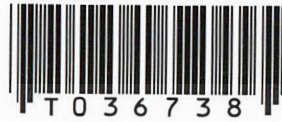


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์

DESIGN AND DEVELOPMENT OF SOLAR DRYER



โดย

นายนิത്യ นามวงษ์

นายประวิช ศรีวะระมย์

นางสาววิจิตา อ้วนนวล

นายวิวรรธน์ ชัยศิริพานิช

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน... 36738  
วัน, เดือน, ปี... 28 ส.ค. 2543

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2542

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์

DESIGN AND DEVELOPMENT OF SOLAR DRYER

โดย

นายนิศย์

นามวงษ์

นายประวิช

ศรีวรรมย์

นางสาววิจิตา

อ้วนนวล

นายวิวรรณ

ชัยศิริพานิช

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์วัชร

เพิ่มชาติ

อาจารย์ทรงวุฒิ

แสงจันทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

1. นายนิศย์ นามวงษ์
2. นายประวิช ศรีวระรัมย์
3. นางสาววิจิตา อ้วนนวล
4. นายวิวรรธน์ ชัยศิริพานิช

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์วัชระ เพิ่มชาติ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ทรงวุฒิ แสงจันทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์

นิตย์	นามวงษ์	
ประวิช	ศรีวระมย์	
วิจิตา	อ้วนนวล	
วิวรรธน์	ชัยศิริพานิช	
วัชระ	เพิ่มชาติ	อาจารย์ที่ปรึกษา
ทรงวุฒิ	แสงจันทร์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542		

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อรายงานผลการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ ตลอดจนศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง โดยใช้ส่วนโปรงแสง(cover) 2 ชั้น การปรับเปลี่ยนลักษณะการไหลของลมร้อนที่แผ่รับแสง และการเพิ่มระบบ Greenhouse ให้กับตู้อบแห้ง จากการทดสอบพบว่า การใช้ cover 1 ชั้นมีสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมประมาณ  $6 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ส่วนการใช้ cover 2 ชั้นมีสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมประมาณ  $3.5 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  การทดสอบปรับเปลี่ยนลักษณะการไหลของลมร้อนที่แผ่รับแสงพบว่า การไหลของลมร้อนทิศทางเดียวมีสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมประมาณ  $3.4 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และการไหลของลมร้อนสองทิศทางมีสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมประมาณ  $3.9 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  นอกจากนี้การเพิ่มระบบ Greenhouse ที่ด้านบนของตู้อบแห้ง ทำให้อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเพิ่มขึ้นประมาณ  $5-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  การคำนวณหาประสิทธิภาพของแผ่รับแสงอาทิตย์เมื่อมี cover 2 ชั้น และให้ลมร้อนไหลทิศทางเดียวมีค่ามากกว่า 50 % ตลอดช่วงเวลาที่มิแสงแดด เครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นนี้มีขนาดเล็กและราคาถูก ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปใช้งานจริงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DESIGN AND DEVELOPMENT OF SOLAR DRYER

Nit	Namwong	
Prawit	Srivarom	
Vijita	Uannual	
Viwat	Chaisiripanich	
Watchara	Permchart	Advisor
Songvoot	Sangchan	Advisor

1999

### Abstract

This project investigates a design and development of solar dryer. Parametric studies in the experiment was clarified to understand performance characteristic of solar dryer ; the amount of cover, flow characteristic, Greenhouse system. A solar dryer consists of two main parts, solar collector and dryer. It was found that the overall heat loss coefficient of 1 cover plate collector of about  $6 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  , while 2 cover plate collector of about  $3.5 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  .A study of flow characteristic of hot air at the collector , it found that heat loss coefficient one way flow is about  $3.4 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  and two way flow is about  $3.9 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  . One another the experiment, A modify of the dryer by change the upper part of the dryer to the transparency cover. The result shows that the temperature in the dryer was increased about  $5\text{-}10 \text{ }^\circ\text{C}$  . The efficiency of the two cover plates collector with one way flow of hot air is more than 50 % all of day time. The size of this solar dryer is compatible , thus it's possible to use this solar dryer in the practical way.

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญภาพ	ข
สารบัญตาราง	ค
สัญลักษณ์	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ลักษณะของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์	4
2.3 ประเภทของรังสีอาทิตย์	6
2.4 การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการอบแห้ง	6
2.5 การอบแห้ง	8
2.6 แผงรับแสงอาทิตย์	10
2.6.1 แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบ	11
2.6.2 แผงรับแสงอาทิตย์แบบรวมแสง	31
2.7 การติดตั้งอุปกรณ์แสงอาทิตย์	34
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	36
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	36
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	38
3.2.1 การสร้างเครื่อง	38
3.2.2 การทดสอบสมรรถนะ	43
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล	45
4.1 ผลการทดสอบ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.1.1 ผลการทดสอบ cover 1 ชั้น กับ cover 2 ชั้น	45
4.1.2 ผลการทดสอบปรับเปลี่ยนทิศทางการไหลของลมร้อน	46
4.1.3 ผลการทดสอบระบบ Greenhouse	47
4.1.4 ผลการทดสอบอบแห้งพลาสติก	48
4.2 การคำนวณ	49
4.2.1 การคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของแผงรับแสง เมื่อใช้ cover 1 ชั้น	49
4.2.2 การคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของแผงรับแสง เมื่อใช้ cover 2 ชั้น	53
4.2.3 การคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของแผงรับแสง เมื่อให้ลมร้อนไหล 2 ทิศทาง	59
4.2.4 การคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนและประสิทธิภาพ ของแผงรับแสงเมื่อให้ลมร้อนไหล 1 ทิศทาง	65
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	72
5.1 สรุปผลการศึกษา	72
5.2 ข้อเสนอแนะ	72

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 เครื่องอบแห้งแบบ Greenhouse and air Collector	3
2.2 เครื่องอบแห้งของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	4
2.3 กราฟสเปกตรัมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์	5
2.4 กราฟแสดงความเข้มแสงอาทิตย์ที่กระทบเหนือบรรยากาศโลก	5
2.5 คู่มือแห้งที่วัสดุถูกแสงอาทิตย์โดยตรง	7
2.6 คู่มือแห้งโดยที่วัสดุไม่ถูกแสงอาทิตย์โดยตรง	7
2.7 การอบแห้งกับเวลา	9
2.8 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง	9
2.9 ลักษณะทั่วไปของเครื่องทำน้ำร้อน	12
2.10 เครื่องทำน้ำร้อนแบบที่มีระบบการไหลแบบเทอร์โมไซฟอน หรือการไหลแบบธรรมชาติ	13
2.11 ลักษณะทั่วไปของเครื่องทำอากาศร้อน	13
2.12 เครื่องทำอากาศร้อนประเภทต่างๆ	14
2.13 ส่วนต่างๆของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับแสงอาทิตย์	15
2.14 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน	17
2.15 การนำความร้อน	20
2.16 การพาความร้อน	21
2.17 การแผ่รังสีความร้อน	25
2.18 แผงรับแสงอาทิตย์ 2 cover	26
2.19 วงจรการคำนวณ 2 cover	26
2.20 ระบบรวมแสง	33
2.21 แผงรับแสงอาทิตย์แบบรวมแสงชนิดสะท้อนและรวมแสง	34
2.22 ระบบเส้นศูนย์สูตร หรือ Equatorial mounting	35
2.23 ระบบเส้นขอบฟ้า หรือ Azimuth mounting	35
3.1 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger )	36
3.2 เครื่องวัดความเร็วลม	37
3.3 เครื่องอบแห้ง	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
3.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก	38
3.5 แบบแสดงขนาดเครื่องอบแห้ง	39
3.6 การวางตะแกรงภายในตู้อบแห้ง	40
3.7 ตู้อบแห้ง	40
3.8 แบบแผงรับแสงอาทิตย์	41
3.9 ภาพตัดตามยาวของแผงรับแสงอาทิตย์	41
3.10 แผงรับแสงอาทิตย์	42
3.11 เครื่องอบแห้งทั้งสองส่วน	42
3.12 การเชื่อมต่อเครื่องอบแห้งกับแผงรับแสงด้วยท่อพอยด์	43
3.13 การไหลของลมร้อนทิศทางเดียว (ก)และไหลสองทิศทาง (ข)	44
4.1 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมที่ตัวรับแสง	45
4.2 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงรับแสง	46
4.3 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม	46
4.4 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง	47
4.5 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเมื่อมีระบบ Greenhouse และไม่มีระบบ Greenhouse	47
4.6 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของพลาสติกเมื่อใช้ ตู้อบแห้งกับการตากแห้งธรรมชาติ	48
4.7 วงจรในการคำนวณของ 1 cover	49
4.8 วงจรในการคำนวณของ 2 cover	53
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์กับ $(T_o - T_i)/I$	71

## สารบัญตาราง

### ตารางผนวกที่

1. ผลการทดสอบของวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2542 (Cover 1 ชั้น)
2. ผลการทดสอบของวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2542 (Cover 2 ชั้น)
3. ค่าการคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน
4. ผลการทดสอบของวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2542  
( การไหลของลมร้อน 2 ทิศทาง)
5. ผลการทดสอบของวันที่ 26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2542  
(การไหลของลมร้อน 1 ทิศทาง)
6. ค่าการคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน
7. ผลการทดสอบระบบGreenhouse
8. ผลการทดสอบบอบแห้งพลาสติก
9. คุณสมบัติทางความร้อนของอากาศ

## สัญลักษณ์

$A$	= พื้นที่หน้าตัดของท่อ ( $m^2$ )
$A_c$	= พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน ( $m^2$ )
$C_b$	= ความนำความร้อนที่รอยต่อระหว่างท่อและครีป ( $W/m \text{ } ^\circ C$ )
$C_p$	= ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ ( $J/kg \text{ } ^\circ C$ )
$D$	= เส้นผ่าศูนย์กลางกลางภายนอกท่อ (m)
$D_h$	= เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิก (Hydraulic Diameter) (m)
$D_i$	= เส้นผ่าศูนย์กลางกลางภายในท่อ (m)
$F$	= ประสิทธิภาพของครีป
$F_R$	= แฟกเตอร์การดึงความร้อนมาใช้ของตัวรับแสง
$F'$	= แฟกเตอร์ประสิทธิภาพตัวรับแสง
$F''$	= แฟกเตอร์การไหล
$g$	= ค่าคงที่ของแรงดึงดูดของโลก = $9.81 \text{ m/s}^2$
$Gr$	= Grasshof number
$h$	= สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน ( $W / m \text{ } ^\circ C$ )
$h_{c1-c2}$	= สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนโดยการพา จาก cover1 สู่ cover2 ( $W / m \text{ } ^\circ C$ )
$h_{f,i}$	= สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของไหลภายในท่อ ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )
$h_{p-cl}$	= สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนโดยการพาจากแผ่นรับแสงสู่ cover1 ( $W / m \text{ } ^\circ C$ )
$h_{r,c1-c2}$	= สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสี จาก cover1 สู่ cover2 ( $W / m \text{ } ^\circ C$ )
$h_{r,c2-a}$	= สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสี จาก cover2 สู่ท้องฟ้า ( $W / m \text{ } ^\circ C$ )
$h_{r,p-cl}$	= สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสีจากแผ่นรับแสงสู่ cover1 ( $W / m \text{ } ^\circ C$ )
$h_w$	= สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนโดยการพา จาก cover สู่ท้องฟ้า ( $W / m \text{ } ^\circ C$ )
$I$	= อัตราการตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์ทั้งรังสีตรง และรังสี กระจายบนพื้นที่หนึ่งหน่วยบนแผงรับแสงอาทิตย์ ( $W/m^2$ )
$K$	= ค่าสภาพนำความร้อนของวัตถุ ( $W / m \text{ } ^\circ C$ )
$L$	= characteristic length ของระบบ (m)
$m$	= มวลของของไหล (kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\dot{m}$	= อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
$Nu$	= Nusselt number
$P$	= เส้นรอบรูปของท่อ (m)
$Pr$	= Prandtl number
$Q_{cond}$	= อัตราการนำความร้อน (W)
$Q_{conv}$	= อัตราการพาความร้อน (W)
$Q_L$	= อัตราการสูญเสียพลังงานความร้อน (W)
$Q_{Lb}$	= พลังงานความร้อนที่สูญเสียทางด้านล่าง (Bottom heat loss)(W)
$Q_{Ls}$	= พลังงานความร้อนที่สูญเสียทางด้านข้าง (Side heat loss)(W)
$Q_{Lt}$	= พลังงานความร้อนที่สูญเสียทางด้านบน (Top heat loss)(W)
$Q_{rad}$	= อัตราการแผ่รังสีความร้อน (W)
$Q_s$	= อัตราการสะสมพลังงานความร้อนที่ผิวรับรังสี (W)
$Q_U$	= อัตราพลังงานความร้อนที่นำไปใช้ (W)
$Re$	= Renold Number
$S$	= มุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์ (องศา)
$T_a$	= อุณหภูมิของอากาศ (K)
$T_{av}$	= อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างแผ่นเพลท (K)
$T_{c1}$	= อุณหภูมิของ cover1 (K)
$T_{c2}$	= อุณหภูมิของ cover2 (K)
$T_i$	= อุณหภูมิของไหลที่ทางเข้า (°C)
$T_o$	= อุณหภูมิของไหลที่ทางออก (°C)
$T_p$	= อุณหภูมิของผิวรับแสงอาทิตย์ (°C)
$T_s$	= อุณหภูมิของแผ่นเพลท (K)
$T_{sky}$	= อุณหภูมิท้องฟ้า (K)
$\Delta T$	= ผลต่างของอุณหภูมิ (°C)
$U_L$	= สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของแผงรับแสงอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> °C)
$U_t$	= สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมทางด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> °C)
$V$	= ความเร็วลม (m/s)
$W$	= ระยะห่างระหว่างท่อ (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$W_d$	= น้ำหนักของเนื้อวัสดุที่แห้ง (kg)
$W_w$	= น้ำหนักของน้ำที่อยู่ภายในเนื้อของวัสดุ (kg)
$\tau$	= ค่าการทะลุผ่านของแสงของ cover
$\alpha$	= ค่าการดูดกลืนรังสีของ cover
$\beta$	= ค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวของอากาศทางปริมาตร (Coefficient of volume expansion)
$\nu$	= ค่าความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity) ( $m^2/s$ )
$\rho$	= ความหนาแน่นของอากาศ ( $kg/m^3$ )
$\mu$	= ค่าความหนืด (viscosity) ( $N.s/m^2$ )
$\delta$	= ค่าคงที่ของ Stefan – Boltzman = $5.67 \times 10^{-8}$ ( $W/m^2 K^4$ )
$\varepsilon$	= emissivity ของแผ่นเพลท
$\varepsilon_{c1}$	= emissivity ของ cover1
$\varepsilon_{c2}$	= emissivity ของ cover2
$\varepsilon_p$	= emissivity ของแผ่นรับแสง
$\eta$	= ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์
$\delta_p$	= ความหนาของแผ่นครีป (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของโครงการ

การเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรไว้ให้ได้นานมีความจำเป็นอย่างมาก เพราะเกษตรกรที่มีผลผลิตออกตามฤดูกาล และมีปริมาณมากในช่วงเวลาหนึ่งๆ มักจะถูกจำกัดเวลาในการจำหน่าย หรือขายผลผลิตได้ในราคาต่ำ และจะก่อให้เกิดความเสียหายเมื่อจำหน่ายไม่หมดในเวลาจำกัด การอบแห้งเป็นการลดความชื้นผลผลิตเพื่อให้สามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น การผึ่งแดดของเกษตรกรมีข้อเสียหลายประการ คือ ปัญหาความสกปรกจากฝุ่นละออง ปัญหาจากแมลงต่างๆ ใช้เวลานาน และใช้พื้นที่มาก ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาค้นคว้าเพื่อจะทำให้การอบแห้งมีประสิทธิภาพ และได้ผลตามต้องการ ด้วยการทำเครื่องอบแห้ง แต่เครื่องอบแห้งส่วนใหญ่ที่ใช้ในประเทศไทยนั้นใช้เชื้อเพลิงในการอบแห้ง ซึ่งราคาเชื้อเพลิงนับวันจะยิ่งสูงขึ้นส่งผลถึงต้นทุนในการอบแห้ง และเชื้อเพลิงก็ยิ่งก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย เพราะฉะนั้นจึงได้มีการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นมาจากนั้นก็ได้มีการพัฒนาแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทั้งนี้เพื่อให้เครื่องอบแห้งดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และสามารถส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปใช้งานได้จริงต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการนำแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในการผลิตความร้อน เพื่อใช้ในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร

1.2.2 ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ตลอดจนศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง โดยใช้ส่วน cover 2 ชั้น การปรับเปลี่ยนลักษณะการไหลของลมร้อนที่แผงรับแสง และการเพิ่มระบบ Greenhouse ให้กับตู้อบแห้ง

### 1.3 ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาการสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์เมื่อใช้ cover 1 ชั้น กับ 2 ชั้น

1.3.2 ศึกษาการสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์เมื่อปรับเปลี่ยนลักษณะการไหลของลมร้อน

1.3.3 ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ Greenhouse ในส่วนของตู้อบแห้ง

1.3.4 ศึกษาการอบลดความชื้นวัสดุทางการเกษตร โดยการใช้พลาสติกในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ศึกษาการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการอบแห้ง
- 1.4.2 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้ง
- 1.4.3 เก็บรักษาผลผลิตในการเกษตรได้ยาวนานขึ้น และ สะอาดถูกสุขอนามัย
- 1.4.4 ลดต้นทุนในการอบแห้ง
- 1.4.5 ลดมลพิษจากการอบแห้ง



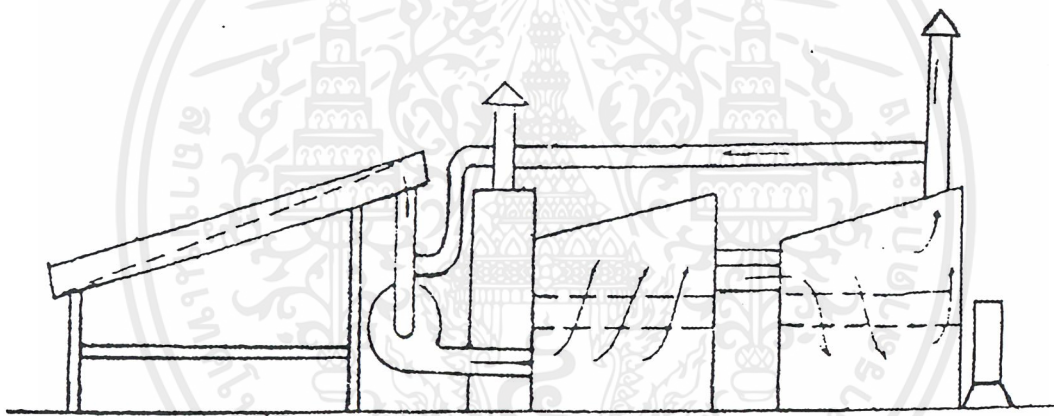
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

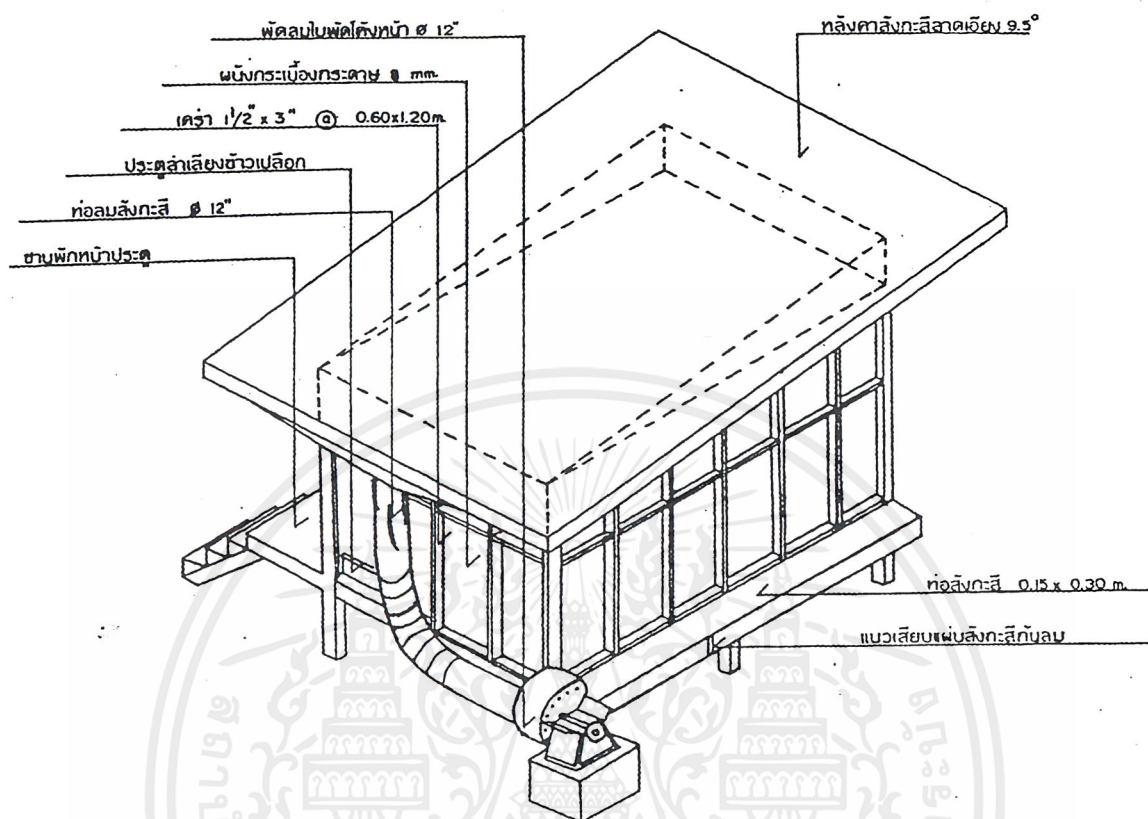
#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยจากประเทศจีน [ 10 ] สร้างเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบ Greenhouse and air collector มีขนาด collector 31 ตารางเมตร มีพื้นที่ Greenhouse 27 ตารางเมตร ดังรูปที่ 2.1 อากาศร้อนที่ blower ดูดเข้ามาจะไหลไปตามชั้นของวัสดุ ที่อัตราการไหลลมร้อน 800 ลูกบาศก์เมตร ต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 50 –70 องศาเซลเซียส และอบแห้งผลไม้ใช้เวลาอบแห้ง 6 วัน



รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งแบบ Greenhouse and air collector

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้สร้างเครื่องอบแห้งพลังแสงอาทิตย์แบบตัวรับแสงแผ่นราบกระจก 1 ชั้น โดยใช้พัดลมช่วยถ่ายเทอากาศภายในตู้อบดังรูปที่ 2.2 พบว่าอุณหภูมิลมร้อนที่ได้ไม่สม่ำเสมอ และเครื่องอบแห้งนี้ใช้ข้าวเปลือกเป็นวัสดุในการทดลองอบแห้ง



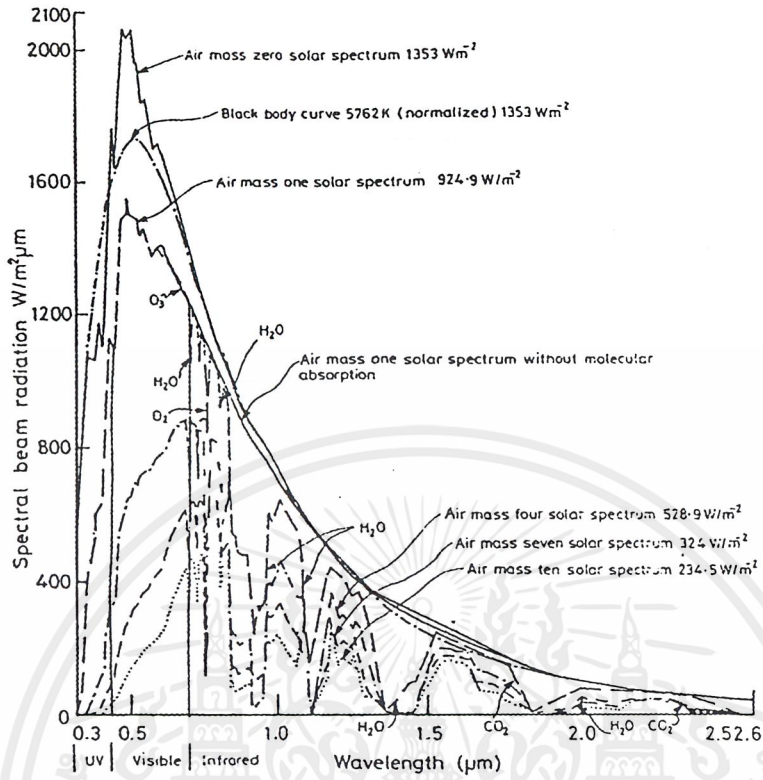
รูปที่ 2.2 เครื่องอบแห้งของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

## 2.2 ลักษณะของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์

รังสีอาทิตย์เป็นพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากปฏิกิริยา Thermonuclear มวลของดวงอาทิตย์ที่สลายไปในปฏิกิริยา จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงาน ตามสมการ  $E = mc^2$  โดยมวลจะลดลงในอัตรา  $4 \times 10^{19} \text{ kg / s}$  พร้อมกับปลดปล่อยพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ความถี่ต่างๆ ออกมาในอัตรา  $3.85 \times 10^{23} \text{ kW}$

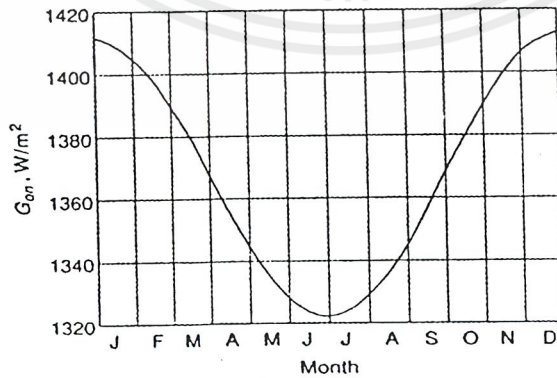
สเปกตรัมของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์จะมีองค์ประกอบต่างจากสเปกตรัมของการแผ่รังสีของวัตถุดำที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง เพราะอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ บนดวงอาทิตย์มีค่าไม่เท่ากัน ถ้าจะประมาณลักษณะสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ด้วยสเปกตรัมที่ได้จากวัตถุดำที่อุณหภูมิใด ๆ แล้ว พบว่า สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์จะมีลักษณะใกล้เคียงกับสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากวัตถุดำที่อุณหภูมิ 5762 K ดังรูปที่ 2.3 และอุณหภูมิ 5762 K นี้เรียกว่า อุณหภูมิประสิทธิผล (Effective temperature)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กราฟสเปกตรัมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์

เนื่องจากโลกไม่ได้โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงกลม ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ จึงเปลี่ยนไปตลอดปี พลังงานแสงอาทิตย์ที่กระทบเหนือบรรยากาศโลก จึงมีค่าต่างกันทุกวัน ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานแสงอาทิตย์เกือบทั้งหมด ( $> 99\%$ ) จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นไม่เกิน 4,000 nm และสเปกตรัมแสงอาทิตย์ แบ่งได้ 3 ชุด ตามค่าความยาวคลื่น ได้แก่ ช่วงอุลตราไวโอเลต ( $< 0.38$  ไมโครเมตร) ช่วงที่มองเห็นได้ ( $0.38 - 0.78$  ไมโครเมตร) และช่วงอินฟราเรด ( $> 0.78$  ไมโครเมตร)

นอกจากนี้เรายังสามารถแบ่งสเปกตรัมแสงอาทิตย์ตามสมดุทธ์พลังงานในบรรยากาศโลกได้เป็น 2 ชุด ได้แก่ คลื่นสั้น ( $0 - 4$  ไมโครเมตร) และคลื่นยาว ( $5 - 50$  ไมโครเมตร) ดังนั้นรังสีอาทิตย์จึงถือว่าเป็นรังสีคลื่นสั้น

### 2.3 ประเภทของรังสีอาทิตย์

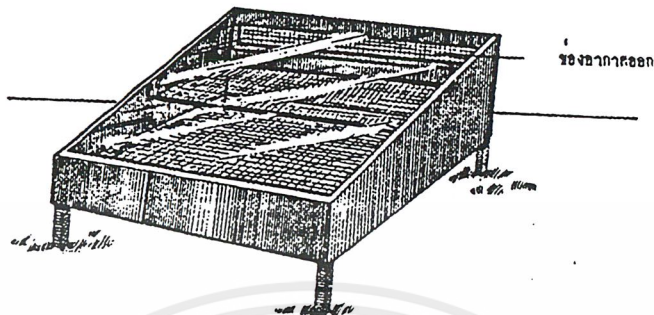
รังสีอาทิตย์แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ รังสีตรง (Direct radiation) และ รังสีกระจาย (Diffuse radiation) ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย เรียกว่ารังสีรวม (Total radiation) โดยกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง (Inclined surface) รังสีรวมจะประกอบด้วย รังสีจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้า และ รังสีกระจายจากพื้นโลก

กรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นราบ (Horizontal Surface) รังสีรวมประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า และ รังสีกระจายจากท้องฟ้า แต่จะไม่มีรังสีกระจายจากผิวโลก

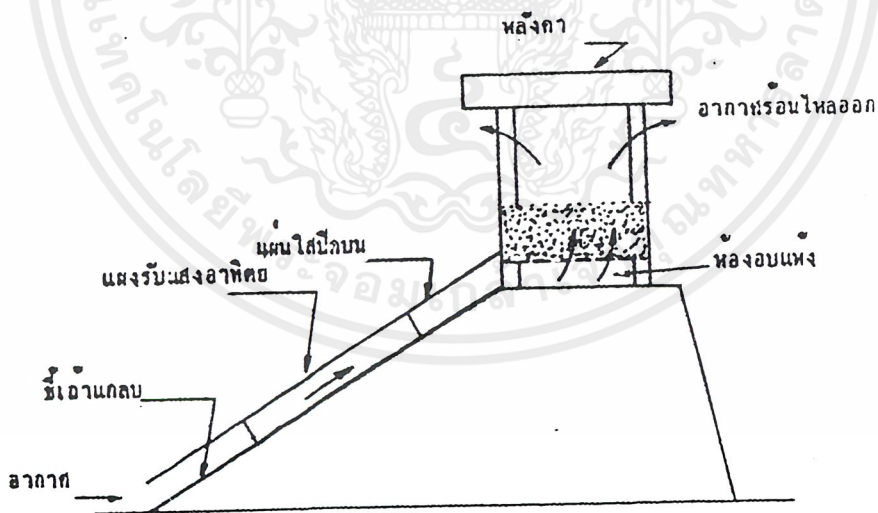
### 2.4 การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการอบแห้ง

หลักการของการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ คือ การทำให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านแผงรับแสงแบบราบซึ่งด้านบนเป็นวัสดุโปร่งใส และ ด้านล่างเป็นผิวดูดรังสีอาทิตย์ซึ่งจะเปลี่ยนแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อน ความร้อนนี้จะถูกอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านมาพาไปกลายเป็นลมร้อนใช้ในการอบแห้งต่อไป การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มี 2 แบบ คือ

1. การอบแห้งโดยให้วัสดุถูกแสงอาทิตย์โดยตรง (Drying) หมายถึง การอบแห้งโดยให้วัสดุถูกแสงอาทิตย์โดยตรง ลมร้อนที่เกิดขึ้นพาเอาไอน้ำออกไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.5
2. การอบแห้งโดยที่วัสดุไม่ถูกแสงอาทิตย์โดยตรง (Drydratation) เพียงแต่ใช้แสงอาทิตย์ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วให้อากาศร้อนผ่านไปยังวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 ตู้อบแห้งที่วัสดุถูกแสงอาทิตย์โดยตรง



รูปที่ 2.6 ตู้อบแห้งโดยที่วัสดุไม่ถูกแสงอาทิตย์โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 การอบแห้ง

การอบแห้ง (Drying) คือ วิธีการลดความชื้นโดยการระเหย อันเนื่องมาจากความร้อนที่ถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้น ซึ่งความร้อนที่วัสดุชื้นได้รับนี้ จะนำไปเป็นความร้อนแฝงของการระเหย โดยการอบแห้งนี้ มีจุดประสงค์เพื่อจะรักษาคุณภาพของผลผลิตให้เก็บไว้ได้นานๆ และยังช่วยลดน้ำหนักของผลผลิตในการเก็บและขนส่งอีกด้วย

### 2.5.1 การวัดความชื้นของผลผลิต

การวัดความชื้นของผลผลิตนั้น ส่วนใหญ่จะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ มี 2 วิธีคือ

1. คิดเป็นเปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (Wet Basis) เป็นการวัดโดยใช้น้ำหนักของผลผลิตที่ชื้นเป็นหลัก หาได้จากสูตรที่ 2.1

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (Wet Basis)} = \frac{W_w}{W_w + W_d} \times 100 \quad (2.1)$$

2. คิดเป็นเปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง (Dry Basis) เป็นการวัดโดยใช้น้ำหนักของผลผลิตแห้งเป็นหลัก หาได้จากสูตรที่ 2.2

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (Dry Basis)} = \frac{W_w}{W_d} \times 100 \quad (2.2)$$

โดย  $W_w$  น้ำหนักของน้ำที่อยู่ภายในเนื้อของวัสดุ (kg)  
 $W_d$  น้ำหนักของเนื้อวัสดุที่แห้ง (kg)

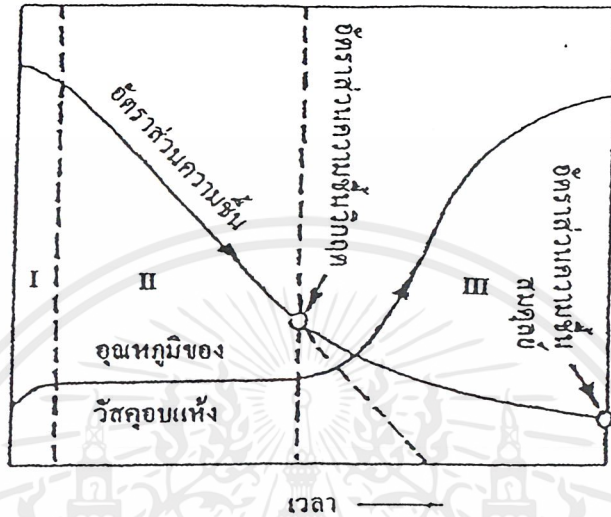
### 2.5.2 เงื่อนไขของการอบแห้ง

เงื่อนไขของการอบแห้ง แบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1. เงื่อนไขภายนอกวัสดุ เช่นวิธีถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุ วิธีกำจัดความชื้นที่ระเหยออกมาจากวัสดุ ความชื้นที่อิมคัฟของอากาศ ความดัน เป็นต้น
2. เงื่อนไขภายในวัสดุ เช่น การนำความร้อนของวัสดุขึ้น ความพรุนของของแข็ง อุณหภูมิวัสดุขึ้น อัตราส่วนความชื้น เป็นต้น

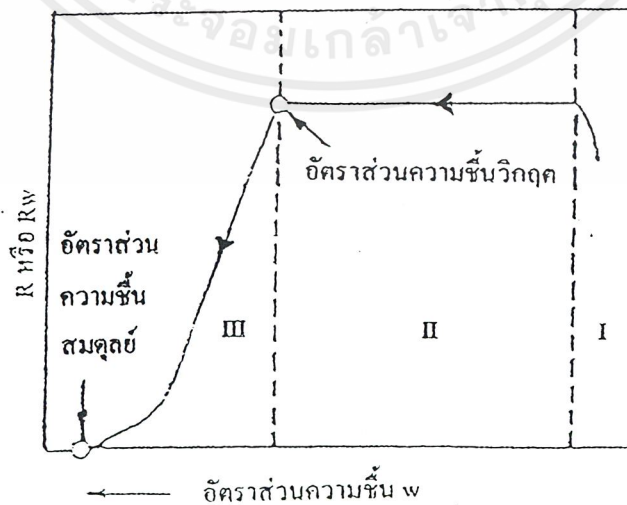
ในการอบแห้งวัสดุเปียกขึ้นจะกระทำภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งคงที่ถ้าทำการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงมวลและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้งกับเวลาจะได้เส้นกราฟดังแสดง ในรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การรอบแหงกับเวลา

ถ้าวัดอัตราการรอบแหงกับอัตราส่วนความชัน จะไดเห็นกราฟ ที่เรียกวา “ เส้นลักษณะเฉพาะของการรอบแหง ” เป็นไปดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เส้นลักษณะเฉพาะของการรอบแหง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปทั้งสองเบื้องต้น พบว่าการอบแห้งแบ่งออกเป็น 3 ช่วงใหญ่ๆ คือ

### 1. ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ

ที่ผิวของวัสดุชั้น ความชื้นจะอยู่ในรูปของเหลว ถ้านำวัสดุชั้นนี้มาอบภายใต้สภาวะการอบแห้งคงที่ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของกระแสลมร้อน ช่วงเวลาที่วัสดุใช้เพื่อเพิ่ม อุณหภูมิ จนถึง ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกนี้ คือ ช่วง I ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และ รูปที่ 2.8

### 2. ช่วงการอบแห้งที่อัตราเร็วคงที่

เนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทจากอากาศมายังวัสดุชั้น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลชื้นพร้อมกัน ในช่วงนี้ความร้อนทั้งหมด ที่วัสดุได้รับจะถูกใช้ในการระเหยน้ำออกไปจากวัสดุชั้น ความร้อนที่วัสดุได้รับช่วงนี้คือ ความร้อนแฝงในการระเหยนั่นเอง การอบแห้งในช่วงนี้จึงไม่ขึ้นกับเงื่อนไขภายในวัสดุ แต่ขึ้นกับเงื่อนไขภายนอกวัสดุที่ใช้ในการอบแห้ง ช่วงการอบแห้งที่อัตราเร็วคงที่ คือช่วงที่ II

### 3. ช่วงการอบแห้งที่อัตราเร็วลดลง

ในตอนนีเมื่อความชื้นที่อยู่ในรูปของเหลวจะ ระเหยหมด เนื่องจากการถ่ายเทความร้อน ของของเหลว จากส่วนในของวัสดุ เกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของของเหลว หรือจากน้ำ จากผิวของวัสดุ จะทำให้อัตราการอบแห้งในวัสดุลดลง โดยเรียกว่าอัตราส่วน ความชื้นที่เปลี่ยนช่วง จากช่วงของการอบแห้งที่อัตราเร็วคงที่ เป็นช่วงการอบแห้งที่อัตราเร็วลดลง ว่า “ อัตราส่วนความชื้นสมดุล” ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง คือช่วงที่ III

## 2.6 แผงรับแสงอาทิตย์

พื้นผิวของวัตถุใดก็ตามเมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ส่องมากระทบ พื้นผิวของวัตถุนั้นก็จะดูดความร้อนจากแสงอาทิตย์และสะสมไว้ ทำให้วัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อวัตถุที่ได้รับแสงอาทิตย์ส่องกระทบมีอุณหภูมิสูงกว่าวัตถุอื่นที่อยู่รอบ ๆ เช่น อากาศ น้ำ ดิน วัตถุนั้นจะเริ่มถ่ายเทความร้อนที่สะสมไว้ออกไป ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเพิ่มขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิและมวลของวัตถุทั้งสอง ดังนั้นเพื่อที่จะนำพลังงานความร้อนที่สะสมในวัตถุรับแสงอาทิตย์นี้ไปใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด กล่าวคือมีการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุรับแสงอาทิตย์ไปยังวัตถุที่เป็นตัวกลางมากที่สุดและมีการสูญเสียพลังงานความร้อนน้อยที่สุด ต้องออกแบบและสร้างที่เก็บรวบรวมพลังงานขึ้นมา ซึ่งอุปกรณ์ส่วนนี้เราเรียกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar collector) แผงรับแสงอาทิตย์โดยทั่วไปแบ่งประเภทได้หลายลักษณะ คือ

1. แบ่งตามอุณหภูมิที่ใช้งาน เช่น ต่ำ (น้อยกว่า 100 องศาเซลเซียส) ปานกลาง (100-300 องศาเซลเซียส) สูง (มากกว่า 500 องศาเซลเซียส)
2. แบ่งตามตัวกลางหรือของไหลที่ใช้งาน เช่น อากาศ น้ำ สารละลายเอทธิลีน-ไกลคอลหรือฟร็อน
3. แบ่งตามลักษณะของผิวรับรังสี เช่น แผ่นราบ แผ่นโค้ง รวบรวมรังสีเป็นเส้นหรือรวมเป็นจุด แผงรับ

แผงอาทิตย์จะต้องหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์และตั้งอยู่ในแนวตั้งฉากกับลำแสงจากดวงอาทิตย์ จึงสามารถรับแสงและพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์มากที่สุด แผงรับแสงอาทิตย์สามารถแบ่งตามลักษณะของผิวรับรังสี ได้ 2 แบบ คือ

1. แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบ ( Flat plate collector )
2. แผงรับแสงอาทิตย์แบบรวมแสง ( Focusing collector )

#### 2.6.1 แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบ ( Flat plate collector )

แผงรับแสงอาทิตย์แบบนี้มีส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญ คือ

1.แผ่นรับแสง ( Absorbing plate ) โดยทั่วไปจะเป็นแผ่นโลหะที่ฉาบสีดำด้านไว้เพื่อให้มีพฤติกรรมเช่นวัตถุดำ(วัตถุดำคือตัวดูดรังสีความร้อนที่สมบูรณ์โดยไม่คำนึงถึงความยาวคลื่นและทิศทางที่รังสีตกกระทบวัตถุดำ รังสีตกกระทบทั้งหมดจะถูกดูดเอาไว้ วัตถุดำเป็นเพียงวัตถุที่สมมุติขึ้นมา เนื่องจากวัตถุจริงทั้งหลายจะสะท้อนรังสีบางส่วนและยอมให้รังสีบางส่วนผ่านทะลุได้) โดยธรรมชาติถึงแม้ว่าจะไม่มีวัตถุดำที่แท้จริงเกิดขึ้นก็ตาม วัตถุบางชนิดก็มีคุณสมบัติใกล้เคียงวัตถุดำ

2.แผ่นปิดคลุมด้านบน (cover) โดยทั่วไปแล้ววัสดุที่ใช้ปิดแผงรับแสงอาทิตย์ต้องเป็นวัสดุที่ยอมให้แสงผ่านได้ เช่นกระจก แผ่นกระจกจะวางปิดด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์ เพราะฉะนั้นจะมีด้านหนึ่งของกระจกหันเข้าหาดวงอาทิตย์ส่วนอีกด้านหนึ่งหันลงข้างล่าง เมื่อแสงอาทิตย์กระทบแผงรับแสงอาทิตย์จึงเกิดการสูญเสียพลังงาน โดยการสะท้อนกลับได้คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของกระจกสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ คือความสามารถในการยอมให้รังสีผ่านได้

เราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ให้ดูดความร้อนได้มากขึ้น โดยเพิ่มจำนวนกระจกใช้ปิดแผงรับแสงอาทิตย์ อาจจะเป็นสองหรือสามชั้นก็ได้ แต่การเพิ่มจำนวนแผ่นกระจกอาจไม่มีประโยชน์หากแผงรับแสงอาทิตย์ฉาบไว้ด้วยวัสดุที่ดูดความร้อนได้ดีและคายความร้อนช้า เพราะจะกลายเป็นการลดปริมาณความร้อนที่จะผ่านทะลุเข้ามากระทบแผงรับแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นปกคลุมอาจใช้พลาสติกใสแทนได้ แต่พลาสติกใสจะมีอายุการใช้งานสั้นเนื่องจากมันจะสูญเสียคุณสมบัติโปร่งใสที่ละน้อย ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานลดลงเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตามแผ่นพลาสติกก็มีราคาถูกกว่ากระจก

3. ฉนวน ทำด้วยใยแก้วหรือโฟม เป็นส่วนที่อยู่ด้านล่างและรอบ ๆ ข้างของแผงรับแสงอาทิตย์ ทำหน้าที่ป้องกัน การถ่ายเทความร้อนออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ทางด้านล่างและด้านข้าง ใยแก้ว (Fiber glass) มีคุณสมบัติต้านทานต่อการส่งผ่านความร้อนได้ดี แต่จะดูดซับความชื้นได้ดีซึ่งเป็นข้อเสีย โฟมขาว (Styro foam) จะเหมาะกับแผงรับแสงซึ่งมีอุณหภูมิภายในระบบไม่สูงมากนัก ไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส

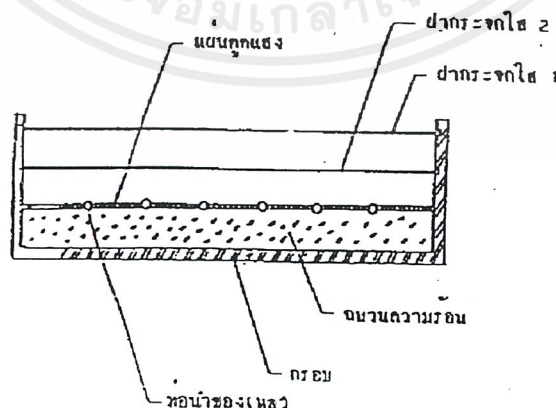
4. ท่อ ซึ่งจะใช้เฉพาะในระบบที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งท่อนี้จะติดอยู่กับแผงรับแสงเพื่อทำหน้าที่คอยรับพลังงานความร้อนจากแผงรับแสงเข้าสู่ของไหลภายในท่อ จากนั้นก็นำของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงนี้ไปใช้งาน

#### ก. ประเภทแผงรับแสงอาทิตย์แผ่นราบ

แผงรับแสงอาทิตย์แผ่นราบแบ่งตามประเภทของไหลทำงาน คือ เครื่องทำน้ำร้อน และเครื่องทำอากาศร้อน

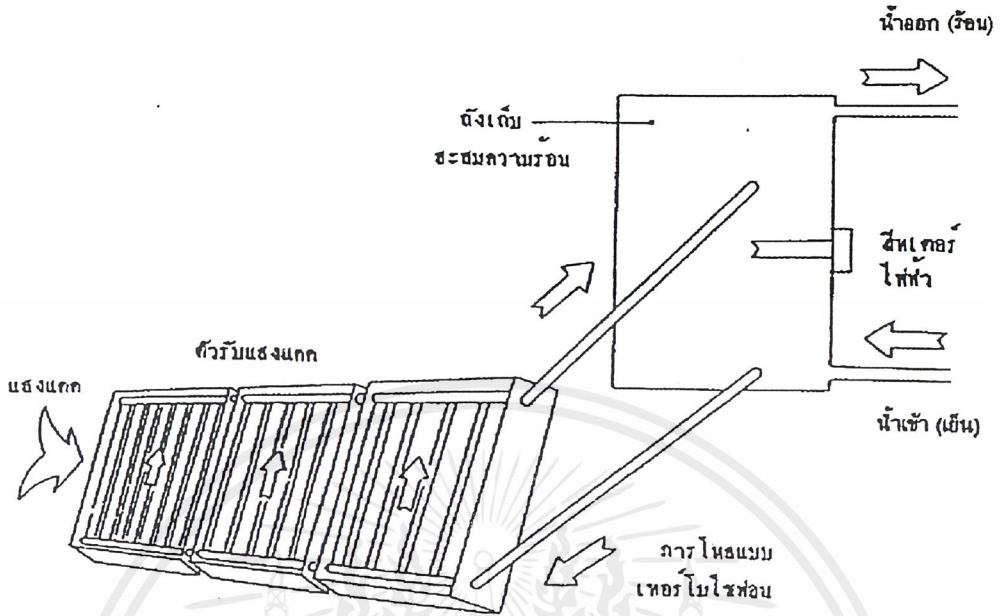
1. เครื่องทำน้ำร้อน ใช้น้ำเป็นของไหลทำงาน อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ได้มักต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับใช้ตามบ้านเรือนหรืออุตสาหกรรมบางประเภท ลักษณะของเครื่องทำน้ำร้อนแสดงดังรูปที่ 2.9

2. เครื่องทำอากาศร้อน ใช้อากาศเป็นของไหลทำงาน ใช้สำหรับปรับอากาศให้อุ่น และใช้ไล่ความชื้นจากอาหารและเมล็ดพืช ลักษณะของเครื่องทำอากาศร้อนแสดงดังรูปที่ 2.11

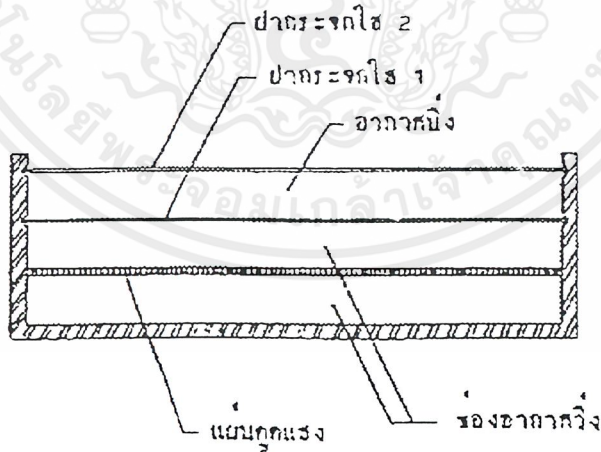


รูปที่ 2.9 ลักษณะทั่วไปของเครื่องทำน้ำร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 เครื่องทำน้ำร้อนแบบที่มีระบบการไหลแบบเทอร์โมไซฟอน หรือการไหลแบบธรรมชาติ



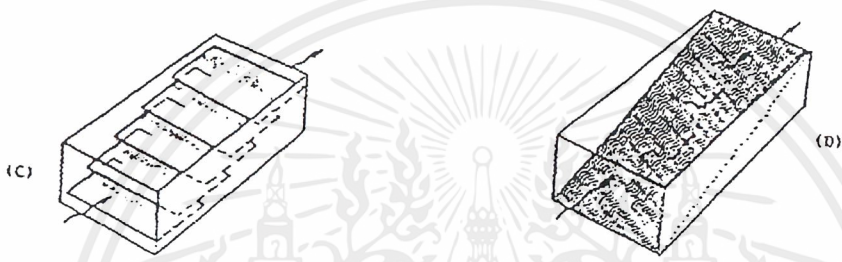
รูปที่ 2.11 ลักษณะทั่วไปของเครื่องทำอากาศร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. อากาศไหลผ่านความหนาและ  
ความสูงของแผ่นกึ่งแสง

2. อากาศไหลผ่านข้างกำแพง  
และข้างของแผ่นกึ่งแสง



3. ไร้นกึ่งแสงของวางซ้อน  
วางซ้อนกัน

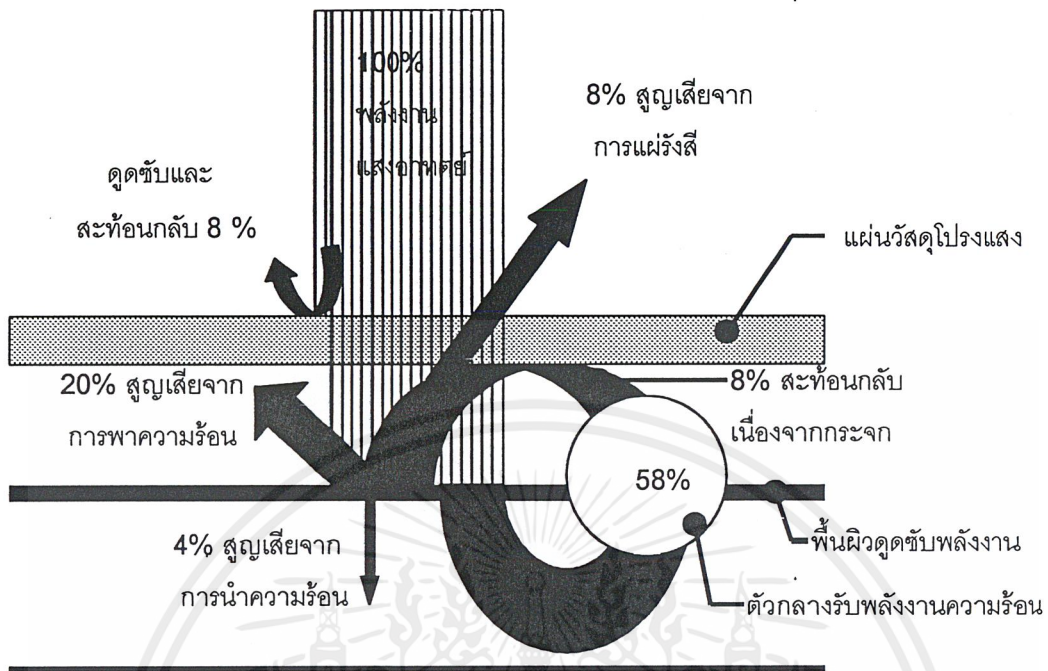
4. ไร้นกึ่งแสงที่มีลักษณะ  
เป็นรูพรุน

รูปที่ 2.12 เครื่องทำอากาศร้อนประเภทต่างๆ

**ข. ส่วนต่างๆ ของปลังแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับแสงอาทิตย์**

จากรูปที่ 2.13 พลังงานจากแสงอาทิตย์เมื่อส่องมากระทบแผงรับแสงอาทิตย์ที่ปิดด้วยแผ่นวัสดุโปร่งใส ปริมาณความร้อนประมาณ 8 % จะถูกแผ่นวัสดุโปร่งใสดูดซับและสะท้อนกลับที่เหลือนอกนั้นประมาณ 92% จะถูกส่งผ่านไปยังพื้นผิวดูดซับพลังงาน พลังงานความร้อนประมาณ 20 % จะสูญเสียไปจากการพาความร้อนของอากาศที่คั่นระหว่างแผ่นวัสดุโปร่งใสกับพื้นผิวดูดซับพลังงานอีก 16 % จะสูญเสียไปจากการแผ่รังสีของพื้นผิว แต่จะได้กลับคืนมา 8 % เนื่องจากการสะท้อนกลับที่แผ่นวัสดุโปร่งใส และพลังงาน 4 % จะสูญเสียไปจากการนำความร้อนของพื้นผิวดูดซับพลังงาน สรุปแล้วเราจะได้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ประมาณ 58 % คือ 50% จากการที่ตัวกลางสะสมพลังงานความร้อนดูมาโดยตรง และอีก 8% จากการสะท้อนกลับที่แผ่นวัสดุโปร่งใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ส่วนต่างๆ ของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับแสงอาทิตย์

**ค. การสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์แผ่นราบ**

การสูญเสียความร้อนแบ่งตามลักษณะการสูญเสียความร้อนได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

1. การสูญเสียความร้อนโดยการนำความร้อน โดยปกติการสูญเสียความร้อนโดยการนำความร้อนจะไม่นำมาคิดในการออกแบบถ้าแผงรับแสงอาทิตย์นั้นมีการบุฉนวนไว้เป็นอย่างดี

2. กรณีที่ใช้น้ำเป็นของไหลการทำงาน การสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อนเกิดขึ้นระหว่างแผ่นรับแสงกับบรรยากาศโดยรอบของแผงรับแสงอาทิตย์ ผ่านตัวพาความร้อนแต่ละด้านของแผ่นวัสดุโปร่งใส การลดขนาดของช่องอากาศระหว่างแผ่นโปร่งใส ให้อยู่ในช่วง 0.4-0.75 นิ้ว จะเป็นการช่วยลดการสูญเสียความร้อนโดยการพาให้อยู่ในระดับที่น้อยที่สุด

ถ้าจะลดความสูญเสียความร้อนจากการพาให้หมดไป เราต้องทำให้ช่องว่างระหว่างฝาปิดโปร่งใสกับผิวรับรังสีเป็นสุญญากาศ ซึ่งการทำเช่นนี้จะทำให้สิ้นเปลืองมากและราคาจะแพงขึ้นโดยไม่จำเป็น

3. การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสี การสูญเสียแบบนี้สามารถลดได้โดยการเลือกใช้สารที่เคลือบผิวรับรังสีให้มีค่าการดูดซับรังสีแสงอาทิตย์มากกว่าและเท่ากับ 0.9

การสูญเสียความร้อนแบ่งตามพื้นที่การสูญเสียความร้อน แบ่งเป็น 2 แบบ ดังนี้

1. การสูญเสียความร้อนทางด้านบน ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากฝาปิดโปร่งใสออกไปสู่บรรยากาศโดยการพาความร้อน และโดยการแผ่รังสีอินฟราเรด
2. การสูญเสียความร้อนทางด้านล่างและในกรณีที่แผงรับแสงอาทิตย์เป็นแบบชั้นเดียว คือ จากแผ่นรับแสงลงมาทางด้านล่าง โดยการนำความร้อนผ่านทางฉนวนและจากผิวฉนวนสู่บรรยากาศ โดยการพาและการแผ่รังสีความร้อน

ปกติแล้วการสูญเสียความร้อนทางด้านบนจะสูงกว่าทางด้านล่างมาก

#### ง. การวัดพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ส่วนที่สามารถนำมาใช้งานได้ แบ่งเป็น 2 ชนิดตามความยาวคลื่น คือ

1. พลังงานชนิดคลื่นสั้นหรือพลังงานแบบรังสีตรง ( Beam radiation ) พลังงานชนิดนี้ได้มาจากการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์
2. พลังงานชนิดคลื่นยาว หรือพลังงานแบบรังสีกระจาย ( Diffuse solar radiation ) พลังงานชนิดนี้ไม่ได้แผ่รังสีมาจากดวงอาทิตย์โดยตรง แต่มาจากแหล่งอื่นที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์จนตนเองมีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วจึงแผ่รังสีมาให้แผ่นรับรังสี

เครื่องมือวัดปริมาณแสงอาทิตย์แบ่งได้เป็น 2 แบบ

1. เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด (Total or global solar radiation) จะวัดพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งแบบรังสีตรงและแบบรังสีกระจาย เครื่องมือที่ใช้วัดคือ ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer)
2. เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรง แบบนี้วัดเฉพาะพลังงานแบบคลื่นสั้นหรือแบบรังสีตรง เครื่องมือที่ใช้วัดคือ ไพร์เฮลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer)

#### จ. การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์

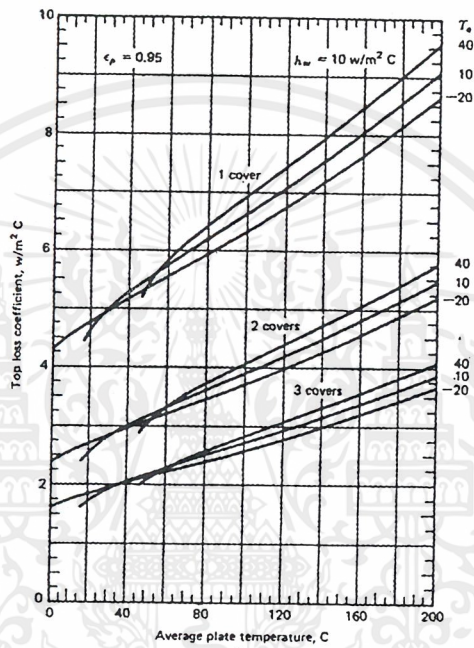
การอบแห้งมีหลักการคือ จะทำอย่างไรให้อากาศมีความร้อน แล้วพาอากาศร้อนเข้าไปยังผลผลิตทางการเกษตรที่ต้องการจะอบนั้น เพื่อที่จะพาความชื้นภายในผลผลิตออกไป การผลิตลมร้อนเพื่อใช้ในเครื่องอบแห้งจำเป็นต้องมีอุณหภูมิเพียงพอและมีความสม่ำเสมอเพื่อให้การอบแห้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

##### 1. ส่วนแผงรับแสงอาทิตย์

การเพิ่มจำนวน cover ของแผงรับแสงสามารถลดการสูญเสียความร้อนทางด้านบนของแผงรับแสงได้ แต่การเพิ่มจำนวน cover ก็มีข้อจำกัดคือ ถ้าเพิ่ม cover มากเกิน 2 ชั้น อัตราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนจะลดลง จากกราฟรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าการเพิ่มจำนวน Cover จาก 1 ชั้นเป็น 2 ชั้น สามารถลดสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนลงได้ประมาณ 50% แต่การเพิ่มจาก 2 ชั้นเป็น 3 ชั้น สามารถลดลงได้เพียง 30% ถ้าเพิ่มจำนวน cover มากขึ้นอัตราการลดสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนจะลดลงมาก อีกทั้งการเพิ่มจำนวน cover ยังส่งผลถึงต้นทุนในการสร้าง และความยุ่งยากในการติดตั้ง



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน

การทำแผ่นดูดซับแสงเป็นครีบบจะสามารถเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับแสงของแผ่นดูดซับแสงได้และยังเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน อีกทั้งยังทำให้การไหลของอากาศภายในแผ่นดูดซับแสงเป็นการไหลที่ปั่นป่วน อากาศจะสัมผัสกับแผ่นดูดซับแสงมากขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากแผ่นดูดซับไปสู่อากาศมากขึ้นส่งผลทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น

การหุ้มฉนวนอย่างดีจะทำให้ความร้อนที่สูญเสียทางด้านล่างกับด้านข้างของตัวแผงรับแสงมีค่าน้อย ส่งผลทำให้อากาศร้อนที่ผลิตได้มีอุณหภูมิสูงขึ้น

## 2. ส่วนของตู้อบ

การสร้างระบบ Greenhouse กระทำได้โดยการใช้วัสดุโปร่งแสงปิดด้านบนของตู้อบ เพื่อให้แสงอาทิตย์ส่องเข้ามาในตู้อบก็จะสามารถเพิ่มอุณหภูมิในตู้อบให้สูงขึ้นได้

### จ. ข้อควรทราบบางประการในการออกแบบและสร้างตัวรับแสงแผ่นราบ

1. ปกติกาที่ใช้ปิดกระจกแก้วกับตัวรับแสงมักเป็นกาที่ไม่ดีมากนัก เพราะต้องการให้ช่องว่างภายในมีอากาศเช่นเดียวกับอากาศภายนอกเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อนและจากการแผ่รังสี ซึ่งทำได้โดยไม่ให้ฝาแก้วปิดแน่นสนิทจนอากาศเข้าออกไม่ได้ ผลเสียที่เกิดขึ้นตามมาคือ ฝุ่นและความชื้น เล็ดลอดเข้าไป ทำให้แผ่นดูดซับแสงสกปรก

2. วัสดุฉนวนที่นำมาบุในตัวรับแสง มักมีความชื้น เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น ความชื้นจะระเหยขึ้นมาและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ที่ผิวของฝากระจกด้านในทำให้บังแสงแดดที่ส่องเข้ามา ความชื้น ที่เกิดขึ้นนี้ จะกัดกร่อนแผ่นดูดซับแสง

3. ต้องเว้นที่ว่างไว้สำหรับการขยายตัวของฝากระจก มิฉะนั้น จะเกิดความเค้นเนื่องจากความร้อนทำให้กระจกแตก และขอบของแผงรับแสงควรทำให้ลาดเอียง เพื่อป้องกันน้ำฝนขังบนฝากระจก

4. ไม่ควรนำแผงรับแสงอาทิตย์ ไปใช้งานขณะที่ไม่มีของไหลอยู่ภายใน มิฉะนั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจะสูงมาก ทำให้ฝากระจกเกิดการขยายตัวมากกว่าปกติ และทำให้แตกเสียหายได้

5. ถ้าต้องการป้องกันไม่ให้รังสีอินฟราเรด เล็ดลอดออกไปได้ สามารถทำได้โดยเคลือบสารเคมีพิเศษบนผิวแก้วด้านใน

### ข. สมการพลังงานสำหรับแผงรับแสงแผ่นราบ

ใช้สมการพลังงานอธิบายการทำงานของแผงรับแสงอาทิตย์แผ่นราบ โดยแสดงให้เห็นว่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบนั้นถูกใช้เป็นประโยชน์ และมีการสูญเสียพลังงานมากน้อยอย่างไร สมการพลังงานของแผงรับแสงอาทิตย์เขียนได้เป็น

$$Q_U = I(\tau\alpha)A_c - Q_L - Q_s \quad (2.3.)$$

โดย	$Q_U$	อัตราพลังงานความร้อนที่นำไปใช้ (W)
	$I$	อัตราการตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์ทั้งรังสีตรง และรังสีกระจายบนพื้นที่หนึ่งหน่วยบนแผงรับแสงอาทิตย์ ( $W/m^2$ )
	$A_c$	พื้นที่ผิวรับแสง ( $m^2$ )
	$\tau$	ค่าการทะลุผ่านของแสงของ Cover
	$\alpha$	ค่าการดูดกลืนรังสีของ Cover

