยู่ในระบบปิดระหว่างท่อแสงอาทิตย์ และถึงเก็บน้ำร้อนหรือระบบถ่ายเทความร้อน (Heat exchanger system) อาจจะเป็นไปได้ดังกรณีต่อไปนี้ [13]

- น้ำซึ่งมีความบริสุทธิ์สูง แต่ผ่านการไล่อากาศออกแล้ว
- Water – ethylene glycol solution หรือ water propylene glycol solution ซึ่งมีจุดแข็งตัวต่ำ ประมาณ -30 องศาเซลเซียส ดังนั้น จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในสถานที่ซึ่งในบางครั้งอุณหภูมิบรรยากาศลดต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส
- Paraffinic oils หรือ Aromatic oils เหมาะสำหรับการใช้งานในกรณีที่ต้องการป้องกันการเกิดสนิมเนื่องจาก galvanic corrosion
- Silicon oils มีจุดแข็งตัวที่ประมาณ 120 องศาเซลเซียส ไม่เป็นสารนำไฟฟ้า แต่มีความหนืดสูง มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำเมื่อเทียบกับน้ำ ดังนั้นในการใช้งานจึงเพิ่มอัตราการใช้ให้สูงขึ้นประมาณ 2 เท่าของการใช้งานเมื่อใช้น้ำปกติ

2.5 มุมที่เหมาะสมของการรวมแสง

เมื่อโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า ความลาดเอียงของระนาบแถบเส้นศูนย์สูตรนี้เป็นสาเหตุให้มุมเงยของดวงอาทิตย์เปลี่ยนไปตลอดทั้งปี ทำให้เกิดฤดูกาลขึ้น ถือเป็นส่วนประกอบสำคัญของการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยช่วยให้เรารู้ว่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์อยู่ที่ไหนบนท้องฟ้า ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกบริเวณต่าง ๆ มีค่าเปลี่ยนไปตามวันเวลา และฤดูกาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

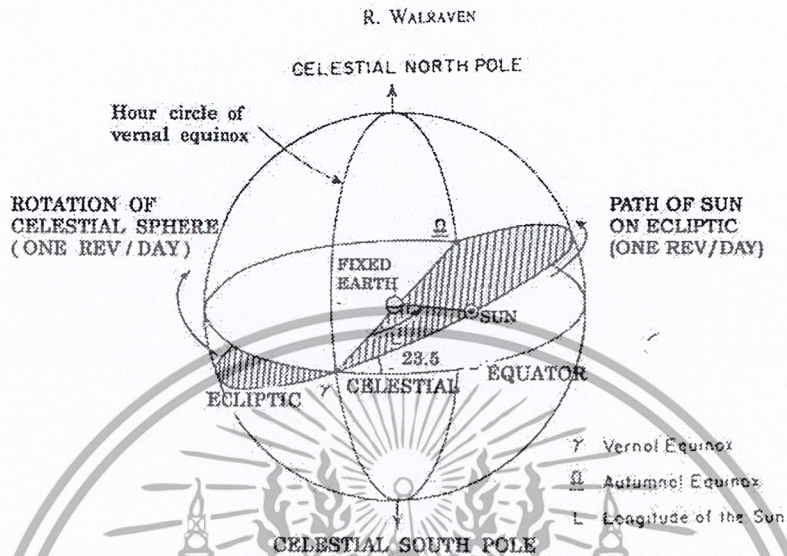


รูปที่ 2.1 แนวโคจรรอบดวงอาทิตย์ของโลก [2]

โลกเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรีใช้เวลา 1 ปีต่อรอบ ขณะเดียวกันโลกหมุนรอบตัวเองจากทิศตะวันตกไปสู่ทิศตะวันออก จึงทำให้เราเห็นกลายเป็นว่า ดวงอาทิตย์ขึ้นจากทิศตะวันออกไปตกที่ทางทิศตะวันตกสวนทางกับการหมุนของโลก โดยแกนการหมุนของโลกจะทำมุมเอียงคงที่เท่ากับ 23.5° กับเส้นที่ตั้งฉากกับระนาบโคจรตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อขั้วเหนือหันเข้าใกล้ดวงอาทิตย์จึงเกิดฤดูร้อนในซีกโลกเหนือ และฤดูหนาวในซีกโลกใต้ ในทำนองเดียวกัน เมื่อขั้วใต้หันเข้าหาดวงอาทิตย์จะเกิดฤดูร้อนในซีกโลกใต้ และฤดูหนาวในซีกโลกเหนือ

แสงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังพื้นโลกนั้นมนุษย์จะรับรู้ได้ 2 ทางคือ มองด้วยตาเปล่าในรูปของแสงสว่าง และสัมผัสทางผิวหนังในรูปของความร้อน โดยมีการส่งพลังงานเป็นรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเดินทางเป็นแนวตรง ที่นิยมเรียกกันว่า “ลำแสงขนาน” ทั้งนี้เนื่องจากดวงอาทิตย์มีระยะห่างจากโลก 93 ล้านไมล์โดยเฉลี่ย (ประมาณ 150 ล้านกิโลเมตร) สามารถดูดซับพลังงานได้ดีเมื่อกระทบพื้นผิวใด ๆ ในลักษณะที่ตั้งฉาก การส่งผ่านพลังงานจะเป็นไปได้ดีในรูปของคลื่นความร้อน หมายความว่า หากมีผิววัตถุใดไปรับแสงอาทิตย์ในลักษณะตั้งฉากจะรับพลังงานความร้อนได้ดีกว่ามุมซึ่งไม่ตั้งฉาก [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



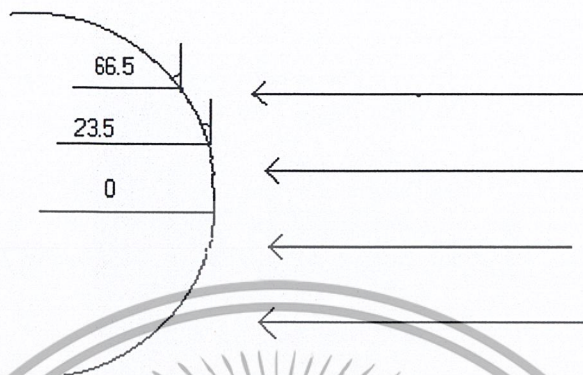
รูปที่ 2.2 ทรงกลมของท้องฟ้า [2]

เนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของโลกทำมุมเอียงกับแนวตั้งฉากของระนาบวงโคจร ที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ จึงทำให้พื้นผิวโลกมีมุมการรับแสงจากดวงอาทิตย์แตกต่างกันไป ตามตำแหน่งการโคจรรอบดวงอาทิตย์ บริเวณเส้นศูนย์สูตรซึ่งถือเป็นแนวกึ่งกลางของโลก จะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งฉากกับผิวโลกในบางช่วงเวลาเท่านั้น ซึ่งหากแกนหมุนของโลกทำมุมตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์แล้ว บริเวณแนวเส้นศูนย์สูตรจะได้รับแสงอาทิตย์ในแนวตั้งฉากตลอดเวลา

ถ้าแกนหมุนของโลกไม่เอียง แถบบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะได้รับแสงอาทิตย์ในแนวตั้งฉากตลอด แต่แกนการหมุนของโลกเอียงทำให้พื้นผิวโลกแถบเส้นศูนย์สูตร จะได้รับแสงอาทิตย์ตั้งฉากในบางช่วงเท่านั้น อย่างไรก็ตาม แม้ว่าแกนการหมุนรอบตัวเองของโลกจะเอียง แต่หากพิจารณาจากความเป็นจริงก็จะพบว่า ช่วงเวลาที่แถบบริเวณเส้นศูนย์สูตรได้รับแสงอาทิตย์ตั้งฉากจะมีมากกว่า ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ในที่นี้จึงจะพิจารณาเสมือนหนึ่งว่า แกนการหมุนรอบตัวเองของโลกตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์เท่านั้น

เมื่อพิจารณาว่าแกนการหมุนของโลกไม่เอียงแล้วแสงอาทิตย์ก็จะตกกระทบบลงยังพื้นผิวโลกในลักษณะที่สมดุกันทั้งซีกโลกเหนือ และซีกโลกใต้ ในที่ใดที่หนึ่งจะได้รับแสงอาทิตย์ในลักษณะเหมือนกันตลอดทั้งปี บริเวณเส้นศูนย์สูตรจะได้รับแสงอาทิตย์ในแนวตั้งฉาก และบริเวณ

อื่น ๆ จะได้รับแสงในลักษณะการทาบมุมซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเส้นละติจูดแสดงในรูปที่ 2.3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้นเพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้เกี่ยวกับประโยชน์ของการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสงอาทิตย์ตกกระทบยังโลก เมื่อแกนของโลกไม่เอียงทำมุม [3]

เมื่อเป็นเช่นนี้ก็จะพบว่า หากต้องการให้แสงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับผิวโลกที่ใดที่หนึ่ง ผิวโลกส่วนนั้นก็ต้องยกทำมุมขึ้นมาให้เท่ากับมุมของเส้นละติจูดด้วย

การจัดพื้นที่ผิวของเลนส์ให้ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ จะทำให้รับแสงได้เต็มที่ การปรับมุมให้รับแสงอาทิตย์ได้ตั้งฉากนั้น ทำได้โดยการปรับมุมเอียงให้เอียงประมาณเท่ากับเส้นละติจูด ณ ตำแหน่งที่ติดตั้ง โดยจัดให้พื้นที่รับแสงหันในแนวเหนือ - ใต้

การปรับมุมเอียงให้แผงของเลนส์ให้ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ ทำให้รับแสงได้เต็มที่ สำหรับประเทศไทยทำได้โดยการปรับมุมเอียงให้เอียงประมาณเท่ากับเส้นละติจูด ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งประมาณ 14 องศาเหนือ [1] ในพื้นที่รับแสงหันในแนวทิศใต้ ซึ่งเป็นการเฉลี่ยรับแสงในลักษณะตั้งฉากตลอดปี ขณะใช้งานดวงอาทิตย์จะมีการเคลื่อนที่ไปตามการหมุนรอบตัวเองของโลกทำให้ต้องมีการติดตั้งเครื่องติดตามดวงอาทิตย์เพื่อให้เลนส์ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ทำให้รับแสงได้เต็มที่

2.6 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์พิจารณาที่ผิวโลก [4]

เนื่องจากบรรยากาศของโลกประกอบไปด้วยก๊าซต่าง ๆ ไอน้ำ ผุ่น และอนุภาคอื่น ๆ อีกจำนวนมาก ทำให้รังสีที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บางส่วนถูกดูดกลืน กระจัดกระจาย มีทิศทางเบี่ยงเบนไป รังสีที่สามารถเดินทางมาถึงพื้นผิวโลกจึงเหลือเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นการแผ่รังสีมาที่ผิวโลกจึงมีหลายลักษณะเนื่องจากกระบวนการบรรยากาศโลก สามารถแบ่งได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เอาต์ให้มาใช้จะเสียเงินด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การแผ่รังสีแบบเป็นลำแสง (beam radiation) เป็นรังสีที่โลกได้รับโดยตรง รังสีไม่มีการเปลี่ยนทิศทาง
2. การแผ่รังสีแบบการแพร่กระจาย (diffuse radiation) ผิวโลกได้รับรังสีนี้หลังจากที่รังสีเปลี่ยนทิศทางไปจากเดิมแล้ว อันเกิดเนื่องจากการสะท้อน (reflection) และการกระจัดกระจาย (scattering) เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์กระทบกับบรรยากาศของโลก
3. การแผ่รังสีทั้งหมด (total radiation) คือ ผลรวมของการแผ่รังสีแบบลำแสง กับการแผ่รังสีแบบการแพร่กระจาย บางทีเรียกกันว่า global radiation

2.7 ค่าคงที่สุริยะ (The solar constant) [7]

ระยะทางระหว่างโลก และดวงอาทิตย์มีค่าแตกต่างกันไปในวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นรูปวงรี ค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยในช่วง $\pm 1.7\%$ และมุมรองรับดวงอาทิตย์ที่ผิวโลกมีค่า 32 องศา



รูปที่ 2.4 ระยะทางจากโลกและดวงอาทิตย์และมุมที่มองจากผิวโลกดูดวงอาทิตย์ [7]

I_{sc}	ค่าพลังงานความร้อนที่ตกกระทบมายังโลก
I_{sc}	= 1,353 W / m ²
	= 1.940 Cal / cm ² - min
	= 428 Btu / ft ² - hr
	= 4,871 kJ / m ² - h

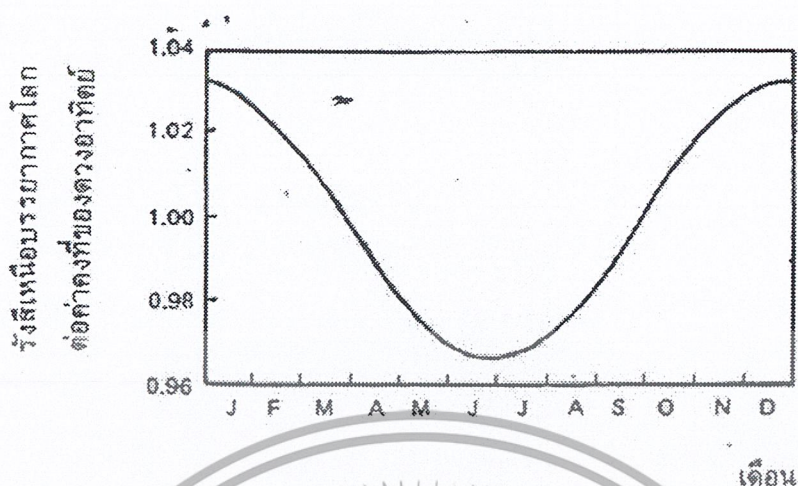
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากระยะทางของโลกจากดวงอาทิตย์มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ทำให้ค่าพลังงานของดวงอาทิตย์ต่อพื้นที่ผิวที่รับต่อเวลาที่ระยะทางต่าง ๆ เหล่านี้แตกต่างไปจากค่าที่ได้ ที่ตำแหน่งเฉลี่ย ซึ่งเรียกว่าค่าคงที่สุริยะ (ซึ่งมีค่า 1.353 kW/m^2) ไปประมาณช่วง $\pm 1.6\%$ ดังตารางที่ 2.2 และรูปที่ 2.4

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าระยะทางจากโลกไปยังดวงอาทิตย์และปริมาณรังสี [7]

วัน	ระยะทางจากโลกไปยังดวงอาทิตย์ต่อค่าเฉลี่ย	ปริมาณรังสีต่อค่าคงที่สุริยะ	ปริมาณรังสี (kW/m^2)
Jan. 1	0.9832	1.034	1.399
Feb. 1	0.9853	1.030	1.394
Mar. 1	0.9908	1.019	1.379
Apr. 1	0.9993	1.001	1.354
May. 1	1.0076	0.985	1.333
June. 1	1.0141	0.972	1.312
July. 1	1.0167	0.967	1.308
Aug. 1	1.0149	0.971	1.312
Sep. 1	1.0092	0.982	1.329
Oct. 1	1.0011	0.998	1.350
Nov. 1	0.9925	1.015	1.373
Dec. 1	0.9860	1.029	1.392

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ผลของช่วงเวลาในปีที่มีต่ออัตราส่วนของการแผ่รังสีเข้ามายังโลกต่อค่าคงที่สุริยะ [7]

2.8 การวัดพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องมือ [15]

