

การศึกษามรรณนะคู่อบแห่งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

นายสิทธิชัย เชนทร วท.บ. (เทคโนโลยีเครื่องกล)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
พ.ศ. 2549

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....  
(ผศ.ดร.สันติ หวังนิพนธ์)

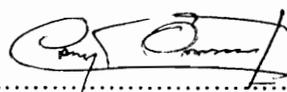
ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....  
(ผศ.ดร.ณัฐ กาศยปนนท์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

  
.....  
(ผศ.ทวีวัฒน์ สุการส)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

  
.....  
(ดร.อนุศิษฐ์ อันมานะตระกูล)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สำนักหอสมุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นายสิทธิชัย เซนทร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ณัฐ กาศยปนนท์ ผศ.ทวีวัฒน์ สุภารส
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	ครุศาสตร์เครื่องกล
คณะ	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
พ.ศ.	2549

### บทคัดย่อ

งานวิจัยการศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ ระบบใช้อากาศเป็นสารตัวกลางในการพาความร้อนผ่านแผงรับแสงรังสีสุริยะแบบราบเรียบขนาดพื้นที่ 1.53 ตารางเมตร วางทำมุม 9° กับแนวระนาบ อากาศร้อน อัตราการไหล 0.84 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้อบ โดยอุณหภูมิภายในตู้อบเฉลี่ย 50-60 องศาเซลเซียส เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับผลิตภัณฑ์ จากทดลองผลิตภัณฑ์ที่ใช้ตู้อบแห้งพบว่า มีอัตราการลดลงของน้ำหนักและความชื้นที่เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การตากแดด และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะลดลงไปอย่างช้าๆเป็นไปตามระยะเวลาและชั่วโมงที่ใช้ในการอบ โดยทำการอบแห้งใช้เวลาเฉลี่ย 7 ชั่วโมงน้อยกว่าการตากแดดซึ่งใช้เวลาเฉลี่ย 27 ชั่วโมง และตู้อบมีประสิทธิภาพในการอบแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: สมรรถนะ / การพาความร้อนแบบบังคับ / การอบแห้ง / พลังงานแสงอาทิตย์ / ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทางทะเล

Thesis Title	The Study on Performance of Force Convection Dryer Using Solar Energy
Thesis Credits	6
Candidate	Mr. Sittichai Chainton
Thesis Advisors	Asst. Prof. Dr. Nat Kasayapanand Asst. Prof. Taveewat Suparos
Program	Master of Science in Industrial Education
Field of Study	Mechanical Engineering
Department	Mechanical Technology Education
Faculty	Industrial Education and Technology
B.E.	2549

#### ABSTRACT

The objective of performance study of force convection dryer using solar energy of this research was to evaluate the performance of dryer system using solar energy by applying force convection process. To make drying product by using solar energy, working fluid (air) exchanged the heat from solar plates sized  $1.53 \text{ m}^2$ , inclined  $9^\circ$  to horizontal, hot air flow rate at 0.84 cfm was circulated in a dryer chamber. The temperature inside the dryer chamber reached approximately 60-65°C. The result of the experiment showed that the system performance using the force convection dryer was better than natural drying process. It showed that the weight of products and moisture decreased in the force convection dryer chamber was faster than the natural drying process. The weight of products were slightly decreased. The system spent time for Lamellate drying racers 6 hrs. Lamp used for the natural drying process was about 27 hrs. The overall efficiency of the designed dryer was 60%.

Keywords : Performance / Force convection / Drying / Solar Energy / Marine product

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย อาทิเช่น ดร.ณัฐ กาศยพนันท์, ผศ.ทวีวัฒน์ สุภารส อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนการแก้ปัญหาต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยมาโดยตลอดและอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ซ
รายการสัญลักษณ์	ญ
นิยามศัพท์	ฎ
<b>บทที่</b>	
<b>1. บทนำ</b>	
1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการศึกษา	2
1.3 สมมุติฐานของโครงการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>2. ทฤษฎี/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ	8
<b>3. วิธีการทดลอง</b>	<b>24</b>
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	26
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย	30

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>4. ผลการทดลอง</b>	<b>36</b>
4.1 การศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผงรับรังสี	36
4.2 การศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง	38
4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อน	40
4.4 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก	43
4.5 การเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งโดยใช้ตู้อบกับการตากแดด	46
4.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	48
<b>5. สรุปผลการทดลอง</b>	<b>50</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย	50
5.2 ปัญหาอุปสรรคในการวิจัย	51
5.3 ข้อเสนอแนะงานวิจัย	51
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>52</b>
<b>ภาคผนวก</b>	
ก. - ตารางบันทึกผลการทดลอง	54
- ตารางแสดงตัวอย่างความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์	
ข. การคำนวณ	64
ค. แบบแสดงการเข้าร่วม/การเสนอผลงานการประชุมทางวิชาการ ประจำปี 2550	68
ณ.มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ระหว่างวันที่ 29 – 30 พฤษภาคม 2550	
ง. ตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ	82
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>85</b>

## รายการตาราง

	หน้า
2.1 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยของของไหลบางชนิด	12
2.2 สภาพนำความร้อนของวัสดุบางชนิด ที่อุณหภูมิ 27°C	20
2.3 คุณสมบัติของใยแก้ว	20
2.4 สภาพการแผ่รังสีของวัสดุบางชนิด	21

## รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง	14
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	25
3.2 แสดงลักษณะแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์	26
3.3 แสดงลักษณะตู้อบแห้ง	27
3.4 แสดงลักษณะท่อดูดอากาศ	27
3.5 แสดงลักษณะพัดลมดูดอากาศ	27
3.6 แสดงลักษณะมาตรวัดไฟฟ้า	28
3.7 แสดงลักษณะเทอร์โมมิเตอร์	28
3.8 แสดงลักษณะเครื่องวัดค่ารังสีอาทิตย์	28
3.9 แสดงลักษณะเครื่องวัดค่าความเร็วลม	29
3.10 แสดงชุดควบคุมอัตราการไหลภายในตู้อบแห้ง	29
3.11 แสดงจุดที่ทำการวัดอุณหภูมิ	30
3.12 Diagram ของตู้อบแห้ง	30
3.13 แสดงลักษณะการทำงานของตู้อบแห้ง	31
3.14 แผนภาพการวิเคราะห์สมการของตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ	34
4.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงรับรังสีแสงสุริยะตู้อบแห้งเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล $2.05 \text{ m/s}^2$	36
4.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงรับรังสีแสงสุริยะตู้อบแห้งเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล $2.25 \text{ m/s}^2$	37
4.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงรับรังสีแสงสุริยะตู้อบแห้งเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล $2.50 \text{ m/s}^2$	37
4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของตู้อบแห้งเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล $2.05 \text{ m/s}^2$	38
4.5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของตู้อบแห้งเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล $2.25 \text{ m/s}^2$	39
4.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของตู้อบแห้งเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล $2.50 \text{ m/s}^2$	39
4.7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของแผงรับรังสีกับค่าความร้อนที่นำไปใช้อบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสดที่อัตราการไหล $2.05 \text{ m/s}^2$	40

## รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของแผงรับรังสีกับค่าความร้อนที่นำไปใช้อบแห้งสำหรับ ผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสดที่อัตราการไหล $2.25 \text{ m/s}^2$	41
4.9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของแผงรับรังสีกับค่าความร้อนที่นำไปใช้อบแห้งสำหรับ ผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสดที่อัตราการไหล $2.50 \text{ m/s}^2$	41
4.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับรังสีกับค่าความเข้มของรังสีสุริยะที่นำไปใช้ อบแห้งสำหรับ ผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสดที่อัตราการไหล $2.05 \text{ m/s}^2$	42
4.11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับรังสีกับค่าความเข้มของรังสีสุริยะที่นำไปใช้ อบแห้งสำหรับ ผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสดที่อัตราการไหล $2.25 \text{ m/s}^2$	42
4.12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับรังสีกับค่าความเข้มของรังสีสุริยะที่นำไปใช้ อบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสดที่อัตราการไหล $2.50 \text{ m/s}^2$	43
4.13 การเปรียบเทียบน้ำหนักที่ลดลงเมื่อเทียบกับเวลาที่นำไปใช้อบแห้งสำหรับ ผลิตภัณฑ์แก้วสดที่อัตราการไหล $2.05 \text{ m/s}^2, 2.25 \text{ m/s}^2$ และ $2.50 \text{ m/s}^2$	44
4.14 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผงรับรังสีกับค่าความเข้ม ของรังสีสุริยะที่อัตราการไหล $2.05 \text{ m/s}^2$	44
4.15 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผงรับรังสีกับค่าความเข้ม ของรังสีสุริยะที่อัตราการไหล $2.25 \text{ m/s}^2$	45
4.16 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผงรับรังสีกับค่าความเข้ม ของรังสีสุริยะที่อัตราการไหล $2.50 \text{ m/s}^2$	45
4.17 การเปรียบเทียบการตากแดดกับวิธีการอบแห้งโดยใช้ตู้อบที่อัตราการไหล $2.05 \text{ m/s}^2$	46
4.18 การเปรียบเทียบการตากแดดกับวิธีการอบแห้งโดยใช้ตู้อบที่อัตราการไหล $2.25 \text{ m/s}^2$	47
4.19 การเปรียบเทียบการตากแดดกับวิธีการอบแห้งโดยใช้ตู้อบที่อัตราการไหล $2.50 \text{ m/s}^2$	47
4.20 การอบแห้งผลิตภัณฑ์ ปลาสามแก้วสดที่อัตราการไหล $2.50 \text{ m/s}^2$	48

## รายการสัญลักษณ์

$A_c$	คือ	พื้นที่ของตัวรับรังสีทั้งหมด
$C_p$	คือ	ความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่
$g$	คือ	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
$h$	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$
$h_{p-c}$	คือ	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์กับ แผ่นกระจก
$h_{r,p-c}$	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผงรับพลังงานความร้อน กับแผ่นกระจก
$h_{r,c-s}$	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นกระจกกับแสงอาทิตย์
$h_w$	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยลม
$I_T$	คือ	ความเข้มของรังสีรวมที่ตกกระทบบนตัวรับรังสี
$\dot{m}$	คือ	อัตราการไหลเชิงมวล
NTU	คือ	จำนวนหน่วยของการถ่ายเทความร้อน
$P$	คือ	พลังงานที่ใช้ไป
$Q_u$	คือ	พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่สูบได้
$Q_{max}$	คือ	ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้
$Q_{solar}$	คือ	ความร้อนสุทธิที่ได้รับจากตัวรับรังสี
$S$	คือ	รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวรับรังสี
$T_a$	คือ	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม
$T_{in}$	คือ	อุณหภูมิของของไหลกระแสร้อนตรงทางเข้า
$T_{ci}$	คือ	อุณหภูมิของของไหลกระแสเย็นตรงทางเข้า
$T_{pm}$	คือ	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงรับรังสี
$T_{SKY}$	คือ	อุณหภูมิท้องฟ้า
$U_t$	คือ	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน
$W_L$	คือ	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่หายไป

**หมายเหตุตัวห้อย**

r	คือ	การแผ่รังสี
p	คือ	แผ่นดูดกลืนรังสี
c	คือ	ตัวเก็บรังสี,แผ่นปิดใส
w	คือ	ลม
s	คือ	ห้องฟ้า
a	คือ	อากาศแวดล้อม,ดูดกลืน
L	คือ	รวม
T	คือ	พื้นเอียง
t	คือ	ด้านบน
u	คือ	ใช้ประโยชน์
e	คือ	ด้านข้าง
f	คือ	ครีป

## นิยามศัพท์

ตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ หมายถึง ตู้ที่ใช้ในการอบแห้ง เพื่อนำพาความชื้นออกจากตัวผลิตภัณฑ์ โดยที่มีการบังคับทิศทางของความร้อนและใช้การพาความร้อนด้วยอากาศ

แผงรับรังสีสุริยะ หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้รับรังสีสุริยะ

ปลาสามแก้ว หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในการทดลอง

พัดลมเป่าอากาศ หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้เป่าอากาศเข้าไปในแผงรับรังสีสุริยะ เพื่อที่จะนำพาความร้อนเข้าไปในห้องตู้อบแห้ง

ท่อส่งอากาศ หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อเพื่อส่งผ่านหรือระบายอากาศภายในตู้อบแห้ง

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

ประเทศไทยมีผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทางทะเลที่นิยมนำมาบริโภค และมีมูลค่าทางเศรษฐกิจของที่สำคัญต่อประเทศไทย [1] ผลผลิตสัตว์น้ำทางทะเล มีปีละประมาณ 150,000 ตันซึ่งประมาณ 2 ใน 3 ของปริมาณดังกล่าวแปรรูปเป็นสินค้าส่งออก อีก 1 ใน 3 เป็นการบริโภคภายในประเทศ สินค้าประมงที่สำคัญได้แก่ อาหารทะเลกระป๋อง มีสัดส่วนร้อยละ 48 ของรายได้จากการส่งออกสินค้าประมงทั้งหมด รองลงมาคือ กุ้งสดแช่เย็นแช่แข็ง สัตว์น้ำร้อยละ 32 ส่วนปลาหมึก และผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำอื่น ๆ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 9.5 7.5 และ 3 ตามลำดับ ทั้งนี้ ประเทศไทยจัดเป็นผู้ผลิตสินค้าประมงในลำดับที่ 9 โดยผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก คือประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน รองลงมา คือ ญี่ปุ่น อินเดียและสหรัฐอเมริกา ทั้งนี้ผลิตได้จากการประมงทะเลหรือการจับทั้งสิ้น ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทางทะเลที่ได้นำมาทำการวิจัยนี้เป็นผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทางทะเลจำพวกปลาสามแก้ว [12] ในการแปรรูปปลาสามแก้วโดยวิธีทำแห้งเป็นวิธีการเก็บรักษาและเพิ่มคุณค่าให้กับปลาสามแก้ว โดยทั่วไปในวิธีการทำผลิตภัณฑ์ให้แห้งจะใช้แสงแดดเพื่อทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง เช่น การตากบนตะแกรง ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและมีต้นทุนต่ำ แต่การตากแดดโดยวิธีนี้จะทำให้การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ตากแดดนั้นทำได้ยาก เนื่องจากความไม่แน่นอนของรังสีจากดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและสภาพภูมิอากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้การตากแดดนั้นอาจจะไม่ถูกสุขลักษณะ มีการปนเปื้อนจากฝุ่นละอองและเชื้อโรคที่ติดมากับแมลง ซึ่งเป็นอันตรายอย่างมากกับผู้บริโภค แต่การให้นำเทคนิคการอบแห้งมาใช้นั้นจะช่วยลดปัญหาที่ทำให้เกิดเชื้อโรคได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะอยู่ภายในตู้ที่ปิดมิดชิดและสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบได้ ในการอบแห้งด้วยวิธีนี้สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนาดทำการอบแห้งได้ การหดตัวของผลิตภัณฑ์มีน้อย ส่วนคุณค่าของสารอาหารหลังการอบแห้งก็ยังคงเดิมและสะอาดถูกสุขลักษณะ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่า พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ ได้อย่างไม่มีวันหมด หากสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ได้อย่างเหมาะสม และยังเป็นปัจจัยที่จำเป็นอย่างยิ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั่วไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการพัฒนาประเทศ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการศึกษา

- 1.2.1** เพื่อออกแบบและสร้างตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
- 1.2.2** เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะของตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
- 1.2.3** เพื่อความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

## 1.3 สมมติฐานของโครงการศึกษา

ตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทางทะเล เช่น ( กุ้ง, ปลาหมึก, ปลาไส้ตัน, แมงกระพรุน) แต่ปลาสามแก้วเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการอบแห้ง โดยใช้ปลาสามแก้วสดประมาณ 6 กิโลกรัม (80 ตัว) ที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 82 % ตามมาตรฐานเปียก หลังจากทำการอบแห้งโดยพลังงานแสงอาทิตย์ จะทำให้ความชื้นครั้งสุดท้ายลดลงเหลือประมาณ 25% ตามมาตรฐานเปียกนั้น โดยที่ภายในตู้อบแห้งมีอุณหภูมิ 60 °C และใช้เวลาในการอบแห้งปลาสามแก้วนี้แค่เวลา 7 ชั่วโมง และที่ความเข้มของแสงอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 500 W/m<sup>2</sup> และมีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่า 45 %

## 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.4.1** ศึกษาสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อนของชุดแลกเปลี่ยนความร้อน ที่ใช้อากาศเป็นสารตัวกลางในการพาความร้อนให้แก่ตู้อบแห้ง
- 1.4.2** วัสดุคิบที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นปลาสามแก้วสดแต่เป็นชิ้นซึ่งจะต้องมีขนาดของความหนาไม่เกิน 1 เซนติเมตร ที่มีจำนวนมากจับได้ง่ายที่สุด และเป็นปลาที่นิยมมาตากแห้ง
- 1.4.3** การทดสอบหาสมรรถนะของตู้อบแห้งนี้ ทำการทดลองในวันที่ท้องฟ้าโปร่งมีแสงแดดดี ตั้งแต่ช่วงระยะเวลา 09.00-17:00 นาฬิกา และที่ความเข้มของแสงอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 500 W/m<sup>2</sup>

**1.4.4** สถานที่ในการทดลองบริเวณพื้นที่โล่งภายใต้เงาของสภาพภูมิอากาศในจังหวัดระนอง

## **1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

**1.5.1** เพื่อให้เกิดแนวความคิดใหม่ ๆ ในการออกแบบและสามารถสร้างตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

**1.5.2** ผลการศึกษาทำให้ทราบตัวแปรต่างๆของตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางทะเล

**1.5.3** เพื่อนำไปส่งเสริมให้ผู้ที่สนใจนำไปใช้งาน และประกอบตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ได้เองในต้นทุนที่ต่ำ

## บทที่ 2 ทฤษฎี/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศรินุช จินดารักษ์ [1] เรื่องการศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบโมดูลเพื่อการอบปลาหมึก งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบโมดูลเพื่อใช้ในการอบแห้งปลาหมึก ได้ทำการทดสอบอบแห้งปลาหมึกที่สภาวะต่างๆพบว่า สภาวะแห้งที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งปลาหมึก ประมาณ 10 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 82% มาตรฐานเปียก จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายลดลงเหลือประมาณ 25% มาตรฐานเปียกนั้น จะต้องแบ่งการอบออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกทำการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง 60 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ความชื้นในช่วงแรกนี้ลดลงเหลือประมาณ 54% มาตรฐานเปียก และทำการอบแห้งต่อในช่วงที่ 2 ใช้อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง จะได้ความชื้นสุดท้ายตามต้องการ รวมเวลาที่ทำการอบแห้งทั้ง 14 ชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง คือ 0.048 Kg/s และอัตราการไหลเวียนถึงความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่า สำหรับการอบแห้งในวันที่มีรังสีอาทิตย์ตกบนแผงรับแสง 19.05 MJ/m<sup>2</sup> และประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์มีค่า 28.84% มีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานต่างๆ คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับขดลวดความร้อน 5.46 MJ/Kg H<sub>2</sub>O evap พลังงานความร้อนที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ 1.83 MJ/Kg H<sub>2</sub>O evap และพลังงานความร้อนที่ได้จากมอเตอร์พัดลมเป่าอากาศ 1.57 MJ/Kg H<sub>2</sub>O evap รวมเป็นพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด 8.86 MJ/Kg H<sub>2</sub>O evap คิดเป็น 61.63% ,20.65% และ17.72% ของพลังงานสิ้นเปลืองทั้งหมดตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งที่ไม่มีการนำความร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่กับการอบแห้งที่มีการนำอากาศร้อนที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ 80% พบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ 25.86% ของพลังงานที่สิ้นเปลืองไปทั้งหมดในการอบแห้งที่ไม่มีการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ต้นทุนที่ใช้ในการระเหย น้ำ 1 Kg ออกจากปลาหมึกแห้ง เมื่อกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้งได้ 15 ปี

ปิยะ ยิ้มขุนทด [2] งานวิจัยเรื่องเครื่องอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร โดยการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในกระบวนการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ โดยสร้างเครื่องอบแห้งชนิดตู้ขนาด 45x70 เซนติเมตร สูง 75 เซนติเมตร มีแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 2 แผง เพื่อรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยมีน้ำเป็นสารตัวกลางในการพาความร้อนที่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายในตู้อบ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับผลิตภัณฑ์ โดยอากาศจะรับเอาความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไหลผ่านผลิตภัณฑ์ที่วางบนชั้น ซึ่งออกแบบให้เกิดการไหลของอากาศแต่ละชั้นอย่างสม่ำเสมอ อุณหภูมิภายในตู้อบจะอยู่ในช่วง 55-62 °C โดยระยะเวลาในการอบจะขึ้นอยู่กับ

กับความหนาและความชื้นของผลิตภัณฑ์ สำหรับผลิตผลทางการเกษตรที่ใช้อบแห้งมี เนื้อปลา ตะเพียนสดแต่เป็นชิ้นมีความหนาไม่เกิน 1 เซนติเมตร, พริกสด, เส้นหมี่และข้าวเกรียบ ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ 18%

ทวิศักดิ์ ทวีวิทยาการ และคณะ [3] ได้ทำการวิจัยเรื่อง เครื่องอบพืชผลทางการเกษตรโดยใช้ความร้อนได้พิภพมาใช้ในการอบแห้ง ซึ่งอาศัยความร้อนจากน้ำพุร้อน มีช่วงอุณหภูมิ 80-90 °C มีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประกอบด้วยท่อเทอร์โมไซฟอน ทำจากท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7mm จำนวน 65 ท่อ ให้อากาศไหลผ่านส่วนระเหยและส่วนควบแน่น ที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 249x280 สูง 210 mm ทดสอบโดยปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 0.025 0.043 0.063 กิโลกรัมต่อวินาที และอัตราการไหลของอากาศ 1.0 1.1 และ 1.2 เมตรต่อวินาที จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบ พบว่าอุณหภูมิภายในตู้อบประมาณ 50 % ชุดแลกเปลี่ยนเทอร์โมไซฟอนมีขนาด 1,700 วัตต์ ใช้อบผลิตภัณฑ์ได้คราวละ 5 กิโลกรัม ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักพืชผลทางการเกษตรกับเวลาในการอบ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบมากขึ้น น้ำหนักของพืชผลทางการเกษตรจะลดลงตามความสัมพันธ์ พืชผลทางการเกษตรที่ใช้อบคือ ขิง และพริก โดยใช้เวลาในการอบขิง 6 ชั่วโมงและพริก 22 ชั่วโมง

ณัฐวุฒิ คุชฎี [4] ได้ศึกษาและพัฒนาระบบอบแห้งผลไม้โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม จากงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาเทคนิคและความเป็นไปได้ในการอบแห้งผลไม้โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นบางส่วน ในขั้นตอนแรกได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งจากนั้นทำการทดสอบสมรรถนะของผู้ประกอบการกล้วย และพิจารณาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งคือ อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ อัตราการไหลวนกลับของอากาศ ในแง่คุณภาพและพลังงานที่ใช้ นอกจากนี้ยังได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กับเครื่องอบแห้งเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม และวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อดูความเป็นไปได้อีกด้วย

วิชัย จันทรักษา [5] ได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งตะไคร้พลังงานแสงอาทิตย์ ได้ทำการวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งตะไคร้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยเครื่องอบแห้งดังกล่าวประกอบด้วยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นราบ คลุมด้วยพลาสติกมีขนาดพื้นที่รับแสง 19 ตารางเมตรและตู้อบตะไคร้ขนาดความจุ 400 กิโลกรัม อากาศจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์จะถูกเป่าเข้าไปในตู้อบแห้งโดยอาศัยพัดลมดูดอากาศ ผู้วิจัยได้ทดสอบสมรรถนะที่พัฒนาขึ้น โดยใช้เครื่องอบแห้งดังกล่าวทำการอบแห้งตะไคร้จำนวน 4 ครั้ง ๆ 200 กก.ผลที่ได้พบว่าช่วงที่ห้องฟ้าแจ่มใสเครื่องอบแห้งสามารถอบตะไคร้ให้แห้งได้ภายในเวลา 3 วัน ตะไคร้ที่อบแห้งไม่ถูกรบกวนโดยแมลง ผุ่นละออง และฝน ผู้ทำการวิจัยได้นำ

ตะไคร้มาทำการอบโดยวิเคราะห์คุณภาพ จากผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณน้ำของตะไคร้และสีของตะไคร้ที่ได้จากการอบแห้งมีค่าคุณภาพสอดคล้องกับคุณภาพของตะไคร้ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรม จากการศึกษาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าเครื่องอบแห้งดังกล่าวมีเวลาคู่มือทุนเท่ากับ 1 ปี 5 เดือน

ภรต กุญชร ณ อยุธยา, และคณะ [6] ได้ออกแบบตู้อบแห้งที่มีรูปสี่เหลี่ยมมีขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร และสูง 1.3 เมตร โครงสร้างใช้ไม้ไผ่แล้วหุ้มด้วยพลาสติกใสวัสดุที่ใช้ในการอบแห้งได้แก่เปลือกกล้วย ผลปรากฏว่าปลาจะแห้งภายใน 3 วัน และกล้วยจะแห้งภายใน 4 วัน

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ [7] ได้ทำการวิจัยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยออกแบบขนาดตู้ 1x1x0.61 ตารางเมตร ทำการอบแห้งข้าวเปลือกจำนวน 59 Kg ที่อุณหภูมิ 31-40 °C อัตราการไหลของอากาศ 392 kg/h พบว่าข้าวเปลือกมีความชื้น 21-23% มาตรฐานแห้ง จะลดลงเหลือ 16% มาตรฐานแห้ง ภายในเวลา 2.75-4.25 ชั่วโมง