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Q_L$  อัตราการสูญเสียพลังงานความร้อน (W)

$Q_S$  อัตราการสะสมพลังงานความร้อนที่ผิวรับแสง (W)

1. การคำนวณอัตราการสูญเสียพลังงานความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์  
สมการสำหรับคำนวณอัตราการสูญเสียพลังงานความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์  
เขียนได้เป็น

$$Q_L = Q_{L_t} + Q_{L_b} + Q_{L_s} \quad (2.3a)$$

โดย  $Q_{L_t}$  พลังงานความร้อนที่สูญเสียทางด้านบน (Top heat loss) (W)

$Q_{L_b}$  พลังงานความร้อนที่สูญเสียทางด้านล่าง (Bottom heat loss) (W)

$Q_{L_s}$  พลังงานความร้อนที่สูญเสียทางด้านข้าง (Side heat loss) (W)

สำหรับการสูญเสียความร้อนทางด้านข้างจะถือว่ามิต้น้อยมาก เนื่องจากพื้นที่ด้านข้างของตัวรับแสงอาทิตย์มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ด้านบนของตัวรับแสง ในบางครั้งก็ไม่คิดค่าการสูญเสียความร้อนจากด้านล่างของตัวรับแสงอาทิตย์เนื่องจากหุ้มฉนวนอย่างดี ดังนั้นสมการ (2.3a) เขียนใหม่ได้เป็น

$$Q_L = Q_{L_t} \quad (2.3b)$$

## 2. การถ่ายเทความร้อน

การสูญเสียพลังงานความร้อนทางด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์เกิดจาก การสูญเสียพลังงานความร้อนโดยการพาและการแผ่รังสีความร้อนจากผิวรับแสงสู่ cover และจาก cover ออกสู่บรรยากาศโดยรอบ ลักษณะการถ่ายเทความร้อนมี 3 ลักษณะด้วยกันคือ การนำ การพา และการแผ่รังสี ต่อไปนี้จะกล่าวถึงการคำนวณในแต่ละแบบที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณการสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ดังนี้

### ก. การนำความร้อน

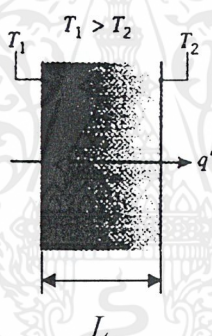
การนำความร้อน เป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทความร้อน ในลักษณะของการแลกเปลี่ยนพลังงานจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำโดยเคลื่อนแบบจลน์ (Kinetic motion) หรือการชนกันโดยตรงของโมเลกุลซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นในของไหลที่หยุดนิ่ง ส่วนในกรณีของโลหะนั้นจะเป็นการไหลของกระแสอิเล็กตรอน สำหรับของแข็งที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี จะมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระมากมายที่เคลื่อนไปมาอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุล ซึ่งอาจเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวได้ว่าวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี จะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีตามไปด้วย สมการที่ใช้คำนวณการนำความร้อนเขียนดังสมการที่ 2.4

$$Q_{cond} = \frac{KA\Delta T}{L} \quad (2.4)$$

โดย

- $Q_{cond}$  = อัตราการนำความร้อน (W)  
 $A$  = พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนผ่าน ( $m^2$ )  
 $\Delta T$  = ผลต่างของอุณหภูมิ ( $^{\circ}C$ )  
 $K$  = ค่าสภาพนำความร้อนของวัสดุ ( $W/m^{\circ}C$ )  
 $L$  = ระยะการนำความร้อน (m)



รูปที่ 2.15 การนำความร้อน

#### ข. การพาความร้อน

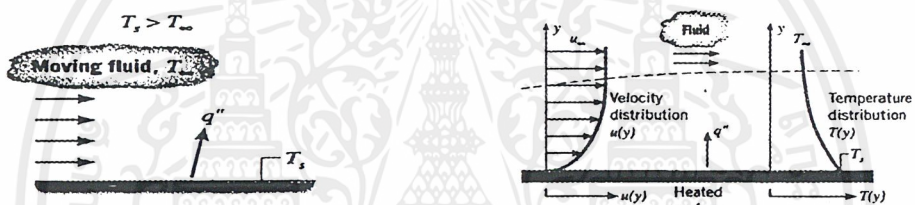
เมื่อของไหลไหลผ่านวัสดุที่เป็นของแข็งหรือผ่านภายในช่องทางการไหล โดยที่อุณหภูมิของของไหลและผิวของของแข็งมีค่าแตกต่างกัน การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและผิวของของแข็งจะเกิดขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่สัมผัสกับผิวของของแข็ง กลไกการถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า “การพาความร้อน” ถ้าการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดขึ้นโดยการทำขึ้นเองโดยใช้ปั๊มหรือพัดลมเป็นตัวทำให้เกิดแรงกระทำของไหลไหลผ่านบนพื้นผิวการถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า “การพาความร้อนแบบบังคับ” (Forced convection) ถ้าการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดจากแรงลอยตัว ซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในของไหล การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า “การพาความร้อนแบบอิสระ” หรือ “การพาความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนแบบธรรมชาติ” (Free or natural convection) การพาความร้อนมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ 2.5

$$Q_{conv} = hA_c \Delta T \quad (2.5)$$

โดย	$Q_{conv}$	อัตราการพาความร้อน (W)
	$A_c$	พื้นที่สัมผัสระหว่างของไหลกับผนังถ่ายเทความร้อน ( $m^2$ )
	$\Delta T$	ผลต่างอุณหภูมิระหว่างของไหลกับผนังถ่ายเทความร้อน ( $^{\circ}C$ )
	$h$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $W/m^{\circ}C$ )



รูปที่ 2.16 การพาความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีค่าแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง เช่น ความร้อนจำเพาะ ของของไหล อัตราการไหลของไหล เขียนสมการสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ได้ดังสมการที่ 2.5a

$$h = \frac{NuK}{L} \quad (2.5a)$$

โดย	$h$	สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน ( $W/m^{\circ}C$ )
	$Nu$	Nusselt number
	$K$	ค่าสภาพนำความร้อนของวัสดุ ( $W/m^{\circ}C$ )
	$L$	characteristic length ของระบบ (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่า  $Nu$  (Nusselt number)

การพาความร้อนแบบธรรมชาติต้องใช้วิธีการวิเคราะห์แบบไดเมนชัน (Dimensional analysis) และใช้สัญลักษณ์ ดังนี้

$$Nu = f(Gr, Pr)$$

โดย  $Gr$  Grasshof number =  $\frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2}$

$Pr$  Prandtl number =  $\frac{\mu C_p}{K}$

$\beta$  ค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวของอากาศทางปริมาตร

(Coefficient of volume expansion) , ก๊าซทางอุดมคติ =  $\frac{1}{T_{av}}$

$g$  ค่าคงที่ของแรงดึงดูดของโลก =  $9.81 \text{ m/s}^2$

$T_{av}$  อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างแผ่นเพลท (K)

$\nu$  ค่าความหนืด (Kinematic viscosity) ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\Delta T$  ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นเพลท

สมการที่ 2.6 แสดงสมการของ Dropkin and Somescales ใช้คำนวณการสูญเสียความร้อนด้วยการพาความร้อนในเพลทคู่ขนานกรณีมุมเอียงตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา และค่า  $Gr$  มีค่ามากกว่า  $2 \times 10^5$  คือ

$$Nu = \left[ 0.069 - 0.020 \left( \frac{S}{90} \right) \right] (Gr Pr)^{\frac{1}{3}} (Pr)^{0.074} \quad (2.6)$$

โดย  $S$  เป็นมุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์ (องศา)

เนื่องจากแผงรับแสงอาทิตย์ส่วนมากเกี่ยวข้องกับอากาศและ  $Pr$  (Prandtl number) ของอากาศเป็น 0.7 และเกือบไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เขียนสมการที่ (2.6) ได้เป็น

$$Nu = \left[ 0.060 - 0.017 \left( \frac{S}{90} \right) \right] Gr^{\frac{1}{3}} \quad (2.6a)$$

การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) สมการ Kay ใช้คำนวณหาการสูญเสียความร้อนด้วยการพาความร้อน ในเฟลทคู่ขนาน สำหรับอากาศที่ไหลแบบเทอร์บูเลนต์ ดังสมการที่ 2.7

$$Nu = 0.0158 Re^{0.8} \quad (2.7)$$

โดย Re Renold Number

$$Re = \frac{\rho v D_h}{\mu} \quad (2.7a)$$

$\rho$  ความหนาแน่นของอากาศ ( $kg/m^3$ )

$v$  ความเร็วของอากาศ (m/s)

$D_h$  เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (Hydraulic diameter) (m)

$\mu$  ความหนืด (viscosity) ( $N.s/m^2$ )

ถ้าท่อมีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยม หา  $D_h$  ได้จากสูตร

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (2.7b)$$

โดย  $A$  พื้นที่หน้าตัดของท่อ ( $m^2$ )

$P$  เส้นรอบรูปของท่อ (m)

การสูญเสียความร้อนจากเฟลทที่อยู่กลางแจ้งและมีลมพัด Mc Adams(1954) ได้หาสมการที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนกับความเร็วม โดยสมการที่ (2.8) คิดผลของการพาและการแผ่รังสีอิสระด้วย

$$h_w = 5.7 + 3.8V \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Watumuff et al. (1977) แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนกับความเร็วลมดังนี้

$$h_w = 2.8 + 3.0V \quad (2.8a)$$

โดย  $h_w$  สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )  
 $V$  ความเร็วลม ( $m/s$ )

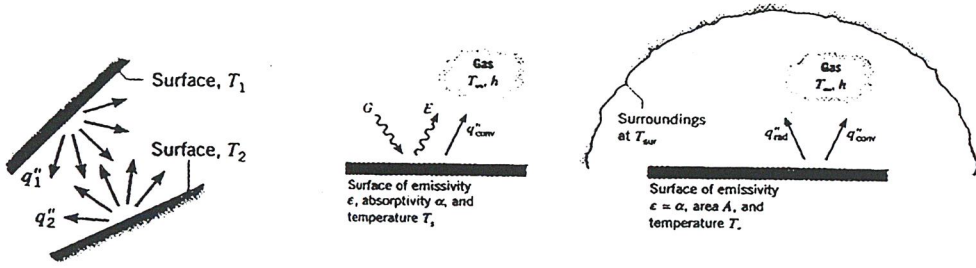
สมการที่ (2.8a) ใช้สำหรับความเร็วลม 5 m/s และอุณหภูมิ 25 °C

#### ค. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation heat transfer)

การแผ่รังสีความร้อน คือพลังงานที่ถูกส่งออกไปโดยสารซึ่งอยู่ที่อุณหภูมิจำกัดแน่นอนจนถึงแม้ว่าเราจะเห็นการแผ่รังสีจากผิวของวัตถุแข็งก็ตาม การส่งออกของรังสีอาจเกิดขึ้นได้จากของเหลวและก๊าซด้วย โดยไม่คำนึงถึงรูปแบบของสาร การส่งออกรังสีเชื่อว่าเป็นการเปลี่ยนการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนขององค์ประกอบอะตอมหรือโมเลกุล พลังงานของสนามการแผ่รังสีนั้นจะถูกนำออกไปโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในขณะที่การถ่ายเทพลังงานโดยการนำหรือการพาต้องการวัสดุตัวกลาง แต่การแผ่รังสีไม่ต้องการ ในความเป็นจริง การถ่ายเทโดยการแผ่รังสีเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ในสุญญากาศ ในการคำนวณหาการสูญเสียความร้อนของอุปกรณ์แสงอาทิตย์ กรณีแผ่นเพลททั้งสองขนานกัน และมีพื้นที่ที่เท่ากัน หาได้จากสมการ(2.9)

$$Q_{rad} = \frac{A_c \delta (T_2^4 - T_1^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (2.9)$$

โดย  $Q_{rad}$  อัตราการแผ่รังสีความร้อน (W)  
 $\delta$  ค่าคงที่ของ Stefan – Boltzman =  $5.67 \times 10^{-8}$  ( $W/m^2 \cdot K^4$ )  
 $\epsilon_1, \epsilon_2$  Emissivity ของเพลท 1 กับ 2 ตามลำดับ  
 $T_1, T_2$  อุณหภูมิ ของเพลท 1 กับ 2 ตามลำดับ (K)  
 $A_c$  พื้นที่ของแผ่นเพลท ( $m^2$ )



รูปที่ 2.17 การแผ่รังสีความร้อน

กรณีสูญเสียการแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้า หาได้จากสมการ

$$Q_{rad} = \epsilon A_c \delta (T_s^4 - T_{sky}^4) \quad (2.9a)$$

- โดย  $\epsilon$  Emissivity ของแผ่นเพลท
- $T_s$  อุณหภูมิของแผ่นเพลท (K)
- $T_{sky}$  อุณหภูมิท้องฟ้า (K)
- $A_c$  พื้นที่ของแผ่นเพลท ( $m^2$ )

Swinbank ให้ความสัมพันธ์ ระหว่างอุณหภูมิอากาศ กับ อุณหภูมิท้องฟ้าดังนี้

$$T_{sky} = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (2.9b)$$

- โดย  $T_a$  อุณหภูมิของอากาศ ( $^{\circ}K$ )
- $T_{sky}$  อุณหภูมิท้องฟ้า ( $^{\circ}K$ )

ง. การหาค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียทางด้านบน ( $Q_{Lt}$ )

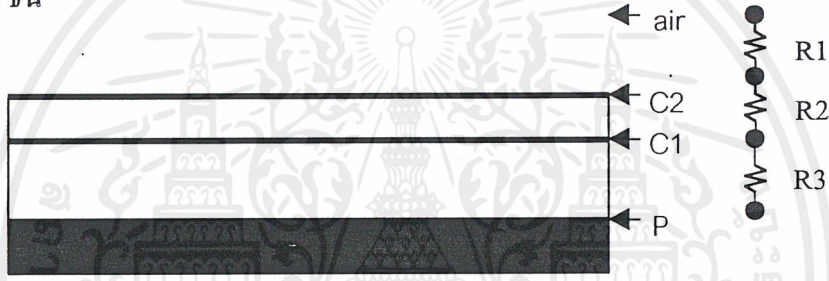
ในการคำนวณการสูญเสียพลังงานความร้อนทางด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์แบบ cover 2 ชั้น สามารถคำนวณ ได้ดังนี้

$$Q_{Lt} = A_c U_t (T_p - T_a) \quad (2.10)$$

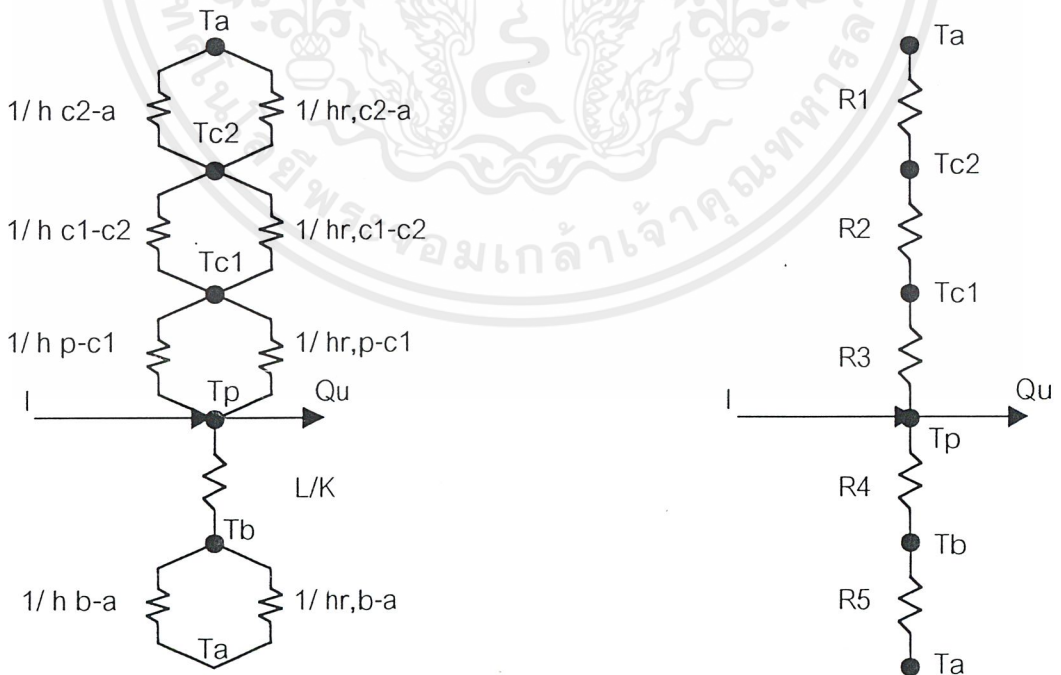
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดย  $A_c$  พื้นที่ของผิวรับแสงอาทิตย์ ( $m^2$ )  
 $U_i$  สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมทางด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )  
 $T_p$  อุณหภูมิของผิวรับแสงอาทิตย์ ( $^\circ C$ )  
 $T_a$  อุณหภูมิของอากาศภายนอก ( $^\circ C$ )

การวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานความร้อนทางด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์สามารถแปลงลักษณะการสูญเสียความร้อนบนตัวรับแสงอาทิตย์ ให้เป็นรูปแบบวงจรไฟฟ้าได้ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ ดังรูปที่ 2.19 ซึ่งเป็นวงจรการคำนวณสูญเสียความร้อนบนตัวรับแสงอาทิตย์ชนิดมี cover 2 ชั้น



รูปที่ 2.18 แผงรับแสงอาทิตย์ 2 cover



รูปที่ 2.19 วงจรการคำนวณ 2 cover

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.19 สามารถเขียนสมการของสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมทางด้านบนของแผงรับ แสงอาทิตย์ได้ดังนี้ ทั้งนี้ไม่คิดการสูญเสียความร้อนทางด้านล่างเพราะหุ้มฉนวนอย่างดี

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

โดย  $R_1 = \frac{1}{h_w + h_{r,c2-a}}$

$$h_w = 5.7 + 3.8V$$

$$h_{r,c2-a} = \frac{\delta \epsilon_{c2} (T_{c2}^4 - T_{sky}^4)}{T_{c2} - T_a}$$

และ  $R_2 = \frac{1}{h_{c1-c2} + h_{r,c1-c2}}$

$$h_{c1-c2} = \frac{NuK}{L}$$

$$h_{r,c1-c2} = \frac{\delta (T_{c1} + T_{c2}) (T_{c1}^2 + T_{c2}^2)}{\frac{1}{\epsilon_{c1}} + \frac{1}{\epsilon_{c2}} - 1}$$

และ  $R_3 = \frac{1}{h_{p-c1} + h_{r,p-c1}}$

$$h_{p-c1} = \frac{NuK}{L}$$

$$h_{r,p-c1} = \frac{\delta (T_p + T_{c1}) (T_p^2 + T_{c1}^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_{c1}} - 1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย $h_w$	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนโดยการพา จาก cover2 ตู้อ่างฟ้า	(W/ m °C)
$h_{r,c2-a}$	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสี จาก cover2 ตู้อ่างฟ้า	(W/ m °C)
$h_{c1-c2}$	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนโดยการพา จาก cover1 ตู้อ่างฟ้า	(W/ m °C)
$h_{r,c1-c2}$	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสี จาก cover1 ตู้อ่างฟ้า	(W/ m °C)
$h_{p-c1}$	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนโดยการพาจากแผ่นรับแสง ตู้อ่างฟ้า	(W/ m °C)
$h_{r,p-c1}$	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสีจากแผ่นรับแสง ตู้อ่างฟ้า	(W/ m °C)
$\epsilon_{c1}$	Emissivity ของ cover1	
$\epsilon_{c2}$	Emissivity ของ cover2	
$\epsilon_p$	Emissivity ของแผ่นรับแสง	
$T_{c1}$	อุณหภูมิของ cover1 (K)	
$T_{c2}$	อุณหภูมิของ cover2 (K)	
$T_p$	อุณหภูมิของแผ่นรับแสงอาทิตย์ (K)	
$T_{sk}$	อุณหภูมิของท่อฟ้า (K)	

#### จ. การคำนวณประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ หมายถึง อัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่นำมาใช้ได้จากแผงรับต่อพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ให้กับแผงรับแสงอาทิตย์นั้น คำนวณ ได้ดังนี้

$$\eta = \frac{Q_U}{A_c I} \quad (2.11)$$

โดย $\eta$	ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์
$I$	อัตราการตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์ทั้งรังสีตรง และรังสีกระจายบนพื้นที่หนึ่งหน่วยบนแผงรับแสงอาทิตย์ ( W/m <sup>2</sup> )
$A_c$	พื้นที่ผิวรับแสง (m <sup>2</sup> )

การหาค่า  $Q_U$  สามารถหาได้ 2 วิธีคือ

#### 1. ค่า $Q_U$ ทางทฤษฎี

สมการทางทฤษฎีสำหรับหาความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ สำหรับสภาวะ

สม่ำเสมอ (steady condition) สามารถเขียนได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_U = A_c F_R [I(\tau\alpha) - U_L \Delta T] \quad (2.12)$$

โดย	$Q_U$	อัตราการพลังงานความร้อนที่นำไปใช้ (W)
	$\tau$	ค่าการทะลุผ่านของแสงของ cover
	$\alpha$	ค่าการดูดกลืนรังสีของ cover
	$U_L$	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของแผงรับ แสงอาทิตย์ ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )
	$\Delta T$	ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นเพลทกับอากาศภายนอก ( $^\circ\text{C}$ )
	$F_R$	แฟกเตอร์การดึงความร้อนมาใช้ของตัวรับแสง