พลังงานแสงอาทิตย์ส่วนที่สามารถนำมาใช้งานได้ แบ่งเป็น 2 ชนิด ตามความยาวคลื่นคือ

1. พลังงานชนิดคลื่นสั้นหรือพลังงานแบบรังสีตรง (Beam radiation) พลังงานชนิดนี้ได้มาจากการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์
2. พลังงานชนิดคลื่นยาว (ความยาวคลื่นมากกว่า 30 ไมโครเมตร) หรือพลังงานแบบรังสีกระจาย (Diffuse solar radiation) พลังงานชนิดนี้ไม่ได้แผ่รังสีมาจากดวงอาทิตย์โดยตรง แต่มาจากแหล่งอื่นที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์จนตนเองมีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วจึงแผ่รังสีมายังเลนส์รับแสง

สำหรับวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส (บรรยากาศที่ปกคลุมผิวโลกขณะนั้นประกอบไปด้วยปริมาณไอน้ำหรือเมฆน้อย) พลังงานที่ได้รับเกือบทั้งหมดเป็นแบบคลื่นสั้น ส่วนในวันที่ท้องฟ้าไม่แจ่มใส พลังงานที่ได้รับจะเป็นชนิดคลื่นยาวมากกว่าคลื่นสั้น จะมากน้อยกว่าเท่าไรขึ้นกับความไม่แจ่มใสของท้องฟ้า แต่ถ้าขณะใดก็ตามที่ปริมาณเมฆหนาจนไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ นั้นหมายถึงจะไม่มีพลังงานชนิดคลื่นสั้น

เครื่องมือวัดปริมาณแสงอาทิตย์แบ่งได้เป็น 2 แบบ ดังนี้ [15]

1. เครื่องมือวัดปริมาณแสงอาทิตย์ทั้งหมด (Total or global solar radiation) จะวัดพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งแบบรังสีตรง และแบบกระจายเครื่องมือที่ใช้วัดคือไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer)
2. เครื่องมือวัดปริมาณแสงอาทิตย์แบบรับรังสีตรง แบบนี้วัดพลังงานแบบคลื่นสั้นหรือแบบรังสีตรง เครื่องมือที่ใช้วัดคือไพริโอมิเตอร์ (Pyrheliometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การนำเอกสารไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ ตำแหน่ง และเวลาเดียวกัน ปริมาณพลังงานส่วนที่อ่านโดยไพราโนมิเตอร์จะมีค่าสูงกว่าแบบไพร์เฮอมิเตอร์ ปริมาณส่วนที่มากกว่าคือพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย

2.9 การติดตั้งอุปกรณ์แสงอาทิตย์ [4]

เช่นแผงรับรังสีแสงแดดแบบแผ่นราบ

1. กรณีติดตั้งอยู่กับที่ จะต้องวางให้แกนของแผงรับอยู่ในแนวทิศเหนือใต้ คือ มุม Azimuth ทำกับ 0 องศา และแกนของแผงรับทำมุมยกขึ้นกับพื้นดินเท่ากับเส้นรุ้งของตำบลนั้น (เช่นที่กรุงเทพฯ $\theta = 14^\circ$) ต้องวางให้แกน และแผงรับชี้ไปยังทางเหนือ โดยแผงรับทำมุมยกขึ้น 14 องศา

2. กรณีติดตั้งให้หมุนตามดวงอาทิตย์ (Tracking) มี 2 ระบบ

2.1 ระบบอีควีเตอร์ (Equatorial mounting) ติดตั้งแบบเดียวกับข้อ 1 เพียงแต่ใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนให้แผงรับแสงหมุนรอบแกนของแผงรับด้วยอัตราวันละ 1 รอบ และในกรณีที่ต้องการให้ถูกต้องมากขึ้น (เช่นการวัดรังสีตรง) ก็ต้องปรับให้เคลื่อนตามดวงอาทิตย์ตามฤดูกาล คือ มุม Declination (วันละ 0.25 องศา)

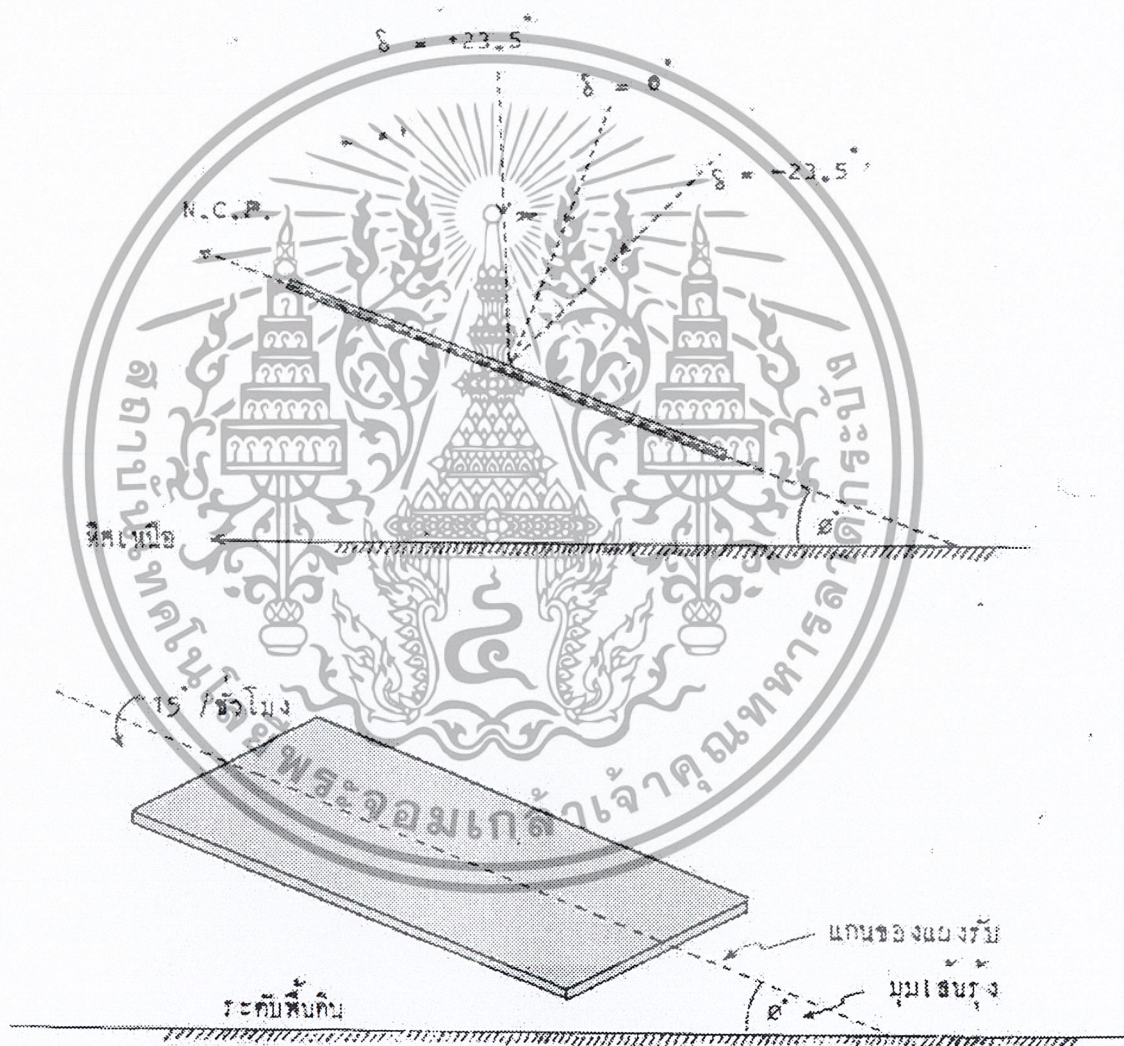
2.2 ระบบอะซิมูท (Azimuth mounting) เป็นการติดตามดวงอาทิตย์ในระบบมุม Azimuth และออลติจูด โดยทั้งสองค่านี้เปลี่ยนแปลงทุกนาที ระบบนี้ต้องควบคุมเครื่องยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เช่น การติดตามดวงอาทิตย์ของกระจกสะท้อนแสงในระบบหอพลังงานแสงอาทิตย์

นิยามคำศัพท์

Azimuth	ค่าอะซิมูทของดาว หมายถึง ระยะทางมุมวัดจากจุดเหนือไปทางตะวันออกไปทางวงกลมระนาบจนถึงวงกลมแนวตั้งของดวงดาวนั้น มีค่าตั้งแต่ 0 – 360 องศา บางครั้งค่าอะซิมูท อาจวัดจากจุดเหนือไปทางตะวันออก 180 องศา และวัดจากจุดใต้มาทางตะวันตก 180 องศา
Altitude	ค่าออลติจูดของดาว หมายถึง ระยะทางมุมวัดจากระนาบขึ้นไปตามวงกลมแนวตั้งของดาวนั้น ๆ มีค่าตั้งแต่ 0 องศาที่ระนาบถึง 90 องศาที่จุดซีกินิท
Declination	มุมเดคลิเนชันของดาว หมายถึง มุมที่รองรับที่ผู้สังเกตเวลา Solar noon ระหว่างเวกเตอร์ที่ขนานกับรังสีแสงดาว และผ่านจุดศูนย์กลางโลกกับเงา

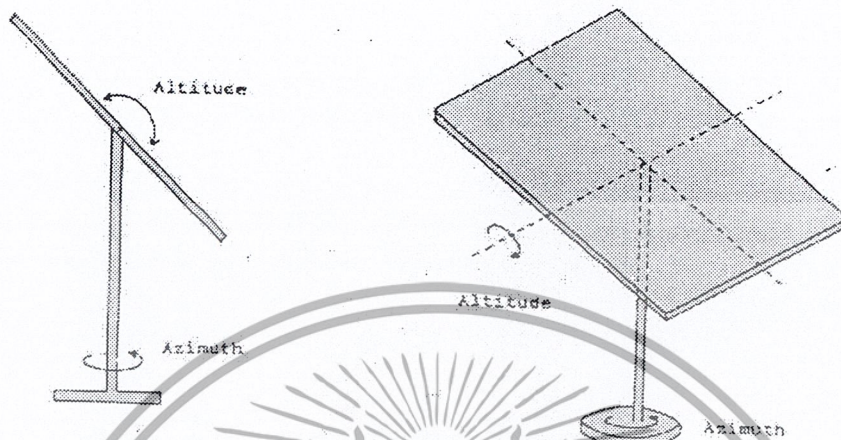
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาเท่านั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของโลก สำหรับดวงอาทิตย์ มุมเดคลิเนชันนี้แปรเปลี่ยนไปทุกวัน ระหว่าง $+23.5$ องศา ถึง -23.5 องศา ปรากฏการณ์นี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมุมตกกระทบของแสงแดดบนผิวโลก และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวของกลางวันตามฤดูกาล



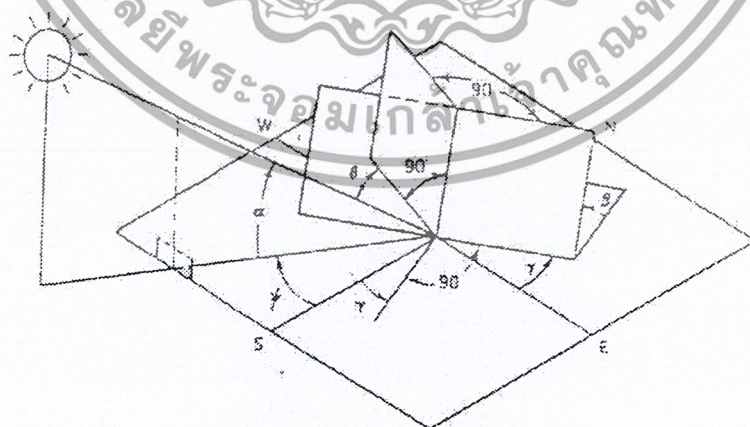
รูปที่ 2.6 Equatorial Mounting หรือระบบเส้นศูนย์สูตร [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 Azimuth Mounting หรือระบบเส้นขอบฟ้า [4]

เนื่องจากวงโคจรของโลกที่โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี และโลกมีการโคจรรอบตัวเอง ทำให้มุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับตำแหน่งเดียวกันในแต่ละวันเปลี่ยนไปทุก ๆ วัน ซึ่งสามารถคำนวณมุมเอียงของดวงอาทิตย์ที่กระทำแต่ละตำแหน่งในแต่ละวัน ได้โดยสูตรอิมพลิกัด ใช้คำนวณมุมเดคลิเนชัน

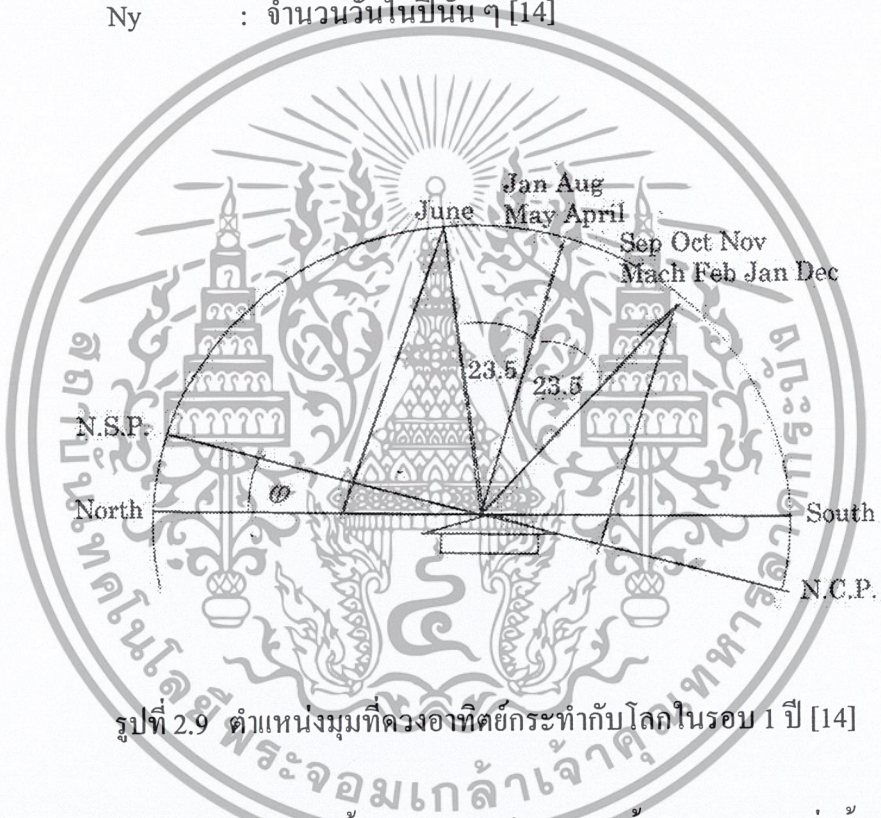


รูปที่ 2.8 การพิจารณามุมต่าง ๆ เพื่อหาค่ามุมเดคลิเนชัน [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\delta = \frac{23.5^\circ \sin((284+N) \cdot 360)}{N_y} \quad (2.1)$$

- เมื่อ δ : มุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับโลกในแต่ละวันซึ่งมีค่าตั้งแต่ 23.5° จนถึง -23.5°
 N : จำนวนนับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม จนถึงวันที่ต้องการ
 N_y : จำนวนวันในปีนั้น ๆ [14]



รูปที่ 2.9 ตำแหน่งมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับโลกในรอบ 1 ปี [14]