จจจิตร หิรัญลาภ, สุวรรณ ภูริระวนิชย์กุล และสมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์ [8] ได้ใช้ถังทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.75 เมตร สูง 2.75 เมตร เพื่อทำการอบแห้งถั่วเหลืองแบบเป็นวงที่ความหนาของเมล็ดถั่วเหลือง 1 เมตร ใช้อัตราการไหลของอากาศ 4-13 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ต่อลูกบาศก์เมตรถั่วเหลือง ใช้อุณหภูมิ 45-75 °C จากการศึกษาพบว่าผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ความหนา 0.40 เมตร อัตราการไหลของอากาศ ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ต่อลูกบาศก์เมตรถั่วเหลือง

ชาญวิทย์ อุดมศักดิ์กุล [9] ได้ศึกษาวิจัยและพัฒนาเครื่องฟักไข่พลังงานแสงอาทิตย์ จากการวิจัยพบว่าการทำงานของเครื่องฟักไข่พลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบขนาดบรรจุ 720 ฟองพบว่า ให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อน 33% ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนก่อนที่จะนำน้ำร้อนไปใช้งานเท่ากับ 35% ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนไปใช้ในการฟักไข่เฉลี่ย 23.9% ที่อุณหภูมิของน้ำร้อนใช้งาน 50-70 °C ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า ที่ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ประมาณ 100W/m<sup>2</sup> ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 4% ที่อุณหภูมิแผงเฉลี่ย 31°C และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่ามากกว่า 400 W/m<sup>2</sup> ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะคงที่ประมาณ 6% ที่อุณหภูมิแผงเฉลี่ย 45 °C

ชาญ เสนีย์นันท์ [10] ได้ศึกษาวิจัยเรื่องการประเมินสมรรถนะของรางพาราโบลิกติดตามดวงอาทิตย์ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้เพื่อนำความร้อนที่ได้จากการรวมแสง โดยตัวรับแสงแบบรางพาราโบลิกมาใช้ประโยชน์ รางพาราโบลิกมีขนาดกว้าง 2.13 เมตร ยาว 3 เมตร แผ่นสะท้อนแสง

เป็นแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม ท่อดูดแสงใช้ท่อเหล็กสำหรับไอน้ำขนาด มิลิเมตรและใช้น้ำมันเป็นสารทำงานในระบบ ผลจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ อายุการใช้งานได้ 15 ปีซึ่งจากข้อดีและข้อเสียของงานวิจัยต่างๆนี้ จึงได้นำมาเปรียบเทียบและปรับปรุงในการวิจัยและพัฒนาตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดระยะเวลาจากวิธีเดิมโดยการนำผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทางทะเลมาตากแดด มาเป็นตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถอบปลาหมึกได้ครั้งละ 6 กิโลกรัม (70 ตัว) หลังจากทำการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ จะทำให้ความชื้นครั้งสุดท้ายลดลงเหลือประมาณ 15% โดยที่ภายในตู้อบแห้งมีอุณหภูมิ 60 °C และใช้เวลาในการอบแห้งปลาหมึกนี้แค่เวลา 5 ชั่วโมง การอบแห้งด้วยวิธีนี้มีต้นทุนต่ำและมีระบบไม่ซับซ้อน ในการอบแห้งด้วยวิธีนี้จะใช้อุณหภูมิต่ำที่สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งได้ดี การหดตัวของผลิตภัณฑ์มีน้อย ส่วนคุณค่าของสารอาหารหลังการอบแห้งก็ยังคงเดิมและสะอาดถูกสุขลักษณะ ปลอดภัยในการใช้งานและทำการบำรุงรักษาได้ง่าย

Ho-Ming Yeh, Chii-Dong Ho and Chun-Hung Chen,[13] ได้ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนผิวของ Collector ที่มีต่อประสิทธิภาพของ collector ของแผ่นและท่อทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้ทำการตรวจสอบตามทฤษฎีเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ด้วยค่าคงที่ของพื้นผิว collector และระยะห่างระหว่างท่อ พบว่า ประสิทธิภาพของ collector จะเพิ่มขึ้นหากเพิ่มอัตราส่วน collector aspect ratio พร้อมกับการลดอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ไหลผ่านท่อ ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้เป็นวิธีการเดียวกับ upward type หรือ downward type ของแผ่นทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

Shanmugama, Natarajan ,[14] การพาความร้อนทางอ้อมและการทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการออกแบบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งภายใต้สภาวะอากาศร้อนและชื้น ซึ่งเป็นสภาพอากาศของในรัฐเซเนไน ประเทศอินเดีย ระบบประกอบด้วยแผ่นเก็บความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (flat plate solar air collector) หอทำแห้ง (drying chamber) และหน่วยทำแห้ง โดยหน่วยทำแห้งได้ออกแบบให้สามารถรองรับแคลเซียมคลอไรด์ 75 กกซึ่งเป็นสารทำแห้ง โดยสารดังกล่าวจะประกอบด้วย 60% เบนโตไนท์, 10% แคลเซียมคลอไรด์, 20% vermiculite and 10% ซีเมนต์ โดยในการอบแห้งได้ทำการทดสอบกับถั่วเขียวที่อัตราการไหลของ airflow ที่แตกต่างกัน ที่ความชื้นสมดุลพบว่าจะประกอบด้วย Me ที่ 14 h ที่อัตราการไหลเวียนของ air flow 0.03 kg/m<sup>2</sup> ต่อวินาที พบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขของอัตราการสกัดความชื้น การสูญเสียมิติของผลิตภัณฑ์ อัตราการหดตัวของผลิตภัณฑ์ และอัตราการอบแห้งซึ่งได้นำเสนอไว้ในงานวิจัยนี้

Zhimin Li,[15] การถนอมอาหารโดยการทำผลไม้เค็มโดยเฉพาะ greengage ซึ่งเป็นผลไม้ที่เป็นที่นิยมอย่างมากในประเทศจีน สำหรับขั้นตอนการผลิตนั้น ขั้นตอนการทำแห้งเป็นขั้นตอนสำคัญอย่างยิ่งใน

การทำผลไม้แห้ง ในการผลิตโดยใช้วิธีแบบดั้งเดิมนั้นจะใช้วิธีการตากแห้งธรรมดา โดยนำมาตากแดดประมาณ 48 วัน สำหรับในงานวิจัยนี้ได้พยายามใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งผลไม้ที่ได้มีการผสมเกลือและหมักในบ่อคอนกรีตแล้วกว่า 2 เดือน การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการทำแห้งนี้ อุปกรณ์ประกอบด้วย solar air collector ขนาด 6 ตารางเมตร เรือนกระจกลักษณะการทำงานคล้ายๆ drying chamber และพัดลม 3 ตัวโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่กำลัง 20 Wp โดยในการทดลองได้ทำการทดลองเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดด ระหว่างช่วงวันที่ 26 เมษายน ถึงวันที่ 12 มิถุนายน 2003 จากการทดลองพบว่าในช่วงวันที่มีเมฆมาก อุณหภูมิของ drying air ภายใน chamber นั้นมากกว่าอุณหภูมิภายนอก และพบว่าการทำแห้ง greengage นั้นมีประสิทธิภาพมาก และพบว่าระยะเวลาในการทำแห้งนั้นสั้นกว่าการตากแดด ถึง 15 วัน โดยการตากแดดต้องใช้เวลาถึง 48 วัน ในขณะที่หากใช้เครื่องอบแห้งจะใช้เวลาเพียง 33 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้สามารถลดกระบวนการผลิตผลไม้แห้งได้ในขั้นตอนการกำจัดหรือลดปริมาณเกลือออกจากผลไม้แห้งซึ่งปกติต้องใช้เวลาในขั้นตอนดังกล่าวถึง 20 วันหากใช้การตากแดดแบบปกติ

S. Youcef-Ali, J.Y. Desmons, [16] ได้ศึกษาประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งพิจารณาได้จากสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (Effectiveness coefficient :Ef) ซึ่งคิดได้จากปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยเวลาในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องและถาวร สำหรับสัมประสิทธิ์นี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้าน aerothermic และจำนวนผลิตภัณฑ์ในเครื่องอบแห้ง ก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาถึงสมรรถภาพของ solar air collector หอทำความร้อน (Drying Chamber) และพลังงานถูกใช้ สำหรับงานวิจัยนี้ได้อธิบายถึงอิทธิพลของปัจจัยด้าน aerothermic และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตโดยใช้แผ่นความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับงานวิจัยนี้จะเน้นการอธิบายขั้นตอนในการสร้างโมเดลต้นแบบในการสร้าง energy chain (collector-dryer) ในการพาความร้อน

## 2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ

### 2.2.1 รังสีดวงอาทิตย์[11]

#### 2.2.1.1 ดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นกลุ่มก๊าซร้อนรูปทรงกลมที่มีความหนาแน่นสูง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ  $1.39 \times 10^9$  เมตร และมีระยะห่างเฉลี่ยจากโลกประมาณ  $1.5 \times 10^{11}$  เมตร เมื่อสังเกตจากโลก ดวงอาทิตย์จะใช้เวลาหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ไม่ได้เป็นการหมุนแบบของแข็ง กล่าวคือบริเวณศูนย์กลางจะใช้เวลา 27 วันและประมาณ 30 วันบริเวณขั้ว

ดวงอาทิตย์เปรียบเสมือนวัตถุดำที่อุณหภูมิประสิทธิภาพ 5,777 เคลวิน อุณหภูมิภายในบริเวณศูนย์กลางของดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ  $8 \times 10^6$  ถึง  $40 \times 10^6$  เคลวิน และมีความหนาแน่นประมาณ 100 เท่าของความหนาแน่นของน้ำ ดวงอาทิตย์เปรียบได้กับเตาปฏิกรณ์ที่เกิดปฏิกิริยาฟิวชันของก๊าซที่เป็นส่วนประกอบอย่างต่อเนื่อง พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาการหลอมตัวของนิวเคลียสธาตุเบา ปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดปฏิกิริยาหนึ่งคือ การหลอมตัวของไฮโดรเจน เป็น ฮีเลียม มวลนิวเคลียสของฮีเลียมมีค่าน้อยกว่ามวลของไฮโดรเจนที่ตัวรวมกัน ดังนั้นมวลส่วนที่หายไป คือ มวลที่เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงาน พลังงานนี้จะเกิดขึ้นที่ภายในของดวงอาทิตย์ที่อุณหภูมิหลายล้านเคลวิน พลังงานจะถ่ายเทที่ผิวของดวงอาทิตย์และแผ่ออกจากผิวสู่อวกาศ

### 2.2.1.2 การคำนวณค่ารังสีดวงอาทิตย์

ปริมาณพลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนผิวโลกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ รังสีตรง รังสีกระจาย และรังสีรวม ค่ารังสีทั้ง 3 ประเภทนี้สามารถวัดได้โดยตรงด้วยเครื่องมือวัดรังสี เช่น ไพรานอมิเตอร์ใช้วัดรังสีรวม, ไพรานอมิเตอร์ชนิดมี Shading Ring ใช้วัดรังสีกระจาย และไพร์ฮีลิออมิเตอร์ใช้วัดรังสีตรง โดยปกติตัวรับรังสีจะวางทำมุมกับพื้นราบ เพื่อให้ได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปีมากที่สุด แต่ค่ารังสีที่วัดตามสถานีต่างๆ จะวัดบนพื้นราบ ซึ่งค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นราบและบนพื้นเอียงจะมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องหาค่าแฟกเตอร์สำหรับเปลี่ยนรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นราบให้เป็นรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นเอียง สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$I_T = I_b R_b + I_d \quad 2.1$$

เมื่อ

$I_T$	คือ	ความเข้มของรังสีรวมที่ตกกระทบบนตัวรับรังสี, $W/m^2$
$I_b$	คือ	ความเข้มของรังสีตรงบนพื้นราบ, $W/m^2$
$I_d$	คือ	ความเข้มของรังสีกระจายบนพื้นราบ, $W/m^2$
$R_b$	คือ	อัตราส่วนของรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีรวมบนพื้นราบ

แฟกเตอร์รังสีที่ทำกรออกแบบจะวางตัวในแนวที่สามารถรับแสงได้ตลอดทั้งวันสำหรับพื้นที่ในประเทศไทย ซึ่งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร จะติดตั้งให้หันไปทางทิศใต้ ดังนั้นค่า  $R_b$  จะหาได้จากสมการของ Hottel และ Woertz

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad 2.2$$

เมื่อ

$\phi$	คือ	มุมละติจูดที่แผงรับรังสีติดตั้ง, °C
--------	-----	-------------------------------------

- $\beta$  คือ มุมเอียงของแผงรับรังสีจากแนวระดับ , °C  
 $\delta$  คือ มุมที่ดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันทำมุมกับแนวระนาบเส้นศูนย์สูตร  
 $\omega$  คือ มุมแต่ละชั่วโมงของดวงอาทิตย์ , °C

สำหรับค่า มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle,  $\delta$ ) หาได้จากสมการดังนี้

$$\delta = 23.45 \sin \left[ 360 \cdot \frac{(284 + n)}{365} \right] \quad 2.3$$

เมื่อ

$n$  คือ จำนวนวันทั้งหมดของปี (จากต้นปีถึงวันที่จะคำนวณ)

โดยปกติ  $\delta$  จะมีค่าที่เล็กมาก ดังนั้น  $\sin(\phi - \beta) \sin \beta$  ในสมการที่ 5 จะไม่ค่อยมีผลค่า  $R_b$  ตัวที่มีอิทธิพลต่อค่า  $R_b$  มากที่สุดคือ  $\cos(\phi - \beta)$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } R_b \text{ จะมีค่าสูงสุดเมื่อ } \cos(\phi - \beta) &= 1 \\ (\phi - \beta) &= 0 \\ \phi &= \beta \end{aligned}$$

หรือ

$$\begin{aligned} R_b &= \frac{\cos(14^\circ - 14^\circ) \cos \delta \cos \omega + \sin(14^\circ - 14^\circ) \sin \delta}{\cos 14^\circ \cos \delta \cos \omega + \sin 14^\circ \sin \delta} \quad 2.4 \\ &= \frac{\cos \delta \cos \omega}{0.97 \cos \delta \cos \omega + 0.24 \sin \delta} \end{aligned}$$

โดยปกติ Solar Declination จะมีค่าน้อยทำให้  $\sin \delta$  มีค่าน้อยตามไปด้วยค่า  $R_b$  จึงสามารถเขียนสมการได้ดังนี้ได้

$$R_b = \frac{\cos \delta \cos \omega}{0.97 \cos \delta \cos \omega} = 1$$

$$I_T = I_b + I_d = I \quad 2.5$$

## 2.2.2 การถ่ายเทความร้อนของพลังงานแสงอาทิตย์

### 2.2.2.1 วัตถุดำ ( Blackbody )

วัตถุดำ คือ วัตถุที่สามารถดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบได้อย่างสมบูรณ์ไม่ว่าในช่วงความยาวคลื่นหรือทิศทางใด วัตถุดำเป็นเพียงวัตถุในอุดมคติเท่านั้น วัตถุที่มีอยู่จริงทุกชนิดจะมีการสะท้อนรังสีบางส่วนออกไปเสมอ แม้ว่าวัตถุดำจะไม่มีอยู่จริงในธรรมชาติ แต่ก็มีวัตถุดำบางอย่างที่มีสมบัติใกล้เคียงกับ

วัตถุดำ เช่น ถ่านดำ ที่มีลักษณะเป็นชั้นหนาจะสามารถดูดกลืนรังสีความร้อนที่ตกกระทบได้ 99 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ

นิยามของวัตถุดำอีกประการหนึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นวัตถุที่สามารถแผ่รังสีความร้อนได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้เพราะจากการทดลองง่ายๆจะพบได้ว่าวัตถุที่สามารถแผ่รังสีได้อย่างสมบูรณ์ในขณะที่เดียวกันจะสามารถดูดกลืนรังสีได้อย่างสมบูรณ์ด้วย วัตถุดำจะดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบและคงตัวอยู่ที่อุณหภูมิค่าหนึ่ง ในขณะที่เดียวกันก็จะปล่อยรังสีในจำนวนเดียวกับที่ดูดกลืนไว้

### 2.2.2.2 การแผ่รังสีท้องฟ้า

ในการหาค่าสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จะทำการประเมินการแลกเปลี่ยนการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวและท้องฟ้า ซึ่งท้องฟ้าสามารถพิจารณาคล้ายกับวัตถุดำที่อุณหภูมิท้องฟ้า  $T_{sky}$  การแผ่รังสีสุทธิที่เกิดขึ้นจริงระหว่างตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ในแบบแผ่นราบในแนวระดับกับท้องฟ้า

$$T_{SKY} = 0.0552 T_{air}^{1.5} \quad 2.6$$

$$T_{SKY} = T_{air} - 6 \quad 2.7$$

เมื่อ

$$T_{SKY} \text{ คือ อุณหภูมิท้องฟ้า, } ^\circ\text{C}$$

$$T_{air} \text{ คือ อุณหภูมิอากาศ, } ^\circ\text{C}$$

### 2.2.2.3 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลม

การสูญเสียความร้อนจากแผ่นราบสู่อากาศภายนอก เป็นเรื่องที่สำคัญสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ในกรณีที่แผงรับรังสีพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีลมพัดผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลมจะหาได้จากสมการคือ

$$h_w = 2.8 + 3v \quad 2.8$$

เมื่อ

$$h_w \text{ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลม, m/s}$$

$$v \text{ คือ ความเร็วของลม, m/s}$$

### 2.2.3 การพาความร้อน (Heat Convection) [12]

กระบวนการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาความร้อนเป็นปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของพลังงานจากแหล่งอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่โมเลกุลตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปด้วย ตัวอย่างเช่น

การเคลื่อนที่ของลมที่ผ่านหน้าขดลวดความร้อน ลมดังกล่าวก็จะมีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย นอกจากนี้ การถ่ายโอนความร้อนแบบพายังมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการผลิตอาหารหลายชนิด ไม่ว่าจะเป็นโดยตรง หรือ ในด้านการใช้ลมหรือน้ำเป็นสารตัวกลางในกระบวนการ การพาความร้อน โดยใช้กฎระบายความร้อนของนิวตันคือ

$$q = hA(T_w - T_f) \tag{2.9}$$

เมื่อ

- q คือ อัตราการพาความร้อน , W
- A คือ พื้นที่ของการพาความร้อน , m<sup>2</sup>
- h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน , W/m<sup>2</sup>°C
- T<sub>w</sub> คือ อุณหภูมิของพื้นผิวของแข็ง , °C
- T<sub>f</sub> คือ อุณหภูมิของของไหล , °C

ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยของของไหลบางชนิด

Mode	h	
	Btu/(h.ft <sup>2</sup> . °F)	W/(m <sup>2</sup> .K)
การพาความร้อนอิสระ(อากาศ)	1-5	5-25
การพาความร้อนบังคับ (อากาศ)	2-100	10-500
การพาความร้อนบังคับ (น้ำ)	20-3,000	100-15,000
น้ำเดือด	500-5,000	2,500-25,000
ไอน้ำควบแน่น	1,000-20,000	5,000-10,000

**2.2.3.1 ความสัมพันธ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติระหว่างแผ่นราบ**

ในระบบการทำความร้อนแบบบังคับ ซึ่งจะใช้อากาศเป็นตัวพาความร้อนและพลังงานความร้อนจะมาจากแผงรับรังสีพลังงานอาทิตย์ อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างแผ่นราบที่วางเอียงทำมุมกับแนวระดับ เป็นตัวแปรที่สำคัญที่ใช้บ่งบอกสมรรถนะของตัวรับรังสีแบบแผ่นราบ โดยทั่วไปการพาความร้อนแบบธรรมชาติจะเกี่ยวข้องกับตัวแปร 3 มิติ คือ

ตัวเลขนัสเซิลท์ ( Nusselt Number , Nu )

$$Nu = 1 + 1.44 \left[ 1 - \frac{1708(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{Ra \cdot \cos \beta} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos \beta} \right]^+ + \left[ \left( \frac{Ra \cdot \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \tag{2.10}$$

ตัวเลขเรย์เลห์ ( Rayleigh Number , Ra )

$$Ra = \frac{g\beta' \Delta T L^3}{\nu \alpha} \quad 2.11$$

ตัวเลขพรันด์ทิล ( Prandtl Number, Pr )

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad 2.12$$

เมื่อ

h	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ,W/m <sup>2</sup> °C
L	คือ	ระยะห่างระหว่างแผ่น , m
k	คือ	ค่าการนำความร้อน ,W/m <sup>2</sup> °C
g	คือ	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก , m/s <sup>2</sup>

$\beta'$  คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร  
(สำหรับก๊าซอุดมคติ  $\beta = 1/T$ )

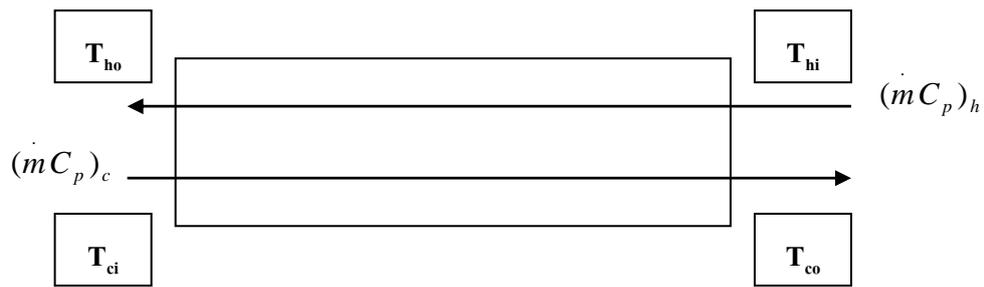
$\Delta T$  คือ ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นราบทั้งสอง ,°C

$\nu$  คือ ความหนืดคินเนติก , ความถี่

$\alpha$  คือ ค่าการแพร่กระจายความร้อน , m/s

#### 2.2.4 การคำนวณค่าประสิทธิภาพ NTU สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

วิธีการนี้ค่อนข้างสะดวกในการคำนวณเกี่ยวกับระบบรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ค่าประสิทธิภาพ NTU (Number of Transfer Units) ของการคำนวณสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งในที่นี้จะสรุปวิธีการย่อไว้เป็นแนวทางเท่านั้น โดยจะกล่าวถึงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนร้อนแบบอื่นจะมีสมการที่ใช้ในการคำนวณ รูปแบบของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางกันที่มีอุณหภูมิทางเข้าและออกและอัตราความจุความร้อนของกระแสน้ำไหลร้อนและกระแสน้ำไหลเย็น ซึ่งในการถ่ายเทความร้อนที่ให้อาศัยปริมาณของความร้อนดังวิธีการของค่าประสิทธิภาพ มักมีข้อได้เปรียบมากกว่าปัญหาในการวิเคราะห์ด้วยการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆ เราสามารถที่จะกำหนดประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง

$$Q_{ure} = (\dot{m}C_p)_h (T_{hi} - T_{ci}) \quad 2.13$$

$$Q_{ure} = (\dot{m}C_p)_c (T_{hi} - T_{ci}) \quad 2.14$$

เมื่อ

$Q_{ure}$  คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้ , W

$T_{in}$  คือ อุณหภูมิของของไหลกระแสร้อนตรงทางเข้า, °C

$T_{ci}$  คือ อุณหภูมิของของไหลกระแสเย็นตรงทางเข้า, °C

$\dot{m}$  คือ อัตราการไหลเชิงมวล , kg/s

$C_p$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ , J/kg °C

การถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่เป็นไปได้ถูกจำกัดโดยอัตราความจุความร้อนที่น้อยที่สุด  $(\dot{m}C_p)_{\min}$

$$Q_{\max} = (\dot{m}C_p)_{\min} (T_{hi} - T_{ci}) \quad 2.15$$

การถ่ายเทความร้อนจริงคือ

$$Q_{ure} = (\dot{m}C_p)_c (T_{co} - T_{ci}) = (\dot{m}C_p)_h (T_{hi} - T_{ho}) \quad 2.16$$

ค่าประสิทธิภาพ  $\varepsilon$  ถูกนิยามโดยอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนจริงต่ออัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนที่อาจเป็นไปได้สูงสุด

$$\varepsilon = \frac{Q_{ure}}{Q_{\max}} = \frac{(\dot{m}C_p)_h (T_{hi} - T_{ho})}{(\dot{m}C_p)_{\min} (T_{hi} - T_{ci})} = \frac{(\dot{m}C_p)_c (T_{co} - T_{ci})}{(\dot{m}C_p)_{\min} (T_{hi} - T_{ci})} \quad 2.17$$

เนื่องจากของไหลทั้งกระแสร้อนหรือเย็นมีอัตราความจุความร้อนต่ำสุด ค่าประสิทธิภาพสามารถอธิบายได้ในเทอมของอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว และสมการที่ใช้ในการคำนวณสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนคือ

$$Q = \varepsilon (\dot{m} C_p)_{\min} (T_{hi} - T_{ci}) \quad 2.18$$

สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางกัน

$$\varepsilon = \frac{NTU}{1 + NTU} \quad \text{ถ้า} \quad C^* = 1 \quad 2.19$$

$$NTU = \frac{UA}{(\dot{m} C_p)_{\min}} \quad 2.20$$

เมื่อ

NTU คือ จำนวนหน่วยของการถ่ายเทความร้อน

### 2.2.5 สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสี

เพื่อให้สูตรการคำนวณปริมาณความร้อนอันเนื่องมาจากการแผ่รังสีมีรูปแบบง่าย จะใช้สมการเชิงเส้นในการคำนวณ ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี  $h_r$  เพื่อนำมาพิจารณาการแผ่รังสี

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผงรับพลังงานความร้อนกับแผ่นกระจก

$$h_{r,p-c} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad 2.21$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นกระจกกับแสงอาทิตย์

$$h_{r,c-s} = \varepsilon_c \sigma (T_c^2 + T_s^2) (T_c + T_s) \quad 2.22$$

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์กับแผ่นกระจก

$$h_{p-c} = \frac{[1 - 0.0018(\bar{T} - 10)] 1.14(\Delta T)^{0.31}}{1^{0.07}} \quad 2.23$$

การหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม

$$U_t = \left[ \frac{1}{h_{p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-s}} \right]^{-1} \quad 2.24$$