การหาค่า  $F_R$

แฟกเตอร์การดึงความร้อนมาใช้ของตัวรับแสง หมายถึง อัตราส่วนของความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงต่อความร้อนที่สามารถจะได้ ถ้าแผ่นดูดแสงมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของของไหลตรงทางเข้าของตัวรับแสง สามารถเขียนได้เป็น

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{A_c [I - U_L (T_i - T_a)]} \quad (2.13)$$

หรือ

$$F_R = \frac{\left( \dot{m} C_p \right)}{A_c U_L} \left[ e^{-\frac{(A_c U_L F')}{\dot{m} C_p}} \right] \quad (2.13a)$$

ถ้าหาร  $F_R$  ด้วย  $F'$  จะได้แฟกเตอร์การไหล ( $F''$ )

$$F'' = \frac{F_R}{F'} = \frac{\left( \dot{m} C_p \right)}{A_c U_L F'} \left[ e^{-\frac{(A_c U_L F')}{\dot{m} C_p}} \right] \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$F''$  คือ แฟคเตอร์การไหลและขึ้นอยู่กับเทอร์มไร้นหน่วย  $\frac{(\dot{m}C_p)}{A_c U_L F'}$

$F'$  คือ แฟคเตอร์ประสิทธิภาพตัวรับแสง หมายถึงอัตราส่วนของความร้อนที่สามารถใช้ประโยชน์ได้จริงต่อความร้อนที่ควรจะได้ กรณีแผงรับแสงเป็นท่อของไหลสามารถหาได้จากสมการ

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[ \frac{1}{U_L [D + (W - D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{f,i}} \right]} \quad (2.15)$$

โดย  $U_L$  สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของแผงรับแสงอาทิตย์ ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )

$D$  เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกท่อ (m)

$D_i$  เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ (m)

$W$  ระยะห่างระหว่างท่อ (m)

$F$  ประสิทธิภาพของครีป

$C_b$  ความนำความร้อนที่รอยต่อระหว่างท่อและครีป ( $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ )

$h_{f,i}$  สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของไหลภายในท่อ ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )

ประสิทธิภาพของครีปหาได้จากสมการ

$$F = \frac{\tanh[m(W - D)/2]}{[m(W - D)/2]} \quad (2.16)$$

โดย  $m$  คือมวลของของไหล (kg) หาได้จากสมการ

$$m = \left[ \frac{U_L}{K\delta_p} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย  $K$  สภาพการนำความร้อน ( $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ )

$\delta_p$  ความหนาของแผ่นครีป (m)

## 2. การหาค่า $Q_U$ จากการทดสอบ

เมื่อนำเอาแผงรับแสงไปตากแดดและวัดอัตราการไหลของของไหลอุณหภูมิของของไหลตรงทางเข้าและทางออกของตัวรับแสง จะสามารถคำนวณหาความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังสมการ

$$Q_U = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (2.18)$$

โดย  $\dot{m}$  อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

$C_p$  ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ ( $\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$ )

$T_i$  อุณหภูมิของไหลที่ทางเข้า ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_o$  อุณหภูมิของไหลที่ทางออก ( $^{\circ}\text{C}$ )

การหาค่า  $Q_U$  ในทางทฤษฎีมีความยุ่งยากพอสมควรเนื่องจากเกี่ยวข้องกับค่าแฟลตเตอร์หลายตัว ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า  $Q_U$  จากการทดสอบ สมการที่ 2.11 เขียนใหม่ได้เป็น

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{A_c I} \quad (2.19)$$

### 2.6.2 แผงรับแสงอาทิตย์แบบรวมแสง ( Focusing collectors )

แผงรับแสงอาทิตย์แบบรวมแสง ( Focusing collectors ) ทำหน้าที่คล้ายแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบ คือรับพลังงานแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของพลังงานความร้อนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ แผงรับแสงอาทิตย์แบบรวมแสงประกอบด้วยสามส่วนที่สำคัญคือ

คอนเซนเทรเตอร์ (Concentrator) หรือส่วนที่ทำหน้าที่รับและรวมแสงอาทิตย์เข้าด้วยกัน รีซีฟเวอร์ (Receiver) หรือหน่วยรับพลังงาน และชุดขับเคลื่อน (Driving unit)

คอนเซนเทรเตอร์ ทำหน้าที่รับแสงอาทิตย์แล้วรวมแสงเข้าด้วยกันให้มีความเข้มข้นขึ้นกว่าความเข้มแสงอาทิตย์ปกติแล้วส่งต่อไปให้รีซีฟเวอร์ รีซีฟเวอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาทิตย์ที่รับได้ให้อยู่ในรูปของพลังงานความร้อนเช่นน้ำร้อน ส่วนชุดขับเคลื่อนทำหน้าที่ขับเคลื่อนให้คอนเซนเทรเตอร์หมุนติดตามดวงอาทิตย์

เนื่องจากผิวรับแสงมีพื้นที่น้อย จึงช่วยลดการสูญเสียความร้อนได้มากกว่าตัวรับแสงแบบแผ่นราบ นี่คือเหตุผลสำคัญในการใช้ตัวรับแสงแบบนี้ อย่างไรก็ตาม ตัวรับแสงระบบนี้ก็มีข้อเสีย หรืออุปสรรคดังนี้

ก. ระบบนี้จะรับเฉพาะรังสีตรงเท่านั้น จึงสูญเสียรังสีกระจายไป

ข. มีการสูญเสียเนื่องจากความคาดเคลื่อนทางแสง วิธีแก้ก็คือ ต้องมีการออกแบบสร้างเครื่องมือของระบบให้ถูกต้องแม่นยำ ซึ่งทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก

ค. ต้องติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ เพื่อให้สามารถรับรังสีตรงได้ตลอดเวลา

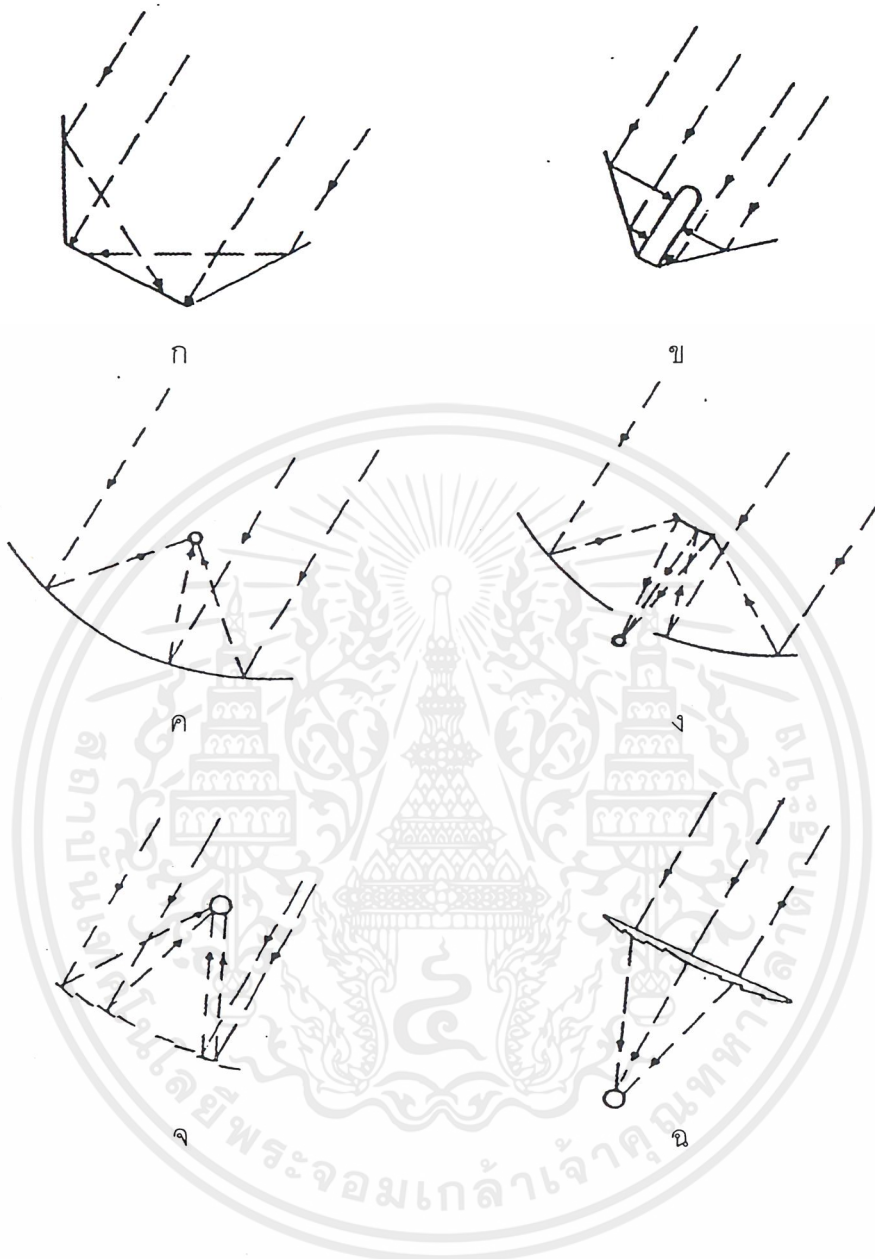
ง. ผิวสะท้อนแสงและผิวหักเหได้รับฝุ่นและความชื้นจากบรรยากาศตลอดเวลา ต้องหมั่นดูแลรักษาความสะอาดเสมอ

ส่วนประกอบที่สำคัญของแผงรับแสงแบบรวมแสง

คอนเซนเทรเตอร์ (Concentrator) รีซีฟเวอร์ (Receiver)

แผงรับแสงอาทิตย์แบบรวมแสงอาจแบ่งได้เป็นสามชนิดตามลักษณะการทำงานของคอนเซนเทรเตอร์ ชนิดหักเหแสง(Refractive collector optics) ชนิดสะท้อนแสงและรวมแสง (Mirror collector optics) และชนิดสุดท้ายชนิดสะท้อนแสงและรวมแสงอยู่กับที่(Fixed mirror collectors) แต่ละชนิดมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ชนิดหักเหแสง (Refractive collector optics) คอนเซนเทรเตอร์ทำด้วยวัสดุโปร่งใส เช่น แก้ว พลาสติกใส รูปร่างคอนเซนเทรเตอร์ต้องมีลักษณะที่แสงอาทิตย์เมื่อตกลงบนคอนเซนเทรเตอร์แล้วจะหักเห (Refract) ไปรวมที่บริเวณที่รีซีฟเวอร์ติดตั้งอยู่ แผงรับแสงอาทิตย์แบบนี้ต้องหมุนติดตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา คอนเซนเทรเตอร์มีหลายแบบ เช่น เป็นเลนส์นูนซึ่งรวมแสงได้ดี แต่มีน้ำหนักมาก โครงสร้างของแผงรับต้องแข็งแรง พลาสติกใสขึ้นรูปให้ผิวหน้ามีภาคตัดขวางคล้ายฟันเลื่อยก็ใช้แทนเลนส์นูนได้ มีน้ำหนักเบาและราคาต่ำกว่า จึงนิยมใช้มากกว่าแบบแรก

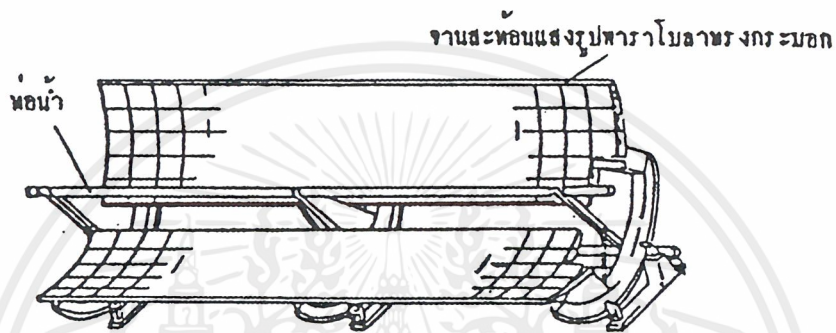


รูปที่ 2.20 ระบบรวมแสง

- ก. ผิวรับแสงแบบราบ, ผิวสะท้อนแสงแบบราบ
- ข. ผิวรับแสงรูปทรงกระบอก, ผิวสะท้อนรูปโคน
- ค. ตัวรวมแสงแบบพาราโบลา
- ง. ตัวรวมแสงแบบพาราโบลา
- จ. ตัวสะท้อนแบบเฟรสเนล
- ฉ. ตัวหักเหแบบเฟรสเนล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ชนิดสะท้อนและรวมแสง(Mirror collector optics) คอนเซนเทรเตอร์ทำด้วยวัสดุที่มีผิวหน้าสะท้อนแสง เช่น โลหะแผ่นผิวขัดมัน กระจกเงา เป็นต้น รูปหน้าตัดของคอนเซนเทรเตอร์ทำเป็นรูปโค้งเช่นครึ่งทรงกลม พาราโบลา คอนเซนเทรเตอร์ต้องหันหน้ารับแสงอาทิตย์ แสงที่สะท้อนจากคอนเซนเทรเตอร์จะไปรวมกันที่บริเวณรีซีฟเวอร์ที่ตั้งอยู่ คอนเซนเทรเตอร์และรีซีฟเวอร์ต้องหมุนไปด้วยกัน



รูปที่ 2.21 แผงรับแสงอาทิตย์แบบรวมแสงชนิดสะท้อนและรวมแสง

1.3 ชนิดสะท้อนแสงและรวมแสงอยู่กับที่(Fixed mirror collectors) ชนิดนี้ คอนเซนเทรเตอร์และรีซีฟเวอร์ติดตั้งอยู่กับที่ ขนาดคอนเซนเทรเตอร์ที่เท่ากันแผงรับแสงอาทิตย์ชนิดนี้จะมีขนาดรีซีฟเวอร์โตกว่าชนิดสะท้อนและรวมแสง ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ได้จึงต่ำกว่าชนิดสะท้อนและรวมแสงด้วย

## 2.7 การติดตั้งอุปกรณ์แสงอาทิตย์

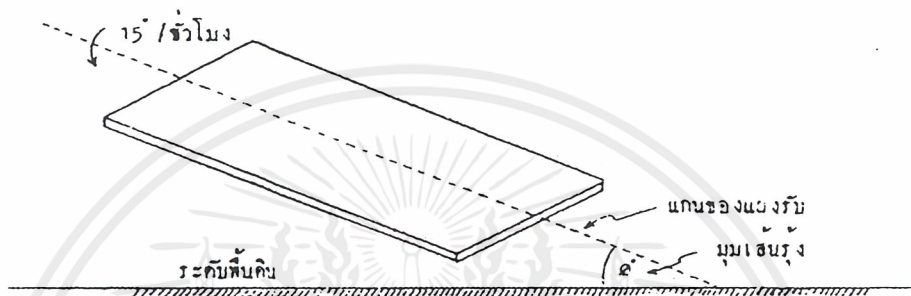
ก. กรณีติดตั้งอยู่กับที่ที่จะต้องวางให้แกนของแผงรับอยู่ในแนวเหนือใต้ องศาและแกนของแผงรับทำมุมยกขึ้นกับพื้นดินเท่ากับเส้นรุ้งของตำบลนั้น เช่น กรุงเทพฯตั้งอยู่ที่เส้นรุ้ง 13 องศา ต้องวางให้แกนของแผงรับชี้ไปทางเหนือและแผงรับทำมุมยกขึ้น 13 องศา

ข. การติดตั้งให้หมุนติดตามดวงอาทิตย์(Tracking) มี 2 ระบบ

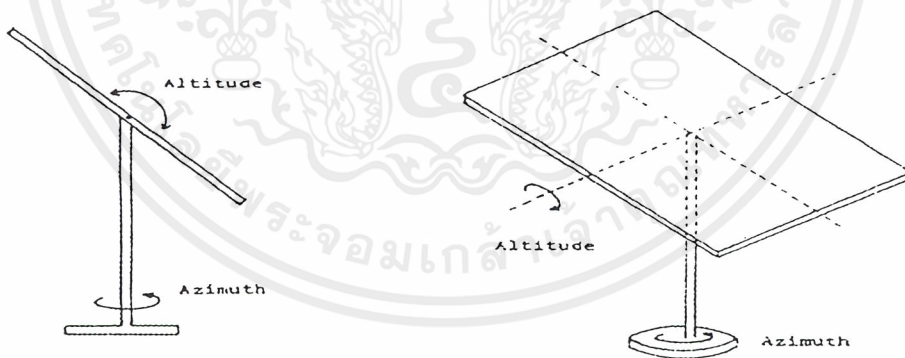
1. ระบบอิกเวเตอร์ (Equatorial mounting) ติดตั้งแบบเดียวกับข้อ ก. เพียงแต่ใช้เครื่องย่นค้ำให้แผงรับแสงหมุนรอบแกนของแผงรับด้วยอัตราวันละหนึ่งรอบ และในกรณีต้องการให้ถูกต้องมากขึ้น (เช่นการวัดรังสีตรง) ก็ต้องปรับให้เคลื่อนตามดวงอาทิตย์ตามฤดูกาล ดังรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบอซิมูท (Azimuth mounting) เป็นการติดตามดวงอาทิตย์ในระบบมุมอซิมูท และลองติจูด โดยทั้งสองค่านี้เปลี่ยนแปลงทุกนาที ระบบนี้จึงจำเป็นต้องควบคุมเครื่องยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยคอมพิวเตอร์ เช่น การติดตามดวงอาทิตย์ของกระจกสะท้อนแสงในระบบหอพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.22 ระบบเส้นศูนย์สูตร หรือ Equatorial mounting



รูปที่ 2.23 ระบบเส้นขอบฟ้า หรือ Azimuth mounting

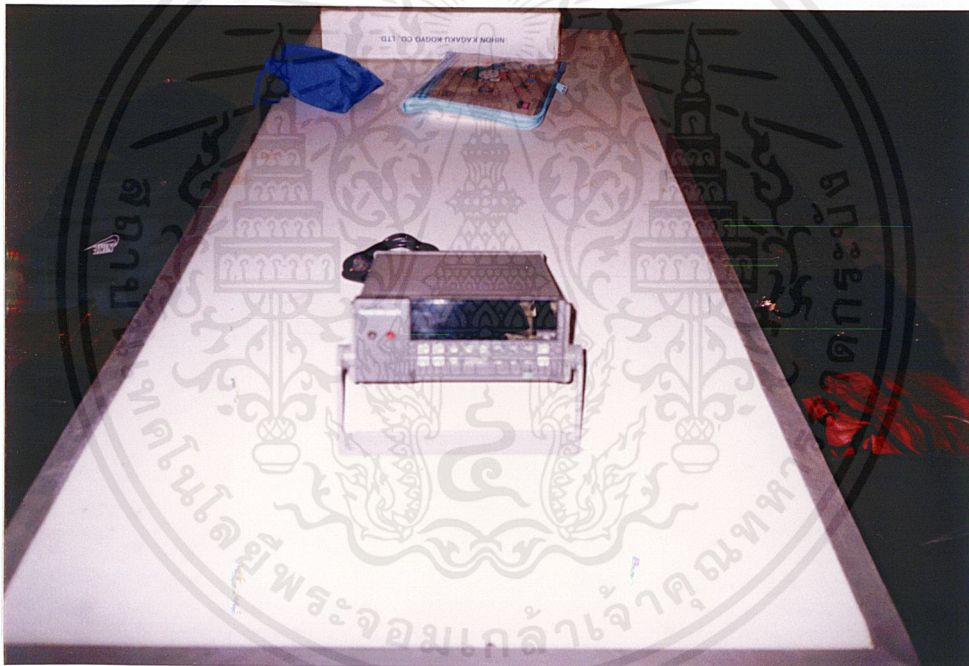
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### ขั้นตอนการดำเนินงาน

#### 3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) FLUKK HYDRA ,2620A INPUT MODULE เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกค่าอุณหภูมิที่จุดต่างๆ โดยอุปกรณ์ตัวนี้จะต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิ้ล ซึ่งปลายอีกข้างหนึ่งจะนำไปไว้ในจุดที่ต้องการอ่านค่าอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)

3.1.2 สายเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K glass braided ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 มิลลิเมตร เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิ โดยนำไปต่อกับเครื่อง Data Logger

3.1.3 เครื่องวัดความเร็วลม Kanomax Anemomaster Model-6631 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วลมในขณะที่ทดลอง และ ความเร็วลมในการดูดลมของโบเวอร์ โดยการนำตัว Sensor ไปไว้ยังจุดที่ต้องการวัดค่าความเร็วลม ดังแสดงในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความเร็วลม