ดังจะเห็นได้ว่า ในช่วงเวลา 1 ปีนั้น ดวงอาทิตย์ทำมุมกับพื้นโลกตามแนวตั้งตั้งแต่ 23.5° ถึง -23.5° ดังนั้น มุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้งระนาบรับแสงของแผงเลนส์ให้สามารถรับพลังงานได้มากที่สุดจะคำนวณได้จาก

$$\beta = \varphi - \delta \quad (2.2)$$

- β : มุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้งระนาบรับแสงของแผงเลนส์
 φ : มุมละติจูดของสถานที่ติดตั้งระนาบรับแสงของแผงเลนส์ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 พิจารณาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการสิ้นเปลืองพลังงานของการใช้เชื้อเพลิงและการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ [3]

ระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งสูงมาก แต่จะมีค่าใช้จ่ายในการทำงานต่ำ ขณะที่ระบบผลิตน้ำร้อนใช้แก๊สหรือไฟฟ้าซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันขณะนี้ มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำ แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นค่าไฟฟ้าหรือค่าแก๊สตลอดเวลาที่มีการใช้งาน ดังนั้น เพื่อให้การเปรียบเทียบเป็นไปในพื้นฐานเดียวกัน ในที่นี้จะเปรียบเทียบการผลิตน้ำร้อนด้วยเงื่อนไขเหมือนกัน คือผลิตน้ำร้อนจากอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเพิ่มเป็น 60 องศาเซลเซียสในอัตรา 200 ลิตร/วัน

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของพลังงานแสงอาทิตย์เทียบกับการใช้ไฟฟ้าและแก๊ส [3]

รายการ	แสงอาทิตย์	ไฟฟ้า	แก๊ส
-ค่าลงทุนติดตั้งระบบ	20,000	4,000	5,000
-ค่าใช้จ่ายต่อวัน	—	15.5	9.0
-ค่าใช้จ่ายต่อ 300 วัน	—	4,650	2,700
-ค่าดอกเบี้ยจากการฝาก เงินที่เหลือจากการติดตั้ง ระบบไฟฟ้า (บาท/วัน)	3	—	—
-ค่าดอกเบี้ยจากการฝาก เงินที่เหลือจากการติดตั้ง ระบบแก๊ส (บาท/วัน)	2.8	—	—

หมายเหตุ

1. ราคากระบบเป็นราคาเฉลี่ยโดยประมาณ ในปี 2530
2. ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำร้อน คัดจากค่าไฟฟ้า 2 บาท/หน่วย ประสิทธิภาพ 90 % ค่าแก๊ส 10 บาท/กก. ประสิทธิภาพ 60 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก 7 % ต่อปี (เงินฝากประจำปี 2530)

จากตาราง สมมติว่า

เลือกใช้ระบบผลิตน้ำร้อนจากไฟฟ้า

ลงทุนติดตั้งจำนวนเงิน 4,000 บาท

เหลือเงินอีก 16,000 บาท

ฝากธนาคารในอัตราดอกเบี้ย 7 % สิ้นปีจะได้ดอกเบี้ย 1,120 บาท หรือประมาณวันละ 3 บาท ดังนั้นหากนำเงินดอกเบี้ยไปใช้เป็นค่ากระแสไฟฟ้า ก็จะต้องเพิ่มเงินอีก 12.50 บาท/วัน ประมาณ 3 ปีครึ่งหรือไม่เกิน 4 ปี ก็จะเป็นเงิน 16,000 บาท ซึ่งเท่ากับเงินที่ฝากไว้ในครั้งแรกแล้ว หมายความว่า ถ้าใช้ระบบน้ำร้อนแสงอาทิตย์ โดยน้ำร้อนตามเงื่อนไขดังกล่าวก็สามารถคุ้มทุนภายใน 3 ปีครึ่งหรือไม่เกิน 4 ปี เมื่อเทียบกับการใช้ไฟฟ้า และหากอยู่นั้นต้องเสียค่ากระแสไฟฟ้าในอัตราสูงกว่านี้ ก็จะมีกำไรคุ้มทุนเร็วขึ้น

สำหรับกรณีที่ใช้ระบบผลิตน้ำร้อนจากแก๊ส คิดทำนองด้วยกันซึ่งจะคุ้มทุนภายในเวลาประมาณ 7 ปี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นี้ใช้สารทำงานคือน้ำ ในช่วงอุณหภูมิ 20 – 100 °C โดยน้ำไม่มีการเปลี่ยนสถานะ

3.1 การคำนวณพลังงานความร้อนของน้ำ

$$Q = m C_p \Delta T \quad (3.1)$$

Q : ปริมาณความร้อน (kJ)
m : มวลของน้ำ (kg)
C_p : ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg K)
ΔT : ผลต่างของอุณหภูมิของน้ำที่ผ่านท่อทองแดง (K)

3.2 การคำนวณหาค่าความจุความร้อนจำเพาะ

$$C_p = (-1 \cdot 10^{-11} T^5) + (5 \cdot 10^{-9} T^4) - (8 \cdot 10^{-7} T^3) + (7 \cdot 10^{-5} T^2) - 0.0028T + 4.2178 \quad (3.2)$$

3.3 ลักษณะโครงสร้างของเครื่อง

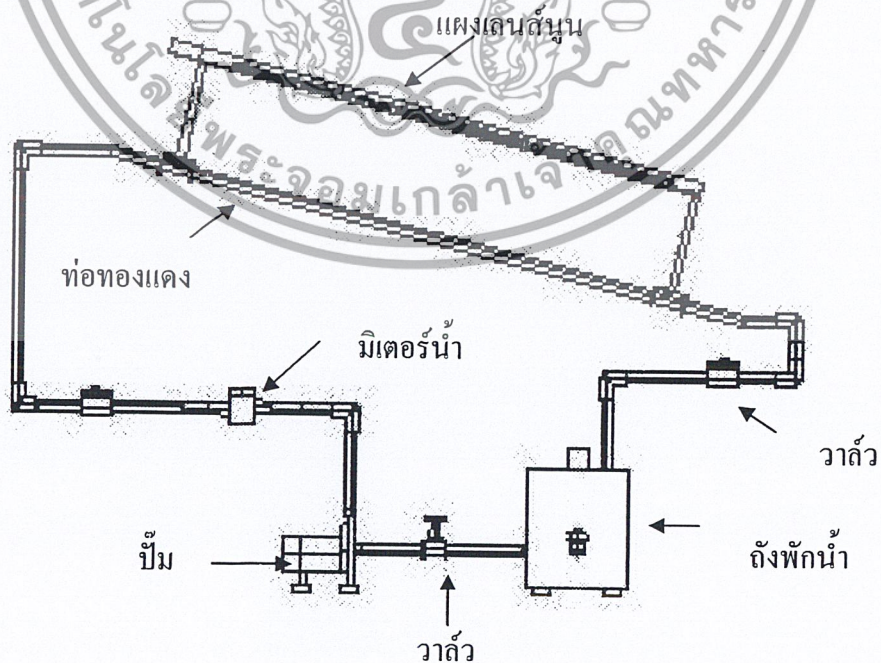
3.3.1 วัสดุที่ใช้ในการสร้าง

ลำดับ	ชิ้นส่วน	วัสดุขนาด	จำนวน
1.	ล้อ	เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร	4 ล้อ
2.	เหล็กฉาก	หนา 3 มิลลิเมตร	1 เส้น
3.	ปั๊ม	ขนาด ½ แรงม้า	1 ตัว
4.	มิเตอร์น้ำ	ขนาด 1 นิ้ว	1 ตัว
5.	ฉนวนใยแก้ว	หนา 1.5 เซนติเมตร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	ชิ้นส่วน	วัสดุขนาด	จำนวน
6.	เหล็กกล่อง	ขนาด 2.5 × 2.5 เซนติเมตร	2 เส้น
		ขนาด 2.5 × 5 เซนติเมตร	1 เส้น
7.	เลนส์นูน	เส้นผ่านศูนย์กลาง 13.5 เซนติเมตร	10 เลนส์
8.	ท่อ PVC	เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว	1 เส้น
9.	วาล์ว	ขนาด 1 นิ้ว	3 ตัว
10.	ข้อต่อ 90	ขนาด 1 นิ้ว	6 ตัว
	ข้อต่อเกลียวใน	ขนาด 1 นิ้ว	2 ตัว
	ข้อต่อเกลียวนอก	ขนาด 1 นิ้ว	1 ตัว
11.	เทอร์โมคัปเปิล		
12.	ถังพลาสติก	ขนาด 2 ลิตร	

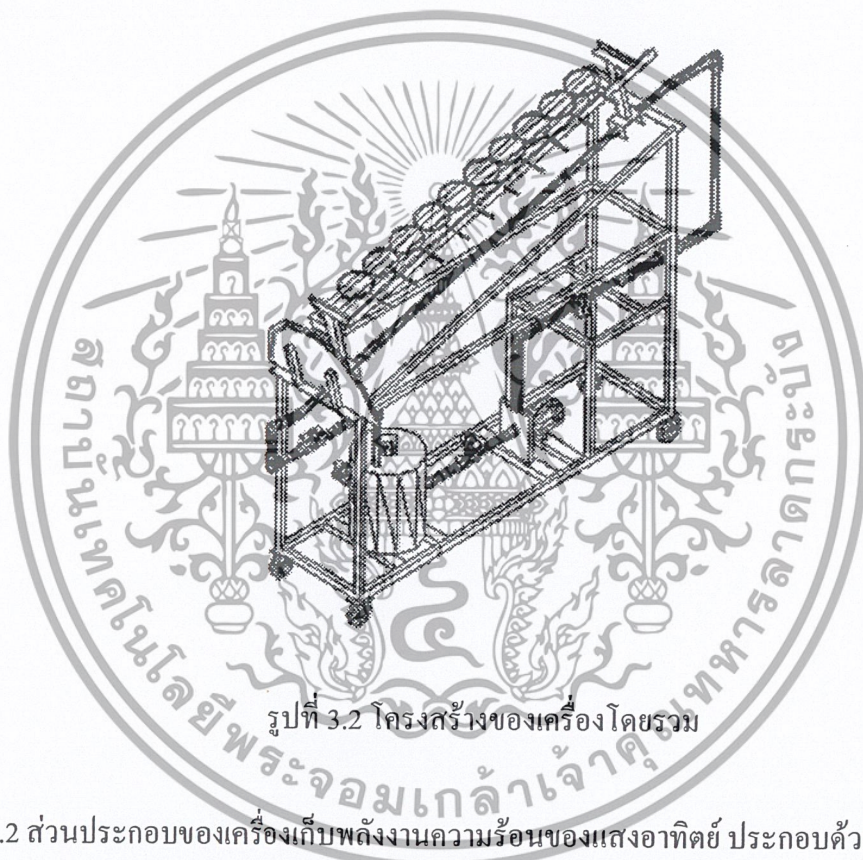
หมายเหตุ (1 เส้น ยาว 3 เมตร)



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

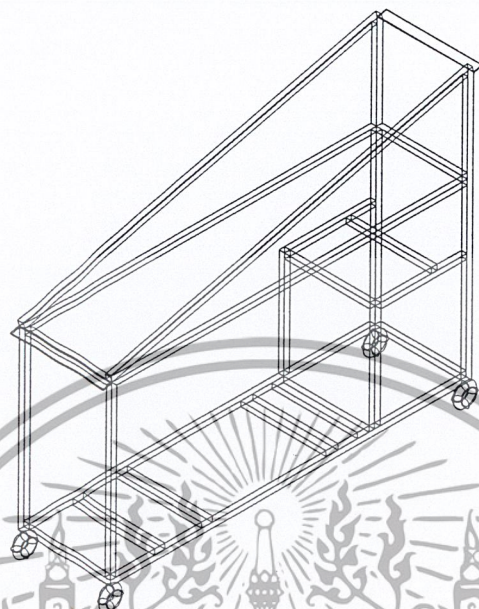
ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน ประกอบด้วยเลนส์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.5 เซนติเมตร ท่อทองแดง ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ป้อนน้ำขนาด 1/2 แรงม้า มาตรวัดน้ำ และถังพักน้ำร้อนขนาด 18 ลิตร โดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำด้วยวาล์ว อาศัยความร้อนที่เกิดจากการพลังงานแสงอาทิตย์ส่งผ่านเลนส์มาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่ไหล ผ่านท่อทองแดงแสดงตามรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเครื่องโดยรวม

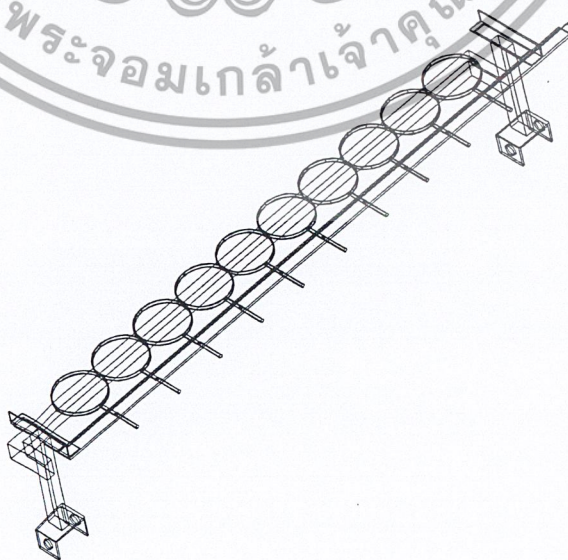
3.3.2 ส่วนประกอบของเครื่องเก็บพลังงานความร้อนของแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย 3 ส่วน ส่วนที่ 1 โครงสร้างทำด้วยเหล็กโครงสร้างพื้นที่หน้าตัด 5×2.5 เซนติเมตร และเชื่อมต่อกัน กับล้อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร จำนวน 4 ล้อ ต่อเข้ากับเครื่องด้านล่างโดยใช้สกรู ยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 โครงสร้างส่วนที่ 1

ส่วนที่ 2 ชุดจับเลนส์ทำด้วยเหล็กโครงสร้างพื้นที่หน้าตัด 5×2.5 เซนติเมตร โดยใช้สกรูยึดติดกับเหล็กฉากซึ่งมีแกนสกรูสวมติดกันอยู่

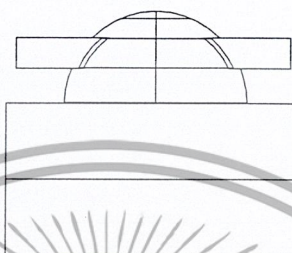


รูปที่ 3.4 ชุดจับเลนส์ส่วนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วงที่ออกการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3 ชุดควบคุม ประกอบด้วย

- วาล์ว ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำจากถังพักโดนส่งมาตามท่อ PVC ขนาด 1 นิ้ว