เมื่อ

$U_i$	คือ	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน , $W/m^2 \text{ } ^\circ C$
$h_{p-c}$	คือ	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์กับแผ่นกระจก , $W/m^2 \text{ } ^\circ C$
$h_{r,p-c}$	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผงรับพลังงานความร้อนกับแผ่นกระจก , $W/m^2 \text{ } ^\circ C$
$h_{r,c-s}$	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นกระจกกับแสงอาทิตย์ , $W/m^2 \text{ } ^\circ C$
$h_w$	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยลม , $W/m^2 \text{ } ^\circ C$
$T$	คือ	อุณหภูมิ , $^\circ C$
$\varepsilon_c$	คือ	ค่าการแผ่รังสี

**หมายเหตุตัวห้อย**

r	คือ	การแผ่รังสี
p	คือ	แผ่นดูดกลืนรังสี
c	คือ	ตัวเก็บรังสี,แผ่นปิดใส
w	คือ	ลม
s	คือ	ท้องฟ้า
a	คือ	อากาศแวดล้อม,ดูดกลืน

**2.2.5.1 การคำนวณค่าการสูญเสียความร้อนด้านบน**

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนที่ด้านบน ( $U_i$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการ ซึ่งสมการจะใช้ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีน้อยกว่า  $200 \text{ } ^\circ C$  และสามารถนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านบน เมื่อคิดเฉพาะพื้นที่ผิวดูดรังสีของตัวรับรังสีแบบแผ่นราบได้ดังนี้

$$U_i = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[ \frac{T_{pm} - T_a}{(N + f)} \right]} + \frac{1}{h_w} \right\}^{-1} + \frac{\delta(T_{pm} + T_a)(T_{pm}^2 + T_a^2)}{(\varepsilon + 0.00591Nh_w)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_g} - N} \quad 2.25$$

เมื่อ

$N$	คือ	จำนวนของกระจก
$f$	คือ	$(1 + 0.089h_w - 0.1166h_w \varepsilon_p)(0 + 0.07866N)$

$C$	คือ	$520(1-0.000051 \beta^2)$ สำหรับ $0^\circ < \beta < 70^\circ$ กรณีที่ $\beta > 70^\circ$ ให้ใช้ $\beta = 70^\circ$
$\varepsilon_p$	คือ	ค่าการแผ่รังสีของแผงรับรังสี ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0.96
$\varepsilon_g$	คือ	ค่าการแผ่รังสีของกระจกในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0.88
$T_a$	คือ	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม, $^\circ\text{C}$
$T_{pm}$	คือ	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงรับรังสี, $^\circ\text{C}$
$h_w$	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยลม, $\text{W/m}^2\text{C}$ เท่ากับ $2.8+3.0V$
$f$	คือ	ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann เท่ากับ $5.67 \times 10^{-8}$ , $\text{W/m}^2\text{C}^4$

### 2.2.5.2 การคำนวณค่าการสูญเสียความร้อนด้านล่าง

การคำนวณการสูญเสียความร้อนด้านล่างเพื่อสะดวก จะคิดเฉพาะการสูญเสียเนื่องจากการนำความร้อนเท่านั้นซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของฉนวน ดังสมการต่อไปนี้

$$U_b = \frac{K}{L} \quad 2.26$$

เมื่อ

$U_b$	คือ	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านล่าง, $\text{W/m}^2\text{C}$
$K$	คือ	สภาพนำความร้อนของฉนวน, $\text{W/m}^2\text{C}$
$L$	คือ	ความหนาแน่นของฉนวน, m

### 2.2.5.3 การคำนวณค่าการสูญเสียความร้อนด้านข้าง

ในการคำนวณการสูญเสียความร้อนด้านข้าง จะคิดเฉพาะการสูญเสียเนื่องจากการนำความร้อนเท่านั้นซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของฉนวน และพื้นที่ด้านข้างของตัวรับรังสี ซึ่งพื้นที่ด้านข้างจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ของตัวรับรังสี ดังสมการต่อไปนี้

$$U_c = \frac{(UA)_{edge}}{A_c} \quad 2.27$$

เมื่อ

$U_c$	คือ	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านข้าง, $\text{W/m}^2\text{C}$
$(UA)_{edge}$	คือ	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านข้างของตัวรับรังสี, $\text{W/m}^2\text{C}$
$A_c$	คือ	พื้นที่ของตัวรับรังสี, $\text{m}^2$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมทั้งหมด เท่ากับ

$$U_L = U_t + U_b + U_c \quad 2.28$$

#### 2.2.5.4 แฟกเตอร์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี

$$F' = \left[ 1 + \frac{U_L}{h + [(1/h) + (1/h_r)]^{-1}} \right]^{-1} \quad 2.29$$

เมื่อ

$F'$  คือ แฟกเตอร์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี

#### 2.2.5.5 แฟกเตอร์การดึงความร้อนและแฟกเตอร์ของไหล

พลังงานใช้ประโยชน์จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแฟกเตอร์การดึงความร้อนของตัวเก็บรังสี (Collector Heat Removal Factor,  $F_R$ ) เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จริงต่อพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อแผงรับรังสีมีอุณหภูมิเท่ากับของไหลที่เข้าจะได้สมการคือ

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

เมื่อ

$F_R$  คือ แฟกเตอร์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี

$U_L$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวรับรังสี,  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

$A_c$  คือ พื้นที่ของตัวรับรังสีทั้งหมด,  $m^2$

$\dot{m}$  คือ อัตราการไหลของอากาศร้อน,  $kg/kmol$

$C_p$  คือ ความจุความร้อนของอากาศ,  $kJ/kg \text{ } ^\circ C$

#### 2.2.6 สมการสมดุลพลังงานบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ

สมรรถนะของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์สามารถอธิบายได้โดยใช้หลักการสมดุลพลังงานเมื่อพิจารณาที่สถานะคงที่ ซึ่งจะเห็นได้จากการกระจายของพลังงานรังสีอาทิตย์ในรูปการสูญเสียทางความร้อน และการสูญเสียเชิงแสง ของพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

$$Q_u = A_c [F_R (\tau\alpha) I_T - F_R U_L (T_i - T_a)] \quad 2.31$$

เมื่อ

$Q_u$  คือ พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ไปใช้ประโยชน์,  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

$A_c$  คือ พื้นที่ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์,  $m^2$

$S$  คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวรับรังสี,  $W/m^2$

$U_L$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวรับรังสี,  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

$T_i$	คือ	อุณหภูมิของแผงรับรังสี , °C
$T_a$	คือ	อุณหภูมิแวดล้อม , °C

ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์

$$\eta = \frac{\Sigma Q_U}{\Sigma I_T A_C} \quad 2.32$$

เมื่อ

$Q_U$	คือ	ความร้อนที่ได้รับจากตัวรับรังสี , W/m <sup>2</sup> °C
$A_C$	คือ	พื้นที่ของตัวรับรังสีทั้งหมด , m <sup>2</sup>
$I_T$	คือ	ความเข้มของรังสีรวมที่ตกกระทบบนตัวรับรังสี , W/m <sup>2</sup>

### 2.2.7 การนำความร้อน (Heat Conduction) [12]

การนำความร้อน คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าการนำความร้อนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาคในโลหะการนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ(คล้ายการนำไฟฟ้า) ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ (คล้ายการนำไฟฟ้า) ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง ในก๊าซการนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะท้อนระหว่างโมเลกุลหรือกล่าวคือการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่าน โดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad 2.33$$

เมื่อ

$Q_x$	คือ	การนำความร้อน , W
$k$	คือ	ค่าการนำความร้อน , W/m-°C
$A$	คือ	พื้นที่ที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของความร้อน , m <sup>2</sup>
$\frac{dT}{dx}$	คือ	อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตั้งกับระยะทาง , °C

ตารางที่ 2.2 สภาพนำความร้อนของวัสดุบางชนิด ที่อุณหภูมิ 27°C

วัสดุ	สภาพนำความร้อน, K (W/m <sup>2</sup> ·°C)
ทองแดง	386
อะลูมิเนียม	204
เหล็กคาร์บอน	54
หินอ่อน	2.1-2.94
หินทราย	1.85
กระจำ	0.25-0.8
ซีเมนต์	0.06
ใยแก้ว	0.04
พลาสติกใส	0.2-0.3
น้ำ	0.6
อากาศ	0.026

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของใยแก้ว

คุณสมบัติ	แบบเส้นใยอัดเป็นแผ่น
สภาพการนำความร้อน (k), W/m.K	0.045
สภาพการต้านทานความร้อนที่ปรากฏ (R), m.K/W	22.4
ความหนาแน่นของวัสดุ $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	16.02
ค่าความร้อนจำเพาะ $C_p$ , kJ/kg°C	0.84
สภาพการแผ่กระจายความร้อน $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s	$0.33 \times 10^{-5}$
อุณหภูมิที่ใช้สูงสุด °C	190

## ตารางที่ 2.4 สภาพการแผ่รังสีของวัสดุบางชนิด

วัสดุ	สภาพการแผ่รังสี, $\epsilon$
<b>โลหะ</b>	
อลูมิเนียม แผ่นบาง	0.05
อลูมิเนียม แผ่น	0.12
ทองเหลือง, แผ่นม้วน	0.06
ทองเหลือง, ชัดมัน	0.10
ทองเหลือง, เป็นออกไซด์	0.61
เหล็กเหนียว, ชัดมัน	0.28
เหล็กเหนียว, เป็นออกไซด์	0.94
เหล็กแผ่น, ขึ้นสนิม โดยตลอด	0.67
เหล็กกล้า, แบบบไรท์เคลือบสังกะสี	0.25
เหล็กกล้าไร้สนิม ชนิด 301	0.14
เหล็กกล้า, แผ่นหยาบ	0.94
<b>เคลือบสี</b>	
อลูมิเนียม เคลือบสี	0.50
แผ่นดำเคลือบแลคเกอร์	0.95
อลูมิเนียมเคลือบสี ส้มสาท	0.74
เคลือบสีขาว	0.90

### 2.2.8 อัตราการอบแห้ง [2]

#### 2.2.8.1 การหาค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์

ในการหาค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์นั้นจะใช้สมการการแพร่ความชื้น ปริมาณความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ

2.2.8.1.1 ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก ( Wet basis ) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุชื้น ซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$Mw = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad 2.34$$

เมื่อ

$M_w$	คือ	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก
$W$	คือ	น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น, kg
$d$	คือ	น้ำหนักของวัสดุแห้ง, kg

**2.2.8.1.2 ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis)** คืออัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้ง สามารถหาค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

$$Md = \frac{w-d}{d} \times 100 \quad 2.35$$

เมื่อ

$M_d$	คือ	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง
-------	-----	--------------------------------

## 2.2.9 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ [2]

ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการลงทุนของการศึกษาตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยคิดที่ราคาของผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้งคิดต่อกิโลกรัม สามารถทำได้โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ต้นทุนรายปีจะหาได้จากสมการดังนี้

1. กำหนดอายุการใช้งานตู้อบแห้ง
2. เงินลงทุนในการสร้างตู้อบแห้งครั้งแรก (First cost)
3. อัตราดอกเบี้ยตลอดอายุการใช้งาน (Rate of interest)
4. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ และซ่อมบำรุงรักษา (Operating and Maintenance Costs)
5. ค่าไฟฟ้ารายปี
6. ค่าเชื้อเพลิงรายปี
7. ค่าวัตถุดิบที่นำมาอบแห้ง
8. รายได้ (Income)

### 2.2.9.1 การวิเคราะห์ต้นทุนรายปี (Uniform Annual Cost Method)

เป็นวิธีการแปลงค่าเงินทุกอย่างของโครงการให้มาอยู่ในรูปของค่าเงินรายปีอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$R1 = P(CRF) \quad 2.36$$

เมื่อ

	$R_1$	คือ	ราคาต้นทุนของคู่อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นรายปี	
	$P$	คือ	ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการอบแห้ง	
	CRF	คือ	Capital Recovery Factor $[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}]$	
	$R_2$	=	S(SFF)	2.37
เมื่อ	$R_2$	คือ	มูลค่าซากรายปี	
	$S$	คือ	มูลค่าซาก	
	SFF	คือ	Sinking-Fund Factor $[\frac{i}{(1+i)^n - 1}]$	
	$i$	คือ	อัตราดอกเบี้ยรายปี (%)	
	$n$	คือ	อายุการใช้งาน (ปี)	

จากสมการที่ 1 และ 2 จะหาต้นทุนสุทธิรายปี (R) จากสมการดังนี้คือ

$$R = R_1 - R_2 + \text{Operating Cost} \quad 2.38$$

ถ้าให้  $V_w$  เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งโดยเฉลี่ย ตลอดปี ดังนั้นราคาต้นทุนหาได้จากสมการดังนี้คือ

$$\text{ราคาต้นทุนที่ใช้จ่ายในการดำเนินการการอบแห้ง} = \frac{R}{V_w} \quad 2.39$$

เพื่อหา  $n$  ที่เป็นระยะเวลาที่หาค่าคุ้มทุนตามสมการดังต่อไปนี้

$$n = \frac{\ln E}{\ln(1+i)} \quad 2.40$$

$$E = \frac{Si - X + Y}{Pi - X + Y} \quad 2.41$$

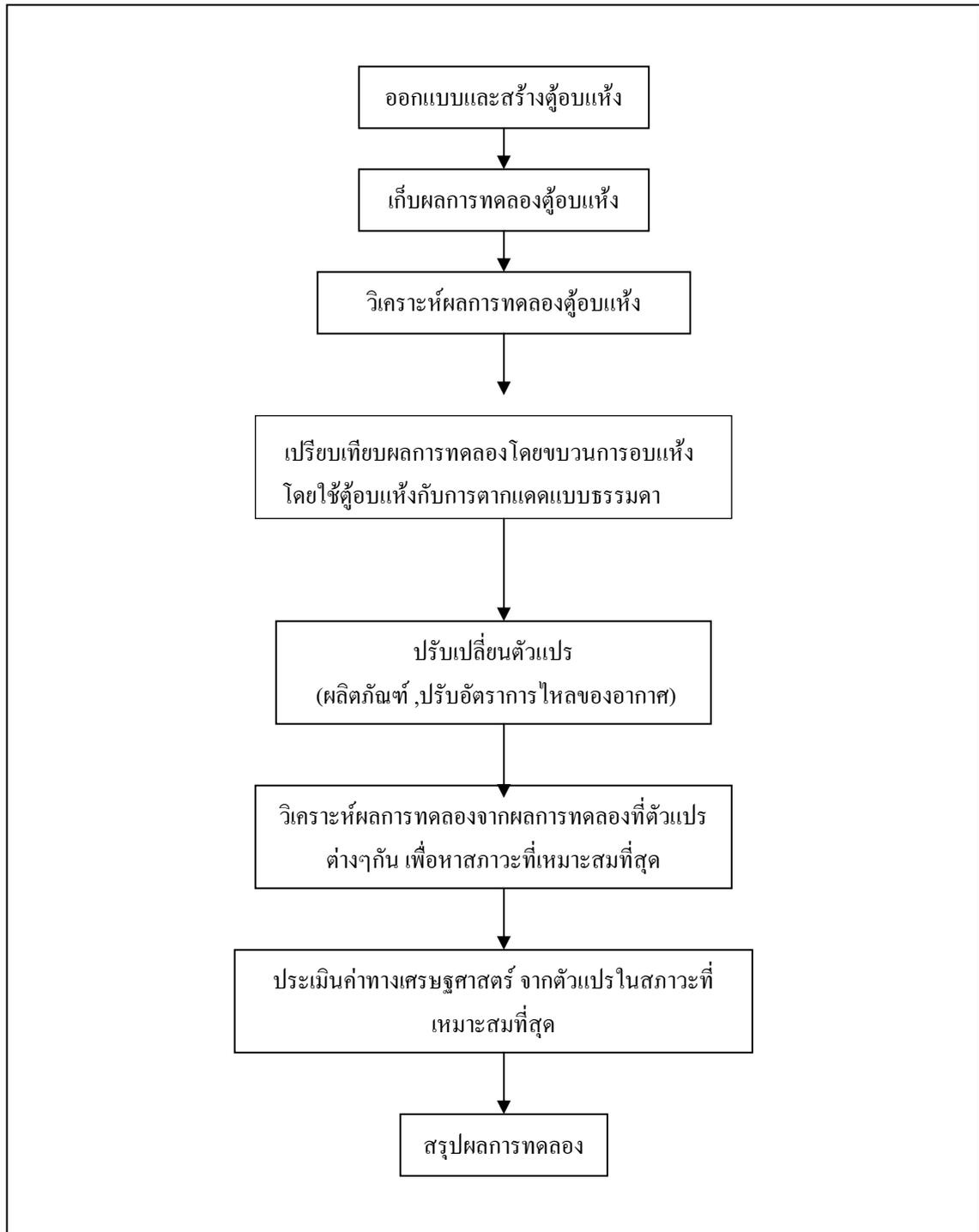
เมื่อ

$X$	=	เป็นเงินรายได้จากขายผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งต่อปี
$Y$	=	เป็นค่าราคาผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้ง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการหรือต้นทุนในการอบแห้ง และซ่อมบำรุงรักษา

### บทที่ 3 วิธีการทดลอง

ประเทศไทยได้มีการนำผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทางทะเลมาแปรรูป โดยการทำให้แห้งแล้วนั้นนิยมนำมาบริโภค และมีมูลค่าทางเศรษฐกิจที่สำคัญต่อประเทศไทย โดยมีการผลิตทั้งในระดับครัวเรือน ไปจนถึงระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม มักทำการผลิตแบบง่ายๆคือ การตากแห้ง โดยใช้แสงแดดตามธรรมชาติ [1] และการตากแห้งในห้องอบแห้งที่ใช้ไฟฟ้า หรือ ถ่าน ไม้ มาใช้ในการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ให้แห้ง และรวมไปถึงการศึกษาการตากแห้งในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นตู้อบแห้งที่มีการพาความร้อนโดยธรรมชาติ วิธีการตากผลิตภัณฑ์ให้แห้งที่กล่าวมานั้น ไม่มีการควบคุมตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ซึ่งตัวแปรนี้ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราการไหลของอากาศ และรวมไปถึงการประหยัดพลังงานโดยการนำความร้อนที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ในการศึกษาและพัฒนาตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์นี้ สามารถกำหนดสภาวะการอบแห้งในส่วนของอุณหภูมิ อัตราการไหลของอากาศ การนำอัตราความร้อนที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ และสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบผลิตภัณฑ์อาหารแต่ละประเภทให้แห้งได้ โดยจะพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้ง และ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่แห้งคือ สี กลิ่น ขั้นตอนการดำเนินการทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

1. การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ โดยใช้ตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถควบคุมสภาวะการอบแห้งได้
2. การหาสมรรถนะของตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1
3. การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาต้นทุนในการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยใช้ตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

#### 3.1.1 ตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

##### 3.1.1.1 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ( Solar Collector )

แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ( กว้าง 116cmxยาว132cmxสูง 8cm) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานรังสีอาทิตย์ให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อน ถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส ซึ่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะทำหน้าที่รับรังสีอาทิตย์รวม(Total Radiation) ที่ตกกระทบ โดยไม่จำเป็นต้องมีระบบติดตามดวงอาทิตย์ ชุดแผงรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์นี้ ได้ทำการออกแบบโดยทำจากอลูมิเนียม



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

##### 3.1.1.2 ตู้อบ

ตู้อบแห้งออกแบบสร้างให้สามารถอบผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทางทะเลบางชนิดได้ ครั้งละไม่เกิน 6 กิโลกรัม ซึ่งภายในตู้อบแห้งนั้นได้จัดทำชั้นวางผลิตภัณฑ์จำนวน 5 ชั้น ด้านหน้าของตู้อบแห้งเป็นกระจกใสหนา 0.5 cm. พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์สามารถผ่านได้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับตู้อบโดยตรง ด้านหลังตู้อบมีประตูสำหรับนำผลิตภัณฑ์เข้าและออก ด้านบนต่อท่อระบายความชื้นเพื่อให้ความชื้นที่อยู่ภายในตู้อบแห้งได้ระบายออกสู่ภายนอก ด้านข้างปิดด้วยสังกะสีโดยมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนป้องกันความร้อนภายในตู้อบแห้งระบายออก



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะตู้อบแห้ง

### 3.1.1.3 ท่อดูดอากาศ

ท่อดูดอากาศร้อนใช้ในการดูดอากาศร้อนที่ออกจากตู้กลับมาใช้ใหม่โดยอากาศร้อนที่ออกจากตู้อบแห้งบางส่วนจะถูกดูดกลับมาใช้จะถูกดูดโดยพัดลมดูดอากาศจะกลับเข้ามาและเป่าเข้าไปในแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มอากาศร้อนอีกส่วนหนึ่ง ใช้ท่อขนาด 4 นิ้วและ 6 นิ้ว



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะท่อดูดอากาศ

### 3.1.1.4 พัดลมดูดอากาศ



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะพัดลมดูดอากาศ

### 3.1.2 เครื่องมือวัด ที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

3.1.2.1 มาตรวัดไฟฟ้า (Kilowatt-hour meter) จำนวน 1 เครื่อง สำหรับวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของพัดลม



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะมาตรวัดไฟฟ้า

3.1.2.2 การวัดอุณหภูมิในการทดลองจะใช้เทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะเทอร์โมมิเตอร์

3.1.2.3 เครื่องวัดค่ารังสีอาทิตย์



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะเครื่องวัดค่ารังสีอาทิตย์

### 3.1.2.4 เครื่องวัดค่าความเร็วลม



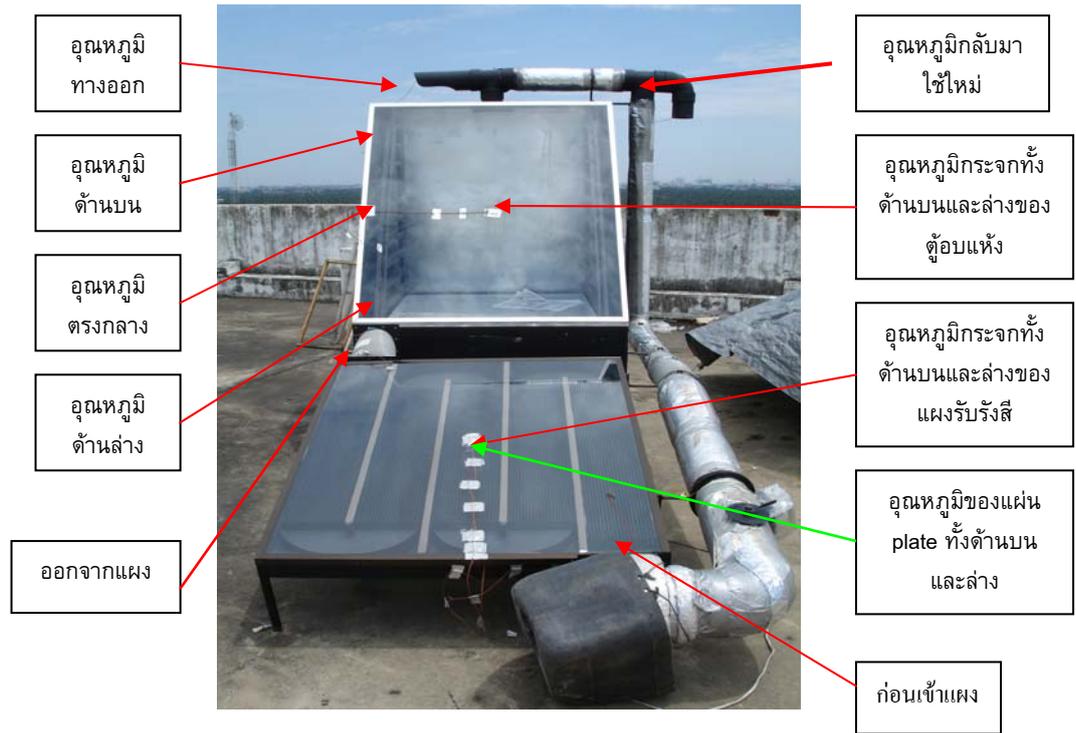
รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะเครื่องวัดค่าความเร็วลม

### 3.1.2.5 ชุดควบคุมอัตราการไหลภายในตู้อบแห้ง

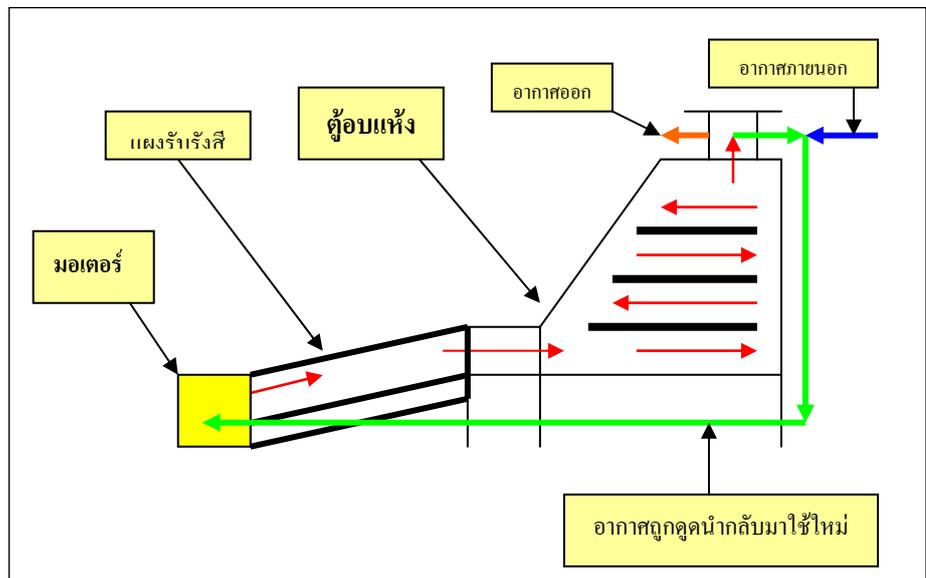


รูปที่ 3.10 แสดงชุดควบคุมอัตราการไหลภายในตู้อบแห้ง

### 3.1.2.6 จุดที่ทำการวัดค่าอุณหภูมิ



รูปที่ 3.11 แสดงจุดที่ทำการวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.12 Diagram ของตู้อบแห้ง