### 3.1.4 อุปกรณ์หาความชื้น

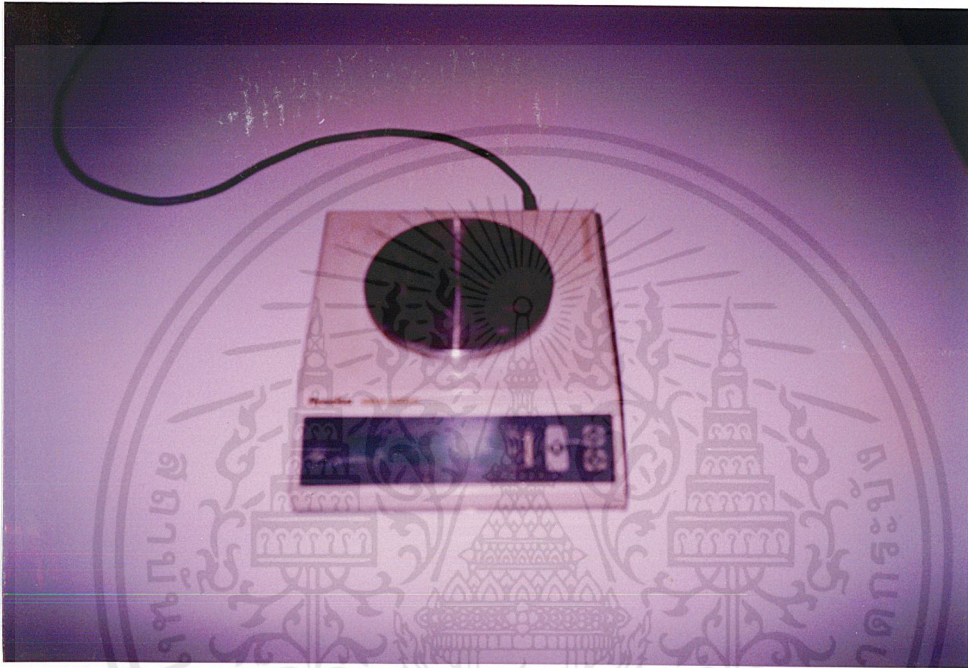
3.1.4.1 เครื่องอบแห้ง Memmert Type Ulm500 Nenntemp 220 °C เป็นอุปกรณ์ที่ใช้อบลดความชื้นของวัสดุเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อยู่ในเนื้อวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก Precisa 500M-2000C, Becthai 2000 ก. เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการชั่งน้ำหนักของวัสดุก่อนเข้าเครื่องอบลดความชื้นและหลังจากออกจากเครื่องอบลดความชื้นเพื่อนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก

## 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

### 3.2.1 การสร้างเครื่อง

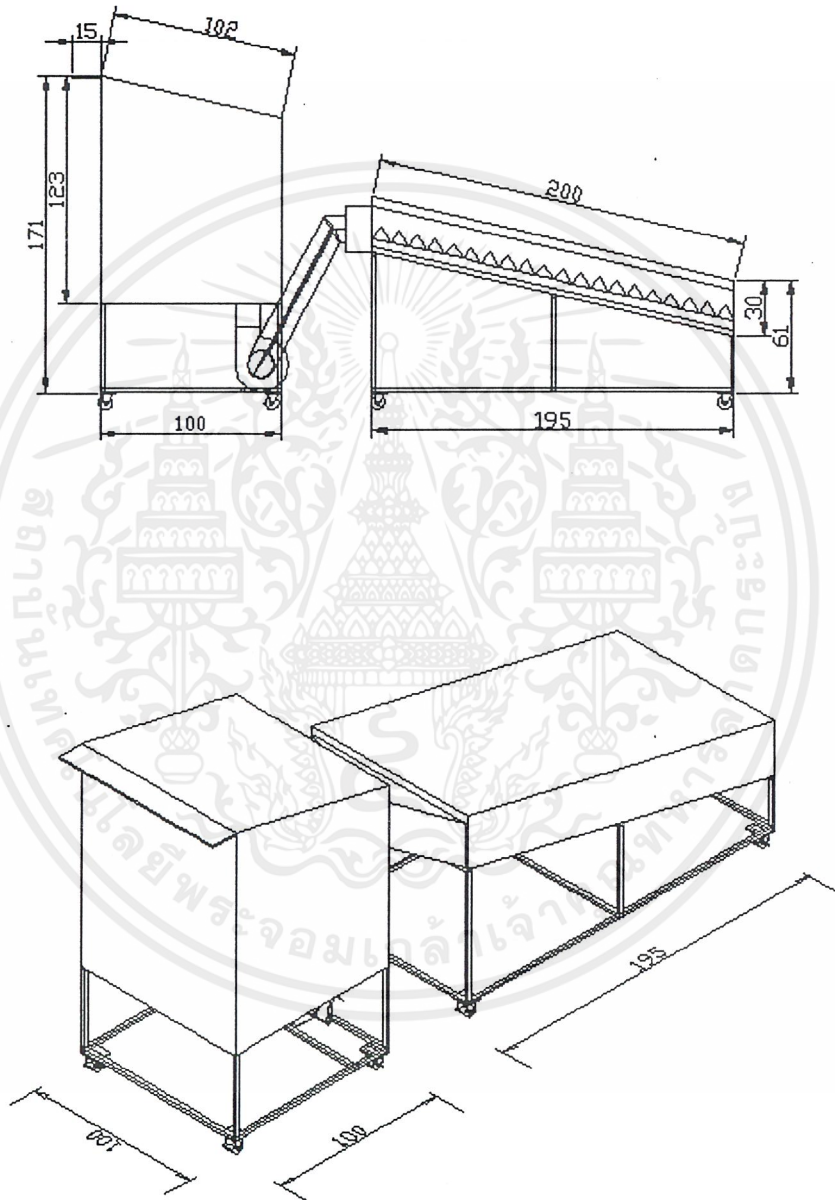
การสร้างเครื่องแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

#### 3.2.1.1 ส่วนของตู้อบ

มีลักษณะรูปร่างเป็นตู้สี่เหลี่ยม ขนาด ก × ย × ส (1×1×1.5) เมตร ด้านบนทำมุมเอียง 13 องศา กับแนวระดับ ออกแบบให้เป็น Greenhouse โดยการติดพลาสติกชนิดโปร่งใสด้านบนตู้ ในตู้มีตะแกรงวางผลผลิต 4 ชั้น แต่ละชั้นห่างกัน 20 เซนติเมตร ภายในและภายนอกตู้ ทาด้วยสีดำด้าน ส่วนด้านล่างเป็นช่องทางลมร้อนที่ดูดมาจากแผงรับแสง ควบคุมร้อนโดยใช้ blower ขนาดใบพัด 6 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมอเตอร์ที่ใช้ขับ blower ขนาด  $\frac{1}{4}$  แรงม้า ความเร็วรอบ 1445 rpm และมีช่องเปิดระบายความชื้น  
ออกทางด้านบนของตู้ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



หน่วย: เซนติเมตร

รูปที่ 3.5 แบบแสดงขนาดเครื่องอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การวางตะแกรงภายในตู้อบแห้ง



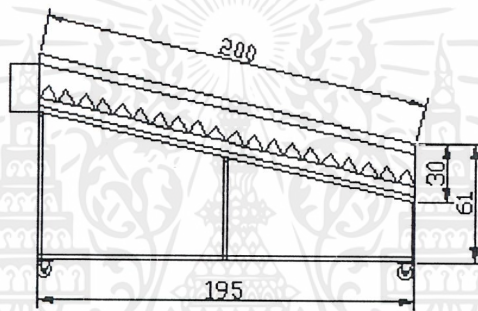
รูปที่ 3.7 ตู้อบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

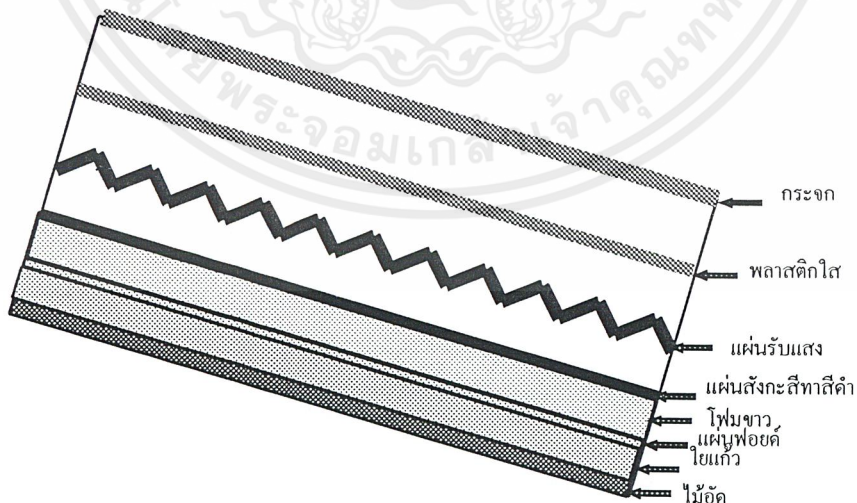
### 3.2.1.2 แผงรับแสงอาทิตย์

มีขนาด 2 ตารางเมตร วางเอียง 13 องศา กับแนวระดับ ส่วนบนใช้แผ่นโพรังแสง 2 ชั้น และมีฉนวน ปิดด้านล่าง และ ด้านข้าง ส่วนผิวรับแสงออกแบบให้เป็นครีบริบเพื่อเพิ่มพื้นที่ดูดซับความร้อน ที่ผิวภายในและนอกทาด้วยสีดำด้าน ดังแสดงในรูปที่ 3.10

ทั้งสองส่วนที่กล่าวมานี้นำมาเชื่อมต่อกันด้วยท่อฟอยด์และมีล้อเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.8 แบบแผงรับแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.9 ภาพตัดตามยาวของแผงรับแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แผงรับแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.11 เครื่องอบแห้งทั้งสองส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 การเชื่อมต่อตู้อบแห้งกับแผงรับแสงด้วยท่อฟอยด์

### 3.2.2 การทดสอบสมรรถนะ

วิธีการทดสอบมีรายละเอียดสามารถสรุปได้ดังนี้

#### 3.2.2.1 การทดสอบที่เกี่ยวกับตัวตู้อบแห้งและแผงรับแสง(Dryer and Collector)

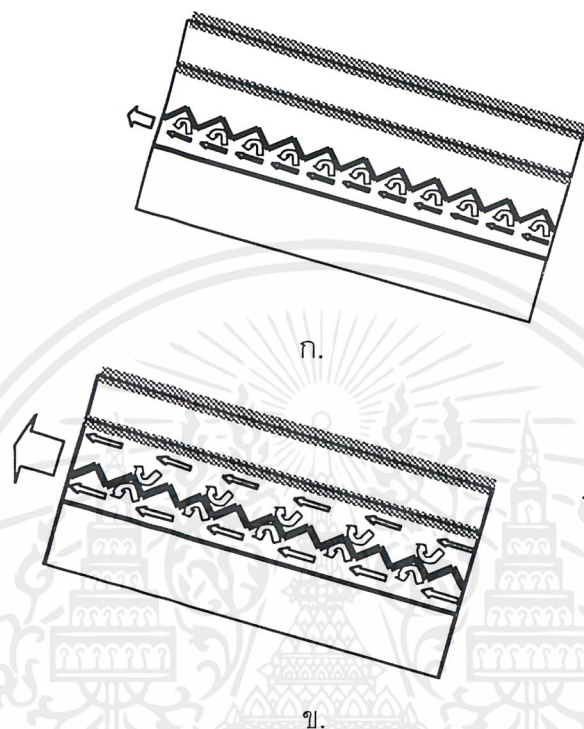
ก. นำแผงรับแสง(collector) ไปตากแดดที่สภาพท้องฟ้าโปร่ง ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. โดยตัวแผงรับแสงมีแผ่นพลาสติกโปร่งใสปิดด้านบน จำนวน 1 ชั้นและมีการปิดทางเข้าออกของอากาศวัดอุณหภูมิของแผ่นรับแสงและพลาสติกใส ได้อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละชั่วโมงนำมาคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน

ข. ทำเหมือนข้อ ก. แต่ตัวแผงรับแสงจะมีกระจกเพิ่มมาอีก 1 ชั้นและวัดอุณหภูมิของกระจกเพิ่มขึ้นมาแล้วนำมาคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนเปรียบเทียบระหว่าง 1 ชั้นกับ 2 ชั้น

ค. ทดสอบการปรับเปลี่ยนทิศทางการไหลของลมร้อนในแผงรับแสงอาทิตย์ โดยแบ่งเป็นการทดสอบให้ลมร้อนไหล 2 ทิศทางกับให้ไหลทิศทางเดียวดังรูปที่ 3.13 วัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ภายในแผงรับแสงอาทิตย์ แล้วนำค่าอุณหภูมิที่ได้มาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน และวัดค่าอุณหภูมิลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนภายในตู้อบที่ดูมาจากแผงรับแสงอาทิตย์ นำมาเปรียบเทียบระหว่างการไหล 2 ทิศทางกับการไหล  
ทิศทางเดียว



รูปที่ 3.13 การไหลของลมร้อนทิศทางเดียว (ก.) และ ไหลสองทิศทาง (ข.)

- ง. นำตู้อบ(Dryer) ไปตากแดดที่สภาพท้องฟ้าโปร่งโดยส่วนบนของตู้อบติดตั้งพลาสติกโปร่งใส 1 ชั้น  
ช่วงเวลาการทดลอง 9.00 น. ถึง 16.00 น. วัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆของตู้อบทุกๆชั่วโมง
- จ. ทำเหมือนข้อ ง. แต่จะปิดส่วนบนของตู้อบให้ทึบแสง วัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆของตู้อบเปรียบเทียบ  
อุณหภูมิเมื่อมี Greenhouse กับ ไม่มี Greenhouse

#### 3.2.2.2. การทดลองอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร

เลือกพลาสติกมาทดลองอบแห้ง เติมน้ำที่อัตราการไหลของลมร้อน  $5.1 \text{ m}^3/\text{min}$  นำปลา  
สดสดจำนวน 1.5 kg มาวางในชั้นของตู้อบโดยวางพลาสติกที่ชั้นล่างน้อยที่สุดแล้วเพิ่มมากขึ้นเมื่ออยู่  
ชั้นบนเพราะความชื้นที่ถูกลำออกมาจากชั้นล่างจะลอยขึ้นไปชั้นบนทำให้พลาสติกในชั้นบนแห้งไม่เท่า  
กับชั้นล่าง และอีกส่วนหนึ่งนำปลาสดจำนวน 1.5 kg มาตากแห้งธรรมดา ทุกๆ ชั่วโมงนำพลาสติก  
บางส่วนทั้งภายในตู้อบและการตากแห้งมาหาความชื้นที่เหลืออยู่ในตัวพลาสติกแล้วนำค่าความชื้นที่ได้  
มาเปรียบเทียบกัน ใช้เวลาทดสอบ 5 ชั่วโมงตั้งแต่ 10.00 น.ถึง 15.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

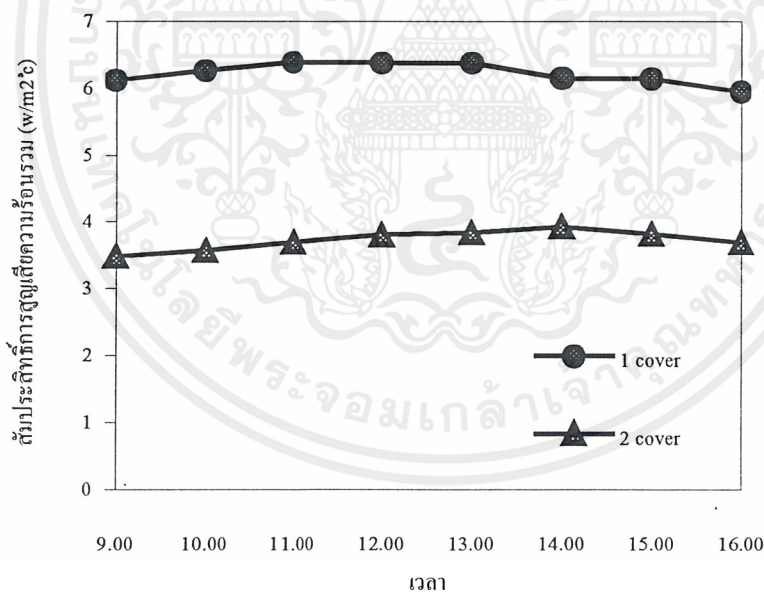
### ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ผลการทดสอบ

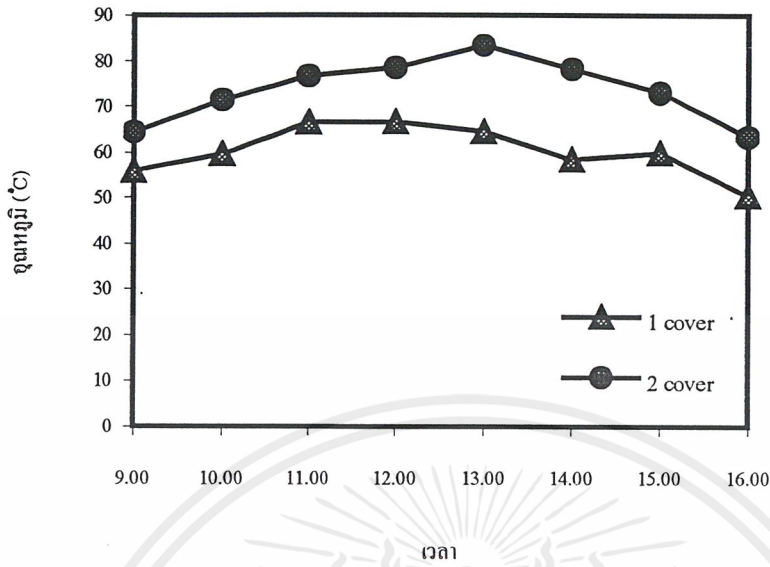
ผลการทดสอบมีรายละเอียดสามารถสรุปได้ดังนี้

##### 4.1.1 ผลการทดสอบ cover 1 ชั้น กับ cover 2 ชั้น

การทดสอบเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนในส่วนแผงรับแสงอาทิตย์ระหว่าง cover 1 ชั้น กับ cover 2 ชั้น ผลการทดสอบแสดงไว้ในกราฟรูปที่ 4.1. จากกราฟพบว่า การใช้ cover 2 ชั้นสามารถลดสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านบนของแผงรับแสงลงได้ 40-45 % และจากกราฟอุณหภูมิของแผ่นรับแสงดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.2 พบว่า การใช้ cover 2 ชั้นทำให้อุณหภูมิของแผ่นรับแสงเพิ่มขึ้นประมาณ  $10^{\circ}\text{C}$  ทำให้อุณหภูมิที่แผงรับแสงอาทิตย์ผลิตได้สูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการอบแห้งสูงขึ้นตามไปด้วย



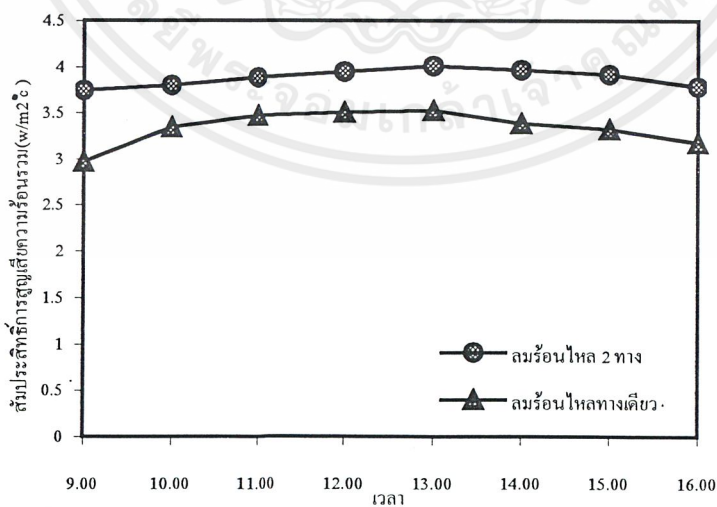
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมที่ตัวรับแสง



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิแสงรับแสง

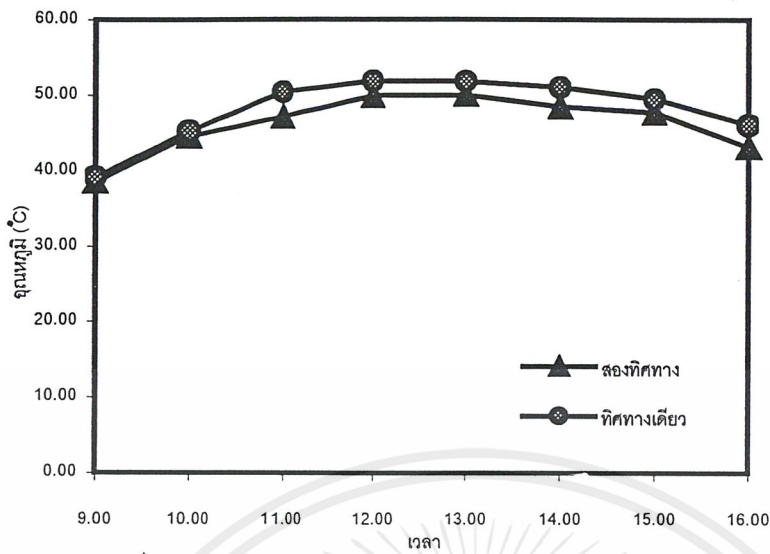
#### 4.1.2 ผลการทดสอบปรับเปลี่ยนทิศทางการไหลของลมร้อน

การทดสอบปรับเปลี่ยนทิศทางการไหลของลมร้อน จากกราฟรูปที่ 4.3 พบว่าการไหลของลมร้อนทิศทางเดียวมีสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมน้อยกว่าการไหลของลมร้อน 2 ทิศทาง 13-15 % ทำให้อุณหภูมิลมร้อนในตู้อบแห้งเพิ่มขึ้น 3-4 °C ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม

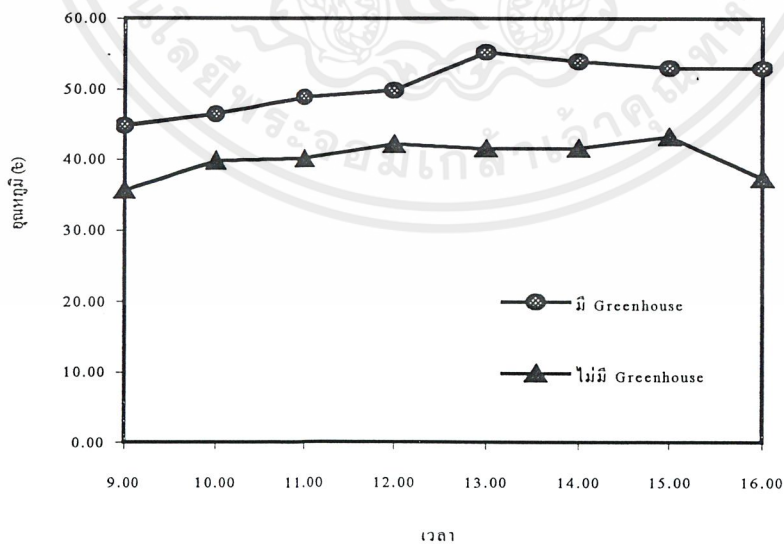
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง

#### 4.1.3 ผลการทดสอบระบบ Greenhouse

การทดสอบเปรียบเทียบการมีระบบ Greenhouse กับ ไม่มีระบบ Greenhouse ในส่วนตู้อบแห้ง พบว่า การมีระบบ Greenhouse สามารถเพิ่มอุณหภูมิในตู้อบแห้งได้ 5-10 °C ค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบทั้งสองแบบได้นำมาเปรียบเทียบและแสดงไว้ในกราฟรูปที่ 4.5

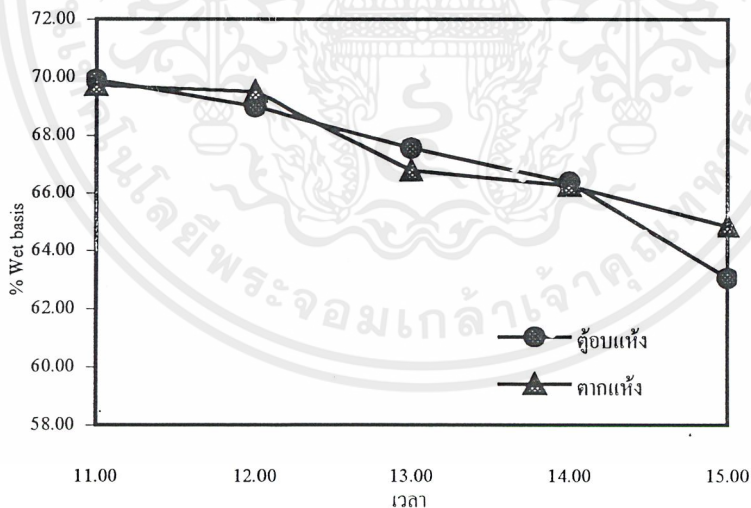


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเมื่อมีระบบ Greenhouse และไม่มีระบบ Greenhouse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 ผลการทดสอบอบแห้งพลาสติก

ผลการทดสอบอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรจริงโดยการอบแห้งพลาสติกผลการทดสอบโดยการใช้เครื่องอบแห้งพบว่าสามารถลดความชื้นของพลาสติกจาก 70%(Wet basis) เหลือ 63 % ส่วนการตากแห้งสามารถลดความชื้นพลาสติกจาก 70 %(Wet basis) เหลือ 65 % ทั้งสองกรณีนี้ทดสอบภายในเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นจากผลการทดสอบพบว่าความชื้นที่สามารถลดลงได้มีค่าใกล้เคียงกันเป็นเพราะเงื่อนไขภายในของพลาสติก กล่าวคือความชื้นที่อยู่ภายในตัวพลาสติกจะออกมาไม่ทันกับการระเหยที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนที่ผิวของพลาสติก ถึงแม้อุณหภูมิภายในตู้อบจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกก็ตาม จากรูปที่ 4.6 พบว่าความชื้นในตัวพลาสติกยังไม่ถึงจุดอิ่มตัวคือกราฟยังมีแนวโน้มที่จะลดลงอีก ต้องมีการอบต่อไปจนถึงความชื้นอิ่มตัวจึงจะสามารถเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งกับการตากแห้งได้อย่างถูกต้อง แต่พลาสติกที่ได้จากเครื่องอบแห้งมีความสะอาดไม่มีฝุ่นผงเกาะติดตัวปลาเมื่อนำไปทอดและทดลองชิมพบว่ารสชาติที่ได้อยู่ในขั้นมาตรฐานคือ ไม่มีกลิ่นเหม็นหืนและเนื้อปลาไม่แห้งจนเกินไปเป็นที่น่าพึงพอใจ



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของพลาสติกเมื่อใช้ตู้อบแห้งกับการตากแห้งธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การคำนวณ

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนและค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ สามารถแบ่งการคำนวณออกเป็น 4 กรณีคือ

### 4.2.1 การคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงเมื่อใช้ cover 1 ชั้น

การทดสอบวันที่ 22 พฤศจิกายน 2542 เวลา 13.00น. มีข้อมูลดังนี้

ระยะห่างระหว่างแผ่นดูดแสงกับ cover ( $L$ )	= 13.5 cm.
ตัวรับแสงมีความเอียงกับแนวระดับ ( $S$ )	= 13 องศา
สภาพการแผ่รังสีของแผ่นดูดแสง ( $\epsilon_p$ )	= 0.95
สภาพการแผ่รังสีของแผ่น cover ( $\epsilon_c$ )	= 0.85
อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดแสง ( $T_p$ )	= 64.47 °C
อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่น cover ( $T_c$ )	= 44.30 °C
อุณหภูมิบรรยากาศ ( $T_a$ )	= 31.50 °C
ความเร็วลม ( $V$ )	= 2.62 m <sup>2</sup> /s



รูปที่ 4.7 วงจรในการคำนวณของ 1 cover

การคำนวณหาค่าการสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์

จาก 
$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2}$$

โดย 
$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสู่บรรยากาศจากสมการของ Mc Adams

$$\begin{aligned} h_w &= 5.7 + 3.8V \\ &= 5.7 + 3.8(2.62) \\ &= 15.656 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจาก cover สู่บรรยากาศ

$$h_{r,c-a} = \frac{\delta \epsilon_c (T_c^4 - T_{sky}^4)}{T_c - T_a}$$

โดย

$$\begin{aligned} T_{sky} &= 0.0552 T_a^{1.5} \\ &= 0.0552 (304.5)^{1.5} \\ &= 293.3 \text{ K} \end{aligned}$$

$$h_{r,c-a} = \frac{(5.67 \times 10^{-8})(0.85)((317.3)^4 - (293.3)^4)}{317.3 - 304.5}$$

$$= 10.30 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

ดังนั้น

$$R_1 = \frac{1}{15.656 + 10.30}$$

$$= 0.03853 \text{ (m}^2\text{ }^\circ\text{C)/W}$$

หา

$$R_2 = \frac{1}{h_{p-c} + h_{r,p-c}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย 
$$h_{p-c} = \frac{NuK}{L}$$

หา  $Nu$  จาก 
$$Nu = \left[ 0.060 - 0.017 \left( \frac{S}{90} \right) \right] Gr^{\frac{1}{3}}$$

โดย 
$$Gr = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_{av}}$$

$$T_{av} = \frac{T_p + T_c}{2} = \frac{337.47 + 317.3}{2} = 327.40 \text{ K}$$

$$\beta = \frac{1}{327.40} = 0.003055 \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta T = T_p - T_c = 337.47 - 317.3 = 20.17 \text{ K}$$

Kinematic viscosity ของอากาศที่อุณหภูมิ 327.40 K,  $\nu = 1.86 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

ดังนั้น 
$$Gr = \frac{(9.81)(0.003055)(20.17)(0.135)^3}{(1.86 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 4.31 \times 10^6$$

ดังนั้น 
$$Nu = \left[ 0.060 - 0.017 \left( \frac{13}{90} \right) \right] (4.31 \times 10^6)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 9.36$$

สภาพการนำความร้อนของอากาศที่อุณหภูมิ 327.40 K,  $K = 0.0283 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

$$h_{p-c} = \frac{(9.36)(2.83 \times 10^{-2})}{0.135}$$

$$= 1.96 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

หาสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจาก

$$h_{r,p-c} = \frac{\delta(T_p + T_c)(T_p^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1}$$

$$= \frac{(5.67 \times 10^{-8})(337.47 + 317.3)(337.47^2 + 317.3^2)}{\frac{1}{0.95} + \frac{1}{0.85} - 1}$$

$$= 6.48 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ดังนั้น

$$R_2 = \frac{1}{1.96 + 6.48}$$

$$= 0.118 \text{ (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)/W}$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม

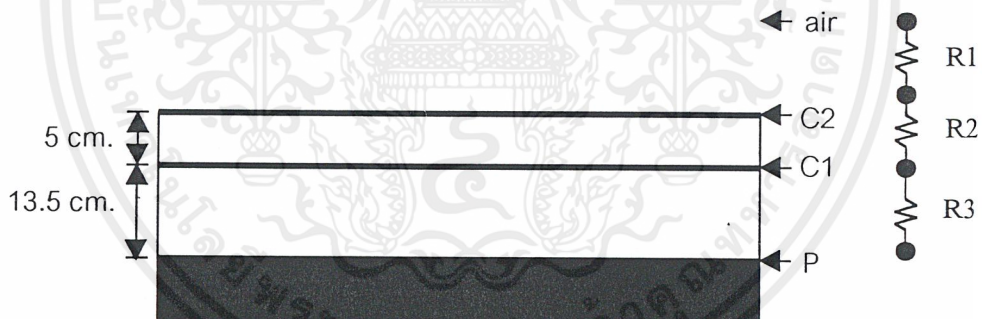
$$U_t = \frac{1}{0.03853 + 0.118}$$

$$= 6.369 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงเมื่อใช้ cover 2 ชั้น  
การทดสอบวันที่ 24 พฤศจิกายน 2542 เวลา 13.00น. มีข้อมูลดังนี้

ระยะห่างระหว่างแผ่นดูดแสงกับ cover1	= 13.5 cm.
ระยะห่างระหว่าง cover1 กับ cover2	= 5 cm
ตัวรับแสงมีความเอียงกับแนวระดับ ( $S$ )	= 13 องศา
สภาพการแผ่รังสีของแผ่นดูดแสง ( $\epsilon_p$ )	= 0.95
สภาพการแผ่รังสีของแผ่น cover 1 ( $\epsilon_{c1}$ )	= 0.85
สภาพการแผ่รังสีของแผ่น cover 2 ( $\epsilon_{c2}$ )	= 0.94
อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดแสง ( $T_p$ )	= 83.5 °C
อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่น cover1 ( $T_{c1}$ )	= 79.8 °C
อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่น cover2 ( $T_{c2}$ )	= 54.3 °C
อุณหภูมิบรรยากาศ ( $T_a$ )	= 33.2 °C
ความเร็วลม ( $V$ )	= 2.62 m <sup>2</sup> /s



รูปที่ 4.8 วงจรในการคำนวณของ 2 cover

การคำนวณหาการสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์

จาก 
$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

โดย 
$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_{r,c2-a}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสู่บรรยากาศจากสมการของ Mc Adams

$$\begin{aligned} h_w &= 5.7 + 3.8V \\ &= 5.7 + 3.8(2.62) \\ &= 15.656 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจาก Cover2 สู่บรรยากาศ

$$h_{r,c2-a} = \frac{\delta \varepsilon_{c2} (T_{c2}^4 - T_{sky}^4)}{T_{c2} - T_a}$$

โดย

$$\begin{aligned} T_{sky} &= 0.0552 T_a^{1.5} \\ &= 0.0552 (306.2)^{1.5} \\ &= 295.77 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{r,c2-a} &= \frac{(5.67 \times 10^{-8})(0.94)((327.3)^4 - (295.77)^4)}{327.3 - 306.2} \\ &= 9.657 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{1}{15.656 + 9.657} \\ &= 0.00395 \text{ (m}^2 \text{ }^\circ\text{C)/W} \end{aligned}$$

หา

$$R_2 = \frac{1}{h_{cl-c2} + h_{r,cl-c2}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจาก cover1 ไป cover2

$$h_{c1-c2} = \frac{NuK}{L}$$

$$Nu = \left[ 0.060 - 0.017 \left( \frac{S}{90} \right) \right] Gr^{\frac{1}{3}}$$

$$Gr = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_{av}}$$

$$T_{av} = \frac{T_{c1} + T_{c2}}{2}$$

$$= \frac{352.8 + 327.3}{2}$$

$$= 340.05 \text{ K}$$

$$\beta = \frac{1}{340.05} = 0.00294 \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta T = T_{c1} - T_{c2}$$

$$= 352.8 - 327.3 = 25.5 \text{ K}$$

Kinematic viscosity ของอากาศที่อุณหภูมิ 340.05 K,  $\nu = 1.98 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

ดังนั้น

$$Gr = \frac{(9.81)(0.00294)(25.5)(0.05)^3}{(1.98 \times 10^{-5})^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 2.34 \times 10^5$$

$$Nu = \left[ 0.060 - 0.017 \left( \frac{13}{90} \right) \right] (2.34 \times 10^5)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 3.55$$

สภาพการนำความร้อนของอากาศที่อุณหภูมิ 340.05 K,  $K = 0.0292 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

$$h_{c1-c2} = \frac{(3.55)(2.92 \times 10^{-2})}{0.05}$$

$$= 2.07 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจาก cover1 ไป cover2

$$h_{r,c1-c2} = \frac{\delta(T_{c1} + T_{c2})(T_{c1}^2 + T_{c2}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_{c1}} + \frac{1}{\varepsilon_{c2}} - 1}$$

$$= \frac{(5.67 \times 10^{-8})(352.8 + 327.3)(352.8^2 + 327.3^2)}{\frac{1}{0.85} + \frac{1}{0.94} - 1}$$

$$= 7.199 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

ดังนั้น

$$R_2 = \frac{1}{2.07 + 7.199}$$

$$= 0.108 \text{ (m}^2\text{ }^\circ\text{C)/W}$$

หา

$$R_3 = \frac{1}{h_{p-c1} + h_{r,p-c1}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นรับแสง ไป cover1

$$h_{p-cl} = \frac{NuK}{L}$$

$$Nu = \left[ 0.060 - 0.017 \left( \frac{S}{90} \right) \right] Gr^{\frac{1}{3}}$$

$$Gr = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_{av}}$$

$$T_{av} = \frac{T_p + T_{cl}}{2}$$

$$= \frac{356.5 + 352.8}{2}$$

$$= 354.65 \text{ K}$$

$$\beta = \frac{1}{354.65} = 0.0028 \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta T = T_p - T_{cl}$$

$$= 356.5 - 352.8 = 3.7 \text{ K}$$

Kinematic viscosity ของอากาศที่อุณหภูมิ 354.65 K,  $\nu = 2.13 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

ดังนั้น

$$Gr = \frac{(9.81)(0.0028)(3.7)(0.135)^3}{(2.13 \times 10^{-5})^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 5.57 \times 10^5$$

$$Nu = \left[ 0.060 - 0.017 \left( \frac{13}{90} \right) \right] (5.57 \times 10^5)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 4.74$$

สภาพการนำความร้อนของอากาศที่อุณหภูมิ 354.65 K ,  $K = 0.0304 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

ดังนั้น

$$h_{p-cl} = \frac{(4.74)(3.04 \times 10^{-2})}{0.135}$$

$$= 1.064 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจากแผ่นรับแสง ไป cover1

$$h_{r,p-cl} = \frac{\delta(T_p + T_{cl})(T_p^2 + T_{cl}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_{cl}} - 1}$$

$$= \frac{(5.67 \times 10^{-8})(337.47 + 317.3)(337.47^2 + 317.3^2)}{\frac{1}{0.95} + \frac{1}{0.85} - 1}$$

$$= 8.229 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

ดังนั้น

$$R_3 = \frac{1}{1.064 + 8.229}$$

$$= 0.10759 \text{ (m}^2\text{ }^\circ\text{C)/W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$= \frac{1}{0.0395 + 0.108 + 0.10759} = 3.9218 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4.2.3 การคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงเมื่อให้ลมร้อนไหล 2 ทิศทาง การทดลองวันที่ 25 พฤศจิกายน 2542 เวลา 13.00น. มีข้อมูลดังนี้

ระยะห่างระหว่างแผ่นดูดแสงกับ cover1	= 13.5 cm.
ระยะห่างระหว่าง cover1 กับ cover2	= 5 cm.
ตัวรับแสงมีความเอียงกับแนวระดับ( $S$ )	= 13 องศา
สภาพการแผ่รังสีของแผ่นดูดแสง ( $\epsilon_p$ )	= 0.95
สภาพการแผ่รังสีของแผ่น cover 1 ( $\epsilon_{c1}$ )	= 0.85
สภาพการแผ่รังสีของแผ่น cover 2 ( $\epsilon_{c2}$ )	= 0.94
อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดแสง ( $T_p$ )	= 63.1 $^\circ\text{C}$
อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่น cover1 ( $T_{c1}$ )	= 55.9 $^\circ\text{C}$
อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่น cover2 ( $T_{c2}$ )	= 43.3 $^\circ\text{C}$
อุณหภูมิบรรยากาศ ( $T_a$ )	= 33.7 $^\circ\text{C}$
ความเร็วลม ( $V$ )	= 2.62 $\text{m}^2/\text{s}$
การคำนวณหาการสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์	

จาก 
$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

โดย 
$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_{r,c2-a}}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสู่บรรยากาศจากสมการของ Mc Adams

$$h_w = 5.7 + 3.8V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 5.7 + 3.8(2.62)$$

$$= 15.656 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจาก cover2 สู่อากาศ

$$h_{r,c2-a} = \frac{\delta \varepsilon_{c2} (T_{c2}^4 - T_{sky}^4)}{T_{c2} - T_a}$$

$$T_{sky} = 0.0552 T_a^{1.5}$$

$$= 0.0552(306.7)^{1.5}$$

$$= 296.49 \text{ K}$$

จะได้

$$h_{r,c2-a} = \frac{(5.67 \times 10^{-8})(0.94)((316.3)^4 - (296.49)^4)}{316.3 - 306.7}$$

$$= 12.67 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ดังนั้น

$$R_1 = \frac{1}{15.656 + 12.67}$$

$$= 0.0353 \text{ (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)/ W}$$

หา

$$R_2 = \frac{1}{h_{c1-c2} + h_{r,c1-c2}}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจาก cover1 ไป cover2

$$h_{c1-c2} = \frac{NuK}{L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Nu = \left[ 0.060 - 0.017 \left( \frac{S}{90} \right) \right] Gr^{\frac{1}{3}}$$

$$Gr = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_{av}}$$

$$T_{av} = \frac{T_{c1} + T_{c2}}{2}$$

$$= \frac{328.9 + 316.3}{2}$$

$$= 322.6 \text{ K}$$

$$\beta = \frac{1}{322.6} = 0.0031 \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta T = T_{c1} - T_{c2}$$

$$= 328.9 - 316.3 = 12.6 \text{ K}$$

Kinematic viscosity ของอากาศที่อุณหภูมิ 322.6 K,  $\nu = 1.81 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

$$Gr = \frac{(9.81)(0.0031)(12.6)(0.05)^3}{(1.81 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 1.46 \times 10^5$$

ดังนั้น

$$Nu = \left[ 0.060 - 0.017 \left( \frac{13}{90} \right) \right] (1.46 \times 10^5)^{\frac{1}{3}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 3.03$$

สภาพการนำความร้อนของอากาศที่อุณหภูมิ 322.6 K ,  $K = 0.0292 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$

$$h_{c1-c2} = \frac{(3.03)(2.92 \times 10^{-2})}{0.05}$$

$$= 1.6917 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจาก cover1 ไป cover2

$$h_{r,c1-c2} = \frac{\delta(T_{c1} + T_{c2})(T_{c1}^2 + T_{c2}^2)}{\frac{1}{\epsilon_{c1}} + \frac{1}{\epsilon_{c2}} - 1}$$

$$= \frac{(5.67 \times 10^{-8})(328.9 + 316.3)(328.9^2 + 316.3^2)}{\frac{1}{0.85} + \frac{1}{0.94} - 1}$$

$$= 6.14 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ดังนั้น

$$R_2 = \frac{1}{1.6917 + 6.14}$$

$$= 0.12768 \text{ (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)/ W}$$

หา

$$R_3 = \frac{1}{h_{p-cl} + h_{r,p-cl}}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นรับแสง ไป cover1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_{p-cl} = \frac{NuK}{L}$$

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu}$$

$$D_h = \frac{4A}{P}$$

$$D_h = \frac{4(1 \times 0.15)}{2(1 + 0.15)} = 0.26 \text{ m}$$

คุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในแผงรับแสงอาทิตย์ 323 K

$$\rho = 1.0846 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1.84 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2$$

อุณหภูมิที่ความเร็ว  $V = 0.567 \text{ m/s}$

$$Re = \frac{1.0846 \times 0.567 \times 0.26}{1.84 \times 10^{-5}}$$

$$= 8.7 \times 10^3 \quad \text{มากกว่า 2300 เป็นการไหลแบบเทอร์บูเลนต์}$$

ค่า Nu หาได้จากสมการของ Kay

$$Nu = 0.0158 Re^{0.8}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad Nu = 0.0158 (8.7 \times 10^3)^{0.8} = 22.4$$

สภาพการนำความร้อนของอากาศที่อุณหภูมิ 322.6 K,  $K = 2.82 \times 10^{-2} \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_{p-cl} = \frac{(22.6)(2.82 \times 10^{-2})}{0.135}$$

$$= 4.722 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจากแผ่นรับแสง ไป cover1

$$h_{r,p-cl} = \frac{\delta(T_p + T_{cl})(T_p^2 + T_{cl}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_{cl}} - 1}$$

$$= \frac{(5.67 \times 10^{-8})(336.13 + 328.9)(336.13^2 + 328.9^2)}{\frac{1}{0.95} + \frac{1}{0.85} - 1}$$

$$= 6.7838 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ดังนั้น

$$R_3 = \frac{1}{4.722 + 6.7838}$$

$$= 0.08691 (\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) / \text{W}$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$= \frac{1}{0.0353 + 0.12768 + 0.08691}$$

$$= 4.0016 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 การคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนและประสิทธิภาพของแผงรับแสงเมื่อให้ลมร้อนไหล 1 ทิศทาง