รูปที่ 3.5 ชุดควบคุมส่วนที่ 3

3.4 การคำนวณหาความหนาของฉนวน

สูตรการคำนวณหาความหนาของฉนวน

$$Q = 2\pi kL(T_i - T_o) / (\ln(r_o/r_i)) \quad (3.3)$$

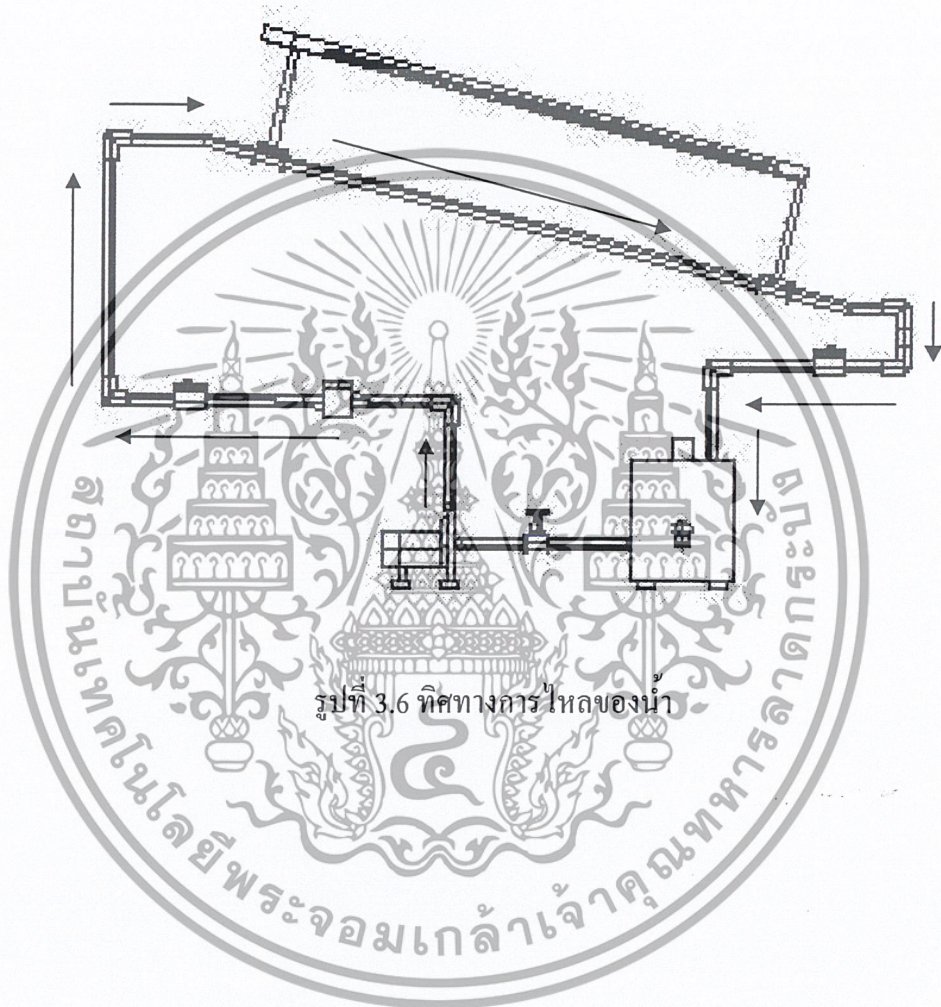
3.4.1 วิธีการคำนวณ

1. คำนวณค่า Q มาจากสูตร 3.1
2. หาค่า k ได้จากตารางในภาคผนวก
3. L หาได้จากความยาวท่อ
4. T_i หาได้จากอุณหภูมิน้ำในท่อ
5. T_o หาได้จากอุณหภูมิบรรยากาศ
6. r_o ได้จากการคำนวณสูตร 3.3
7. r_i หาได้จากรัศมีท่อ

3.5 หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้เลนส์นูน

เมื่อเริ่มเปิดสวิทช์ปั้มน้ำ ปั้มน้ำจะสูบน้ำจากถังพัก สามารถอ่านค่าอัตราการไหลของน้ำได้จากมิเตอร์วัดน้ำ โดยปรับอัตราการไหลของน้ำด้วยวาล์ว น้ำจะไหลเข้าท่อทองแดงทางด้านบน แล้วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า อาศัยความร้อนที่เกิดจากการพลังงานแสงอาทิตย์ส่งผ่านเลนส์นูนมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่ไหล ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในท่อทองแดง แผงเลนส์นูนจะมีการเคลื่อนที่ตามแผ่นโค้งครึ่งวงกลมใช้ปรับจุดโฟกัสให้แสงอาทิตย์เข้าสู่ท่อทองแดงตลอดตามแนวท่อ จากนั้นน้ำจะกลับลงถังเพื่อเก็บความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและเก็บข้อมูล

4.1 การทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้กับอัตราการไหลต่าง ๆ

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณพลังงาน ในช่วงเวลา 11.00 - 14.00 น. ทำการทดลองที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่ที่เส้นละติจูด 14 องศาเหนือ โดยมีแผงรับแสงด้วยเลนส์นูนเอียงทำมุม 14 องศากับระนาบ แกนหมุนของแผงรับวางในทิศเหนือ - ใต้

4.1.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากอัตราการไหลที่ 3, 5, 7, 10 และ 12 ลิตรต่อนาที
2. ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ อัตราการไหล และ เวลาที่ใช้

4.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดทดลองการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เลนส์นูน
2. เทอร์โมคัปเปิลชนิด J
3. Data Acquisition
4. เข็มทิศ
5. นาฬิกา

4.1.3 วิธีการทดลอง

1. ปรับจุดโฟกัสของเลนส์ให้โฟกัสลงบนท่อทองแดงตลอดเวลา โดยการหมุนแกนของแผงรับตามดวงอาทิตย์
2. ปรับอัตราการไหลโดยใช้อัตราการไหลต่อไปนี้ 3, 5, 7, 10 และ 12 ลิตรต่อนาที
3. ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลที่ท่อทางเข้า ทางออกของท่อทองแดง และถึงพักน้ำในชุดทดลอง เข้ากับ Data Acquisition
4. เดินเครื่องชุดทดลอง โดยเริ่มเมื่อเวลา 11.00 น. และหยุดเมื่อเวลา 14.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานวิจัยที่ดำเนินการขึ้นเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ การทดลองใช้อัตราการไหลค่าเดียวต่อ 1 วัน

4.1.4 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าและทางออก

ผลการทดลองที่ได้จากการอ่านค่าจาก Data Acquisition และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยกราฟเพื่อศึกษาแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้า ทางออกของท่อทองแดง และถึงพิกัดนี้แสดงในรูป จากกราฟเปรียบเทียบสามารถหาค่า $T(\max)$ ของน้ำในถังพักที่แต่ละอัตราการไหลดังแสดงเป็นหัวข้อดังนี้

- อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 28°C

อุณหภูมิในถังพักสูงสุด 52.65°C

- อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 29.4°C

อุณหภูมิในถังพักสูงสุด 52.7°C

- อัตราการไหล 7 ลิตรต่อนาที

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 29.6°C

อุณหภูมิในถังพักสูงสุด 53.1°C

- อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 29.6°C

อุณหภูมิในถังพักสูงสุด 53.15°C

- อัตราการไหล 12 ลิตรต่อนาที

อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 29.5°C

อุณหภูมิในถังพักสูงสุด 53.3°C

ข้อมูลจากการทดลองแต่ละอัตราการไหลได้ถูกนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในถังพักน้ำ และเวลาดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 52.65 °C



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่อัตราการไหล 7 ลิตรต่อนาที อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 53.1 °C



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการไหล 7 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 53.15 °C



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ อัตราการไหล 12 ลิตรต่อนาที อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 53.15 °C



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อัตราการไหล 12 ลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

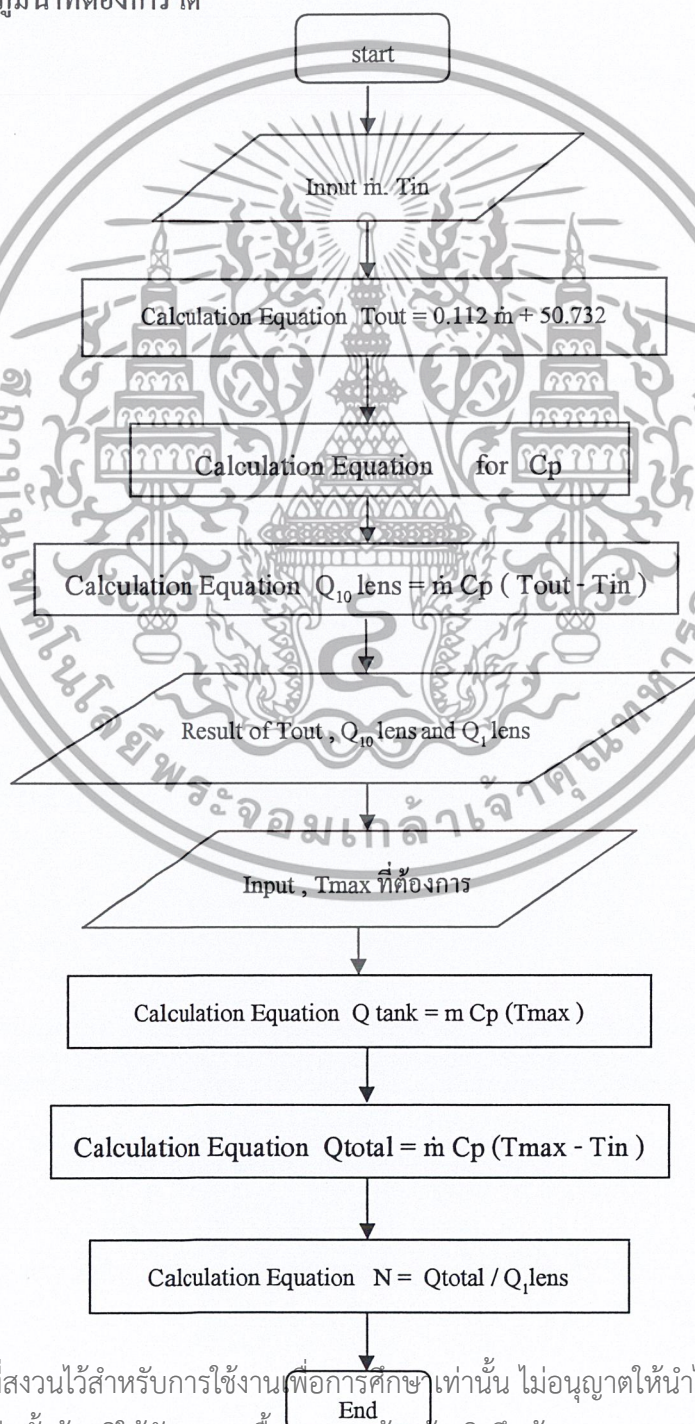


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับอุณหภูมิสูงสุดที่เวลา 14.00 นาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

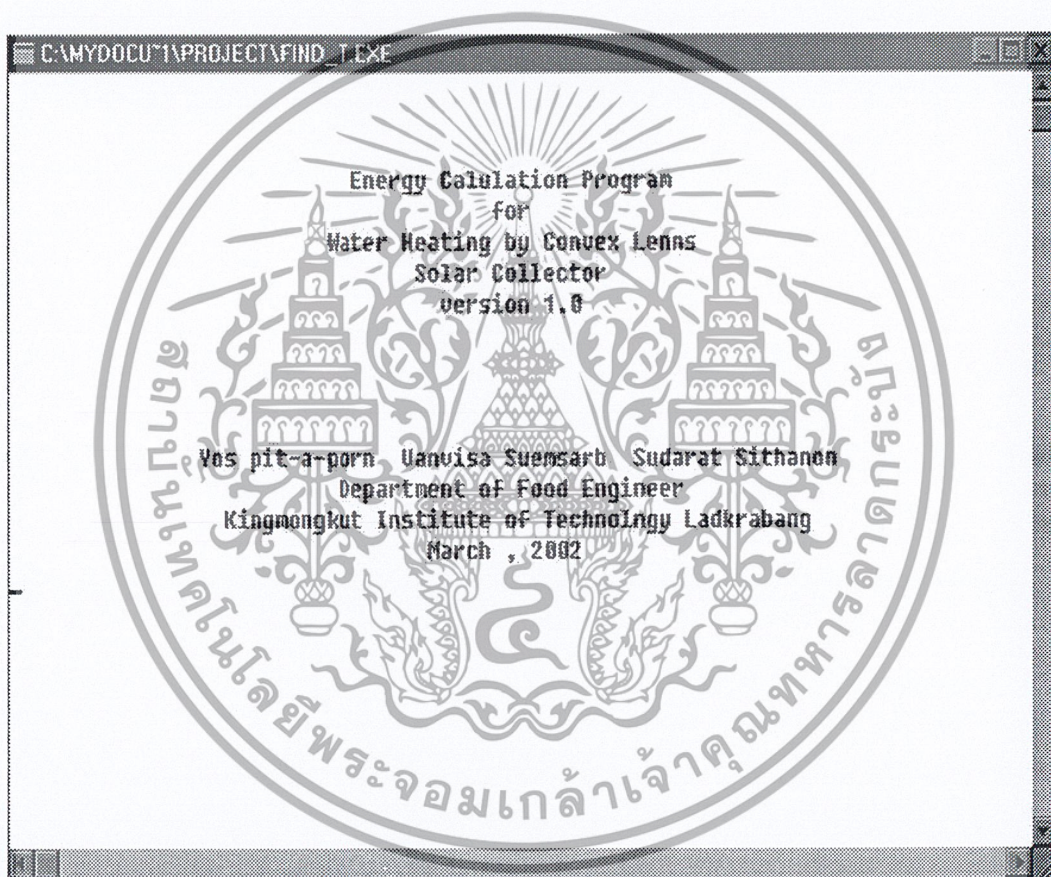
ข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมา สามารถนำข้อมูล มาออกแบบเครื่องต้นแบบที่ใช้ในการรับพลังงานแสงอาทิตย์ ในการออกแบบเครื่องต้นแบบนี้ จึงได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์หาพลังงานความร้อนของน้ำที่ถึงพัก จำนวนเลนส์นูนที่เหมาะสมที่อุณหภูมิที่ต้องการ ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

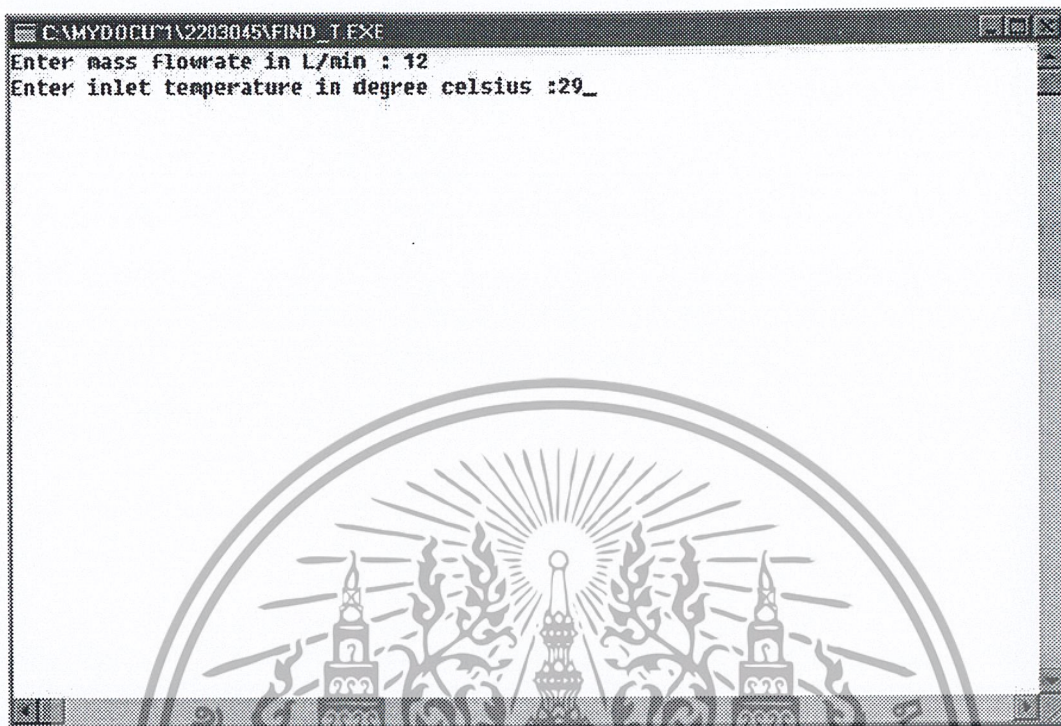
รูปที่ 4.8 แสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมจำลองระบบ

ตัวอย่างแบบจำลอง โปรแกรม ที่ใช้ในการออกแบบเมื่อต้องการน้ำที่อุณหภูมิ 100°C อัตราการไหล 12 ลิตรต่อนาที กับเลนส์นูนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.5 เซนติเมตร ที่ช่วงเวลา 11.00 – 14.00 น.