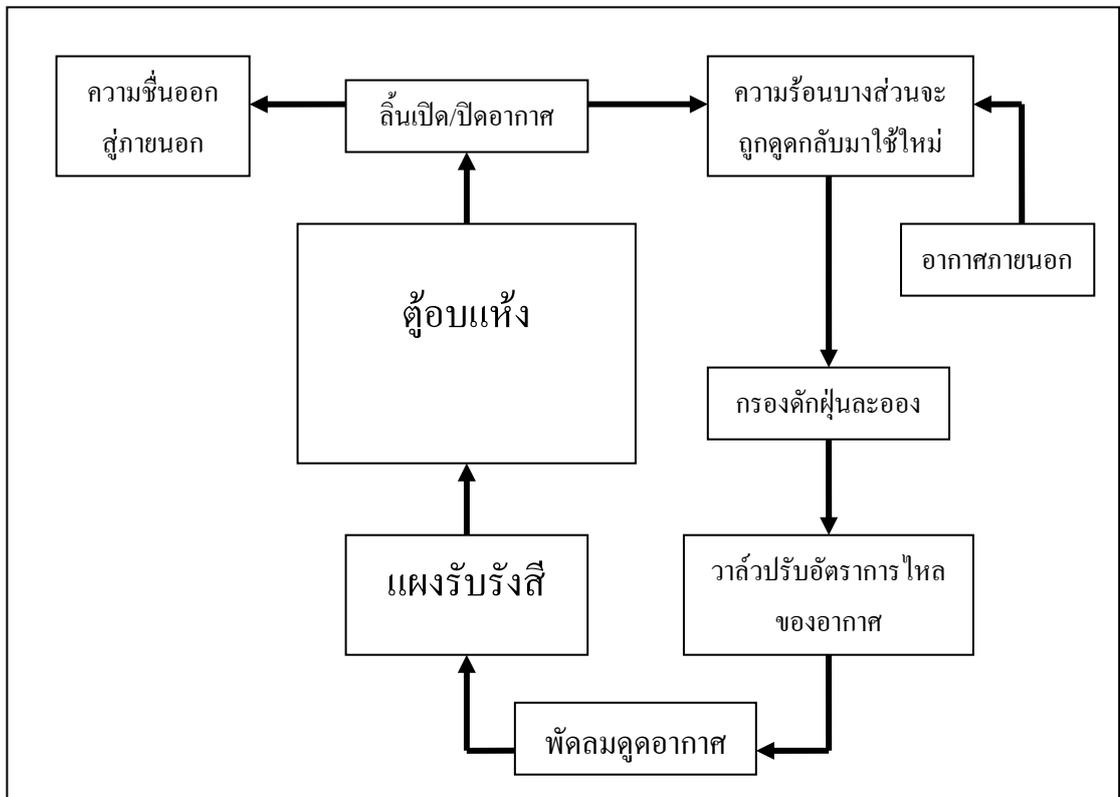
### 3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรอันได้แก่ อัตราการไหลของอากาศ สมรรถนะของตู้อบแห้ง สมรรถนะของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ การหาประสิทธิภาพของตู้อบแห้ง อัตราการอบแห้ง ค่าความชื้นของปลาหมึกและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยพิจารณาจากกฎการอนุรักษ์มวลและ

กฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ โดยใช้ตู้อบแห้ง ชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถควบคุมสภาวะการอบแห้งได้ โดยใช้พลาสติกสามแก้วมาเป็นตัวอย่างทำการทดลอง ก่อนทำการอบแห้งพลาสติกสามแก้วที่มีค่าความชื้นเริ่มต้น 82 % wb ให้มีความชื้นเหลือประมาณ 25 % wb โดยพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง เวลา และ ลักษณะปรากฏของพลาสติกสามแก้วแห้ง

การทดลองมีตัวแปรที่ต้องควบคุม 2 ตัวแปร คือ

- อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง
- อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะการทำงานของตู้อบแห้ง

### 3.2.1 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง และการเก็บข้อมูล มีดังนี้

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้นำพลาสติกสามแก้วสดแก่เป็นชิ้นซึ่งจะต้องมีขนาดของความหนาไม่เกิน 1 เซนติเมตรมาเป็นตัวอย่างในการทดลอง

**3.2.2.1** การเตรียมวัสดุอบแห้ง ล้างปลาสามแก้วสดแล้วเป็นชิ้นซึ่งจะต้องมีขนาดของความหนาไม่เกิน 1 เซนติเมตร เอาส่วนต่างๆที่อยู่ภายในออก จากนั้นก็ล้างด้วยน้ำสะอาดทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 15 นาที แล้วนำมาแช่น้ำเกลืออีก 2 นาที ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 15 นาที และนำปลาสามแก้วสดไปชั่งน้ำหนัก

**3.2.2.2** เตรียมความพร้อมของตู้อบแห้ง โดยตั้งอุณหภูมิ ปรับความเร็วของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง และเตรียมเครื่องมือการจดบันทึกข้อมูล

**3.2.2.3** นำปลาสามแก้วสดมาวางภายในตู้อบแห้ง โดยวางปลาสามแก้วสดบนตะแกรงให้ระนาบของปลาสดขนานกับทิศทางการไหลของอากาศในตู้อบแห้ง

**3.2.2.4** วัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง และ ที่ตัวปลาสามแก้วสด บันทึกผลทุกๆ ครึ่งชั่วโมง

**3.2.2.5** วัดค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

**3.2.2.6** ระยะเวลาที่ใช้ทดลอง 09:00-17:00 นาฬิกาเนื่องจากเป็นเวลาที่มีค่าความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์มากพอสำหรับที่จะใช้ในการอบแห้ง

### **3.2.2** วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

**3.2.3.1** บันทึกค่าที่จะทำการทดลอง ในวันที่ทำการทดลอง โดยบันทึกค่าต่างๆดังนี้

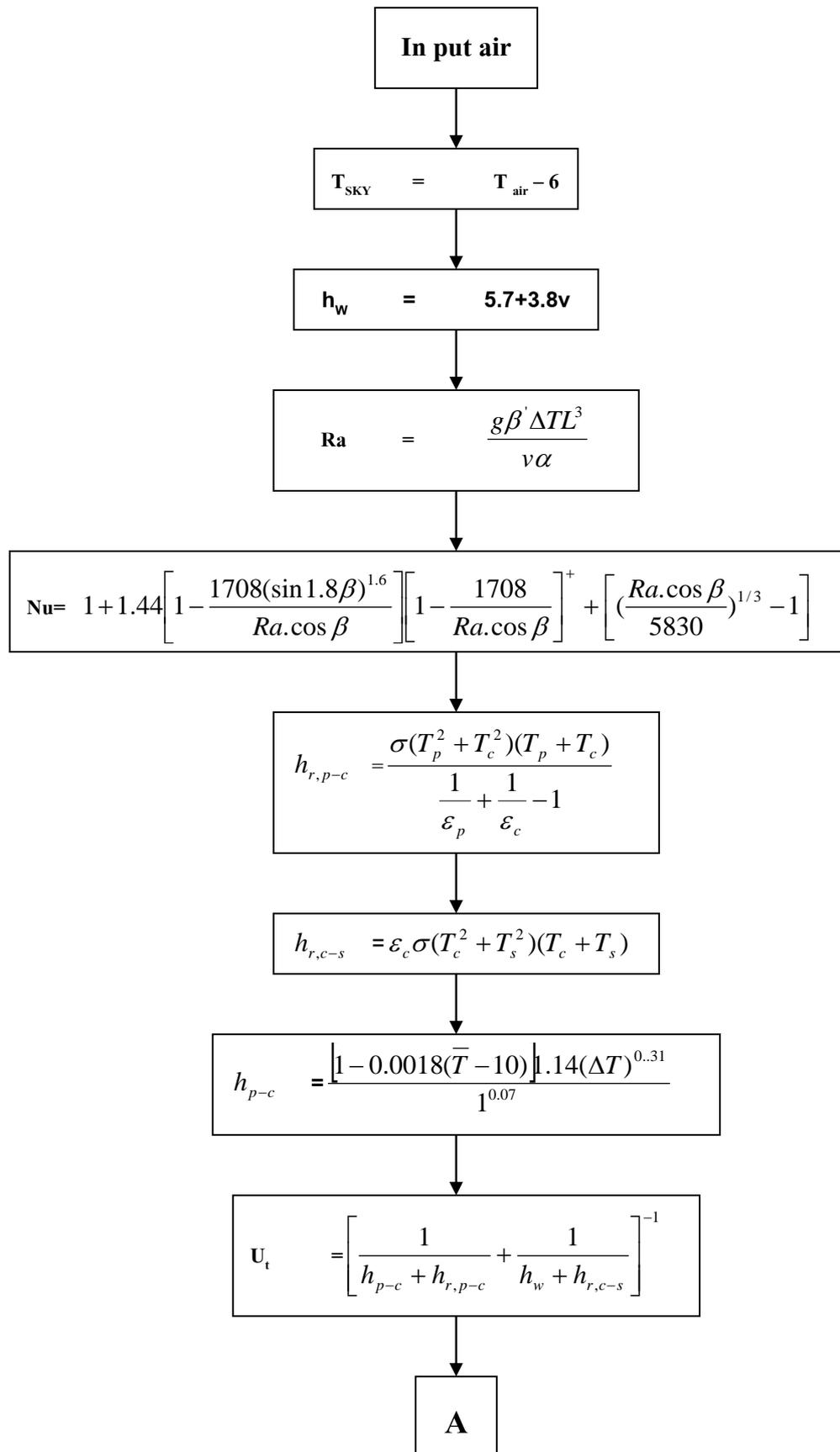
- 1) อุณหภูมิสูงสุด , °C
- 2) อุณหภูมิต่ำสุด , °C
- 3) ความเร็วลม , m/s
- 4) ความเข้มของรังสี ,  $W/m^2$
- 5) ความชื้นสัมพัทธ์ , %
- 6) สภาพอากาศ(หมอก ฝน)

**3.2.3.2** บันทึกผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบ โดยบันทึกน้ำหนักก่อนทำการอบแห้งและหลังทำการอบแห้ง ในระหว่างทำการทดสอบจะนำผลิตภัณฑ์ออกมาชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง

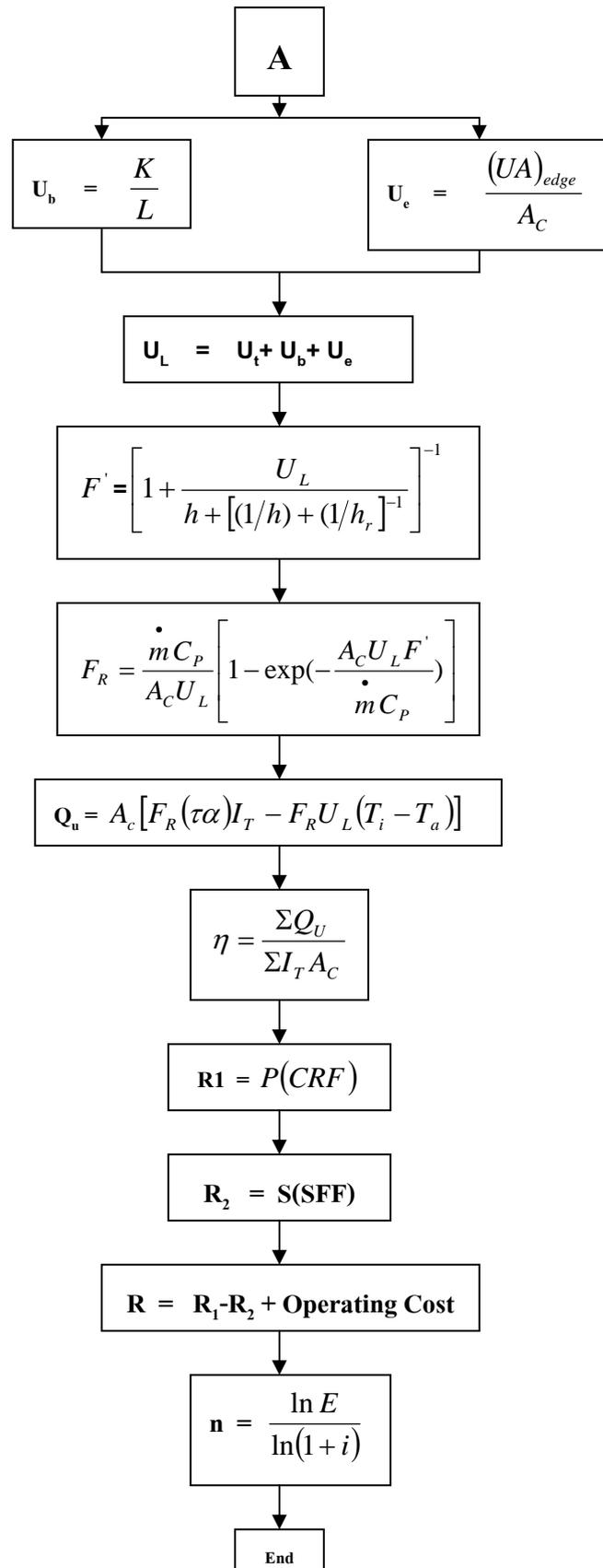
**3.2.3.3** ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในการทดสอบได้แก่ ปลาสามแก้วสดแต่เป็นจีนซึ่งจะต้องมีขนาดของความหนาไม่เกิน 1 เซนติเมตร

**3.2.3.4** บันทึกอุณหภูมิ ตามตำแหน่งต่างๆของตู้อบแห้ง โดยทำการบันทึกทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 09:00-17:00 นาฬิกา

**3.2.3.5** จัดเก็บข้อมูลทุกครั้งตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบที่ถูกต้อง



รูปที่ 3.14 แผนภาพการวิเคราะห์ห้สมการของตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ

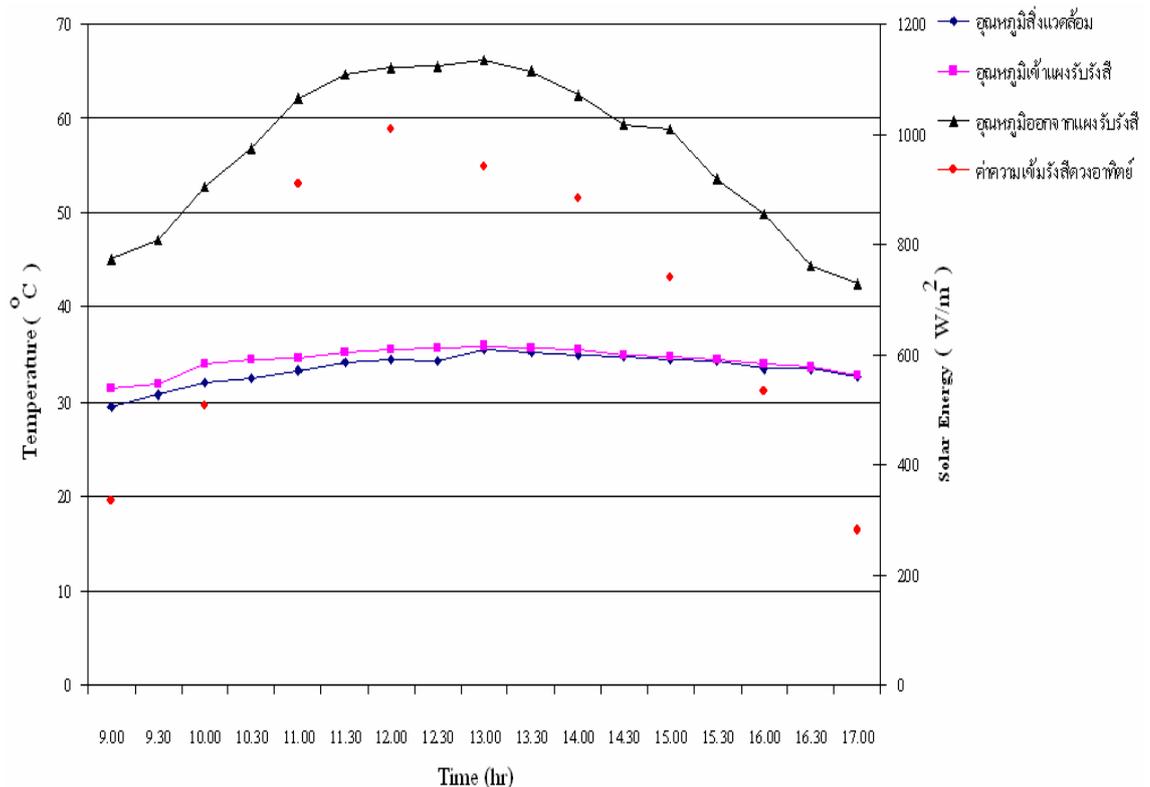


รูปที่ 3.14 (ต่อ)

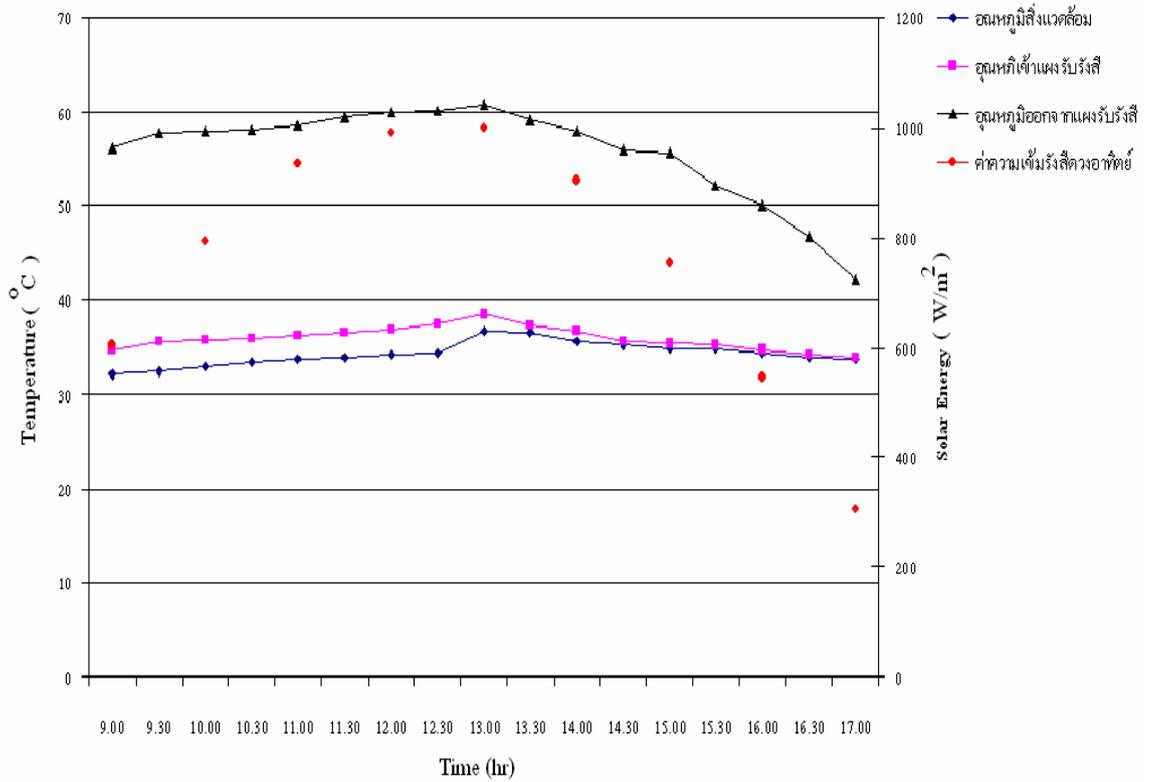
## บทที่ 4 ผลการทดลอง

จากการดำเนินงานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อที่จะพัฒนาและสร้างตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในการอบแห้ง ได้แก่ โดยในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงคือ อุณหภูมิที่ใช้ในอบแห้ง ความเร็วลมเร็วที่เหมาะสมที่ใช้ออบแห้ง สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ออบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางอบแห้ง ตลอดจนจนถึงการเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลอง ที่เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน โดยมีรายละเอียดดังนี้

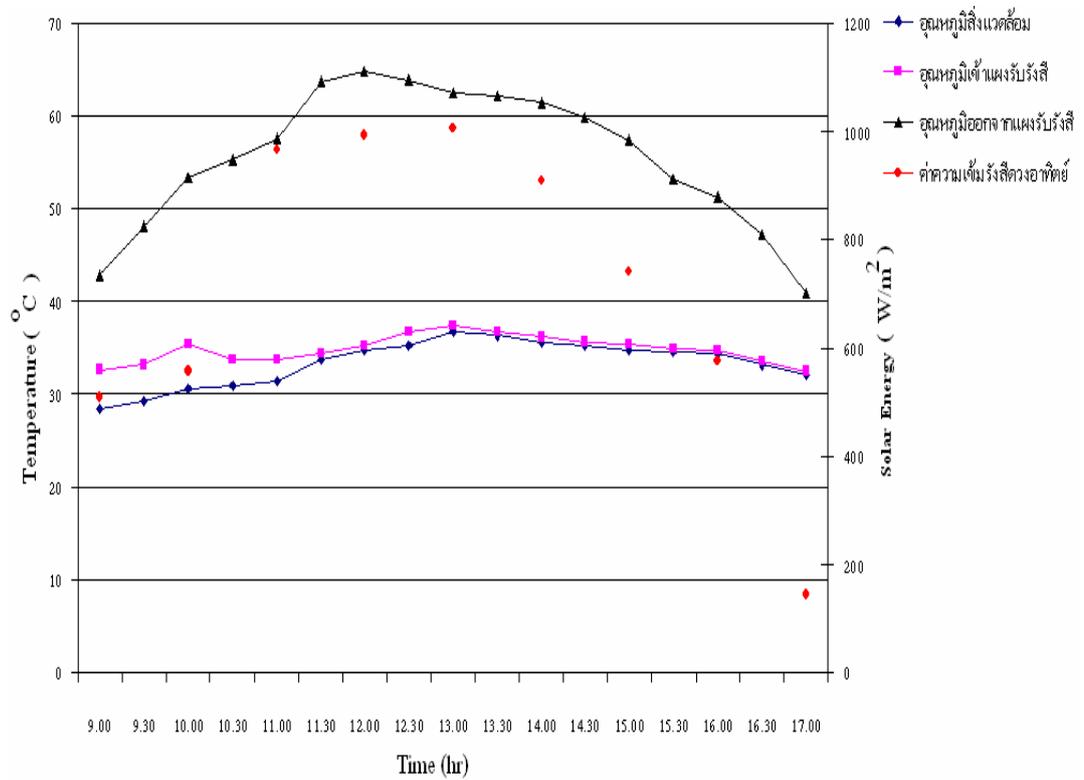
### 4.1 การศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผงรับรังสี



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงรับรังสีแสงสุริยะตู้อบแห้งเทียบกับเวลาที่อัตรา  
การไหล  $2.05 \text{ m/s}^2$



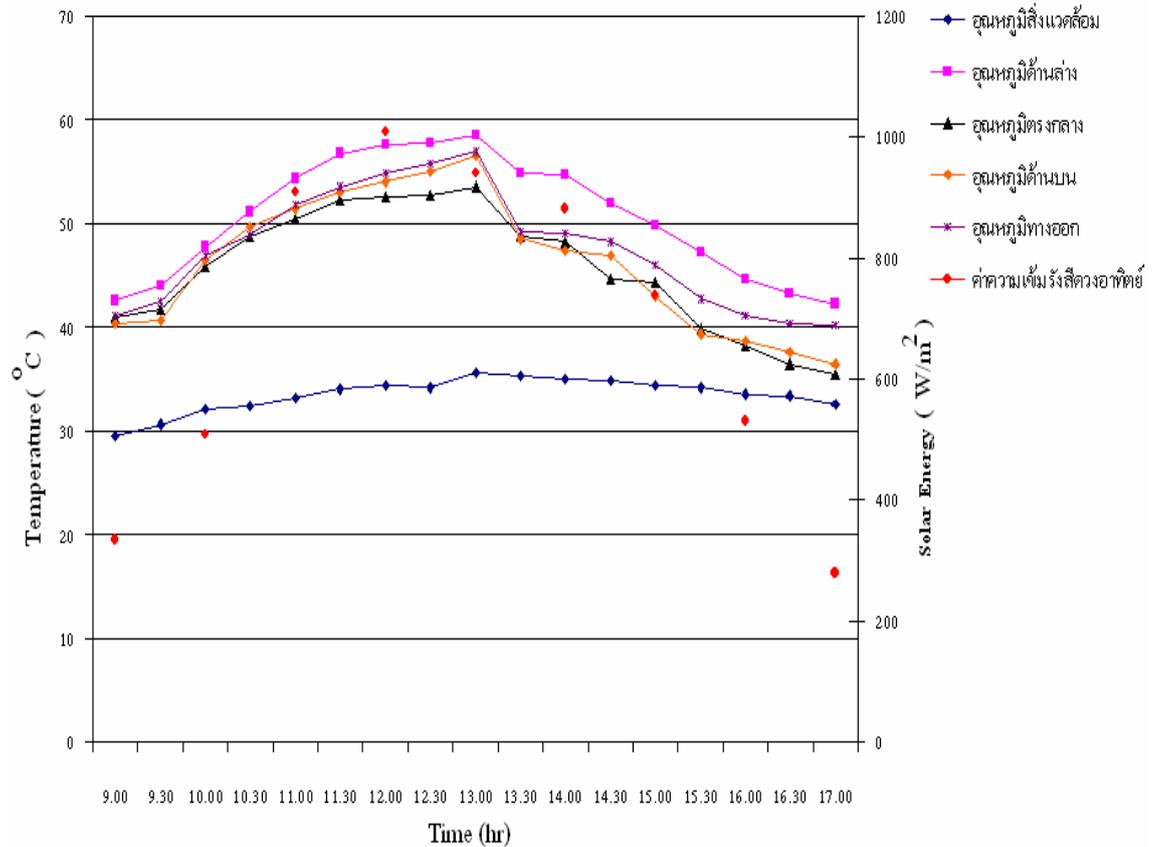
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงรับรังสีแสงสุริยะคู่อบแห้งเทียบกับเวลาที่อัตรา  
การไหล 2.25 m/s<sup>2</sup>