การทดลองวันที่ 26 พฤศจิกายน 2542 เวลา 13.00น. มีข้อมูลดังนี้

ระยะห่างระหว่างแผ่นดูดแสงกับ cover1	= 13.5 cm.
ระยะห่างระหว่าง cover1 กับ cover2	= 5 cm
ตัวรับแสงมีความเอียงกับแนวระดับ ( $S$ )	= 13 องศา
สภาพการแผ่รังสีของแผ่นดูดแสง ( $\epsilon_p$ )	= 0.95
สภาพการแผ่รังสีของแผ่น cover 1 ( $\epsilon_{c1}$ )	= 0.85
สภาพการแผ่รังสีของแผ่น cover 2 ( $\epsilon_{c2}$ )	= 0.94
อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดแสง ( $T_p$ )	= 64.23 °C
อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่น cover1 ( $T_{c1}$ )	= 61.70 °C
อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่น cover2 ( $T_{c2}$ )	= 44.50 °C
อุณหภูมิบรรยากาศ ( $T_a, T_i$ )	= 33.40 °C
ความเร็วลม ( $V$ )	= 2.62 m <sup>2</sup> /s
ค่ารังสีแสงอาทิตย์ ( $I$ )	= 643.61 W/m <sup>2</sup>
พื้นที่ผิวรับแสง ( $A_c$ )	= 2.8 m <sup>2</sup>
อัตราการไหลเชิงมวล ( $\dot{m}$ )	= 0.1 kg/s
อุณหภูมิของไหลที่ทางออก ( $T_o$ )	= 48.3 °C

การคำนวณหาการสูญเสียความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์

จาก 
$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

โดย 
$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_{r,c2-a}}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสู่บรรยากาศจากสมการของ Mc Adams

$$h_w = 5.7 + 3.8V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 5.7 + 3.8(2.62)$$

$$= 15.656 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจาก cover2 ต่อบรรยากาศ

$$h_{r,c2-a} = \frac{\delta \varepsilon_{c2} (T_{c2}^4 - T_{sky}^4)}{T_{c2} - T_a}$$

โดย

$$T_{sky} = 0.0552 T_a^{1.5}$$

$$= 0.0552(306.4)^{1.5}$$

$$= 295.05 \text{ } ^\circ\text{K}$$

ดังนั้น

$$h_{r,c2-a} = \frac{(5.67 \times 10^{-8})(0.94)((317.5)^4 - (296.05)^4)}{317.5 + 306.4}$$

$$= 11.9042 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ดังนั้น

$$R_1 = \frac{1}{15.656 + 11.9042}$$

$$= 0.03628 \text{ (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)/ W}$$

หา

$$R_2 = \frac{1}{h_{c1-c2} + h_{r,c1-c2}}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจาก cover1 ไป cover2

$$h_{c1-c2} = \frac{NuK}{L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Nu = \left[ 0.060 - 0.017 \left( \frac{S}{90} \right) \right] Gr^{\frac{1}{3}}$$

$$Gr = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_{av}}$$

$$T_{av} = \frac{T_{c1} + T_{c2}}{2}$$

$$= \frac{334.7 + 317.5}{2}$$

$$= 326.1 \text{ K}$$

$$\beta = \frac{1}{326.1} = 0.003067 \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta T = T_{c1} - T_{c2}$$

$$= 334.7 - 317.5 = 17.2 \text{ K}$$

Kinematic viscosity ของอากาศที่อุณหภูมิ 326.1 K,  $\nu = 1.85 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

$$Gr = \frac{(9.81)(0.003067)(17.2)(0.05)^3}{(1.85 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 1.9 \times 10^5$$

ดังนั้น

$$Nu = \left[ 0.060 - 0.017 \left( \frac{13}{90} \right) \right] (1.9 \times 10^5)^{\frac{1}{3}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 3.31$$

สภาพการนำความร้อนของอากาศที่อุณหภูมิ 326.1 K,  $K = 2.82 \times 10^{-2} \text{ W/m}^\circ\text{C}$

จะได้ 
$$h_{c1-c2} = \frac{(3.31)(2.82 \times 10^{-2})}{0.05}$$

$$= 1.864 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจาก cover1 ไป cover2

$$\begin{aligned} h_{r,c1-c2} &= \frac{\delta(T_{c1} + T_{c2})(T_{c1}^2 + T_{c2}^2)}{\frac{1}{\epsilon_{c1}} + \frac{1}{\epsilon_{c2}} - 1} \\ &= \frac{(5.67 \times 10^{-8})(334.7 + 317.5)(334.7^2 + 317.5^2)}{\frac{1}{0.85} + \frac{1}{0.94} - 1} \\ &= 6.344 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{1}{1.864 + 6.344} \\ &= 0.1218 \text{ (m}^2 \text{ }^\circ\text{C)/W} \end{aligned}$$

หา 
$$R_3 = \frac{1}{h_{p-c1} + h_{r,p-c1}}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นรับแสง ไป cover1

$$h_{p-c1} = \frac{NuK}{L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Nu = \left[ 0.060 - 0.017 \left( \frac{S}{90} \right) \right] Gr^{\frac{1}{3}}$$

$$Gr = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu^2}$$

$$\beta = \frac{1}{T_{av}}$$

$$T_{av} = \frac{T_p + T_{cl}}{2}$$

$$= \frac{337.23 + 334.7}{2}$$

$$= 335.97 \text{ K}$$

$$\beta = \frac{1}{335.97} = 0.002976 \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta T = T_p - T_{cl}$$

$$= 337.23 - 334.7 = 2.533 \text{ K}$$

Kinematic viscosity ของอากาศที่อุณหภูมิ 335.97 K ,  $\nu = 1.94 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

$$Gr = \frac{(9.81)(0.002976)(2.533)(0.135)^3}{(1.94 \times 10^{-5})^2}$$

$$= 4.82 \times 10^5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$Nu = \left[ 0.060 - 0.017 \left( \frac{13}{90} \right) \right] (4.82 \times 10^5)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 4.51$$

สภาพการนำความร้อนของอากาศที่อุณหภูมิ 335.97 K ,  $K = 2.89 \times 10^{-2} \text{ W/m}^\circ\text{C}$

$$h_{p-cl} = \frac{(4.74)(3.04 \times 10^{-2})}{0.135}$$

$$= 1.064 \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจากแผ่นรับแสง ไป cover1

$$h_{r,p-cl} = \frac{\delta(T_p + T_{cl})(T_p^2 + T_{cl}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_{cl}} - 1}$$

$$= \frac{(5.67 \times 10^{-8})(337.23 + 334.7)(337.23^2 + 334.7^2)}{\frac{1}{0.95} + \frac{1}{0.85} - 1}$$

$$= 6.996 \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$$

ดังนั้น

$$R_3 = \frac{1}{0.967 + 6.996}$$

$$= 0.1256 \text{ (m}^2^\circ\text{C)/W}$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{1}{0.03628 + 0.1218 + 0.1256}$$

$$= 3.5251 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

หาค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์จากสมการที่ 2.19

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{A_c I}$$

ที่อุณหภูมิเฉลี่ย  $\frac{T_o - T_i}{2} = \frac{321.3 + 306.4}{2} = 313.85 \text{ K}$

ได้ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่,  $C_p = 1006.831 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$

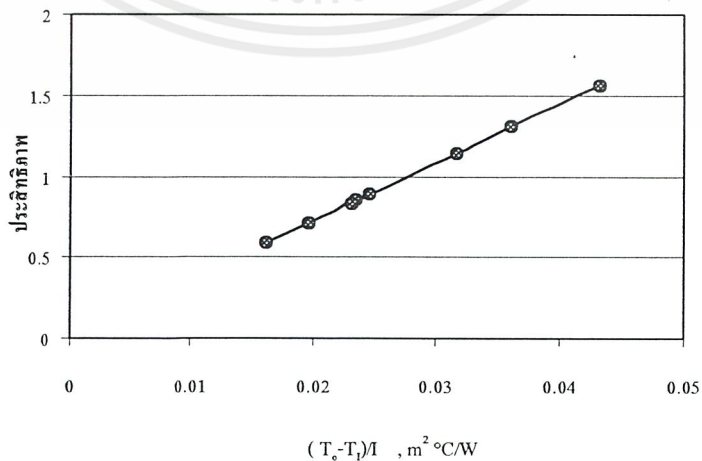
ดังนั้น 
$$\eta = \frac{0.1 \times 1006.831 (48.3 - 33.40)}{2.8 \times 643.61}$$
  

$$= 0.832$$

ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ที่เวลา 13.00 น. มีค่าเท่ากับ 83.2 %

สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์กับ

$\frac{T_o - T_i}{I}$  ได้ดังกราฟรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์กับ  $(T_o - T_i)/I$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

1. จากการทดสอบพบว่า การเพิ่มจำนวน cover จาก 1 ชั้นเป็น 2 ชั้นสามารถลดการสูญเสียความร้อนทางด้านบนของแผงรับแสงได้ เนื่องจากการเพิ่มจำนวน cover เป็นการสร้างฉนวนขึ้นทางด้านบนของแผงรับแสงซึ่งจะป้องกันไม่ให้ความร้อนผ่านออกไปได้ง่าย ทำให้ความร้อนสูญเสียทางด้านบนลดลงส่งผลให้อุณหภูมิของแผ่นดูดซับแสงสูงขึ้นและทำให้ลมร้อนที่ผลิตได้มีอุณหภูมิสูงขึ้นตาม

2. การปรับเปลี่ยนทิศทางการไหลของลมร้อนในแผงรับแสงมีผลต่ออุณหภูมิลมร้อนที่ผลิตได้ โดยการไหลทิศทางเดียวจะสามารถผลิตอุณหภูมิลมร้อนภายในตู้อบได้สูงกว่าการไหลสองทิศทาง เนื่องจากการไหลสองทิศทางมีการสูญเสียความร้อนที่แผงรับแสงมากกว่า ดังนั้นจึงเลือกใช้การไหลของลมร้อนทิศทางเดียวในการทดสอบการอบแห้งกับผลผลิตทางการเกษตร

3. การสร้างระบบ Greenhouse สามารถเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้อบได้สูงกว่าการไม่มีระบบ Greenhouse เนื่องจากการมีระบบ Greenhouse จะสามารถรับรังสีแสงอาทิตย์เข้ามาผลิตความร้อนได้อีกทางหนึ่ง

4. การอบแห้งพลาสติกโดยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ พลาสติกที่ได้จะมีความชื้นน้อยกว่าการตากแห้งทำให้สามารถเก็บไว้ได้นานกว่าเพื่อรอการจำหน่าย เหตุที่ไม่สามารถลดความชื้นได้มากกว่านี้เพราะเป็นคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการอบแห้งคือ วัสดุแต่ละชนิดเมื่ออบไปได้ระยะหนึ่งแล้วผิวของวัสดุจะแห้งทำให้ความชื้นที่อยู่ในวัสดุออกมาได้น้อยลง ดังนั้นการอบแห้งควรคำนึงถึงจุดนี้ด้วย นอกจากนี้การใช้เครื่องอบแห้งสามารถลดพื้นที่ในการตากแห้งโดยทั่วไปและพลาสติกที่ได้จากเครื่องอบแห้งมีความสะอาดถูกสุขอนามัย

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการตรวจสอบรอยรั่วอย่างดีเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนในส่วนต่างๆ ของเครื่อง ซึ่งรอยรั่วที่อาจเกิดขึ้นได้นั้นสามารถพบได้ในบริเวณรอยต่อต่าง ๆ เช่น รอยต่อของท่อพอลิเอทิลีนระหว่างแผงรับแสงอาทิตย์ กับตู้อบแห้ง บริเวณประตูของตัวตู้อบแห้งหรือบริเวณส่วนโปร่งแสงของตู้อบแห้ง การป้องกันรอยรั่วอาจทำได้โดยการซีลรอยรั่วด้วย Silicon เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดลองเปรียบเทียบควรทำที่สภาพอากาศใกล้เคียงกันให้มากที่สุด ซึ่งการทดลองในแต่ละครั้งถ้าสภาพอากาศมีความแตกต่างกันจะทำให้การเปรียบเทียบการทดสอบเกิดความผิดพลาดได้

3. ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทดสอบการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของลมร้อนเพื่อหาอัตราการไหลที่เหมาะสมในการอบแห้ง ควรมีการทดสอบหาอัตราการไหลของลมร้อนที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยเพื่อให้ได้เครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

4. ในกรณีที่สภาพท้องฟ้าไม่ค่อยมีแสงแดดควรมีการติด Heater เพื่อทำความร้อนเมื่อมีความจำเป็นที่จะต้องอบแห้ง

5. ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ ได้ใช้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ( I ) จากโปรแกรม Solar Radiation Estimation Program Version (1.1), Energy Technology, KingMongkut's Institute of Technology Thonburi. ซึ่งอาจได้ค่าที่ไม่ถูกต้องมากนัก ดังนั้นในการทดสอบประสิทธิภาพควรมีเครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ด้วยจึงจะให้ค่าการคำนวณประสิทธิภาพที่ถูกต้อง

6. ถึงแม้ว่าการเพิ่มจำนวน cover จะสามารถลดการสูญเสียความร้อนที่ collector ได้ แต่ในทางปฏิบัติแล้วพบว่า การเพิ่มจำนวน cover มากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งจะต้องสิ้นเปลืองทั้งค่าวัสดุ ค่าแรงงาน เมื่อเปรียบกับการลดการสูญเสียความร้อนที่สามารถทำได้แล้ว ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และ การเพิ่มพื้นที่รับแสงของ collector ไม่ได้ทำให้อุณหภูมิของลมร้อนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากอัตราการสูญเสียความร้อนมีมาก

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ.2542 ( cover 1 ชั้น )

ความเร็วลมเฉลี่ย 2.62 m/s

เวลา	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
อากาศ (°C)	26.90	27.70	31.30	31.30	31.50	30.30	31.50	31.10
แผ่นรับแสง (°C)	55.83	59.37	66.43	66.47	64.47	58.33	59.80	50.30
พลาสติก (°C)	38.80	38.90	47.30	47.80	44.30	43.30	46.90	39.80

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ.2542 ( cover 2 ชั้น )

ความเร็วลมเฉลี่ย 2.62 m/s

เวลา	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
อากาศ (°C)	31.50	29.70	30.90	31.80	33.20	35.30	33.40	34.60
แผงรับแสง (°C)	64.23	71.33	76.63	78.47	83.47	78.17	72.93	63.17
พลาสติก (°C)	60.30	67.60	71.80	74.80	79.80	73.80	71.30	60.00
กระจก (°C)	40.50	43.00	45.30	46.50	54.30	51.90	50.10	47.00

ตารางที่ 3 ค่าการคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

เวลา	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1 Cover	6.12	6.26	6.38	6.37	6.37	6.15	6.14	5.94
2 Cover	3.47	3.57	3.67	3.71	3.78	3.68	3.56	3.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ.2542 ( การไหลของลมร้อน 2 ทิศทาง )

ความเร็วลมเฉลี่ย 2.62 m/s

ความเร็วลมที่ดูดจากแผงรับแสง 0.567 m/s

เวลา	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
อากาศ (°C)	28.80	30.30	31.50	31.50	33.70	33.30	33.30	32.30
แผงรับแสง (°C)	50.13	51.80	55.50	59.23	63.13	57.80	54.10	45.53
พลาสติก (°C)	44.80	47.20	48.90	52.40	55.90	52.10	51.00	44.70
กระจก (°C)	38.80	40.10	39.00	40.70	43.30	40.80	40.80	38.40
ภายในตู้อบ (°C)	38.50	44.50	47.14	49.88	50.00	48.42	47.66	43.10

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบวันที่ 26 พฤศจิกายน พ.ศ.2542 ( การไหลของลมร้อน 1 ทิศทาง )

ความเร็วลมเฉลี่ย 2.62 m/s

ความเร็วลมที่ดูดจากแผงรับแสง 0.567 m/s

เวลา	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
อากาศ (°C)	29.20	31.10	32.10	32.20	33.40	32.70	34.30	35.20
แผงรับแสง (°C)	43.83	55.27	61.90	64.00	64.23	61.30	57.13	49.47
พลาสติก (°C)	43.80	53.50	59.70	62.00	61.70	61.10	56.20	48.30
กระจก (°C)	36.50	39.50	43.50	45.90	44.50	44.10	45.50	41.90
ภายในตู้อบ (°C)	39.12	45.18	50.42	51.84	51.78	51.00	49.44	46.06
ออกจากแผงรับ(°C)	37.60	43.80	48.90	49.80	48.30	49.10	47.00	42.90
รังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )	515.83	643.61	713.33	713.33	643.61	515.83	351.94	177.78

\*หมายเหตุ รังสีอาทิตย์ได้จากโปรแกรม[7]

ตารางที่ 6 ค่าการคำนวณสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน(W/m<sup>2</sup> °C)

เวลา	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
สองทิศทาง	3.64	3.69	3.79	3.83	3.88	3.86	3.81	3.70
ทิศทางเดียว	2.91	3.27	3.37	3.40	3.43	3.29	3.23	3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบระบบ Greenhouse

อุณหภูมิ (°C)

เวลา	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
มีระบบ Greenhouse	44.80	46.40	48.80	49.80	55.20	53.90	53.00	52.90
ไม่มีระบบ Greenhouse	35.60	39.80	40.10	42.10	41.50	41.60	43.20	37.30

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบอบแห้งพลาสติก

วันที่ 4 มกราคม 2543 (เปอร์เซ็นต์ความชื้น,% W.b.)

เวลา	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00
ตู้อบแห้ง	69.90	68.97	67.54	66.36	63.04
ตากแห้งธรรมดา	69.72	69.50	66.77	66.23	64.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 คุณสมบัติทางความร้อนของอากาศ [1]

T (°K)	$\rho$ (kg/m)	$C_p$ (J/kg°C)	$\nu \times 10^{-5}$ (m <sup>2</sup> /s)	K (W/m°C)	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)	$\mu \times 10^{-5}$ (Ns/m <sup>2</sup> )	Pr
250	1.413	1005	0.949	0.0223	1.32	1.6	0.722
300	1.177	1006	1.57	0.0262	2.22	1.85	0.708
350	0.998	1009	2.08	0.03	2.98	2.08	0.697
400	0.883	1014	2.59	0.0337	3.76	2.29	0.689
450	0.783	1021	2.89	0.0371	4.22	2.48	0.683
500	0.705	1030	3.79	0.0404	5.57	2.67	0.68
550	0.642	1039	4.43	0.0436	6.53	2.85	0.68
600	0.588	1055	5.13	0.0466	7.51	3.02	0.68
650	0.543	1063	5.85	0.0495	8.58	3.18	0.682
700	0.503	1075	6.63	0.0523	9.67	3.33	0.684
750	0.471	1086	7.39	0.0551	10.8	3.48	0.686
800	0.441	1098	8.23	0.0578	12	3.63	0.689
850	0.415	1110	9.07	0.0603	13.1	3.77	0.692
900	0.392	1121	9.93	0.0628	14.3	3.9	0.696
950	0.372	1132	10.8	0.0653	15.5	4.02	0.699
1000	0.352	1142	11.8	0.0675	16.8	4.15	0.702
1100	0.32	1161	13.7	0.0723	19.5	4.4	0.706
1200	0.295	1179	15.7	0.0763	22	4.63	0.714
1300	0.271	1197	17.9	0.0803	24.8	4.85	0.722

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาคำแนะนำที่เป็นประโยชน์จากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ได้แก่

อาจารย์ วัชระ เพิ่มชาติ

อาจารย์ ทรงวุฒิ แสงจันทร์

ขอขอบคุณ ภาควิศวกรรมเกษตร ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการทำงาน

ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมงานตลอดจนเพื่อนร่วมภาคที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ท่านได้ให้การสนับสนุนด้านการเงิน และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

20 มีนาคม 2543

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. ชงชัย ศิริประยูคต์, “พลังงานแสงแดด”, ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม และ วิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
2. พงษ์เจต พรหมวงศ์, “ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ การถ่ายเทความร้อน”, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร 2534.
3. ปริญญาธิพนธ์เรื่อง. “การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศโดยใช้ดินเป็นแหล่งระบาย ความร้อนทิ้ง”, สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า คุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2541.
4. ปริญญาธิพนธ์เรื่อง “แผ่รังสีแสงอาทิตย์สำหรับเครื่องอบแห้งธัญพืช”, สาขาวิศวกรรมเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2541.
5. อนุตร จำลองกุล, “พลังงานทดแทน 1” ,ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรม และเทคโนโลยีการเกษตร ,สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลคลองหกปทุมธานี,พ.ศ.2541.
6. สมชาติ ไสภณรณฤทธิ์,ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, กฤษณพงษ์ กীরติกร, “อนุกรมพลังงานนอก แบบและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ” ,คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี,2531.
7. จิตรสรณ์ สันติศิริสมบุรณ์, “ การประมาณค่าการแผ่รังสีอาทิตย์ในประเทศไทย” ,ปริญญาวิทยา ศาสตร์มหาบัณฑิต,สาขาเทคโนโลยีพลังงาน,คณะพลังงานและวัสดุ,สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี,2539.
8. Frank p. Incropera , David P, DeWitt , “ Fundamentals of Heat and mass Transfer” ,School of Mechanical Engineering Purdue University ,Fourth edition, John Wiley & Sons, New York 1996.
9. John A. Duffie and William A. Beckman, “Solar Energy Thermal Process “, John Wiley & Sons,1974.
10. Li Zongran & Liu Senyuan, “Solar drying in China” ,Guangzhou Institute of Energy Conversion,Chinese Academy of Sciences, REG.SEM. on simulation & design in SOL.EN.APPLNS,1984.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้