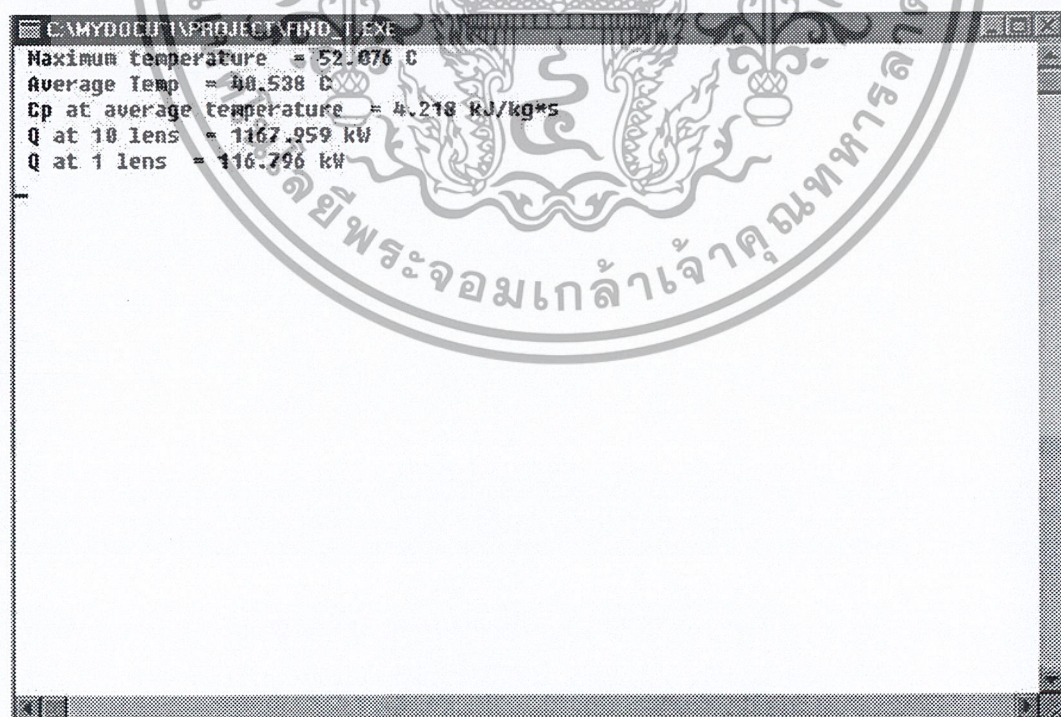


รูปที่ 4.9 ภาพการใช้งานโปรแกรมขณะเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 การป้อนค่าอัตราการไหลให้กับอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ



รูปที่ 4.11 การแสดงผลขั้นตอนการหาพลังงานและอุณหภูมิสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

C:\MYDOCU\PROJECT\FIND_T.EXE
Maximum temperature = 52.076 C
Average Temp = 40.538 C
Cp at average temperature = 4.218 kJ/kg*s
Q at 10 lens = 1167.959 kW
Q at 1 lens = 116.796 kW

Enter outlet temperature in degree celsius : 100_

```

รูปที่ 4.12 ภาพการป้อนค่าอุณหภูมิที่ต้องการ

```

C:\MYDOCU\PROJECT\FIND_T.EXE
Maximum temperature = 52.076 C
Average Temp = 40.538 C
Cp at average temperature = 4.218 kJ/kg*s
Q at 10 lens = 1167.959 kW
Q at 1 lens = 116.796 kW

Enter outlet temperature in degree celsius : 100
Q tank = 2635.754 kJ
Q total = 3593.566 kW
The Number of lens is 31

```

รูปที่ 4.13 ภาพแสดงจำนวนเลนส์รุ่นที่ใช้ที่น้ำอุณหภูมิ 100 °C เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากผลของการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เลนส์นูน เพื่อทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้เป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. จากการศึกษาพบว่าเครื่องต้นแบบที่ใช้ในการวิจัยสามารถทำน้ำร้อน ได้อุณหภูมิเฉลี่ยได้ถึง 52°C
2. จากโปรแกรมจำลองระบบ เมื่อต้องการอุณหภูมิของน้ำร้อน 100°C ที่อัตราการไหล 12 ลิตรต่อนาที จะต้องใช้เลนส์นูนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13.5 เซนติเมตร จำนวน 31 เลนส์
3. เครื่องทำน้ำร้อนที่ใช้เลนส์นูนเป็นตัวรับแสง สามารถทำอุณหภูมิของน้ำได้สูงกว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยจะสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เมื่อมีการสร้างเครื่องขนาด 31 เลนส์ เพื่อทดสอบผลจากการจำลองระบบ
2. เครื่องต้นแบบสูญเสียความร้อนไปมากจากหลาย ๆ ทางเช่น Convection จากลมที่พัดผ่านเกิดการสะท้อนกลับของแสงอาทิตย์ ทำให้ได้ค่าที่อาจไม่ถูกต้องที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



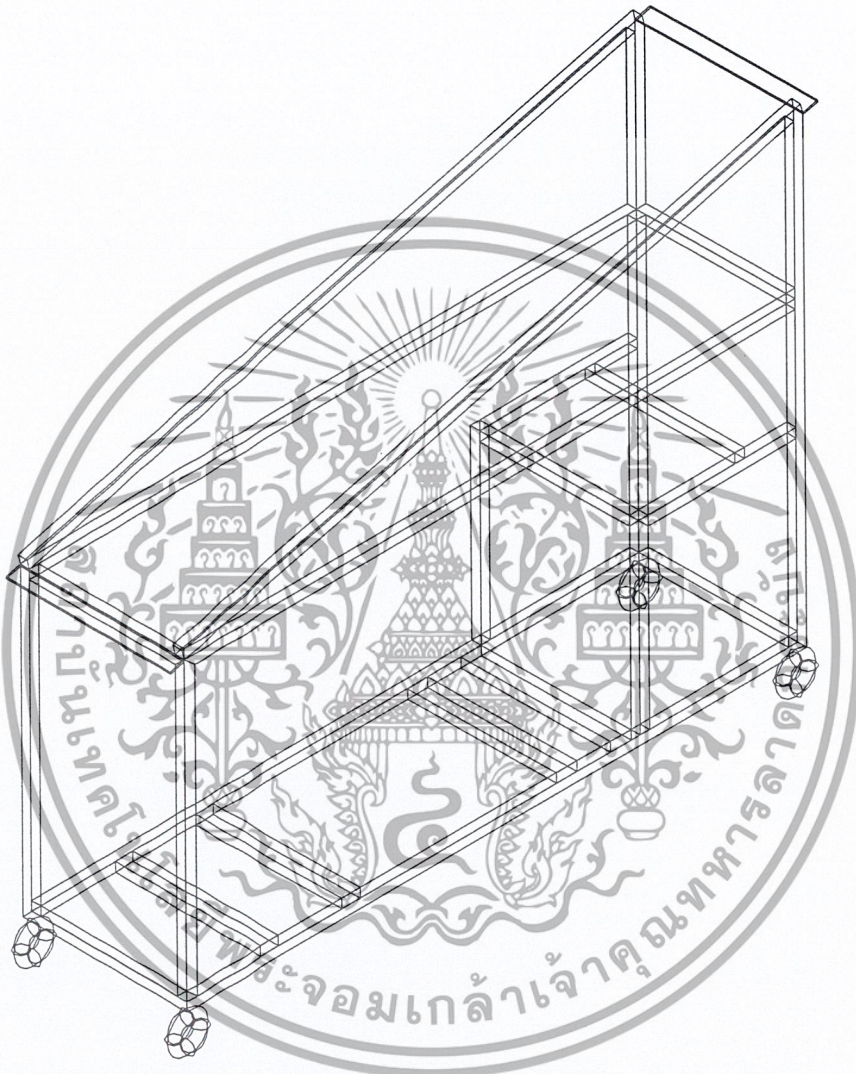
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

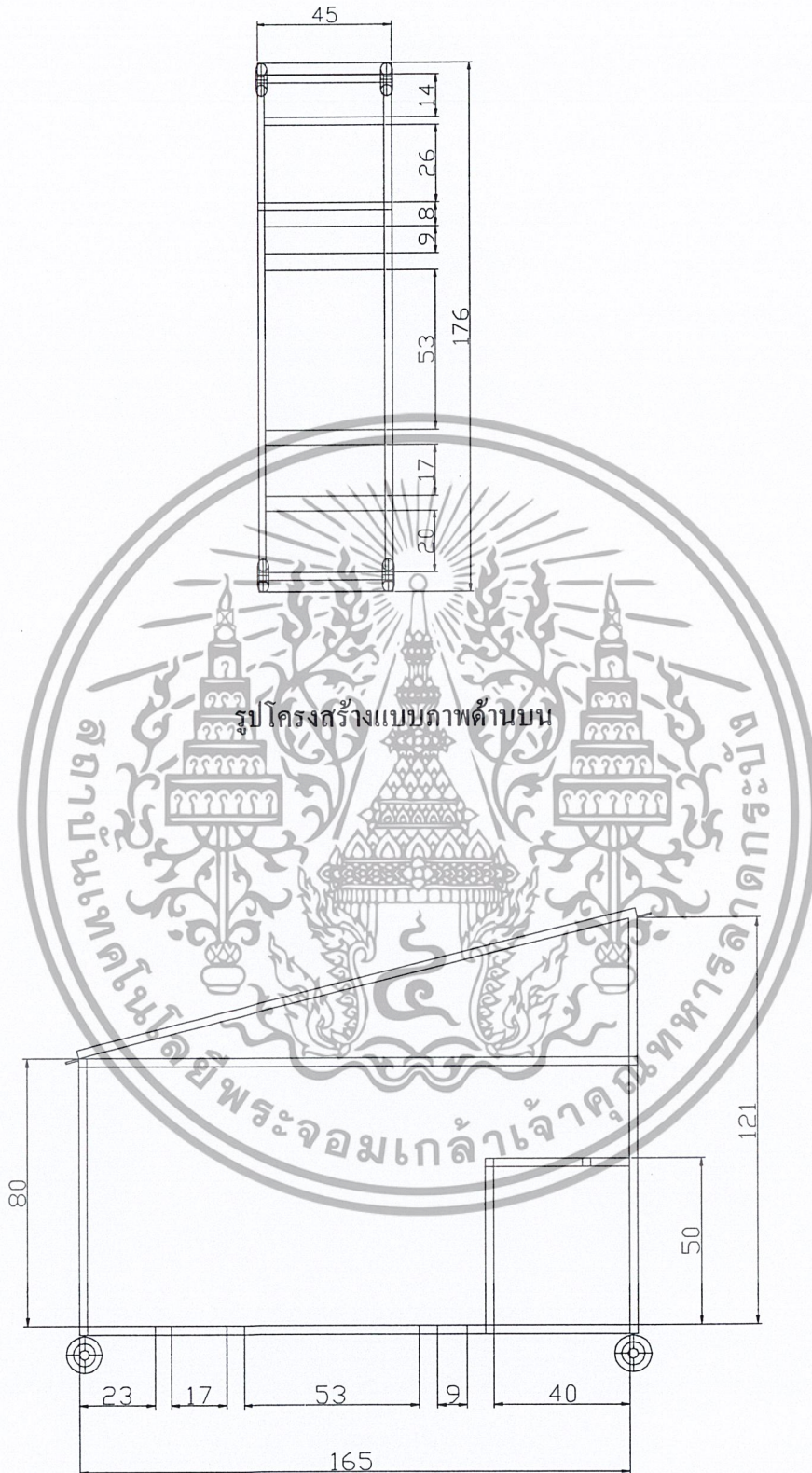
1. ขนาดของส่วนประกอบส่วนต่างๆ

1.1 ขนาดโครงสร้าง



โครงสร้างแบบภาพไอโซเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปโครงสร้างแบบภาพด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ขนาดชุดจับเลนส์



รูปชุดจับเลนส์แบบภาพไอโซเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปชุดจับเลนส์แบบภาพด้านบน

รูปชุดจับเลนส์แบบภาพด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข โปรแกรมที่ใช้สำหรับจำลองระบบในการวิจัย

```

Program Calculator;
uses wincrt;
Label 1;
var m,T,Tmax,Tin,Cpa,Tavg,Q10L,Q1,Qtank :real;
    Tout2,Qt :real;
    n:real; a:integer;
    {.....}

Function power(U,V:real):real;
begin{power}
  if U = 0.0 then
    Power := 0.0
  else if U > 0.0 then
    Power := Exp(v*Ln(U))
  else
    WriteLn('Error!!!,frist parameter must be positive');
end;{power}
{.....Power.....}

Function Tout(mass:real):real;
begin
  Tout := (0.112*mass)+50.732;
end;
{.....Tout.....}

Function Tav(Ti,Tm:real):real;
begin
  Tav := (Tm+Ti)/2;
end;
{.....Taverage.....}

Function Cp(Ta:real):real;
begin
  Cp:=(-1*power(10,-11)*power(Tavg,5))
    +(5*power(10,-9)*power(Tavg,4))-(8*power(10,-7)*power(Tavg,3))
    +(7*power(10,-5)*power(Tavg,2))-(0.0028*Tavg)+4.2178;
end;
{.....Cp.....}

Function Q10(massf,Cpavg,Tin,Tmaxi:real):real;
begin
  Q10:= massf*Cpavg*(Tmaxi-Tin);
end;
{.....Q.....}

Begin {Main}
  writeln;
  writeln;
  writeln;
  writeln('

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 Energy Calculation Program
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

writeln('                                     for                                     ');
writeln('                               Water Heating by Convex Lens                               ');
writeln('                               Solar Collector                               ');
writeln('                               version 1.0                               ');
writeln;
writeln;
writeln;
writeln;
writeln('
Yos pit-a-porn Vanvisa Suemsarb Sudarat Sithanon ');
writeln('
Department of Food Engineer ');
writeln('
Kingmongkut Institute of Technology Ladkrabang ');
writeln('
March , 2002 ');
readln;

```

```

1:
clrscr;
write('Enter mass flowrate in Lites/min : ');
readln(m);
Tmax:=Tout(m);
write('Enter inlet temperature in degree celsius : ');
readln(Tin);
Tavg:=Tav(Tin,Tmax);
clrscr;
writeln(' Maximum temperature = ',Tmax:3:3,' C');
writeln(' Average Temp = ',Tavg:3:3,' C');
Cpa:= Cp(Tavg);
Q10L:= Q10(m,Cpa,Tin,Tmax);
Q1 := Q10L/10;
writeln(' Cp at average temperature = ', Cpa:3:3,' kJ/kg*s');
writeln(' Q at 10 lens = ',Q10L:3:3,' kW');
writeln(' Q at 1 lens = ',Q1:3:3,' kW');
readln;
writeln;
write(' Enter outlet temperature in degree celsius : ');
readln(Tout2);
Qt := m*Cpa*(Tout2-Tin);
Qtank := m*Cpa*Tmax;
writeln(' Q tank = ',Qtank:3:3,' kJ');
writeln(' Q total = ',Qt:3:3,' kW');

```