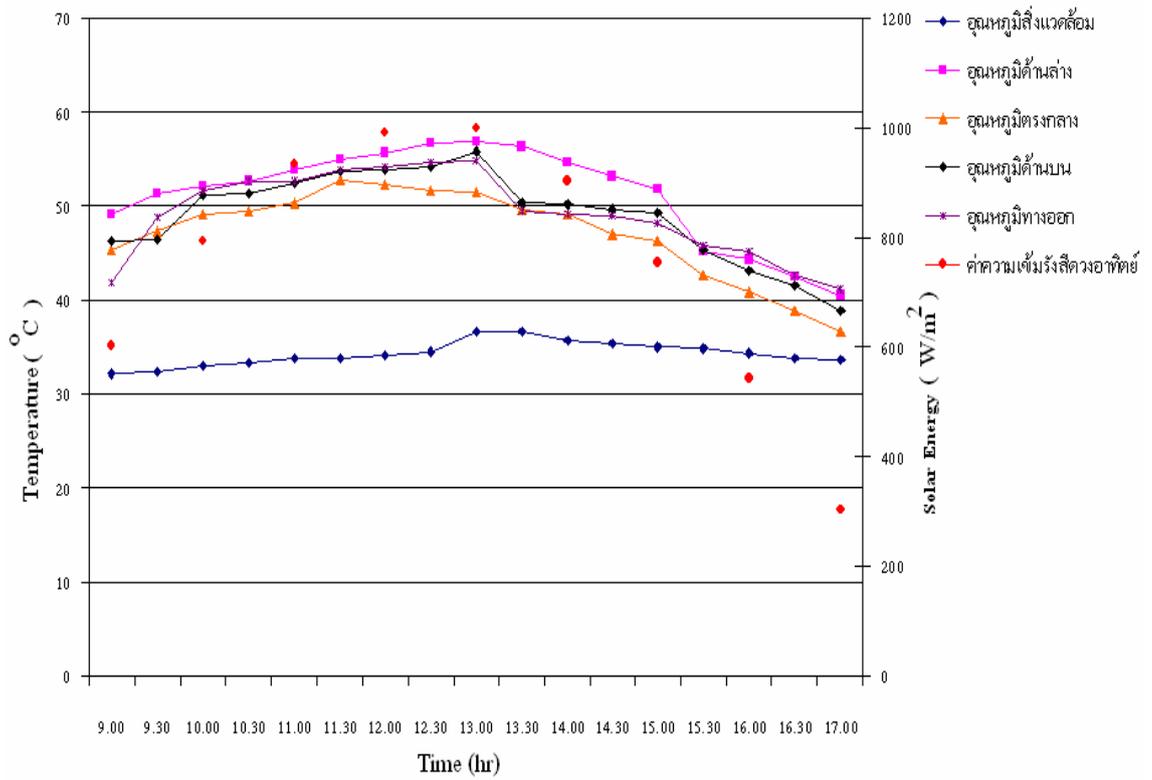
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงรับรังสีแสงสุริยะคู่อบแห้งเทียบกับเวลาที่อัตรา  
การไหล 2.50 m/s<sup>2</sup>

จากรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 การทดลองนี้ใช้ผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสด ที่น้ำหนัก 6 กิโลกรัม ความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างอากาศที่เข้าสู่แผงรับรังสีสุริยะ และอุณหภูมิก่อนเข้าแผงรับรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผลจากการนำเอาความร้อนบางส่วนที่ถูกปล่อยทิ้งไปนำกลับมาใช้ใหม่ เมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิที่ออกจากแผงรับรังสีก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ถ้าค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ลดลงอุณหภูมิที่ออกจากแผงรับรังสีก็จะค่อยๆลดน้อยลง

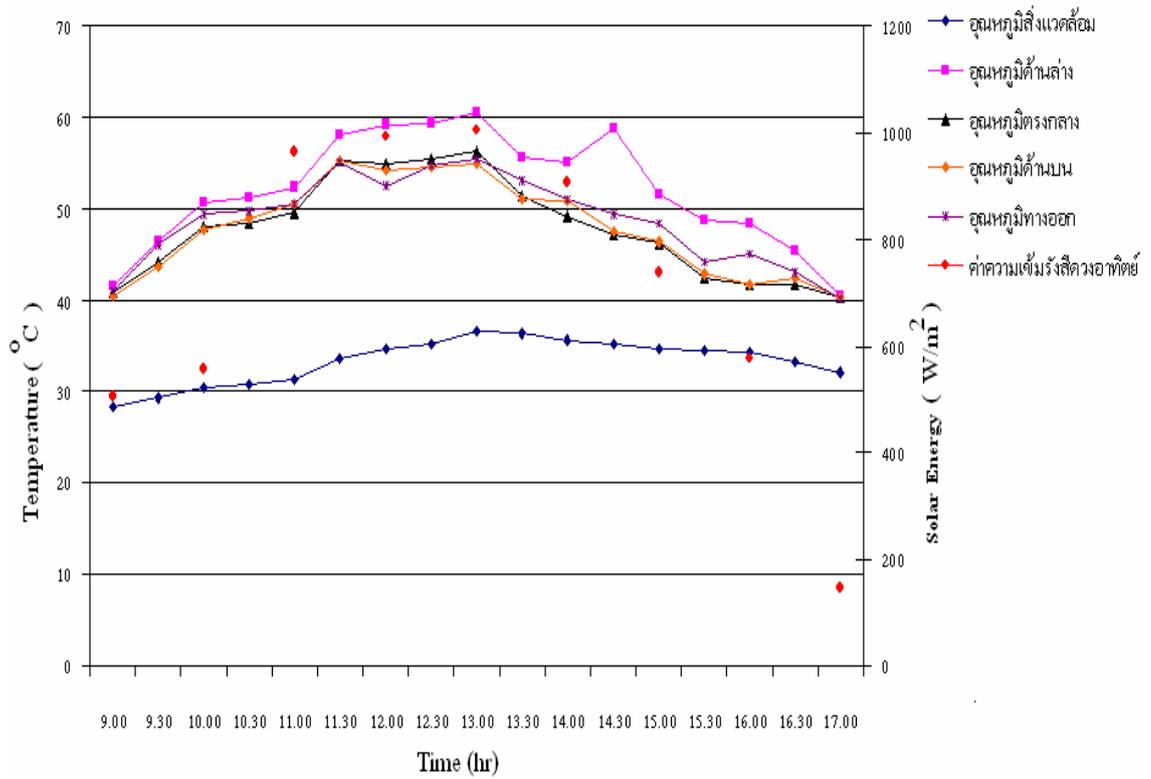
#### 4.2 การศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของตู้อบแห้งเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 2.05 m/s<sup>2</sup>



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของตู้อบแห้งเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 2.25 m/s<sup>2</sup>

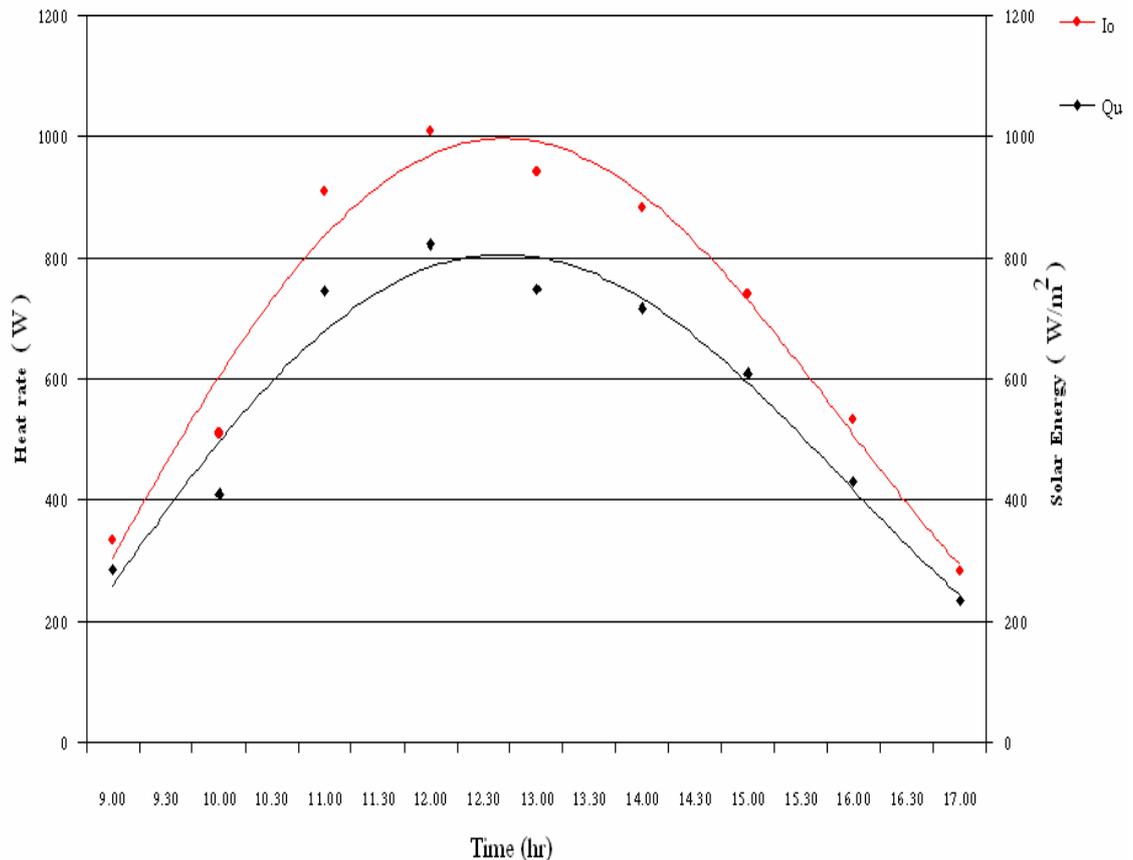


รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของตู้อบแห้งเทียบกับเวลาที่อัตราการไหล 2.50 m/s<sup>2</sup>

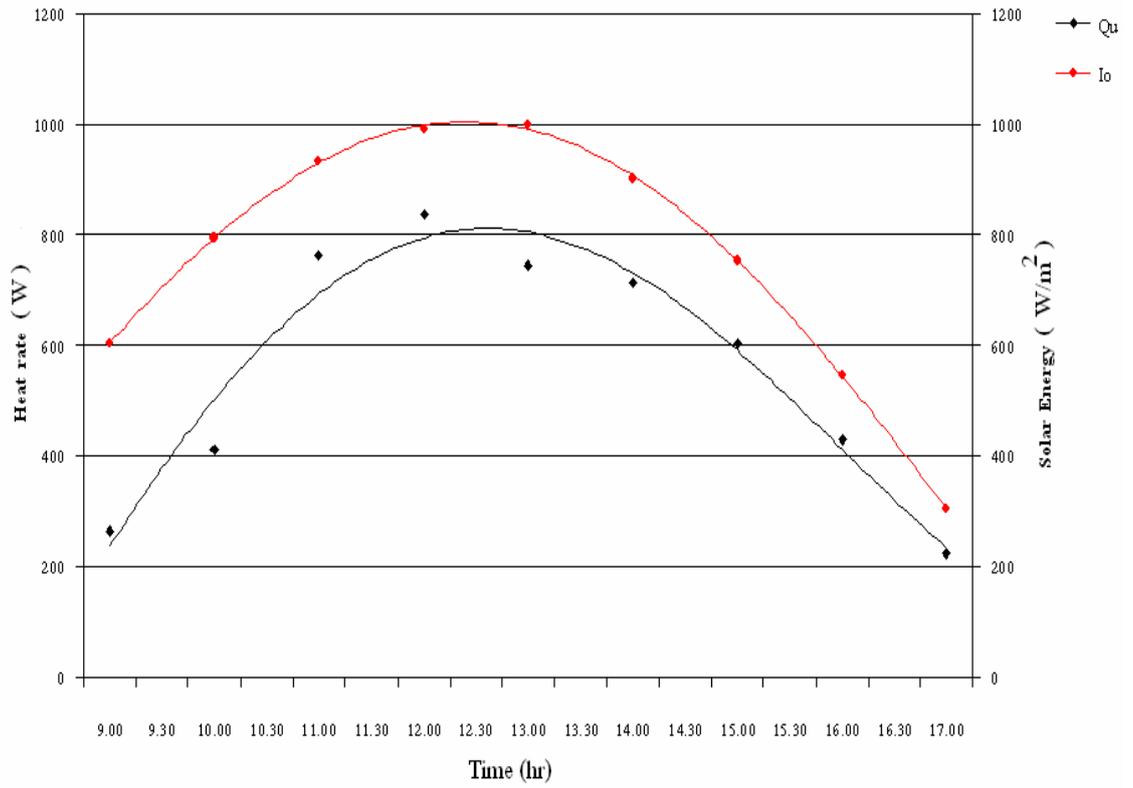
จากรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 การทดลองนี้ใช้ผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสด ที่น้ำหนัก 6 กิโลกรัม แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบพบว่าอุณหภูมิที่อยู่ในชั้นล่างสุดภายในตู้อบแห้ง มีอุณหภูมิสูงที่สุด เนื่องจากพื้นที่ในส่วนของชั้นบนอยู่ตรงบริเวณก่อนที่ความร้อนกับความชื้นจะออกจากตู้อบแห้ง ดังนั้นความร้อนที่อยู่ในส่วนของชั้นด้านล่างภายในตู้อบซึ่งได้รับความร้อนมาจากแผงรับรังสีที่ส่งเข้ามาภายในตู้อบ ผลของการพาความร้อนแบบบังคับทำให้ความร้อนที่อยู่ชั้นด้านล่างจะถูกส่งไปยังชั้นกลาง แล้วจึงจะไปรวมอยู่ในส่วนของชั้นบนก่อนที่จะถูกระบายออกไปจากตู้อบ โดยที่แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านกระจกที่ปิดอยู่นำตู้อบแห้งทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละชั้นจะอยู่ที่ 1-2 องศาเซลเซียส

### 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อน

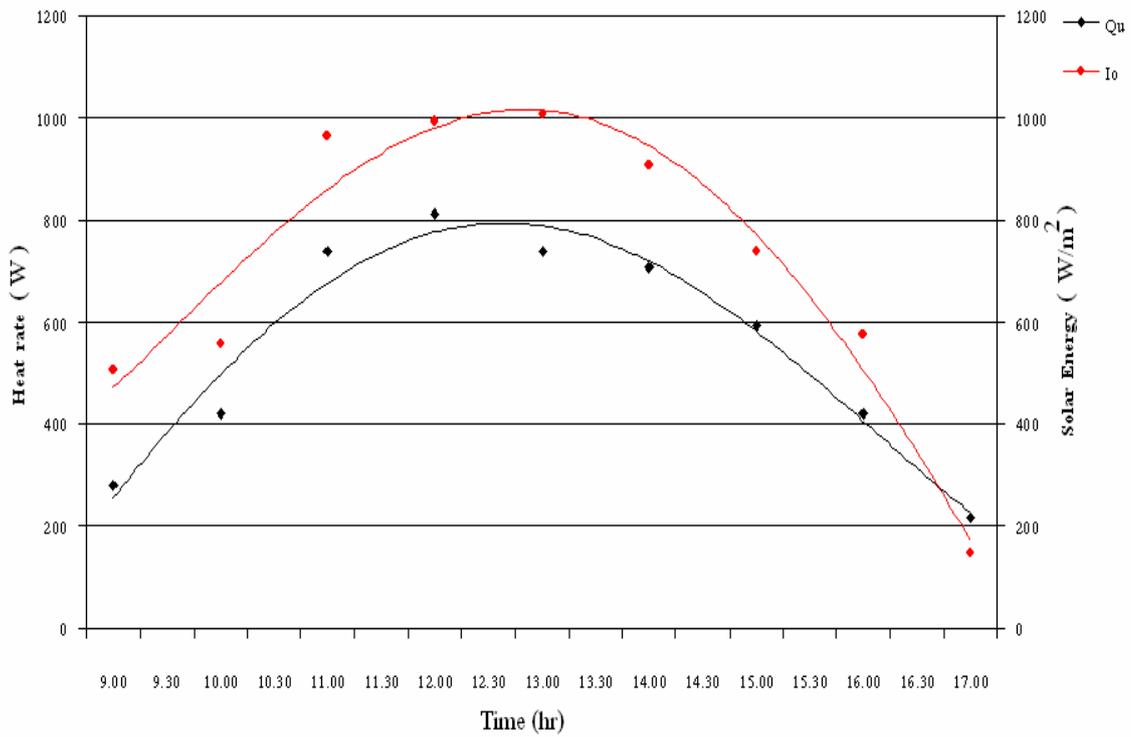
จากรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนภายในตู้อบแห้ง พบว่าการเปลี่ยนแปลงความร้อนจะแปรผันตามอัตราการไหลของอากาศและตามความเข้มของเข้มรังสีสุริยะที่ผ่านไปในแต่ละชั่วโมง



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของแผงรับรังสีกับค่าความร้อนที่นำไปใช้ออบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสดที่อัตราการไหล  $2.05 \text{ m/s}^2$

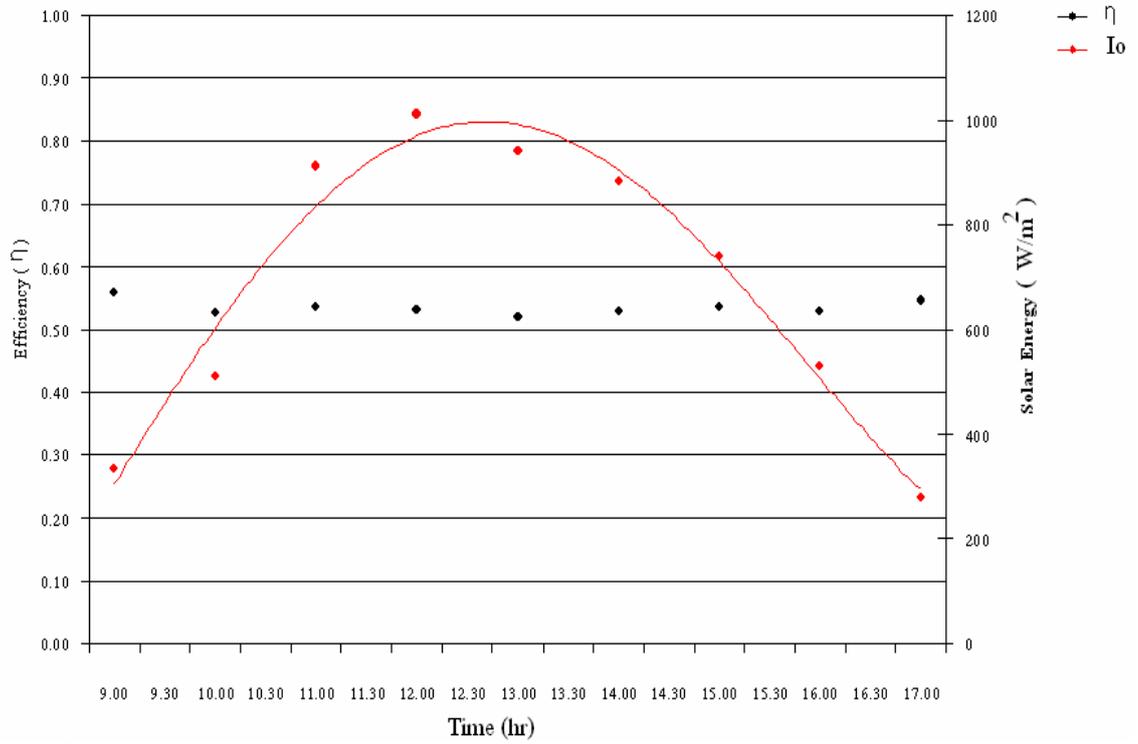


รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของแผงรับรังสีกับค่าความร้อนที่นำไปใช้อบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสดที่อัตราการไหล  $2.25 \text{ m/s}^2$

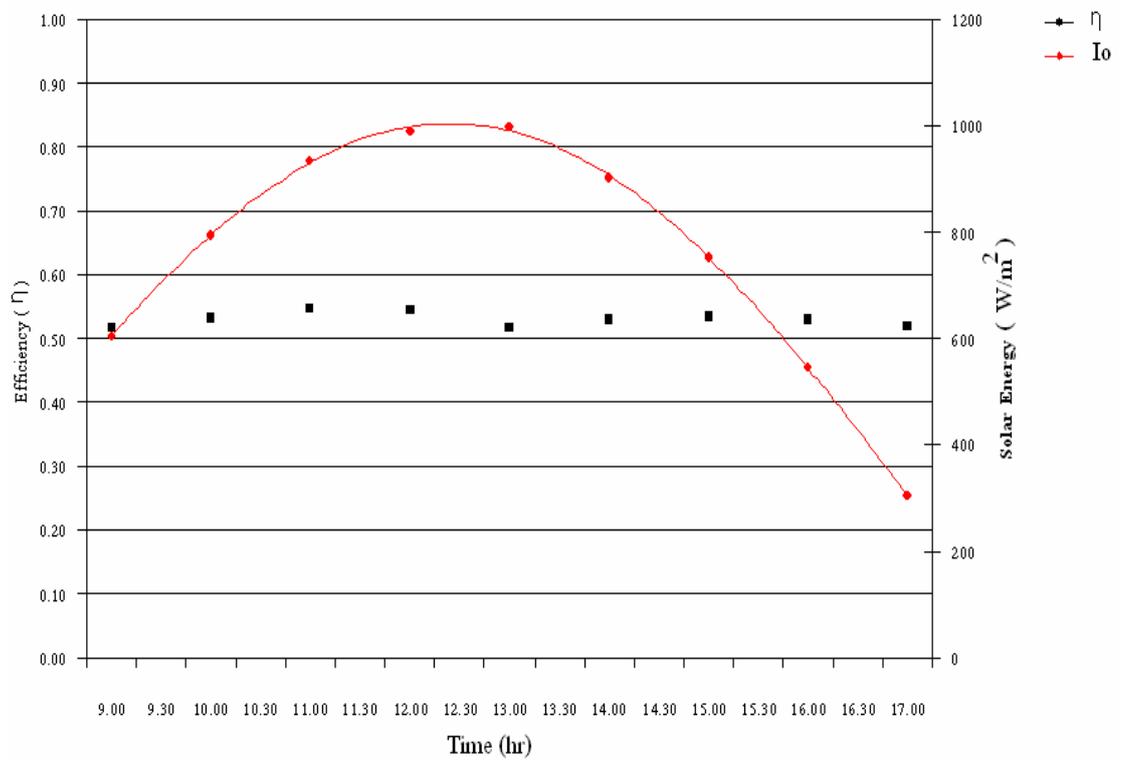


รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของแผงรับรังสีกับค่าความร้อนที่นำไปใช้อบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสดที่อัตราการไหล  $2.50 \text{ m/s}^2$

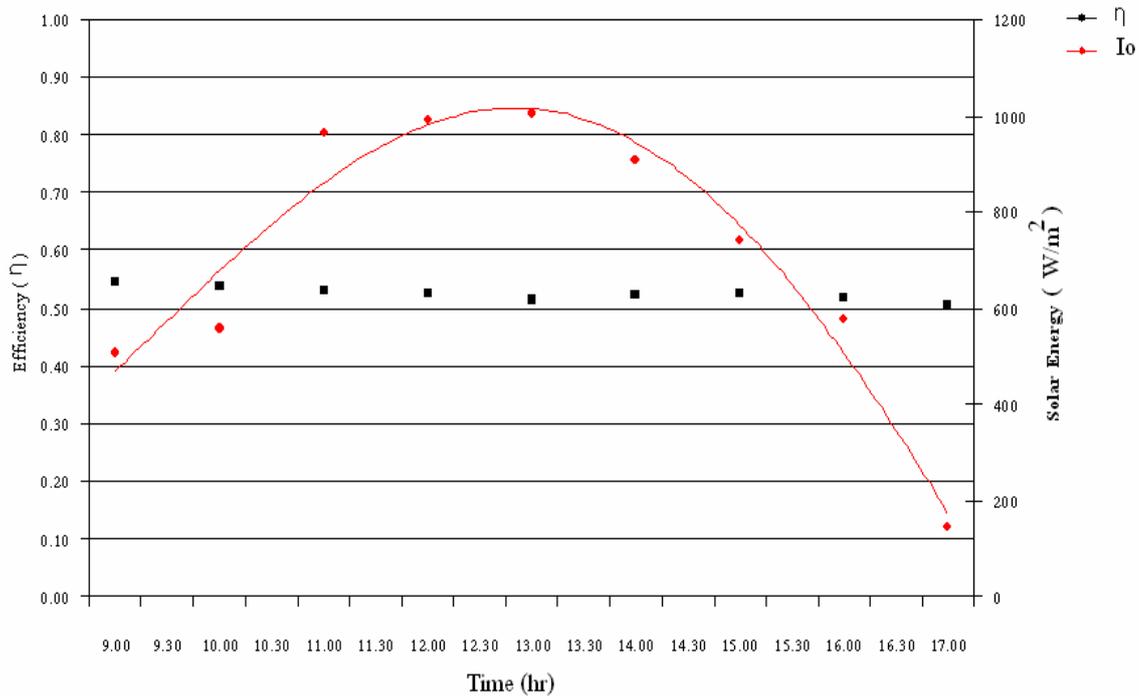
### 4.4 ประสิทธิภาพของตู้อบแห้ง



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับรังสีกับค่าความเข้มของรังสีสุริยะที่นำไปใช้อบแห้งสำหรับ ผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสดที่อัตราการไหล  $2.05 \text{ m/s}^2$



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับรังสีกับค่าความเข้มของรังสีสุริยะที่นำไปใช้อบแห้งสำหรับ ผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสดที่อัตราการไหล  $2.25 \text{ m/s}^2$