```

if Qt>Q1 then
begin
n:=Qt/Q1
end;
if Qt<Q1 then
begin
Writeln('do not necessary use lens');
end;
a:= Trunc(n);
if n>a then
begin
a:=a+1;
writeln(' The Number of lens is' , 'a');
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if n=a then
  begin
    writeln(' The Number of lens is',',',n:1:0);
  end;
readln;
goto 1;
End.{main}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Turbo Pascal - [c:\mydocu\project\winof_1.pas]
File Edit Search Run Debug Options Window Help
? [Icons]

Program Calculator;
uses wincrt;
Label 1;
var m,T,Tmax,Tin,Cpa,Tavg,Q10L,Q1,Qtank :real;
    Tout2,Qc :real;
    n:real; a:integer;

(.....)
Function power(U,V:real):real;
begin(power)
  IF U = 0.0 then
    Power := 0.0
  else IF U > 0.0 then
    Power := Exp(v*Ln(U))
  else
    WriteLn('Error!! frist parameter must be positive');
end:(power)

(.....Power.....)
Function Tout(mass:real):real;
begin
  Tout := (0.112*mass)+90.732;
end;
(.....Tout.....)

```

รูปแสดงถึงวิธีการเขียนโปรแกรมคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค การสอบเทียบ

การทดลองวัดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้เครื่องมือวัด Data Acquisition เนื่องจากไม่สามารถติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิของน้ำที่ท่อขนาดเล็กได้ ทำการสอบเทียบ (Calibration) หาค่าความแม่นยำของการวัดอุณหภูมิ เพื่อสร้างสมการในการปรับค่าข้อมูลจากการวัดในการทดลองเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องที่สุดดังแสดงในรูป ค.1, ค.2, และ ค.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermocouple Calibration Chart



รูป ค.1. กราฟเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จาก Data Acquisition กับ T(thermometer) ในช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermocouple Calibration Chart



รูป ค.2 กราฟเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จาก Data Acquisition กับ T(thermometer) ในช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการวิจัย

Thermocouple Calibration Chart



รูป ค.3 กราฟเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จาก Data Acquisition กับ T(thermometer) ในช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการสอบเทียบค่าระหว่างค่าที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลกับค่าที่ได้จากเทอร์โมมิเตอร์

```

program CalibrationLine1;
uses wincrt ;
label 1,100;
var a,xT1,y1,yT1,x1,FL1,DFL1,DF1,X1N,tol:real;
    i:longint;

function funcline1(x1,y1:real):real;
var a,Df1 : real;
begin
    a:=exp(2*Ln(x1)) ;
    funcline1:=((22.74*a)-43.5*x1+20.79)-y1;
end;

function Dfuncline1(x1:real):real;
begin
    Dfuncline1:=(45.48*x1)-43.5;
end;

begin {main}
100:
    clrscr;
    writeln ( 'Input y1 = ');
    readln (y1);
    x1:=1;
    for i:=1 to 50000 do
        begin
            FL1:=funcline1(x1,y1);
            DFL1:=Dfuncline1(x1);
            DF1:=(-FL1)/DFL1;
            X1N:=x1+DF1;
            tol:=ABS(DF1*100/X1N);
            X1:=X1N;
            if tol < 0.0001 then goto 1
        end;

1:  writeln ('x1 = ',x1:2:4);
    readln ;
    XT1:=X1;
    a:=exp(2*Ln(xT1));
    YT1:=(20.817*a)-(37.643*xT1)+16.826;
    writeln('YT1= ',YT1:2:4);
    readLn;
    goto 100 ;

end. {main}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

program CalibrationLine3;
uses wincrt ;
label 3,100;
var a,xT3,y3,yT3,x3,FL3,DFL3,DF3,X3N,tol:real;
    i:longint;

function funcline3(x3,y3:real):real;
var a,Df3 : real;
begin
    a:=exp(2*Ln(x3)) ;
    funcline3:=((22.959*a)-44.342*x3+21.364)-y3;
end;

function Dfuncline3(x3:real):real;
begin
    Dfuncline3:=(45.918*x3)-44.342;
end;

begin {main}
100:
clrscr;
writeln ('Input y3 = ');
readln (y3);
x3:=1;
for i:=1 to 50000 do
begin
    FL3:=funcline3(x3,y3);
    DFL3:=Dfuncline3(x3);
    DF3:=(-FL3)/DFL3;
    X3N:=x3+DF3;
    tol:=ABS(DF3*100/X3N);
    X3:=X3N;
    if tol < 0.0001 then goto 3;
end;

3:  writeln ('x3 = ',x3:2:4);
    readln ;
    XT3:=X3;
    a:=exp(2*Ln(xT3));
    YT3:=(20.817*a)-(37.643*xT3)+16.826;
    writeln('YT3= ',YT3:2:3);
    readln;
    goto 100;
end. {main}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

program CalibrationLine8;
uses wincrt ;
label 8 ,100 ;
var a,x8,y8,yT8,xT8,FL8,DFL8,DF8,X8N,tol:real;
    i:longint;

function funcline8(x8,y8:real):real;
var a,Df8 : real;
begin
    a:=exp(2*Ln(x8)) ;
    funcline8:=((22.711*a)-43.495*x8+20.914)-y8;
end;

function Dfuncline8(x8:real):real;
begin
    Dfuncline8:=(45.422*x8)-43.495;
end;

begin {main}
100:
clrscr;
writeln ( 'Input y8 = ');
readln (y8);
x8:=1;
for i:=1 to 50000 do
begin
    FL8:=funcline8(x8,y8);
    DFL8:=Dfuncline8(x8);
    DF8:=(-FL8)/DFL8;
    X8N:=x8+DF8;
    tol:=ABS(DF8*100/X8N);
    X8:=X8N;
    if tol < 0.0001 then goto 8
end;

8:  writeln ('x8 = ',x8:2:4);
    readln ;
    XT8:=X8;
    a:=exp(2*Ln(xT8));
    YT8:=(20.817*a)-(37.643*xT8)+16.826;
    writeln('YT8= ',YT8:2:4);
    readln;
    goto 100;
end.{main}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ตาราง HOURLY SOLAR RADIATION

February

DATE		HOURLY SOLAR RADIATION FEBRUARY 2002																								TOTAL
TIME	TYPE	06.00-07.00	07.00-08.00	08.00-09.00	09.00-10.00	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00	CORR											
1	G	0.310	0.810	0.801	1.339	2.016	2.412	2.290	2.326	1.740	1.000	0.907	0.863	0.000	17.987											
2	D	0.316	0.810	0.801	0.910	0.948	0.964	0.980	0.944	0.801	0.794	0.727	0.683	0.000	9.797											
3	S	-	-	0.800	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.900	0.910	-	-	7.710											
4	G	0.563	0.871	1.013	1.106	1.082	2.467	2.424	2.606	2.149	1.685	0.912	0.782	0.000	18.419											
5	D	0.563	0.871	1.013	1.042	1.122	1.128	1.100	0.980	0.943	0.893	0.813	0.782	0.000	11.398											
6	S	-	0.850	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	-	-	6.200												
7	G	0.625	0.871	0.163	0.181	0.613	1.108	2.244	2.410	2.406	1.819	1.110	0.398	0.000	13.637											
8	D	0.525	0.671	0.120	0.144	0.424	0.909	1.241	0.872	0.717	0.529	0.389	0.234	0.000	6.749											
9	S	-	-	-	-	0.200	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.600	-	-	4.800											
10	G	0.325	0.801	0.876	1.243	2.102	2.627	2.659	2.693	2.643	2.104	1.704	0.895	0.000	20.355											
11	D	0.325	0.801	0.876	0.887	0.986	1.024	1.011	0.887	1.138	0.969	0.924	0.885	0.000	10.731											
12	S	-	0.850	0.200	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.450	-	-	7.300											
13	G	0.397	0.872	0.875	1.359	2.163	2.881	2.845	2.720	2.641	2.507	1.191	0.793	0.000	20.794											
14	D	0.397	0.872	0.875	0.851	0.878	1.142	1.138	1.022	1.128	0.951	0.790	0.793	0.000	11.037											
15	S	-	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.580	-	-	8.080											
16	G	0.422	0.855	1.109	1.494	2.015	2.758	2.984	2.899	2.440	1.815	1.021	0.821	0.000	20.832											
17	D	0.422	0.855	1.109	1.182	1.240	1.218	1.117	1.058	1.031	1.107	1.015	0.821	0.000	12.384											
18	S	-	0.650	0.200	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	-	-	-	5.950											
19	G	0.468	1.084	1.102	1.140	1.272	2.505	2.898	2.758	2.437	1.765	1.060	0.879	0.000	19.439											
20	D	0.468	1.084	1.102	1.140	1.272	1.283	1.239	1.304	1.069	0.994	0.927	0.879	0.000	12.883											
21	S	-	0.200	0.800	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.700	-	-	-	6.600											
22	G	0.488	1.043	1.132	1.870	2.437	2.508	2.238	2.855	2.467	1.804	1.185	0.823	0.000	21.012											
23	D	0.488	1.043	1.132	1.116	1.189	1.251	1.280	1.180	1.095	0.922	0.867	0.823	0.000	12.946											
24	S	-	0.850	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.400	-	-	6.250											
25	G	0.476	1.055	1.124	1.826	1.881	2.214	2.808	2.620	2.252	1.845	1.131	0.838	0.000	19.971											
26	D	0.476	1.055	1.124	1.238	1.284	1.383	1.401	1.316	1.106	0.993	0.911	0.938	0.000	13.138											
27	S	-	0.100	1.000	1.000	0.750	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	-	-	8.350											
28	G	0.447	1.022	1.075	1.518	2.155	2.608	2.637	2.938	2.368	1.774	1.009	0.844	0.000	20.343											
29	D	0.447	1.022	1.075	1.188	1.283	1.322	1.214	1.130	1.047	0.961	0.871	0.844	0.000	12.404											
30	S	-	0.850	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.200	-	-	8.050											
31	G	0.468	1.031	-	-	1.844	1.140	1.140	2.738	2.129	1.681	0.994	0.956	0.000	12.781											
32	D	0.468	1.031	-	-	1.286	1.140	1.341	1.153	1.019	0.930	0.858	0.000	0.000	9.324											
33	S	-	0.050	-	-	0.150	0.200	0.650	1.000	1.000	0.800	0.950	-	-	4.000											

Global by S.N. CM11 155551 C.F. = 5.19 micro/(W/m²) Integrator by S.N. CC 14950680
 diffuse by S.N. CM11 130361 C.F. = 4.87 micro/(W/m²) Sunshine Hour Campbell-Stokes S.N. 022508
 หมายเหตุ ข้อมูลนี้ เป็นข้อมูลเบื้องต้น 3 ชั่วโมง เพื่อความละเอียดมากขึ้น กรุณา Diskette, CORR = correction Factor (Diffuse)
 G = Global (MJ/m²), D = Diffuse (MJ/m²), S = sunshine Hour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับราชการ...
 ไม่ว่ากล่าวถึง...
 1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12

February

HOURLY SOLAR RADIATION FEBRUARY 2002													
DATE	TIME	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00	COR	TOTAL	
12	C	0.540	1.072	1.121	1.034	1.858	1.636	1.402	2.126	1.867	1.704	0.979	16.450
	D	0.540	1.072	1.121	1.171	1.108	1.138	1.003	1.184	1.056	0.897	0.879	12.328
	S	-	0.050	0.000	0.950	0.800	1.000	1.000	1.000	0.760	-	-	6.700
13	C	0.489	1.001	1.081	1.810	2.677	3.024	2.804	2.458	1.839	1.109	0.981	22.020
	D	0.489	1.001	1.081	1.141	1.098	1.146	1.103	1.103	1.101	0.868	0.981	12.293
	S	-	0.050	0.900	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	-	8.050
14	C	0.520	1.038	1.124	1.780	2.658	3.000	2.857	2.387	1.707	1.707	0.423	21.206
	D	0.520	1.038	1.124	1.165	1.208	1.180	1.086	1.009	0.901	0.834	0.423	10.914
	S	-	0.050	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.900	-	-	7.900
15	C	0.482	0.928	1.011	1.298	1.189	1.871	2.022	2.025	2.178	1.903	1.088	16.732
	D	0.482	0.928	1.011	1.160	1.107	1.278	1.221	1.088	1.059	0.834	0.820	11.835
	S	-	-	0.800	0.750	0.550	0.900	1.000	1.000	1.000	0.750	-	6.550
16	C	0.479	0.942	1.083	1.431	2.397	2.796	2.285	1.984	1.755	1.028	0.713	18.969
	D	0.479	0.942	1.083	1.141	1.100	1.098	1.180	1.081	0.873	0.769	0.713	11.487
	S	-	0.150	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.900	-	-	-	8.150
17	C	0.585	1.186	1.165	1.557	1.561	2.183	3.011	2.370	2.372	1.800	1.145	20.109
	D	0.581	1.186	1.165	1.198	1.224	1.316	1.210	1.062	0.899	0.870	0.814	12.772
	S	-	-	0.900	0.900	0.450	1.000	1.000	1.000	1.000	0.450	-	7.300
18	C	0.581	1.161	1.163	1.480	1.816	2.380	2.118	2.284	1.778	1.595	0.839	18.048
	D	0.581	1.161	1.163	1.302	1.276	1.282	1.182	1.193	1.078	1.017	0.815	12.839
	S	-	-	0.650	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.500	-	-	7.150
19	C	0.607	1.170	1.205	1.520	1.129	1.078	2.776	2.789	2.464	1.847	0.948	18.457
	D	0.607	1.170	1.205	1.229	1.120	1.078	1.825	1.746	1.062	0.967	0.802	12.510
	S	-	0.050	0.900	0.960	0.250	0.709	1.000	1.000	1.000	0.650	-	6.400
20	C	0.588	1.192	1.371	1.800	2.504	2.897	3.078	2.460	2.460	1.758	1.077	22.063
	D	0.568	1.192	1.371	1.281	1.097	1.024	0.883	0.818	0.803	0.569	0.462	9.928
	S	-	-	0.850	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	-	8.000
21	C	0.368	0.763	0.811	0.840	2.101	2.703	2.740	2.867	2.152	1.837	0.987	18.870
	D	0.368	0.763	0.811	0.742	0.926	1.145	1.190	1.094	0.833	0.861	0.894	10.612
	S	-	0.050	0.950	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.900	0.200	7.160
22	C	0.559	1.170	1.226	1.465	2.280	3.091	3.085	2.380	2.638	1.984	1.209	22.388
	D	0.559	1.170	1.226	1.274	1.227	1.121	1.038	1.010	0.845	0.858	0.819	11.937
	S	-	-	0.300	1.000	1.000	1.000	1.000	0.600	1.000	1.000	0.300	7.200

Global by S.N. CM 11 965651 C.F. = 5.19 microV/(M/m²) Integrator by S.N. CC-14863060
 diffuse by S.N. CM 11 800061 C.F. = 4.87 microV/(M/m²) Sunshine Hour Campbell-Stokes S.N. 022503
 นายเชษฐ รัษฎชูชาติ โปรดเกล้าให้แทนคุณนิม 3 คัดแปลง เครื่องหมายระบอบการนำข้อมูล Diskette, COR = correction Factor (Diffuse)
 G = Global (M/m²), D = Diffuse (M/m²), S = Sunshine Hour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

February

HOURLY SOLAR RADIATION FEBRUARY 2002															
DATE	TIME TYPE	06:00-07:00	07:00-08:00	08:00-09:00	09:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	TOTAL
23	G	0.553	1.075	1.173	1.479	2.484	2.913	3.121				1.229	0.801	0.000	16.147
	D	0.553	1.075	1.173	1.138	1.055	1.061					0.798	0.801	0.000	8.749
	S	.	.	0.800	0.850	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.	.	.
24	G	0.472	1.003	1.122	1.535										4.115
	D	0.472	1.003	1.122	1.176										
	S	.	.	0.650	0.700	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.763
25	G	0.472	0.959	1.186	1.347	2.250	2.675	2.831	2.709	2.307	1.808	1.154	0.827	0.000	20.588
	D	0.472	0.958	1.189	1.203	1.276	1.296	1.256	1.178	1.039	0.940	0.859	0.837	0.000	12.608
	S	.	.	0.550	0.234	0.890	0.650	0.590	0.500	0.300	0.300	0.100	.	.	.
26	G	0.382	0.978	1.242	1.567	2.524	2.669	2.643	2.655	2.451	1.895	1.163	0.810	0.000	21.247
	D	0.382	0.975	1.242	1.210	1.295	1.311	1.200	1.109	1.109	0.986	0.897	0.810	0.000	12.630
	S	.	.	0.660	0.600	0.800	0.800	1.000	1.000	1.000	1.000	0.900	0.100	.	.	6.180
27	G	0.420	0.937	1.353	1.521	2.812	2.645	2.884	2.697	2.796	2.124	1.065	0.782	0.000	22.189
	D	0.420	0.937	1.353	1.258	1.324	1.397	1.403	1.452	1.159	1.027	0.951	0.782	0.000	13.127
	S	.	.	0.260	0.600	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
28	G	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
	D	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.000
	S	.	.	0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.300

Global by S.H. CM11 85595; C.F. = 5.19 micro/(W/m²) Integrator by S.H. CC 14630160
 Diffuse by S.H. CM11 830861; C.F. = 4.97 micro/(W/m²) Sunshine Hour Campbell-Sineas; S.H. 022508
 หากพบข้อผิดพลาด โปรดแจ้งให้ทราบทันที 3 วันหลังจากที่ทราบผลการนำข้อมูล Diskette, CRR = correction Factor (Diffuse)
 G = Global (MJ/m²), D = Diffuse (MJ/m²), S = sunshine Hour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

January

HOURLY SOLAR RADIATION - JANUARY 2002

DATE	TIME	TYPE	06.00-07.00	07.00-08.00	08.00-09.00	09.00-10.00	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00	TOTAL	CRR
1	G	0.003	0.252	0.684	1.746	2.340	2.658	2.710	2.271	1.573	0.835	0.230	0.000	0.000	0.000	18.464	
	D	0.003	0.278	0.370	0.516	0.693	0.883	0.670	0.488	0.308	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	4.833	1.113
	S	-	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.300	
2	G	0.008	0.269	0.782	1.889	2.468	2.756	2.286	1.500	0.820	0.259	0.000	0.000	0.000	0.000	19.887	
	D	0.008	0.287	0.368	0.417	0.603	0.697	0.513	0.428	0.341	0.207	0.000	0.000	0.000	0.000	4.880	1.113
	S	-	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.700	
3	G	0.030	0.295	0.891	1.948	2.598	2.889	2.892	2.298	1.425	0.727	0.238	0.000	0.000	0.000	18.184	
	D	0.030	0.275	0.435	0.567	0.698	0.694	0.694	0.651	0.588	0.308	0.238	0.000	0.000	0.000	5.915	1.113
	S	-	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.800	
4	G	0.022	0.261	0.697	1.708	2.323	2.435	2.345	2.082	1.401	0.739	0.248	0.000	0.000	0.000	14.885	
	D	0.022	0.263	0.591	0.851	0.984	1.218	0.979	0.869	0.777	0.606	0.432	0.248	0.000	0.000	7.839	1.114
	S	-	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	4.150	
5	G	0.048	0.319	0.728	1.627	2.204	2.589	2.345	2.852	2.034	1.139	0.505	0.230	0.000	0.000	17.210	
	D	0.048	0.280	0.380	0.470	0.502	0.531	0.618	0.651	0.617	0.546	0.392	0.230	0.000	0.000	5.697	1.114
	S	-	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.100	
6	G	0.044	0.305	0.945	1.605	2.018	2.637	2.593	2.383	2.042	1.507	0.627	0.235	0.000	0.000	17.008	
	D	0.044	0.287	0.394	0.485	0.587	0.658	0.685	0.750	0.651	0.511	0.384	0.235	0.000	0.000	5.583	1.115
	S	-	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.300	
7	G	0.053	0.278	0.924	1.517	1.979	1.940	2.223	2.694	2.142	1.519	0.819	0.280	0.000	0.000	15.443	
	D	0.053	0.287	0.383	0.505	0.645	0.743	1.042	0.709	0.538	0.543	0.406	0.280	0.000	0.000	5.351	1.115
	S	-	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6.900	
8	G	0.037	0.325	1.018	1.754	2.203	2.120	2.907	2.278	2.268	1.682	0.900	0.238	0.000	0.000	15.882	
	D	0.037	0.267	0.361	0.416	0.612	0.627	0.523	0.719	0.628	0.471	0.378	0.238	0.000	0.000	5.045	1.118
	S	-	0.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	9.080	
9	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.000		
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.000	1.117	
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.000	8.700	
10	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.000		
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.000	1.117	
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.000	6.900	
11	G	0.032	0.287	0.824	1.473	1.820	1.735	1.992	2.025	1.427	1.299	0.514	0.244	0.000	0.000	12.500	
	D	0.032	0.267	0.383	0.515	0.600	0.712	0.939	0.869	0.632	0.394	0.244	0.000	0.000	0.000	5.494	1.118
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	0.350	

Created by S.M. CAH11 955531 C.F. = 5.19 microW/m² Integrator by S.M. CC 14930099
 Edited by S.M. CAH11 830261 C.F. = 4.97 microW/m² Sunshin Hour Campbell Stokes S.N. 022608
 หน่วยที่ใช้ทุกตัว เป็นหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร 3 ตัวแรก เป็นค่าการแผ่รังสีโดยตรง (Direct Radiation) , CRR = correction factor (Dollus)
 G = Global (W/m²) , D = Diffuse (W/m²) , S = sunshine Hour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOURLY SOLAR RADIATION JANUARY 2002

DATE	TIME TYPE	06:00-07:00	07:00-08:00	08:00-09:00	09:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	TOTAL	CRA
12	G	0.046	0.317	0.850	1.673	2.340	2.884	2.841	2.827	2.445	1.801	1.324	0.319	0.000	18.617	
	D	0.046	0.317	0.433	0.681	0.614	0.697	0.828	0.903	0.407	0.406	0.237	0.000	1.119	4.927	
	S	-	0.050	0.850	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	-	3.900	
13	G	0.051	0.300	0.881	1.633	2.309	2.809	2.772	2.300	1.520	0.813	0.208	0.000	0.000	18.752	
	D	0.051	0.306	0.462	0.685	0.684	0.841	1.002	0.850	0.619	0.523	0.484	0.200	0.000	7.904	
	S	-	0.050	1.000	0.780	0.989	0.950	0.989	0.950	0.989	0.950	0.989	0.950	0.989	6.900	
14	G	0.014	0.323	0.873	1.578	2.052	2.532	2.030	1.407	0.807	0.313	0.000	0.000	0.000	13.884	
	D	0.014	0.323	0.472	0.656	0.776	0.979	0.770	1.179	0.843	0.600	0.518	0.313	0.000	7.478	
	S	-	0.300	1.000	0.700	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209	0.209	3.300	
15	G	0.060	0.346	0.773	1.431	2.021	1.874	1.903	1.528	1.052	0.548	0.241	0.328	0.000	13.891	
	D	0.060	0.346	0.480	0.620	0.731	0.807	1.027	0.976	0.834	0.718	0.489	0.328	0.000	7.837	
	S	-	0.200	1.000	1.000	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	2.800	
16	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.900	
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.900	
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.900	
17	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.075	
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.075	
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.075	
18	G	0.734	1.403	1.212	1.179	1.108	1.214	1.208	1.169	1.017	0.912	0.812	0.742	0.000	17.251	
	D	0.734	1.403	0.853	1.150	1.239	2.116	2.048	1.949	1.880	0.940	0.483	0.227	0.000	13.420	
	S	-	-	0.100	0.200	0.600	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	1.900	
19	G	0.058	0.397	0.853	1.150	1.739	2.116	2.048	1.949	1.880	0.940	0.483	0.227	0.000	13.420	
	D	0.058	0.397	0.416	0.649	0.738	0.873	0.854	0.800	0.724	0.465	0.435	0.327	0.000	6.988	
	S	-	-	0.450	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.250	
20	G	0.428	1.233	1.209	1.209	1.954	2.346	2.435	2.341	-	-	-	-	-	13.515	
	D	0.428	1.233	1.209	1.189	1.103	1.108	1.083	-	-	-	-	-	-	8.801	
	S	-	-	0.050	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	6.300	
21	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.900	
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.900	
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.900	
22	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.800	
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.800	
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.800	

Created by S.N. CM11, 05/05/01 C.F. at 5.19 mbar(1016m) 2) Integrator by S.N. CC 14/06/02
 Edited by S.N. CM11, 03/06/01 C.F. at 4.97 mbar(1016m) 2) Scattered Hour Component Status S.N. 02/25/01
 รวมเลข ใหญ่สุด 1 ในเลขที่ ใหญ่สุด 3 ตัวบน 1 ในเลขที่ ใหญ่สุด 3 ตัวบน 1 ในเลขที่ ใหญ่สุด 3 ตัวบน 1 ในเลขที่ ใหญ่สุด 3 ตัวบน
 G: Global (MJ/m²), D: Diffuse (MJ/m²), S: scattered Hour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HOURLY SOLAR RADIATION JANUARY 2012

DATE	TIME	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	TOTAL
23	G	0.317	0.818	0.910	1.577	2.255	2.818	2.769	2.000	2.287	1.870	0.921	0.577	0.000	0.000	0.000	19.480
	D	0.317	0.818	0.910	0.893	0.896	0.897	0.896	0.897	0.817	0.776	0.712	0.677	0.000	0.000	0.000	5.548
	S	.	.	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.	.	.	6.100
	G	0.033	0.360	0.888	1.584	2.332	2.853	2.759	2.000	2.354	1.823	1.077	0.711	0.000	0.000	0.000	18.654
	D	0.033	0.360	0.478	0.609	0.640	0.638	0.638	0.640	0.493	0.435	0.341	0.283	0.000	0.000	0.000	3.337
24	G	.	.	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.400
	D	0.029	0.136	0.684	1.403	2.236	2.616	2.607	2.000	2.453	1.841	1.000	0.682	0.000	0.000	0.000	18.578
	G	0.029	0.136	0.488	0.903	0.940	0.937	0.935	0.938	0.514	0.463	0.364	0.283	0.000	0.000	0.000	5.982
	S	.	.	0.659	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.050
	D	0.057	0.173	0.998	1.868	1.954	2.024	2.061	2.072	2.302	1.877	0.978	0.750	0.000	0.000	0.000	17.898
26	G	0.057	0.173	0.489	0.948	0.945	0.933	0.918	0.697	0.483	0.400	0.306	0.222	0.000	0.000	0.000	6.122
	D	0.057	0.173	0.489	0.948	0.945	0.933	0.918	0.697	0.483	0.400	0.306	0.222	0.000	0.000	0.000	7.950
	S	.	.	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	15.891
	G	0.071	0.372	0.680	1.174	1.768	2.020	2.183	2.018	2.104	1.826	0.915	0.655	0.000	0.000	0.000	11.090
	D	0.071	0.372	0.679	1.168	1.711	1.891	1.849	1.605	1.629	1.405	0.915	0.655	0.000	0.000	0.000	5.650
27	G	.	.	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.233
	D	0.142	0.303	0.723	1.431	2.079	1.670	2.311	2.310	1.979	1.519	0.828	0.566	0.000	0.000	0.000	16.233
	G	0.142	0.303	0.582	0.938	1.125	1.247	1.313	1.211	1.100	0.968	0.778	0.555	0.000	0.000	0.000	9.035
	S	.	.	0.180	1.000	0.480	0.908	0.908	0.790	0.700	0.586	0.468	0.355	0.000	0.000	0.000	3.800
	D	0.188	0.308	1.024	1.658	1.658	1.658	1.658	1.658	1.658	1.658	1.658	1.658	1.658	1.658	1.658	4.088
28	G	0.468	0.908	1.084	1.400	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	3.650
	D	0.468	0.908	1.084	1.400	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	8.000
	S	.	.	0.200	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	7.750
	G	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.290
	D	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.155
31	G	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	9.200
	D	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.088
	S	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.000
	G	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.000
	D	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.000

Created by S.N. CHAI 835851 C.F. = 5.19 microwatt/m² Integrated by S.N. CHAI 14962060
 edited by S.N. CHAI 835851 C.F. = 4.97 microwatt/m² Suriname Hour Campbell Station S.N. 022508
 นายเชษฐ ชาญฤทธิศักดิ์ โปรแกรมเมอร์โทรคมนาคม 3 ส่วนงาน เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี-สุรนารี, CFB = correction Factor(Diffuse)
 G = Global (MJ/m²), D = Diffuse (MJ/m²), S = Suspended Hour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ. Insulation types and applications

Type	Thermal			Application
	Temperature range, °C	conductivity, mW/m·°K	Density, kg/m ³	
1 Linde evacuated superinsulation	-240-1100	0.0015-0.72	variable	Many
2 Urethane foam	-180-150	16-20	25-48	Hot and cold pipes
3 Uretjame foam	-170-110	16-20	32	Tanks
4 Cellular glass blocks	-200-200	29-108	110-150	Tanks and pipes
5 Fiberglass blanket for wrapping	-80-290	22-78	10-50	Pipes and pipe fitting
6 Fiberglass blanket	-170-230	25-86	10-50	Tanks and equipment
7 Fiberglass preformed shapes	-50-230	32-55	10-50	Piping
8 Elastomeric sheets	-40-100	36-39	70-100	Tanks
9 Fiberglass mats	60-370	30-55	10-50	Pipe and pipe fittings
10 Elastomeric preformed shapes	-40-100	36-39	70-100	Pipe and fittings
11 Fiberglass with vapor barrier blanket	-5-70	29-45	10-32	Refrigeration lines
12 Fiberglass without vapor barrier jacket	to 250	29-45	24-48	Hot piping
13 Fiberglass boards	20-450	33-52	25-100	Boilers, tanks, heat exchangers
14 Cellular glass blocks and boards	20-500	29-108	110-150	Hot piping
15 Urethane foam blocks and boards	100-150	16-20	25-65	Piping
16 Mineral fiber preformed shapes	to 650	35-91	125-160	Hot piping
17 Mineral fiber blankets	to 750	37-81	125	Hot piping
18 Mineral wool blocks	450-1000	52-130	175-290	Hot piping
19 Calcium silicate blocks, boards	230-1000	32-185	100-160	Hot piping, boilers chimney linings
20 Mineral fiber blocks	to 1100	52-130	210	Boilers and tanks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ. ตารางผลการทดลอง