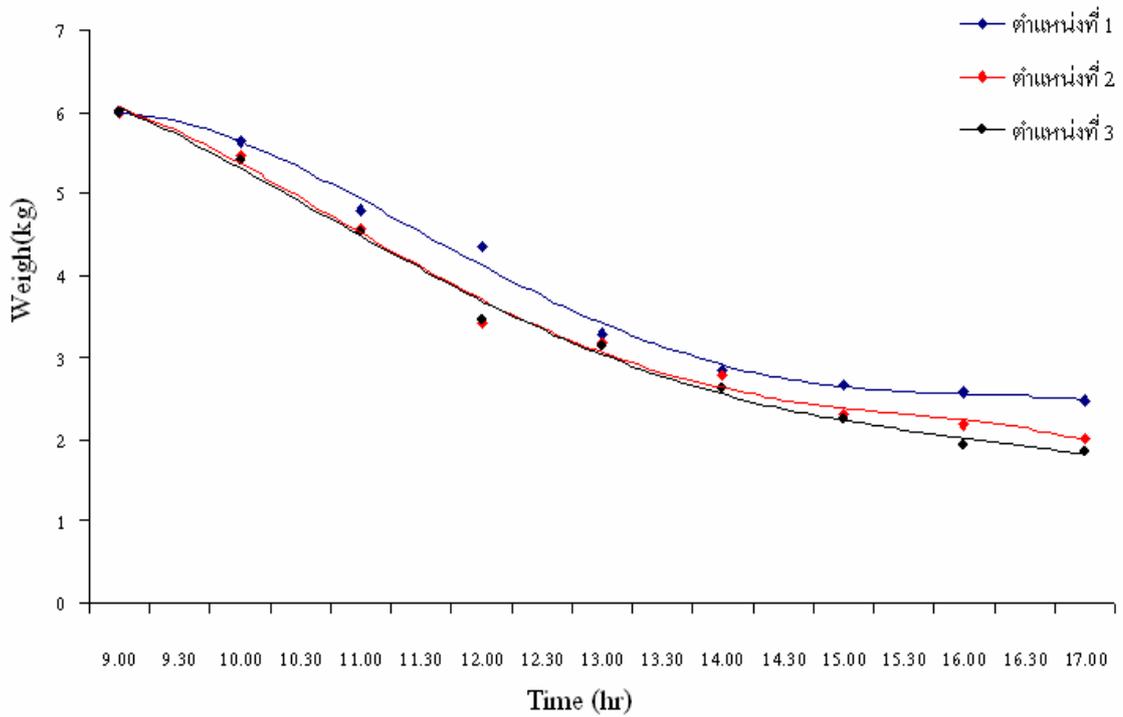


**รูปที่ 4.12** การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับรังสีกับค่าความเข้มของรังสีสุริยะที่นำไปใช้  
 อบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสดที่อัตราการไหล 2.50 m/s<sup>2</sup>

จากการรูปที่ 4.10, 4.11 และรูปที่ 4.12 สามารถนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบ เพื่อหาสมรรถนะทางความร้อนของแผงรับรังสีสุริยะ โดยมีการวัดค่าความเข้มของรังสีสุริยะ การวัดค่าอุณหภูมิของไหลตรงทางเข้าและทางออก อัตราการไหลและพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ผลจากการทดลองนี้ใช้ผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสด ที่น้ำหนัก 6 กิโลกรัม พบว่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีสุริยะโดยเฉลี่ยประมาณ 45-60 เปอร์เซ็นต์

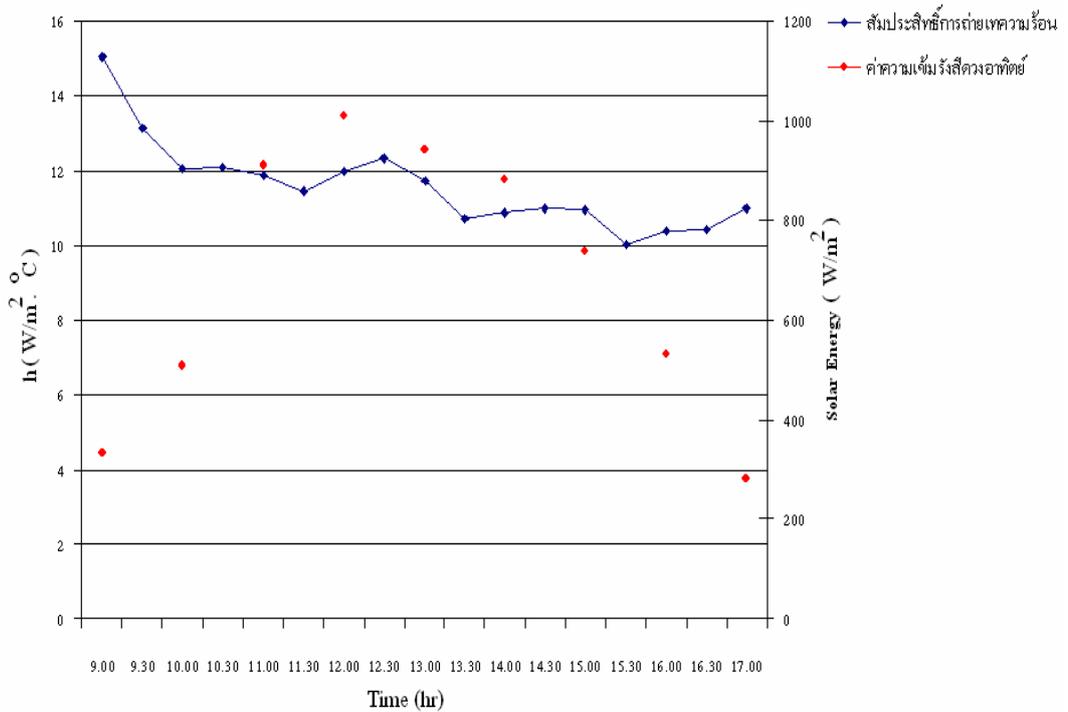
#### 4.4 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของปลาสามแก้ว ดังรูปที่ 13 พบว่าขณะเริ่มกระบวนการอบน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงและน้ำหนักจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากผลของความต้านทานความร้อนในเนื้อผลิตภัณฑ์เอง โดยพบว่าอัตราการไหล 2.50 m/s<sup>2</sup> ที่ตำแหน่งที่ 3 จะมีการลดลงของน้ำหนักได้มากกว่าในตำแหน่งอื่นๆ

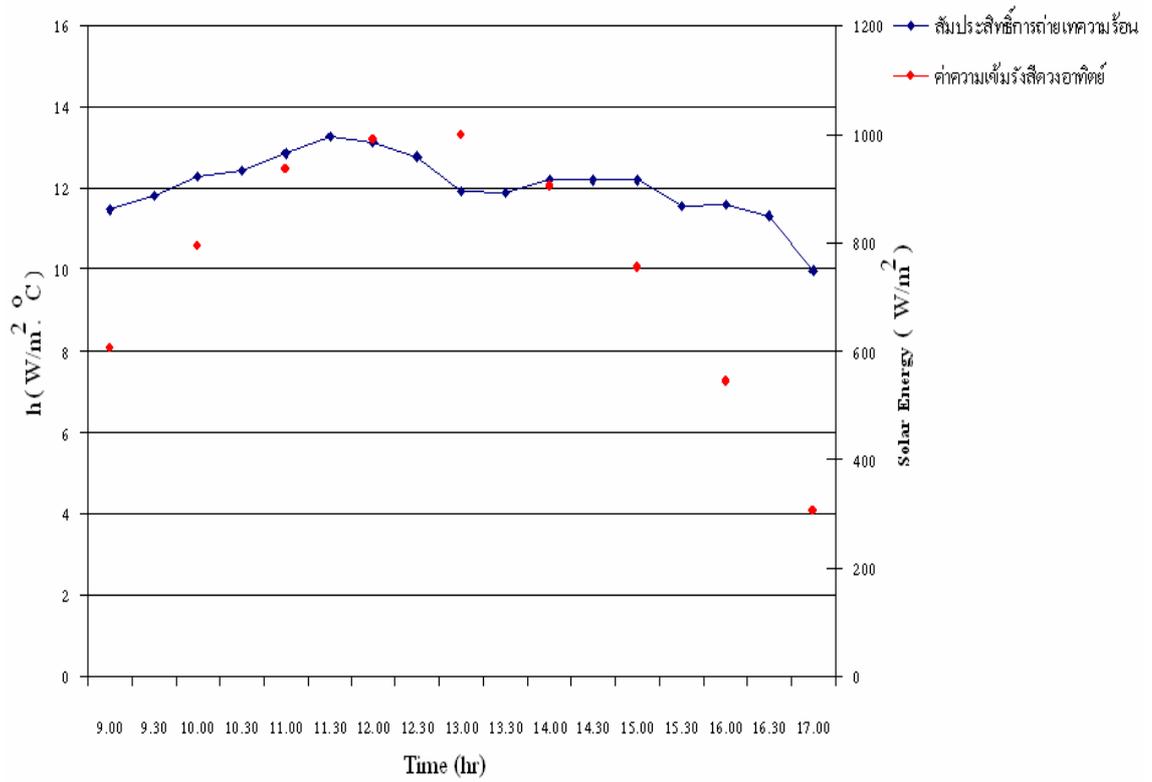


รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบน้ำหนักที่ลดลงเมื่อเทียบกับเวลาที่นำไปใช้ของแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์แก้วสดที่อัตราการไหล 2.05 m/s<sup>2</sup>, 2.25 m/s<sup>2</sup> และ 2.50 m/s<sup>2</sup>

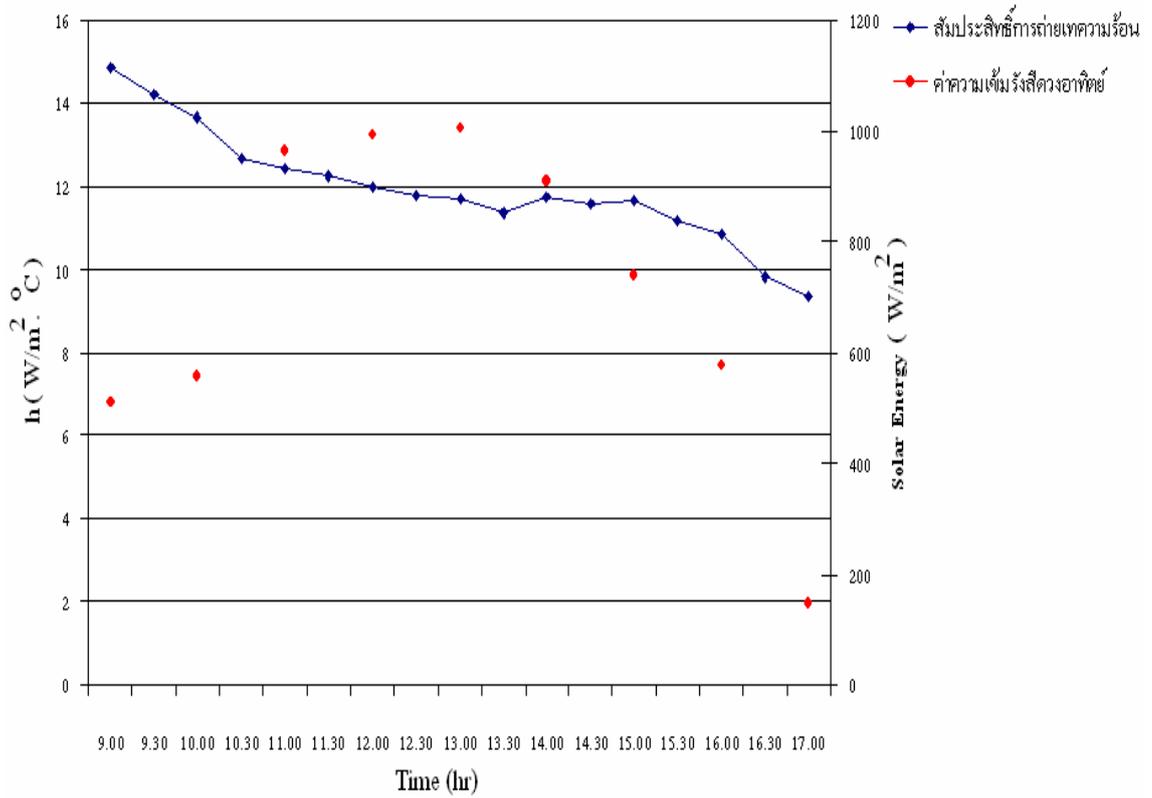
#### 4.6 สัมประสิทธิ์การพาความร้อน



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผงรับรังสีกับค่าความเข้มของรังสีสุริยะที่อัตราการไหล 2.05 m/s<sup>2</sup>



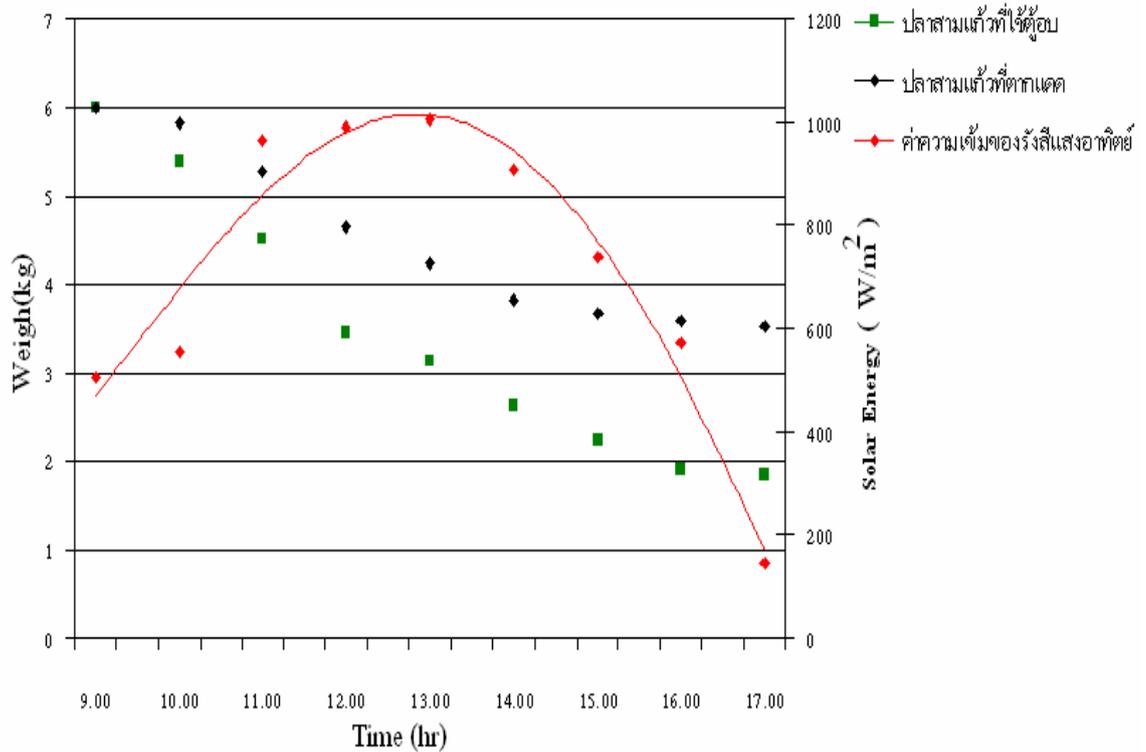
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผงรับรังสีกับค่าความเข้มของรังสีสุริยะที่อัตราการไหล 2.25 m/s<sup>2</sup>



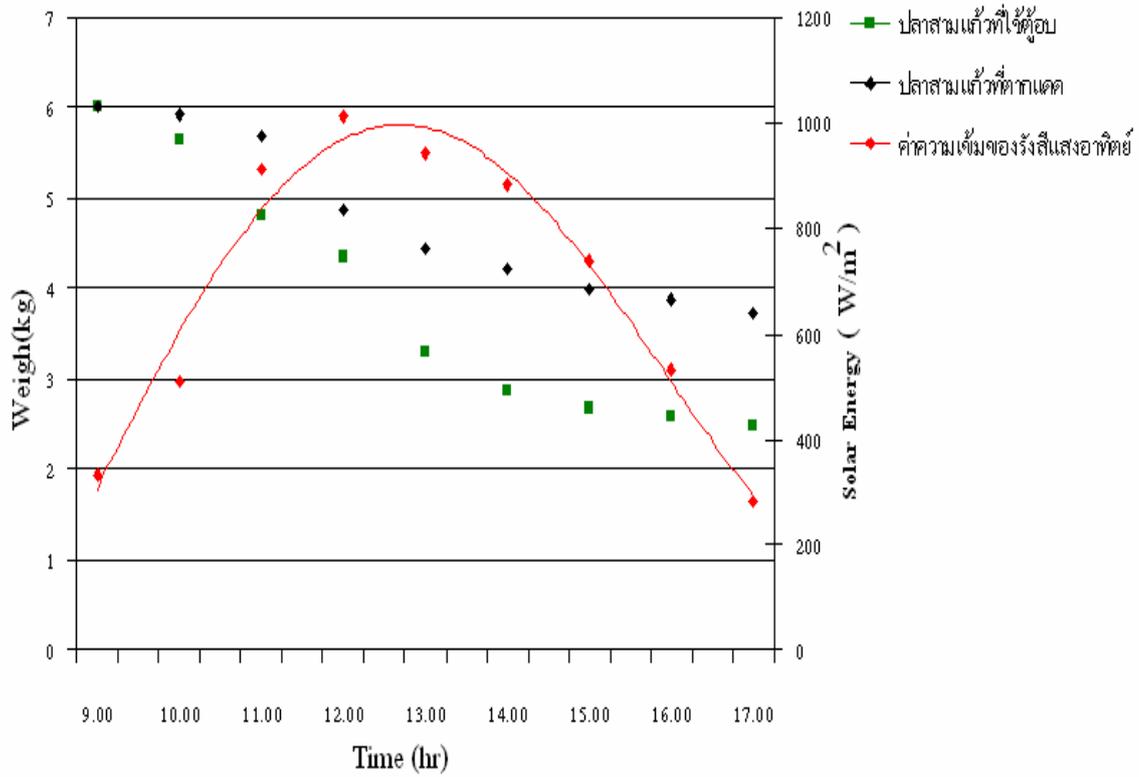
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผงรับรังสีกับค่าความเข้มของรังสีสุริยะที่อัตราการไหล 2.50 m/s<sup>2</sup>

จากรูปที่ 14,15 และ 16 การทดลองนี้ใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกแก้วใสที่น้ำหนัก 6 กิโลกรัม แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในตู้อบ พบว่าในการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศในแต่ละตำแหน่งและการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาของรังสีสุริยะที่ส่งมายังแผงรับรังสี

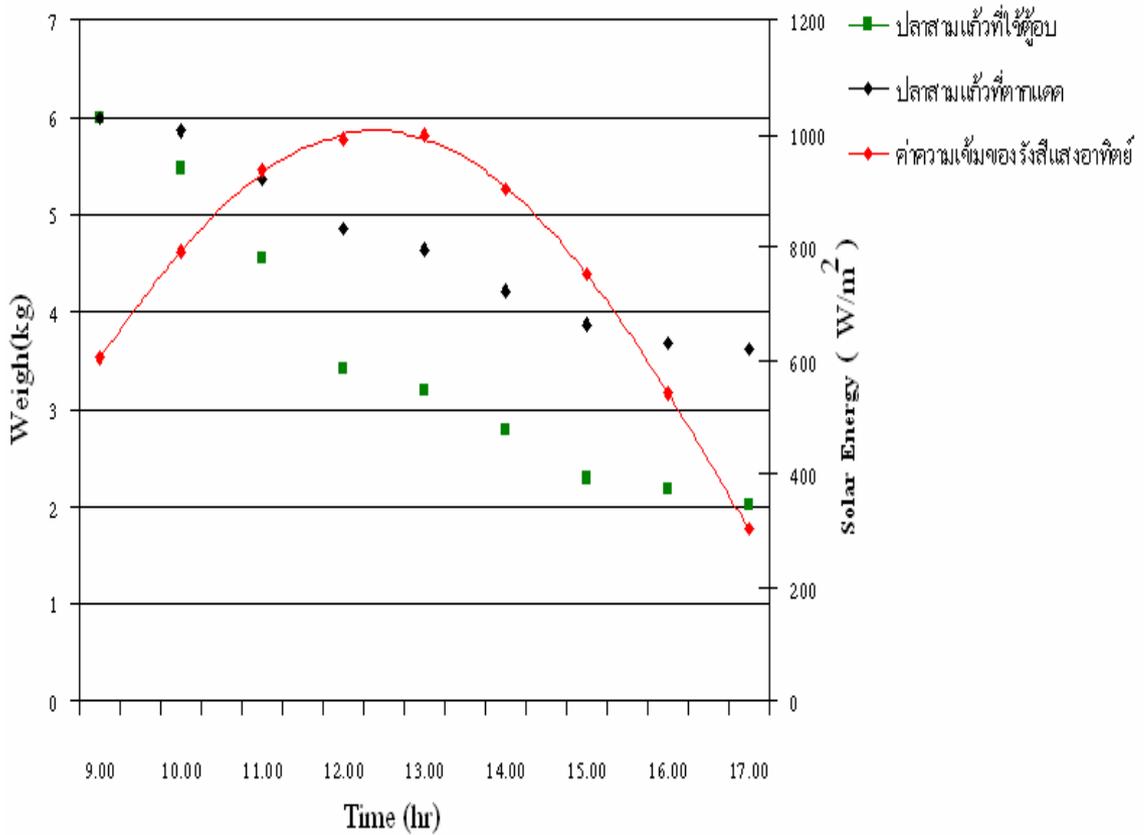
#### 4.5 การเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งโดยใช้ตู้อบกับการตากแดด



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบการตากแดดกับวิธีการอบแห้งโดยใช้ตู้อบที่อัตราการไหล 2.05 m/s<sup>2</sup>



รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบการตากแดดกับวิธีการอบแห้งโดยใช้ดูบที่อัตราการไหล 2.25 m/s<sup>2</sup>



รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบการตากแดดกับวิธีการอบแห้งโดยใช้ดูบที่อัตราการไหล 2.50 m/s<sup>2</sup>

จากรูปที่ 4.17, 4.18 และ 4.19 สามารถสรุปได้ว่าการอบแห้งโดยวิธีการใช้ตู้อบแห้งที่อัตราการไหลที่แตกต่างกัน ก็ยังมีอัตราการลดลงของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เร็วกว่าการตากแดด



รูปที่ 4.20 การอบแห้งผลิตภัณฑ์ ปลาสามแก้วสดที่อัตราการไหล 2.50 m/s<sup>2</sup>

#### 4.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ข้อมูลเบื้องต้นทางเศรษฐกิจ เป็นราคาประเมินในปี พ.ศ.2550 รายละเอียด ต่างๆ ประกอบด้วยดังนี้

1. กำหนดอายุใช้งานตู้อบแห้ง	10	ปี
2. กำหนดอัตราดอกเบี้ยตลอดอายุใช้งาน	8	%
3. เงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้ง	24,500	บาท
4. ไม่คิดมูลค่าซากของเครื่องอบแห้ง	-	
5. ค่าบำรุงรักษารายปี 10 % ของเงินลงทุน	2,450	บาท
6. ค่าไฟฟ้ารายปี (หนึ่งปีอบ 120 ครั้ง) (ครั้งละ 6 kW-h)	1,299.4	บาท

ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก อัตรา 2.1.2 (อัตราปกติแบบอัตราก้าวหน้า)

หน่วยที่ 1-150	หน่วยละ	1.8047	บาท
หน่วยที่ 150-400	หน่วยละ	2.7781	บาท
หน่วยที่ 400-2,000	หน่วยละ	2.9780	บาท

7. ค่าวัสดุในการบรรจุหีบห่อต่อปี 500 บาท

การวิเคราะห์รายได้เนื่องจากต้นทุนปลาสามแก้ว ซึ่งในการอบปลาสามแก้วแต่ละครั้งจะใช้ปลาสามแก้วจำนวน 6 กิโลกรัม ซึ่งในช่วงเดือนธันวาคม มกราคม กุมภาพันธ์ และมีนาคม เป็นช่วงที่ปลาสามแก้วจะมีราคาถูก โดยที่ราคาปลาสามแก้วของในเขตพื้นที่ จังหวัดระนองจะมีราคา กิโลกรัมละ 12 บาท หลังจากการอบปลาสามแก้วเสร็จแล้วจะได้น้ำหนักปลาสามแก้ว 2.02 กิโลกรัม และในหนึ่งปีอบ 120 ครั้งจะได้น้ำหนักปลาสามแก้วสุทธิ 242.4 กิโลกรัม โดยคิดราคาของปลาสามแก้วอบแห้งที่ขายส่ง กิโลกรัมละ 180 บาท (ข้อมูลรายละเอียดสินค้าของ กลุ่มแม่ค้าในตลาดเมืองใหม่ จุ่มจิมพลาซ่าซึ่งเป็นตลาดขายพืชผลทางการเกษตรใหญ่ที่สุดใน อำเภอเมือง จังหวัดระนอง) เมื่อหักราคาค่าไฟฟ้าที่เข้ามา 120 บาท ต่อครั้งการอบแห้ง ) และผลตอบแทนต่อครั้งในการอบ 243.6 บาท หรือคิดเป็นผลตอบแทนรายปี 29,232 บาท ซึ่งเมื่อนำมาคิดระยะเวลาคืนทุนโดยเขียนเป็นสมการของเงินรายปีได้ดังนี้

$$24,500(CRF,10\%;n) = 29,232 - 1,299.4 - 2,450 - 500$$

$$24,500(CRF,10\%;n) = 24,982.6$$

$$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{24,982.6}{24,500} = 1.0196$$

$$n = 2.013 \text{ ปี}$$

สามารถคืนทุนเครื่องอบแห้งได้ในระยะเวลา 2.013 ปี

## บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากความสำคัญและปัญหาในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาตู้อบแห้งแบบการพาความร้อนแบบบังคับโดยการนำพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้น และสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ โดยมีอากาศเป็นสารตัวกลางในการพาความร้อน ประกอบไปด้วยแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบราบเรียบจำนวน 1 แผง เพื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ได้รับจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้แก่อากาศสูงยิ่งขึ้น แล้วส่งไปยังตู้อบ สามารถนำปรับอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมมาใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด สำหรับผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในการอบนี้ ได้แก่ พริกสด ปลายมิกสด และปลาทุสดขนาดความหนาไม่เกิน 1 เซนติเมตร โดยทำการทดลองในวันที่ท้องฟ้าโปร่งมีแสงแดดดี จากผลการทดสอบในบทที่ 4

1. จากผลการศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผงรับรังสี พบว่าผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้มสด ที่น้ำหนัก 6 กิโลกรัม ความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างอากาศที่เข้าสู่แผงรับรังสีสุริยะ และอุณหภูมิก่อนเข้าแผงรับรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผลจากการนำเอาความร้อนบางส่วนที่ถูกปล่อยทิ้งไปนำกลับมาใช้ใหม่ เมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและค่าความชื้นของรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิที่ออกจากแผงรับรังสีก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ถ้าค่าความชื้นของรังสีดวงอาทิตย์ลดลงอุณหภูมิที่ออกจากแผงรับรังสีก็จะค่อยๆลดน้อยลง

2. จากผลการทดลอง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้มสด ที่น้ำหนัก 6 กิโลกรัม แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบพบว่าอุณหภูมิที่อยู่ในชั้นล่างสุดภายในตู้อบแห้ง มีอุณหภูมิสูงที่สุด เนื่องจากพื้นที่ในส่วนของชั้นบนอยู่ตรงบริเวณก่อนที่ความร้อนกับความชื้นจะออกจากตู้อบแห้ง ดังนั้นความร้อนที่อยู่ในส่วนของชั้นด้านล่างภายในตู้อบซึ่งได้รับความร้อนมาจากแผงรับรังสี ที่ส่งเข้ามาภายในตู้อบ ผลของการพาความร้อนแบบบังคับทำให้ความร้อนที่อยู่ชั้นด้านล่างจะถูกส่ง ไปยังชั้นกลาง แล้วจึงจะไปรวมอยู่ในส่วนของชั้นบนก่อนที่จะถูกระบายออกไปจากตู้อบ โดยที่แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านกระจกที่ปิดอยู่หน้าตู้อบแห้งทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละชั้นจะอยู่ที่ 1-2 องศาเซลเซียส

3. จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนภายในตู้อบแห้ง พบว่าการเปลี่ยนแปลงความร้อนจะแปรผันตามอัตราการไหลของอากาศและตามความชื้นของรังสีสุริยะที่ผ่านไปในแต่ละชั่วโมง

4. จากผลการทดลองสามารถนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบ เพื่อหาสมรรถนะทางความร้อนของแผงรับรังสีสุริยะ โดยมีการวัดค่าความเข้มของรังสีสุริยะ การวัดค่าอุณหภูมิของไหลตรงทางเข้าและทางออก อัตราการไหลและพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ผลจากการทดลองนี้ใช้ผลิตภัณฑ์ปลาสามแก้วสด ที่น้ำหนัก 6 กิโลกรัม พบว่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีสุริยะโดยเฉลี่ยประมาณ 45-60 เปอร์เซ็นต์

5. ผลจากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักพบว่าขณะเริ่มกระบวนการอบน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงและน้ำหนักจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากผลของความต้านทานความร้อนในเนื้อผลิตภัณฑ์เอง โดยพบว่าอัตราการไหล  $2.50 \text{ m/s}^2$  ที่ตำแหน่งที่ 3 จะมีการลดลงของน้ำหนักได้มากกว่าในตำแหน่งอื่นๆ

6. จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์จากการศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถคืนทุนเครื่องอบแห้งได้ในระยะเวลา 2.103 ปี

## 5.2 ปัญหาอุปสรรคในการวิจัย

จากการทดสอบตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการทดสอบในวันที่มีท้องฟ้าโปร่ง ตั้งแต่เวลา 09.00-17:00 นาฬิกา ซึ่งปัญหาที่พบส่วนใหญ่คือ

1. เมฆหมอก ที่ทำให้เกิดร่มเงาเข้ามาบดบังแสงอาทิตย์
2. ฝนตกในช่วงบางเวลาทำให้ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ลดลง ความชื้นในอากาศก็จะลดต่ำลง ส่งผลต่อพลังงานความร้อนและอุณหภูมิที่ได้รับก็จะลดน้อยลง

## 5.3 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

จากผลในการทดสอบสมรรถนะของตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ แสดงให้เห็นว่าตู้อบแห้งที่สร้างขึ้นมีสมรรถนะที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับการตากแดดแบบธรรมชาติ แต่ในการใช้ตู้อบแห้งดังกล่าวในช่วงฤดูฝนอาจมีปัญหาด้านความร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ไม่เพียงพอ ทำให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งผลิตภัณฑ์นานขึ้น ซึ่งอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งมีคุณภาพด้อยลงและเสียเวลาในการอบแห้งนานมากขึ้น ดังนั้น

สำหรับผู้สนใจควรที่จะมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนเสริมโดยใช้แก๊ส หรือพลังงานอื่นที่สามารถให้ความร้อนแก่ตู้อบแห้งได้ เพื่อให้ตู้อบแห้งนี้สามารถใช้งานได้ทั้งในเวลาที่มีเมฆหมอกหรือฤดูฝน และสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องในเชิงอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## เอกสารอ้างอิง

1. ศรีนุช จินดารักษ์, 2536, การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบโมดูลเพื่อการอบปลาหมึก, ปรินูญานินพนธ์ สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
2. ปิยะ ยี่มขุนทด, 2548, เครื่องอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์, ปรินูญานินพนธ์ สายวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
3. ทวีศักดิ์ ทวีวิทยาการ และคณะ, 2546, เครื่องอบพืชผลทางการเกษตรโดยใช้ความร้อนใต้พิภพมาใช้ในการอบแห้ง, เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 จังหวัดปราจีนบุรี.
4. ณัฐวุฒิ คุชฎี, 2534, การพัฒนาระบบอบแห้งผลไม้โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม, ปรินูญานินพนธ์ สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
5. วิชัย จันทรักษา, 2542, การพัฒนาเครื่องอบแห้งตะไคร้พลังงานแสงอาทิตย์, ปรินูญานินพนธ์ สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
6. ภรต กุญชร ฌอชญา, และคณะ, 2538, การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตทางการเกษตร, รายงานผลการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
7. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 2540, การศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งแสงอาทิตย์, รายงานเสนอสำนักงานพลังงานแห่งชาติ.
8. จงจิตร หิรัญลาภ, สุวรรณ ภูริระวีชัยกุล และสมชาติ โสภณธฤทธิ์, 1999, แนวทางการอบแห้งถั่วเหลืองแบบเป็นงวด, Songklanarin Journal of science and technology, หน้า 14.
9. ชาญวิทย์ อุดมศักดิ์กุล, 2544, การพัฒนาเครื่องฟักไข่พลังงานแสงอาทิตย์, ปรินูญานินพนธ์ สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
10. ชาญ เสนิย์นันท์, 2527, การประเมินสมรรถนะของรางพาราโบลลิติตตามดวงอาทิตย์, ปรินูญานินพนธ์ สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
11. จงจิตร หิรัญลาภ, 2547, กระบวนการพลังงานรังสีอาทิตย์ในรูปความร้อน.
12. สุนันท์ ศรีณขนิตย์, 2545, การถ่ายเทความร้อน.

13. Ho-Ming Yeh, **อิทธิพลของอัตราส่วนผิวของ Collector ที่มีต่อประสิทธิภาพของ collector ของแผ่นและท่อทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์**, Department of Chemical Engineering Tamkang University Tamsui, Taipei, Taiwan 251.
14. Shanmugama, Natarajan, **การทดสอบการพาความร้อนและการทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์**, Department of Mechanical Engineering, Sathyabama Deemed University, Chennai 600 119, India, 10 August 2005.
15. Zhimin Li, **การทดลองตรวจสอบการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการทำผลไม้เค็บบแห้ง**, Solar Energy Research Institute, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China, 20 July 2005.
16. S. Youcef-Ali, J.Y. Desmons, **อิทธิพลของปัจจัยด้าน acrothermic และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตโดยใช้แผ่นความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์**, Laboratoire de Mécanique et d'Énergie tique, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambre'sis, Le Mont Houy, 59313 Valenciennes Cedex 9, France, 8 August 2006.

### **ภาคผนวก ก.**

- ตารางบันทึกผลการทดลอง
- ตารางแสดงตัวอย่างความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์

### ตารางบันทึกผลการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง ปลาสามแก้วสด

วันที่ 9 เดือน เมษายน พ.ศ. 2550 เวลาเริ่มการทดลอง 09.00 ถึง 17.00 น.

ความเร็วลม 2.05 เมตร/วินาที น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้ง 6 กก. หลังอบแห้ง 2.54 กก.

เวลา ครั้งที่	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิแผงรับ รังสี (°C)		อุณหภูมิของตู้อบแห้ง (°C)				ค่าความ เข้มของ รังสี (W/m <sup>2</sup> )	น้ำหนักของ ผลิตภัณฑ์(Kg)		
		เข้า	ออก	ด้านล่าง	ตรง กลาง	ด้านบน	ออก จาก ตู้อบ		ใช้ตู้ อบแห้ง	ตาก แดด	
1	09.00	28.1	32.8	44.6	43.5	42.6	43.3	44.2	507.2	6.00	6
2	09.30	30.3	34.2	51.2	49.8	45.8	46.4	47.1			
3	10.00	31.1	37.5	53.8	52.6	48.3	49.4	50.3	607.4	5.60	5.92
4	10.30	33.2	38.2	54.6	53.8	49.7	49.7	50.5			
5	11.00	34.5	38.4	57.4	56.7	52.6	53.2	54.8	646.9	4.82	5.80
6	11.30	35.7	39.2	59.2	57.5	53.8	54.4	55.8			
7	12.00	36.2	39.4	60.8	58.6	54.3	55.6	56.5	930.2	4.16	5.64
8	12.30	36.6	40.1	63.2	61.3	57.1	58.1	59.6			
9	13.00	37.4	40.3	63.7	61.6	57.4	58.6	59.9	675.4	3.34	5.52
10	13.30	36.5	40.2	62.8	60.8	56.8	57.4	58.3			
11	14.00	36.2	40.1	60.2	58.7	54.4	55.7	56.6	666.2	2.94	5.32
12	14.30	34.6	38.4	57.4	55.8	51.7	52.4	53.6			
13	15.00	33.4	36.5	50.3	48.8	44.6	45.3	46.1	586.3	2.64	5.02
14	15.30	33.2	36.2	49.4	47.4	45.3	46.5	47.8			
15	16.00	33.1	35.6	48.5	46.7	44.7	45.7	46.3	525.4	2.58	4.84
16	16.30	32.6	34.2	45.3	43.9	42.2	43.4	44.7			
17	17.00	32.2	33.6	40.6	39.2	37.8	38.7	39.6	452.3	2.54	4.62

### ตารางบันทึกผลการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง ปลาสามแก้วสด

วันที่ 10 เดือน เมษายน พ.ศ. 2550

เวลาเริ่มการทดลอง 09.00 ถึง 17.00 น.

ความเร็วลม 2.25 เมตร/วินาที น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้ง 6 กก. หลังอบแห้ง 2.12 กก.

ครั้งที่	เวลา	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิแผงรับ รังสี (°C)		อุณหภูมิของตู้อบแห้ง (°C)				ค่าความ เข้มของ รังสี (W/m <sup>2</sup> )	น้ำหนักของ ผลิตภัณฑ์(Kg)	
			เข้า	ออก	ด้านล่าง	ตรง กลาง	ด้านบน	ออก จาก ตู้อบ		ใช้ตู้ อบแห้ง	ตาก แดด
1	09.00	30.8	34.7	46.1	43.6	41.1	40.8	41.6	470.7	6.00	6.00
2	09.30	32.1	36.2	49.9	48.9	46.5	46.4	47.9			
3	10.00	33.5	36.5	54	52.3	50.4	51.1	51.1	601.1	5.50	5.90
4	10.30	33.7	36.7	54.9	53.2	51.6	51.3	47.2			
5	11.00	33.8	36.8	55.2	53.4	52.1	51.4	43.6	642.2	4.62	5.76
6	11.30	34.2	36.9	55.4	53.8	52.6	51.6	46.9			
7	12.00	34.6	37.2	61.5	55	52.8	51.7	51.9	934.1	3.56	5.58
8	12.30	34.8	37.5	63.2	57.0	53.4	52.4	52.8			
9	13.00	36.8	37.6	64.4	57.6	53.5	52.5	52.5	1012.8	3.24	5.34
10	13.30	36.4	37.4	62.2	56.2	52.4	51.3	51.3			
11	14.00	35.7	37.3	61.2	54.1	51.4	48.1	50.7	916.3	2.82	4.82
12	14.30	35.4	37.2	60.3	55.1	51.2	48.1	51.3			
13	15.00	35.0	36.4	59.9	51.4	44.6	42.3	47.1	723.1	2.34	4.54
14	15.30	34.8	35.9	53.6	49.7	42.0	40.0	45.1			
15	16.00	34.2	35.8	50.2	46.4	39.9	39.4	43.5	524.9	2.23	4.38
16	16.30	33.4	34.7	44.3	42.8	38.6	36.7	40.2			
17	17.00	32.3	34.5	40.9	40.2	36.5	35.4	38.1	184.3	2.12	4.04

### ตารางบันทึกผลการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง ปลาสามแก้วสด

วันที่ 20 เดือน เมษายน พ.ศ. 2550

เวลาเริ่มการทดลอง 09.00 ถึง 17.00 น.

ความเร็วลม 2.5 เมตร/วินาที น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้ง 6 กก. หลังอบแห้ง 1.84 กก.

ครั้งที่	เวลา	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิแผงรับ รังสี (°C)		อุณหภูมิของตู้อบแห้ง (°C)				ค่าความ เข้มของ รังสี (W/m <sup>2</sup> )	น้ำหนักของ ผลิตภัณฑ์(Kg)	
			เข้า	ออก	ด้านล่าง	ตรง กลาง	ด้านบน	ออก จาก ตู้อบ		ใช้ตู้ อบแห้ง	ตาก แดด
1	09.00	28.5	32.6	42.8	41.5	40.8	40.4	41.1	507.4	6	6
2	09.30	29.3	33.2	48.1	46.4	44.1	43.7	46.1			
3	10.00	30.5	35.5	53.3	50.7	48.0	47.8	49.3	556.2	5.4	5.82
4	10.30	30.8	33.6	55.2	51.2	48.4	49.1	49.8			
5	11.00	31.4	33.7	57.6	52.3	49.5	50.5	50.5	964.8	4.52	5.28
6	11.30	33.6	34.3	63.7	58.1	55.4	55.4	55.1			
7	12.00	34.7	35.3	64.8	59.3	55.0	54.3	52.5	992.2	3.46	4.66
8	12.30	35.3	35.7	63.9	59.5	55.5	54.5	54.8			
9	13.00	36.6	36.3	62.4	60.6	56.2	55.0	55.5	1004.7	3.14	4.24
10	13.30	36.4	34.6	62.1	55.7	51.4	51.0	53.1			
11	14.00	35.6	34.2	61.4	55.2	49.2	50.9	51.0	907.9	2.62	3.82
12	14.30	35.3	33.7	59.8	58.8	47.2	47.6	49.3			
13	15.00	34.8	33.5	57.3	51.6	46.2	46.4	48.4	739.6	2.24	3.68
14	15.30	34.6	33.3	53.2	48.8	39.6	42.9	44.1			
15	16.00	34.4	32.8	51.3	48.5	41.8	41.7	45.2	575.5	1.92	3.58
16	16.30	33.2	32.5	47.2	45.4	41.7	42.5	43.0			
17	17.00	32.1	31.1	40.8	40.5	40.2	40.2	40.1	145.7	1.84	3.52

### ตารางบันทึกผลการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง ปลาสามแก้วสด

วันที่ 21 เดือน เมษายน พ.ศ. 2550

เวลาเริ่มการทดลอง 09.00 ถึง 17.00 น.

ความเร็วลม 2.05 เมตร/วินาที น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้ง 6 กก. หลังอบแห้ง 2.48 กก.

ครั้งที่	เวลา	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิแผงรับ รังสี (°C)		อุณหภูมิของตู้อบแห้ง (°C)				ค่าความ เข้มของ รังสี (W/m <sup>2</sup> )	น้ำหนักของ ผลิตภัณฑ์(Kg)	
			เข้า	ออก	ด้านล่าง	ตรง กลาง	ด้านบน	ออก จาก ตู้อบ		ใช้ตู้ อบแห้ง	ตาก แดด
1	09.00	29.5	31.3	45.0	42.6	40.9	40.3	41.2	333.5	6.00	6
2	09.30	30.7	31.8	47.1	44.1	41.7	40.7	42.5			
3	10.00	32.1	34.0	52.8	47.7	45.8	46.5	47.0	508.5	5.64	5.92
4	10.30	32.5	34.5	56.8	51.1	48.7	49.7	48.9			
5	11.00	33.3	34.6	62.1	54.3	50.5	51.5	51.8	910.8	4.80	5.68
6	11.30	34.1	35.2	64.7	56.8	52.2	53.0	53.5			
7	12.00	34.4	35.5	65.3	57.6	52.6	54.1	54.9	1010.4	4.36	4.86
8	12.30	34.2	35.7	65.5	57.8	52.8	55.0	55.8			
9	13.00	35.6	35.9	66.1	58.6	53.6	56.6	56.9	940.7	3.30	4.44
10	13.30	35.3	34.0	65.0	54.8	48.7	48.6	49.2			
11	14.00	35.0	33.8	62.4	54.6	48.3	47.5	49.1	881.8	2.86	4.22
12	14.30	34.8	33.6	59.4	52.0	44.7	47.0	48.3			
13	15.00	34.4	33.5	58.9	49.8	44.4	42.9	46.0	738.9	2.66	3.98
14	15.30	34.2	32.4	53.6	47.2	39.9	39.4	42.8			
15	16.00	33.5	32.2	49.9	44.6	38.3	37.7	41.2	531.5	2.58	3.88
16	16.30	33.4	32.2	44.4	43.2	36.5	36.6	40.3			
17	17.00	32.6	32.0	42.5	42.3	37.5	38.4	40.1	280.4	2.48	3.72

### ตารางบันทึกผลการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง ปลาสามแก้วสด

วันที่ 22 เดือน เมษายน พ.ศ. 2550

เวลาเริ่มการทดลอง 09.00 ถึง 17.00 น.

ความเร็วลม 2.25 เมตร/วินาที น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้ง 6 กก. หลังอบแห้ง 2.02 กก.

ครั้งที่	เวลา	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิแผงรับ รังสี (°C)		อุณหภูมิของตู้อบแห้ง (°C)				ค่าความ เข้มของ รังสี (W/m <sup>2</sup> )	น้ำหนักของ ผลิตภัณฑ์(Kg)	
			เข้า	ออก	ด้านล่าง	ตรง กลาง	ด้านบน	ออก จาก ตู้อบ		ใช้ตู้ อบแห้ง	ตาก แดด
1	09.00	32.2	34.8	56.2	49.2	45.3	46.4	41.9	603.8	6.00	6
2	09.30	32.4	35.6	57.8	51.3	47.3	46.5	48.8			
3	10.00	33.0	35.7	58.0	52.2	49.2	51.2	51.7	794.0	5.48	5.86
4	10.30	33.4	35.9	58.2	52.6	49.5	51.3	52.6			
5	11.00	33.8	36.2	58.7	53.9	50.3	52.5	52.7	934.5	4.56	5.38
6	11.30	33.9	36.5	59.5	55.0	52.8	53.6	53.8			
7	12.00	34.2	36.9	59.9	55.7	52.3	53.9	54.2	990.2	3.42	4.86
8	12.30	34.5	37.5	60.2	56.6	51.7	54.2	54.6			
9	13.00	36.7	38.5	60.8	56.8	51.5	55.9	54.8	999.5	3.18	4.64
10	13.30	36.6	35.4	59.2	56.3	49.6	50.4	49.5			
11	14.00	35.6	34.8	58.0	54.7	49.1	50.2	49.2	902.8	2.78	4.22
12	14.30	35.3	34.6	56.0	53.1	47.0	49.7	49.0			
13	15.00	35.0	34.5	55.6	51.8	46.3	49.3	48.2	753.2	2.30	3.88
14	15.30	34.9	34.3	52.2	45.2	42.7	45.3	45.9			
15	16.00	34.4	34.2	50.1	44.4	40.9	43.1	45.2	543.8	2.18	3.68
16	16.30	33.9	33.8	46.8	42.5	38.8	41.5	42.6			
17	17.00	33.7	33.3	42.1	40.5	39.7	38.8	41.1	303.7	2.02	3.62

### ตารางบันทึกผลการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง ปลาสามแก้วสด

วันที่ 23 เดือน เมษายน พ.ศ. 2550

เวลาเริ่มการทดลอง 09.00 ถึง 17.00 น.

ความเร็วลม 2.50 เมตร/วินาที น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้ง 6 กก. หลังอบแห้ง 1.94 กก.

ครั้งที่	เวลา	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิแผงรับ รังสี (°C)		อุณหภูมิของตู้อบแห้ง (°C)				ค่าความ เข้มของ รังสี (W/m <sup>2</sup> )	น้ำหนักของ ผลิตภัณฑ์(Kg)	
			เข้า	ออก	ด้านล่าง	ตรง กลาง	ด้านบน	ออก จาก ตู้อบ		ใช้ตู้ อบแห้ง	ตาก แดด
1	09.00	30.4	31.8	53.1	50.3	49.0	49.9	50.2	451.5	6.00	6.00
2	09.30	31.4	33.0	53.4	50.8	49.1	51.1	52.1			
3	10.00	31.6	34.7	54.2	51.1	49.6	49.8	52.5	488.1	5.40	5.90
4	10.30	33.1	35.3	54.6	51.9	50.3	50.8	52.9			
5	11.00	34.5	35.7	55.2	52.2	51.2	51.9	55.2	741.1	4.52	5.74
6	11.30	34.8	38.0	55.6	53.0	52.7	53.3	55.7			
7	12.00	35.5	38.9	56.0	54.4	53.3	53.6	56.2	789.1	3.46	5.52
8	12.30	36.2	39.2	56.4	55.4	53.6	53.8	56.8			
9	13.00	36.7	39.5	57.4	55.8	54.8	55.5	57.3	890.8	3.14	5.28
10	13.30	36.5	38.1	56.4	54.8	53.3	55.1	56.8			
11	14.00	35.8	37.6	55.9	54.2	51.0	51.2	52.9	775.9	2.62	4.92
12	14.30	35.5	37.2	54.6	52.5	48.9	49.2	50.1			
13	15.00	35.0	36.4	53.6	50.6	46.7	47.0	48.4	670.7	2.24	4.56
14	15.30	34.3	36.2	52.4	48.7	44.5	46.0	47.2			
15	16.00	33.9	35.8	49.9	47.2	42.6	44.7	46.0	495.5	2.13	4.36
16	16.30	32.8	35.6	41.8	41.3	39.2	39.6	40.7			
17	17.00	33.0	34.9	37.2	39.0	37.6	38.6	39.1	285.2	1.94	4.02

ตารางแสดงตัวอย่างความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์

Ident	Friedrichs U3.52 M5.00		
Location	tmd		
Serial No	091152		
Sample Rate	1s		
Store Rate	600s		
Name	TimeDate	Global Radiation	Diffuse Radiation
Kind		AI	AI
Unit		W/m2	W/m2
1	20/04/07 06:00:00	0.7	0.7
1	20/04/07 06:10:00	8.4	7.5
1	20/04/07 06:20:00	39.3	33.1
1	20/04/07 06:30:00	59.4	45.9
1	20/04/07 06:40:00	75.2	52.6
1	20/04/07 06:50:00	60.7	44.6
1	20/04/07 07:00:00	55.9	46.8
1	20/04/07 07:10:00	72.8	54.6
1	20/04/07 07:20:00	86.6	60.9
1	20/04/07 07:30:00	121.4	78.3
1	20/04/07 07:40:00	211.6	103.0
1	20/04/07 07:50:00	205.1	115.3
1	20/04/07 08:00:00	328.8	142.5
1	20/04/07 08:10:00	410.8	156.3
1	20/04/07 08:20:00	370.6	171.4
1	20/04/07 08:30:00	260.9	180.5
1	20/04/07 08:40:00	269.9	192.2
1	20/04/07 08:50:00	461.8	258.6
1	20/04/07 09:00:00	556.2	245.7
1	20/04/07 09:10:00	578.9	270.0
1	20/04/07 09:20:00	600.0	311.0
1	20/04/07 09:30:00	243.2	213.7
1	20/04/07 09:40:00	489.0	283.3

1	20/04/07 09:50:00	434.7	228.9
1	20/04/07 10:00:00	507.4	215.9
1	20/04/07 10:10:00	527.3	204.8
1	20/04/07 10:20:00	830.1	221.3
1	20/04/07 10:30:00	812.9	210.3
1	20/04/07 10:40:00	876.1	220.5
1	20/04/07 10:50:00	886.7	237.7
1	20/04/07 11:00:00	964.8	217.2
1	20/04/07 11:10:00	962.3	257.7
1	20/04/07 11:20:00	982.9	245.8
1	20/04/07 11:30:00	785.0	287.0
1	20/04/07 11:40:00	886.3	274.0
1	20/04/07 11:50:00	951.2	272.3
1	20/04/07 12:00:00	992.2	272.8
1	20/04/07 12:10:00	1107.0	310.1
1	20/04/07 12:20:00	812.7	301.0
1	20/04/07 12:30:00	952.3	270.2
1	20/04/07 12:40:00	1035.2	309.0
1	20/04/07 12:50:00	1028.3	239.0
1	20/04/07 13:00:00	1004.7	215.7
1	20/04/07 13:10:00	996.1	199.6
1	20/04/07 13:20:00	971.1	182.9
1	20/04/07 13:30:00	959.7	181.0
1	20/04/07 13:40:00	854.7	185.6
1	20/04/07 13:50:00	861.0	176.0
1	20/04/07 14:00:00	907.9	170.3
1	20/04/07 14:10:00	878.0	168.1
1	20/04/07 14:20:00	848.2	156.0
1	20/04/07 14:30:00	825.3	145.3
1	20/04/07 14:40:00	796.4	143.6
1	20/04/07 14:50:00	771.6	139.0
1	20/04/07 15:00:00	739.6	143.1
1	20/04/07 15:10:00	705.1	147.8
1	20/04/07 15:20:00	680.6	141.8
1	20/04/07 15:30:00	653.6	142.3
1	20/04/07 15:40:00	618.0	153.2

1	20/04/07 15:50:00	594.5	168.2
1	20/04/07 16:00:00	575.5	175.4
1	20/04/07 16:10:00	530.9	195.4
1	20/04/07 16:20:00	429.0	199.5
1	20/04/07 16:30:00	236.3	154.3
1	20/04/07 16:40:00	227.7	147.1
1	20/04/07 16:50:00	188.7	136.0
1	20/04/07 17:00:00	145.7	114.2
1	20/04/07 17:10:00	117.1	98.9
1	20/04/07 17:20:00	99.6	85.9
1	20/04/07 17:30:00	83.1	73.3
1	20/04/07 17:40:00	68.5	60.9
1	20/04/07 17:50:00	54.4	48.3
1	20/04/07 18:00:00	39.2	34.8

**ภาคผนวก ข.**

การคำนวณ

## การคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทพลังงานความร้อนของแผงรับรังสีสุริยะ

การคำนวณสมดุลพลังงานแผงรับรังสีสุริยะ ในกรณีที่แผงรับรังสีทำมุมเอียงกับดวงอาทิตย์ ขนานกับพื้น หรือทำมุมเป็นศูนย์องศา ในการหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทพลังงานความร้อนทั้งหมดของแผงรับรังสีสุริยะ ซึ่งมีคุณลักษณะดังนี้(โดยคิดที่ตำแหน่งที่ 1 ,ที่เวลา 13.00 น.)