เวลา	m=3			m=5		
	1/3/2002	1/8/2002		2/21/2002	2/20/2002	
10.45		30.5	30.5			
10.50		31.7	31.7			
10.55		32.6	32.6			
11.00		33.7	33.7	29.1	29.7	29.4
11.05		34.6	34.6	29.9	30.3	30.1
11.10	30.3	35.7	33	31	31.2	31.1
11.15	31.3	36.9	34.1	30.9	32.7	31.8
11.20	32.6	37.8	35.2	31.7	32.9	32.3
11.25	34.1	38.7	36.4	32.3	34.7	33.5
11.30	35.3	39.5	37.4	34.5	36.1	35.3
11.35	36.2	40	38.1	35.4	36.6	36
11.40	37.6	40.8	39.2	36.8	37.2	37
11.45	38.8	41.7	40.25	37.6	38.6	38.1
11.50	39.7	42.4	41.05	39.1	39.3	39.2
11.55	40.8	43.1	41.95	39.8	40.4	40.1
12.00	41.5	44.6	43.05	40.5	41.3	40.9
12.05	42.5	45.2	43.85	41.1	41.9	41.5
12.10	43.4	45.6	44.5	42	42.6	42.3
12.15	44.1	46	45.05	42.6	43.4	43
12.20	44.6	46.3	45.45	43.4	44	43.7
12.25	45.4	46.4	45.9	44.1	44.5	44.3
12.30	45.5	46.8	46.15	44.4	45.4	44.9
12.35	46.2	47.7	46.95	45.3	45.7	45.5
12.40	46.7	48.2	47.45	45.7	45.9	45.8
12.45	46.7	48.4	47.55	46.5	46.3	46.4
12.50	47.4	48.7	48.05	46.9	47.3	47.1
12.55	47.5	49.3	48.4	47.2	48	47.6
13.00	48	49.5	48.75	48	48.4	48.2
13.05	48.1	49.6	48.85	48.5	48.7	48.6
13.10	48.9	50.1	49.5	48.9	48.9	48.9
13.15	49.3	50.4	49.85	49	49.4	49.2
13.20	50	51.3	50.65	49.7	50.1	49.9
13.25	50	51.5	50.75	50.2	50.4	50.3
13.30	50.3	52	51.15	50.5	51.1	50.8
13.35	50.3	52.3	51.3	50.9	51.1	51
13.40	50.6	52.6	51.6	51.3	51.5	51.4
13.45	51.3	52.9	52.1	51.9	51.7	51.8
13.50	51.8	52.9	52.35	52	52.2	52.1
13.55	52	52.8	52.4	52.1	52.5	52.3
14.00	52.3	53	52.65	52.6	52.8	52.7
G	2.733	2.788		2.702	2.95	

G = Global(MJ/m²)

HOURLY SOLAR RADIATION 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	m=7			m =10		
	1/26/2002	1/12/2002		2/14/2002	1/13/2002	
10.45	30.1	31.5	30.8	29.6	30.1	29.85
10.50	31.3	32.5	31.9	30.3	31.3	30.8
10.55	31.9	33.7	32.8	31.6	32.1	31.85
11.00	33.6	35.2	34.4	32.5	33.4	32.95
11.05	34.9	36.1	35.5	33.3	34.8	34.05
11.10	36.1	36.9	36.5	34.6	36.2	35.4
11.15	37.2	38.4	37.8	35.7	37.6	36.65
11.20	38.7	38.5	38.6	36.5	38.9	37.7
11.25	39.5	39.9	39.7	37.7	39.7	38.7
11.30	40.2	40.8	40.5	38.5	40.6	39.55
11.35	41.4	41.6	41.5	39.8	41.5	40.65
11.40	41.9	42.5	42.2	40.9	42.4	41.65
11.45	42.8	43.2	43	41.6	43.2	42.4
11.50	43.5	43.9	43.7	42.5	43.7	43.1
11.55	44	44.2	44.1	43.8	44.5	44.15
12.00	44.7	44.7	44.7	44.3	44.8	44.55
12.05	45.1	45.5	45.3	44.7	45.2	44.95
12.10	45.6	46	45.8	45.1	45.9	45.5
12.15	46.3	46.9	46.6	45.3	46.1	45.7
12.20	46.6	47.2	46.9	45.8	47	46.4
12.25	47.1	47.3	47.2	45.9	47.2	46.55
12.30	47.8	48.2	48	46.1	47.7	46.9
12.35	48.2	48.6	48.4	46.8	48	47.4
12.40	48.5	49.1	48.8	47.2	48.2	47.7
12.45	49.4	49.2	49.3	47.5	48.7	48.1
12.50	49.3	50.1	49.7	47.9	49	48.45
12.55	49.8	50.2	50	48.3	49.3	48.8
13.00	50	50.4	50.2	48.7	49.9	49.3
13.05	50.2	50.8	50.5	49.2	50.5	49.85
13.10	50.7	51.1	50.9	49.7	50.9	50.3
13.15	51	51.2	51.1	50.2	51.2	50.7
13.20	51.3	51.5	51.4	50.5	51.4	50.95
13.25	51.5	52.1	51.8	50.8	51.8	51.3
13.30	52	52	52	51.1	52	51.55
13.35	52.1	51.9	52	51.5	52.2	51.85
13.40	52.2	52.4	52.3	51.8	52.4	52.1
13.45	52.4	52.8	52.6	52.1	52.6	52.35
13.50	52.6	53	52.8	52.5	52.9	52.7
13.55	52.8	53	52.9	52.8	53.1	52.95
14.00	53	53.2	53.1	53.1	53.2	53.15
G	2.67	2.877		2.805	2.733	

G = Global(MJ/m²)

HOURLY SOLAR RADIATION 2002

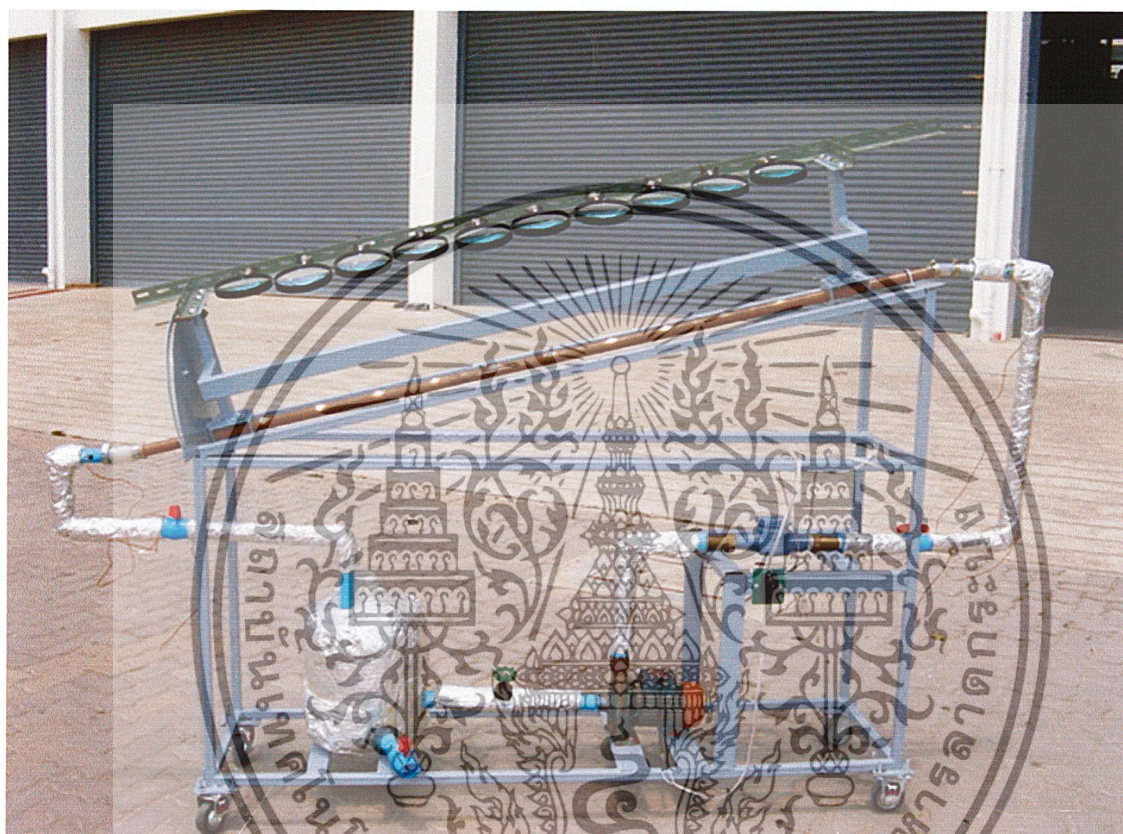
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	m=12		
	2/22/2002	2/25/2002	
10.45		29.4	29.4
10.50	30.9	30.2	30.55
10.55	32.1	31.3	31.7
11.00	33.4	33.1	33.25
11.05	34.6	34.3	34.45
11.10	34.9	35.4	35.15
11.15	35.2	36.6	35.9
11.20	37.7	37.9	37.8
11.25	38.6	38.8	38.7
11.30	39.1	39.4	39.25
11.35	39.8	41.3	40.55
11.40	41	42	41.5
11.45	41.6	42.9	42.25
11.50	42.7	43.5	43.1
11.55	43.4	44.7	44.05
12.00	43.6	45	44.3
12.05	44.6	45.4	45
12.10	45.3	45.6	45.45
12.15	46.1	46.4	46.25
12.20	46.3	47	46.65
12.25	47.3	47.6	47.45
12.30	47.6	48	47.8
12.35	48.1	48.4	48.25
12.40	48.8	48.8	48.8
12.45	49.3	49.3	49.3
12.50	49.4	49.7	49.65
12.55	50	50.1	50.05
13.00	50.5	50.3	50.4
13.05	51	50.5	50.75
13.10	51.1	50.7	50.9
13.15	51.2	51.1	51.15
13.20	51.5	51.3	51.4
13.25	52	51.4	51.7
13.30	52.4	51.5	51.95
13.35	52.4	52.3	52.35
13.40	52.9	52.6	52.75
13.45	53	52.7	52.85
13.50	53.3	52.9	53.1
13.55	53.5	53	53.25
14.00	53.6	53	53.3
G	3.02	2.705	

G = Global(MJ/m²) HOURLY SOLAR RADIATION 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข รูปส่วนประกอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเลนส์นูน



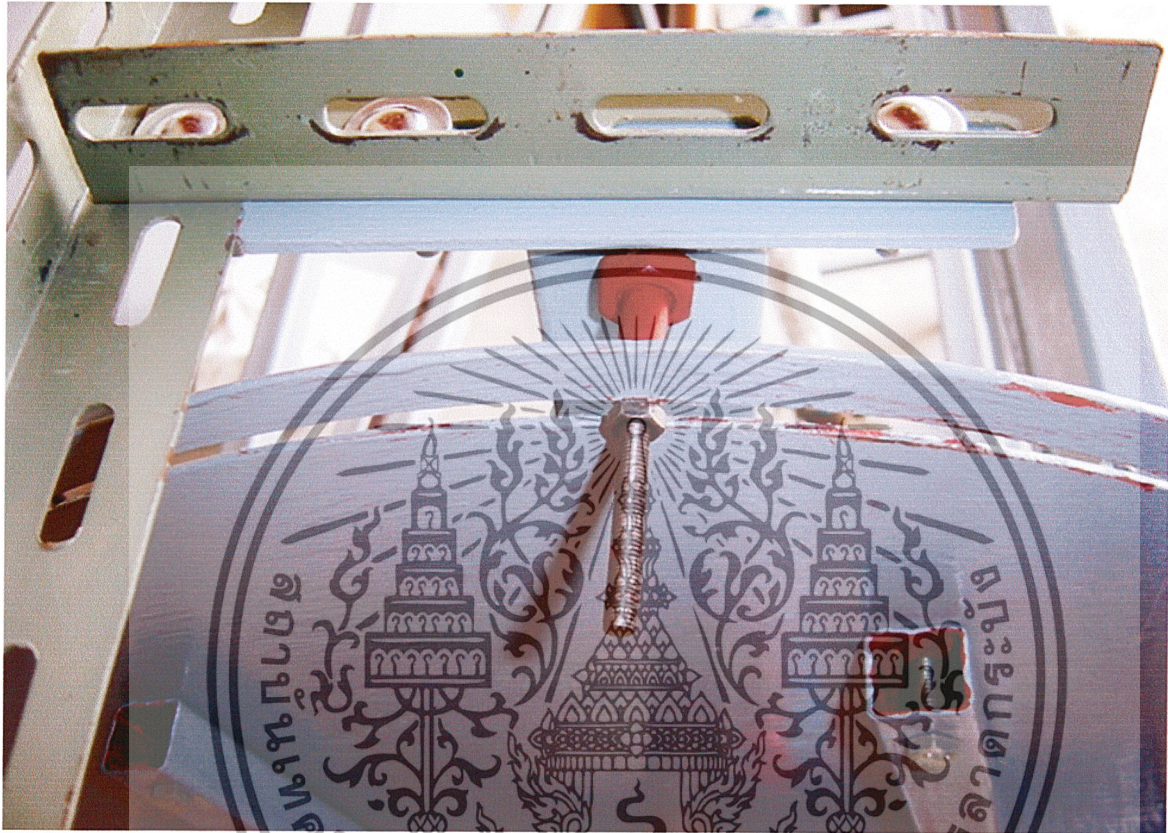
รูปด้านข้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเลนส์นูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปด้านหน้าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเลนส์นูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปส่วนปรับมุมการรับแสงของแผงเลนส์หมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ASHRAE Handbook , 1993, John Willy & Son Inc.
2. Robert Walraven , “Energy Collector ”, Calculating the Position of The Sun , Solar Energy vol 20 pp.393 – 397 .
3. นิติรัตน์ โสภณพิศ , 2530 , น้ำร้อนแสงอาทิตย์ .
4. มารีรา มะหนิ , 2540 , วิศวกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy of Engineering) , ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี .
5. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น) , 2521 , ร่วมกับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , สัมมนาวิชาการเรื่อง (Solar Energy And Applications) , ระหว่าง 12 - 16 ธันวาคม
6. ชงชัย ศิริประยูคต์ , 2528 , พลังงานแสงแดด , ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ .
7. สุพัฒน์ ราชณรงค์ , 2530 , ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ , ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง , พิมพ์ที่ หจก. แสงจันทร์การพิมพ์ , พิมพ์ครั้งที่ 2 .
8. ชลาลัย แจ่มผล , การประเมินค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันเชิงสถิติในเขตกรุงเทพ ฯ 1 , กรมอุตุนิยมวิทยา , เอกสารวิชาการเลขที่ 551.524-03-2541 .
9. วุฑฒิ พันธมนาวิน , 2520 , รายงานการศึกษาข้อมูลทั่วไปและการประเมินศักยภาพด้านเทคโนโลยีของงานด้านพลังงานของแสงอาทิตย์ , สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ .
10. จงจิตร หิรัญลาก ปรีดา จันทวงษ์ และโจเซฟ เคนารี , เครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายสำหรับประเทศไทย , วารสารวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีที่ 23 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2543
11. สมเกียรติ บุญชนะ , 2544, การทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ , เทคโนโลยีพลังงาน, หน้า 124
12. แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทยกรมพัฒนา และส่งเสริมพลังงานกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมร่วมกับ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร .
13. นายโอฬาร รัตนปราการ , วิศวกรรมท่อ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ปริชญานิพนธ์ , 2542 , เซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งตามดวงอาทิตย์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .
15. ปริชญานิพนธ์ , 2541 , เครื่องอบแห้งธัญพืช, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .
16. J.P. Holman, “ HEAT TRANSFER “, Mc Graw Hill, vol 8 SI Metric Edition. 29 p.,2001



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้