แผงรับรังสีสุริยะ ขนาด 132*116*8 cm จำนวน 1 แผง	1.53 m <sup>2</sup>
ระยะห่างระหว่างแผงรับรังสีสุริยะกับกระจก	1 cm
ค่าการส่งออก $\epsilon$ ของกระจก	0.88
ค่าการส่งออก $\epsilon$ ของแผ่นดูดกลืนพลังงาน	0.95
อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	35.6
ความเร็วลมเฉลี่ย	2.05 m/s
อุณหภูมิเฉลี่ยกระจกของแผงรับรังสีสุริยะ	49.6 °C
อุณหภูมิเฉลี่ยกระจกของตู้อบ	49.05 °C
อุณหภูมิเฉลี่ยแผ่นดูดกลืนพลังงานของแผงรับรังสีสุริยะ	51.4 °C
$\sigma$ ค่าสเตฟาน-โบลทซ์มันน์	5.669x10 <sup>-8</sup>

อุณหภูมิท้องฟ้า จากสมการ (2.7)

$$\begin{aligned} T_{\text{SKY}} &= T_{\text{air}} - 6 \\ T_{\text{SKY}} &= 35.6 - 6 \\ &= 29.6 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลม จากสมการ (2.8)

$$\begin{aligned} h_w &= 2.8 + 3v \\ h_w &= 2.8 + 3(2.05) \\ &= 8.95 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นกระจกกับแสงอาทิตย์ จากสมการ (2.22)

$$\begin{aligned} h_{r,c-s} &= \epsilon_c \sigma (T_c^2 + T_s^2) (T_c + T_s) \\ h_{r,c-s} &= 0.88 \times 5.669 \times 10^{-8} \times (49.05^2 + 29.6^2) (49.05 + 29.6) \\ &= 8.93 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผงรับพลังงานความร้อนกับแผ่นกระจก จากสมการ (2.21)

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

$$h_{r,p-c} = 5.669 \times 10^{-8} \left[ \frac{(51.4^2 + 49.6^2)(51.4 + 49.6)}{\left(\frac{1}{0.88}\right) + \left(\frac{1}{0.95}\right) - 1} \right]$$

$$= 6.44 \text{ W/m}^2\text{C}$$

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์กับแผ่นกระจก จากสมการ (2.23)

$$h_{p-c} = \frac{[1 - 0.0018(\bar{T} - 10)]1.14(\Delta T)^{0.31}}{1^{0.07}}$$

$$h_{p-c} = \frac{[1 - 0.0018(35.6 - 10)]1.14(49.05)^{0.31}}{1^{0.07}}$$

$$= 3.635 \text{ W/m}^2\text{C}$$

การหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม จากสมการ (2.24)

$$U_t = \left[ \frac{1}{h_{p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-s}} \right]^{-1}$$

$$U_t = \left[ \frac{1}{3.635 + 6.44} + \frac{1}{8.95 + 8.93} \right]^{-1}$$

$$= 6.44 \text{ W/m}^2\text{C}$$

การคำนวณค่าการสูญเสียความร้อนด้านล่าง จากสมการ (2.26)

$$U_b = \frac{K}{L}$$

$$U_b = \frac{0.02689}{0.01}$$

$$= 2.689 \text{ W/m}^2\text{C}$$

การคำนวณค่าการสูญเสียความร้อนด้านข้าง จากสมการ (2.27)

$$U_e = \frac{(UA)_{edge}}{A_c}$$

$$U_e = \frac{0.045}{0.025} \times 4.96 \times 0.05$$

$$= 2.48$$

$$= 0.18 \text{ W/m}^2\text{C}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมทั้งหมด เท่ากับ จากสมการ (2.28)

$$\begin{aligned} U_L &= U_i + U_b + U_c \\ U_L &= 6.44 + 2.689 + 0.18 \\ &= 9.31 \text{ W/m}^2\text{C} \end{aligned}$$

แฟกเตอร์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี จากสมการ (2.31)

$$\begin{aligned} F' &= \left[ 1 + \frac{U_L}{h + [(1/h) + (1/h_r)]^{-1}} \right]^{-1} \\ F' &= \left[ 1 + \frac{9.13}{11.71 + [(1/11.71) + (1/15.86)]^{-1}} \right]^{-1} \\ &= 0.645 \end{aligned}$$

แฟกเตอร์การดึงความร้อนและแฟกเตอร์ของไหล จากสมการ (2.32)

$$\begin{aligned} F_R &= \frac{m\dot{C}_p}{A_c U_L} \left[ 1 - \exp\left( -\frac{A_c U_L F'}{m\dot{C}_p} \right) \right] \\ F_R &= \frac{4.0981 \times 1006}{1.53 \times 9.31} \left[ 1 - \exp\left( -\frac{1.53 \times 9.31 \times 0.645}{4.0981 \times 1006} \right) \right] \\ &= 0.692 \end{aligned}$$

พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ใช้ประโยชน์ จากสมการ (2.33)

$$\begin{aligned} Q_u &= A_c [F_R (\tau\alpha) I_T - F_R U_L (T_i - T_a)] \\ Q_u &= 1.53 [0.692 (0.875 \times 0.95) 940.7 - 0.692 \times 9.31 (35.9 - 35.6)] \\ &= 748.6 \text{ W} \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ จากสมการ (2.33)

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\Sigma Q_u}{\Sigma I_T A_c} \\ \eta &= \frac{748.6}{940.7 \times 1.53} \\ &= 0.52 \end{aligned}$$

**ภาคผนวก ก.**

แบบแสดงการเข้าร่วม/การเสนอผลงานการประชุมทางวิชาการ ประจำปี 2550

ณ.มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระหว่างวันที่ 29 – 30 พฤษภาคม 2550

บทคัดย่อ

การประชุมทางวิชาการ ประจำปี

2550



ร่วมเทอดพระเกียรติในวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว  
ทรงมีพระชนมายุครบ 80 พรรษา



สวทช.  
NSTDA

29 - 30 พฤษภาคม 2550

ณ ศูนย์การศึกษาและพิพิธภัณฑ์นานาชาติ  
สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร  
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ISBN 978-974-8444-46-8

### สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำ โดย ถาวร ราชรองเมือง ทวีวัฒน์ สุภารส และณัฐรุ กาศยปนนท์.....	78
การศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดย สิทธิชัย เซนทร ทวีวัฒน์ สุภารส และณัฐรุ กาศยปนนท์.....	79
การศึกษาการผลิตเกลือสินเธาว์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดย ชินภัทร แก้วโกมินทวงษ์ ทวีวัฒน์ สุภารส และณัฐรุ กาศยปนนท์.....	80
การศึกษาความเป็นไปได้ของเครื่องกลั่นเอทานอลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดย อนุศิษฐ์ อ้นมานะตระกูล สมภพ ปัญญาสมพรรค และกฤษณะ แก้วมณี.....	81
การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเครื่องยนต์เบนซิน โดย ทวีวัฒน์ สุภารส และ ณัฐพล รุ่งประแสง.....	82
การวิเคราะห์สมรรถนะระบบระบายความร้อนในห้องโดยสารรถยนต์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดย วัฒนา ศักดิ์ศศิธร ทวีวัฒน์ สุภารส และณัฐรุ กาศยปนนท์.....	83
การศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของฮีวาโปรเตอร์และคอนเดนเซอร์ แบบกลุ่มท่อติดครีบลักษณะต่างๆ โดย สุธี เจตน์เจริญ ทวีวัฒน์ สุภารส และอนุศิษฐ์ อ้นมานะตระกูล.....	85
<b>สาขาสังคมศาสตร์</b>	<b>86-109</b>
วิถีชีวิตของชุมชนลัวะกับการพัฒนา: กรณีศึกษา บ้านสาม ตำบลห้วยหอม อำเภอแม่ลาน้อย จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดย อภิสสิทธิ์ ลัมยศ อ้อมทิพย์ เมฆรักษาวินิช แคมป์ สมคิด แก้วทิพย์ และวีระชัย ณ นคร.....	86
บทบาทชายและหญิงในชีวิตประจำวันของชนเผ่าลีซอบ้านแปกแฉม อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่ โดย ชนะชัย ใจช่วย สมคิด แก้วทิพย์ ปราวรณา ยศสุข และปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร.....	87

## การศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

### Performance study of Force Convection Dryer Using Solar Energy

สิทธิชัย เชนทร<sup>1</sup> ทวีวัฒน์ สุภารส<sup>2</sup> ณัฐ กาศยปันทน์<sup>3</sup>

Sittichai Chainton Taveewat Suparos Nat Kasayapanand

<sup>1</sup>นักศึกษาลัทธิวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

<sup>3</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[E-mail:chainton2524@hotmail.com](mailto:chainton2524@hotmail.com)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยการศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ ระบบใช้อากาศเป็นสารตัวกลางในการพาความร้อนผ่านแผงรับแสงรังสีสุริยะแบบราบเรียบขนาดพื้นที่ 1.53 ตารางเมตร วางทำมุม 9° กับแนวระนาบ อากาศร้อน อัตราการไหล 0.84 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้อบ โดยอุณหภูมิภายในตู้อบเฉลี่ย 60-65 องศาเซลเซียส เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับผลิตภัณฑ์ จากทดลองผลิตภัณฑ์ที่ใช้ตู้อบแห้งพบว่า มีอัตราการลดลงของน้ำหนักและความชื้นที่เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการตากแดด และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะลดลงไปอย่างช้าๆเป็นไปตามระยะเวลาและชั่วโมงที่ใช้ในการอบ โดยทำการอบแห้งใช้เวลาเฉลี่ย 6 ชั่วโมงน้อยกว่าการตากแดดซึ่งใช้เวลาเฉลี่ย 27 ชั่วโมง และตู้อบมีประสิทธิภาพในการอบแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์

**คำสำคัญ:** สมรรถนะ / การพาความร้อนแบบบังคับ / การอบแห้ง / พลังงานแสงอาทิตย์  
/ ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำทางทะเล

#### ABSTRACT

The objective performance study of force convection dryer using solar energy of this research is to evaluate the performance of dryer system using solar energy by applying force convection process. To make drying product by using solar energy, the working fluid (air) is exchanged the heat from solar plates sized 1.53 m<sup>2</sup>, inclined 9° to horizontal, the hot air flow rate at 0.84 cfm is circulated in dryer chamber. Temperature inside dryer chamber reached proximately 60-65°C. The result of the experiment has shown that the system performance using force convection dryer is better than natural drying process. It shown that the weight of products and moisture decreased in force convection dryer chamber is faster than natural drying process. The weight of products are slightly decreased. The system is used the time for Lamellate drying racers 6 hrs. Lamp are to the natural drying process about 27 hrs. The overall efficiency of the designed dryer is 60%.

**Key words :** Performance / Force convection / Drying/ Solar Energy /Marine product

## บทนำ

การทำผลิตภัณฑ์ให้แห้งเป็นวิธีการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง และสามารถเก็บรักษาอาหารไว้ได้นาน โดยทั่วไปในวิธีการทำผลิตภัณฑ์ให้แห้งจะใช้แสงแดดเพื่อทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง เช่น การตากบนตะแกรง ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและมีต้นทุนต่ำ แต่การตากแดดโดยวิธีนี้จะทำให้การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ตากแดดนั้นทำได้ยาก เนื่องจากความไม่แน่นอนของรังสีจากดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและสภาพภูมิอากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการตากแดดนั้นอาจจะไม่ถูกสุขลักษณะ มีการปนเปื้อนจากฝุ่นละอองและแมลง ที่ทำให้เกิดเชื้อโรคซึ่งเป็นอันตรายอย่างมากกับผู้บริโภค แต่ในการนำเทคนิคการอบแห้งมาใช้นั้นจะช่วยลดปัญหาที่ทำให้เกิดเชื้อโรคได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะอยู่ภายในตู้ที่ปิดมิดชิดและสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบได้ ในการอบแห้งด้วยวิธีนี้สามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งได้ การหดตัวของผลิตภัณฑ์มีน้อย ส่วนคุณค่าของสารอาหารหลังการอบแห้งก็ยังคงเดิมและสะอาดถูกสุขลักษณะ

**Shanmugama, Natarajan[1]** ได้ศึกษาการพาความร้อนทางอ้อมและการทำแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นการออกแบบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งภายใต้สภาวะอากาศร้อนและชื้น ระบบประกอบด้วยแผ่นเก็บความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ หอทำแห้ง และหน่วยทำแห้ง โดยหน่วยทำแห้งได้ออกแบบให้สามารถรองรับแคลเซียมคลอไรด์ 75 กก ซึ่งเป็นสารทำแห้ง โดยสารดังกล่าวจะประกอบด้วย 60% เบนโตไนท์, 10% แคลเซียมคลอไรด์, 20% vermiculite and 10% ซิเมนต์ โดยในการอบแห้งได้ทำการทดสอบกับถั่วเขียวที่อัตราการไหลของอากาศที่แตกต่างกัน ที่ความชื้นสมดุลพบว่าจะประกอบด้วยมวล ที่ 14 hr ที่อัตราการไหลเวียนของอากาศ  $0.03 \text{ kg/m}^2$  ต่อวินาที พบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขของอัตราการสกัดความชื้น อัตราการหดตัวของผลิตภัณฑ์ และอัตราการอบแห้ง

**Ho-Ming Yeh and Chii-Dong Ho [2]** ได้ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนผิวของ collector ที่มีต่อประสิทธิภาพของ collector ของแผ่นและท่อทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้ทำการตรวจสอบตามทฤษฎีเป็นที่เรียบร้อยแล้วด้วยค่าคงที่ของพื้นผิว collector และระยะห่างระหว่างท่อ พบว่า ประสิทธิภาพของ collector จะเพิ่มขึ้นหากเพิ่มอัตราส่วน collector aspect ratio พร้อมกับการลดอุณหภูมิของอากาศและน้ำที่ไหลผ่านท่อ ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้เป็นวิธีการเดียวกับ upward type หรือ downward type ของแผ่นทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

## ทฤษฎีการวิจัย

การอบแห้งด้วยตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ นี้จะใช้อุณหภูมิต่ำที่สม่ำเสมอ ทำให้ช่วยสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งได้ การหดตัวของผลิตภัณฑ์มีน้อย ส่วนคุณค่าของสารอาหารหลังการอบแห้งก็ยังคงเดิมและสะอาดถูกสุขลักษณะ ปลอดภัยในการใช้งานและทำการบำรุงรักษาได้ง่าย

โดยการวิเคราะห์สมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถพิจารณาได้จากสมการคือ

## 1. การถ่ายเทความร้อนของพลังงานแสงอาทิตย์

### 1.1 การแผ่รังสีท้องฟ้า

ในการหาค่าสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จะทำการประเมินการแลกเปลี่ยนการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวและท้องฟ้า ซึ่งท้องฟ้าสามารถพิจารณาคล้ายกับวัตถุดำที่อุณหภูมิท้องฟ้า  $T_s$  การแผ่รังสีสุทธิที่เกิดขึ้นจริงระหว่างตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ในแบบแผ่นราบในแนวระดับกับท้องฟ้า

$$T_{\text{SKY}} = T_{\text{air}} - 6 \quad 1$$

### 1.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลม

การสูญเสียความร้อนจากแผ่นราบสู่อากาศภายนอก เป็นเรื่องที่สำคัญสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ในกรณีที่แผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีลมพัดผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลมจะหาได้จากสมการคือ

$$h_w = 5.7 + 3.8v \quad 2$$

### 1.3 ความสัมพันธ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติระหว่างแผ่นราบ

ในระบบการทำความร้อนแบบบังคับ ซึ่งจะใช้อากาศเป็นตัวพาความร้อนและพลังงานความร้อนจะมาจากแผ่รังสีพลังงานอาทิตย์ อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างแผ่นราบที่วางเอียงทำมุมกับแนวระดับ เป็นตัวแปรที่สำคัญที่ใช้บ่งบอกสมรรถนะของตัวรับรังสีแบบแผ่นราบ

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad 3$$

### 1.4 สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสี

เพื่อให้สูตรการคำนวณปริมาณความร้อนอันเนื่องมาจากการแผ่รังสีมีรูปแบบง่าย จะใช้สมการเชิงเส้นในการคำนวณ ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี  $h_r$  เพื่อนำมาพิจารณาการแผ่รังสี

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่รังสีพลังงานความร้อนกับแผ่นกระจก

$$h_{r,p-c} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad 4$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นกระจกกับแสงอาทิตย์

$$h_{r,c-s} = \epsilon_c \sigma(T_c^2 + T_s^2)(T_c + T_s) \quad 5$$

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์กับแผ่นกระจก

$$h_{p-c} = \frac{[1 - 0.0018(\bar{T} - 10)] 1.14(\Delta T)^{0.31}}{1^{0.07}} \quad 6$$

การหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมด้านบน

$$U_t = \left[ \frac{1}{h_{p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-s}} \right]^{-1} \quad 7$$

การคำนวณการสูญเสียความร้อนด้านล่าง

$$U_b = \frac{K}{L} \quad 8$$

การคำนวณการสูญเสียความร้อนด้านข้าง

$$U_e = \frac{(UA)_{edge}}{A_c} \quad 9$$

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมทั้งหมด เท่ากับ

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad 10$$

### 1.5 แฟกเตอร์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี

$$F' = \left[ 1 + \frac{U_L}{h + [(1/h) + (1/h_r)]^{-1}} \right]^{-1} \quad 11$$

### 1.6 แฟกเตอร์การดึงความร้อนและแฟกเตอร์ของไหล

พลังงานใช้ประโยชน์จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแฟกเตอร์การดึงความร้อนของตัวเก็บรังสี (Collector Heat Removal Factor,  $F_R$ ) เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้จริงต่อพลังงานใช้ประโยชน์เมื่อแผงรับรังสีมีอุณหภูมิเท่ากับของไหลที่เข้าจะได้สมการคือ

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{\dot{m} C_p}\right) \right] \quad 12$$

1.7 สมการสมดุลพลังงานบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ

สมรรถนะของตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์สามารถอธิบายได้โดยใช้หลักการสมดุลพลังงานเมื่อพิจารณาที่สภาวะคงที่ ซึ่งจะเห็นได้จากการกระจายของพลังงานรังสีอาทิตย์ในรูปการสูญเสียทางความร้อน และการสูญเสียเชิงแสง ของพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

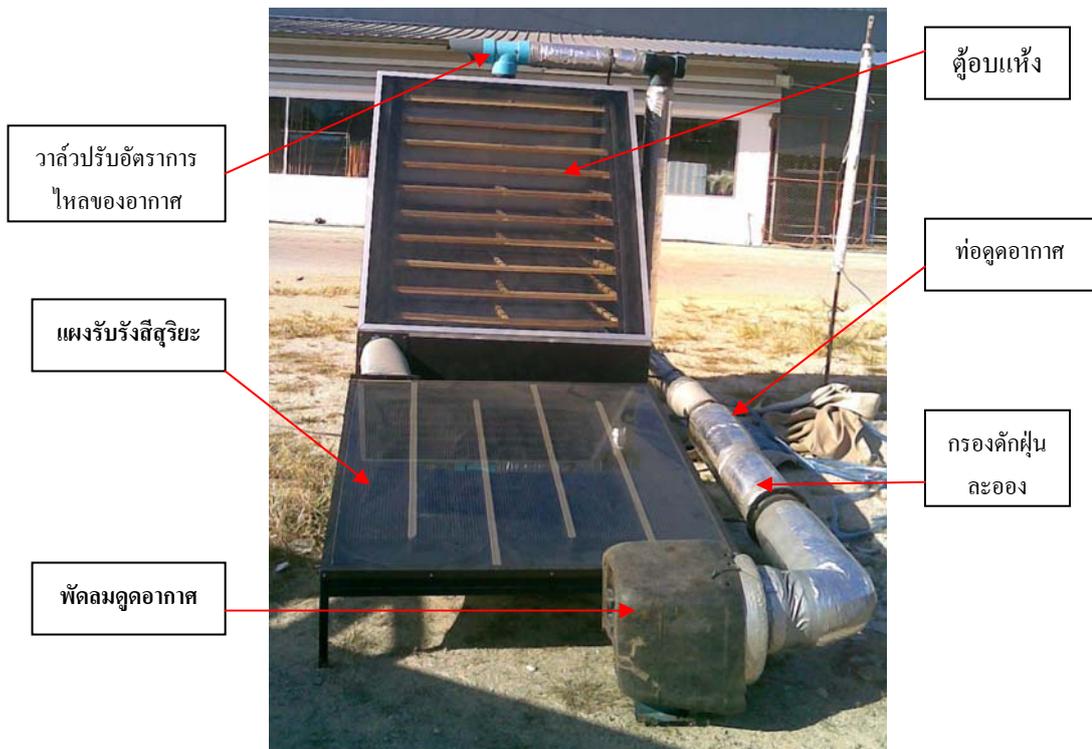
$$Q_u = A_c I_0 F_R [ \rho_g \rho_P \rho_{UL} (T_f, i - T_a) / I_0 ] \tag{13}$$

ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์

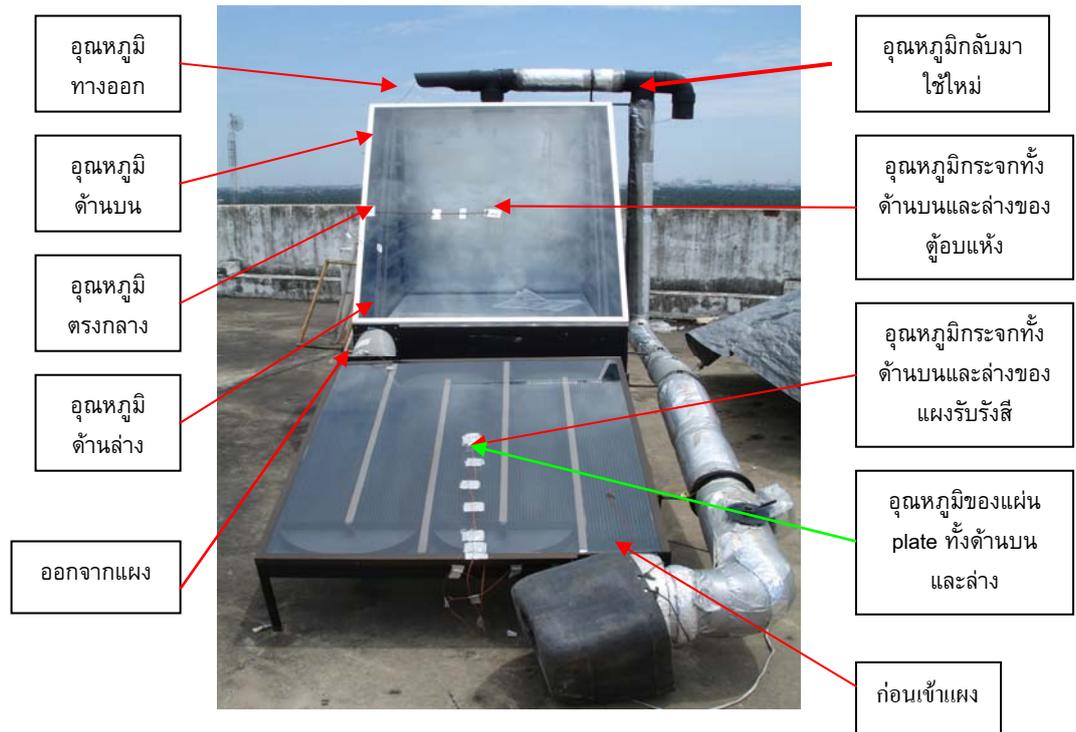
$$\eta = \frac{\Sigma Q_u}{\Sigma I_T A_c} \tag{14}$$

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

อุปกรณ์การวิจัยสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แสดงในรูปที่ 2 ทำการทดลองในวันที่มีท้องฟ้าโปร่งและแสงแดดดีตั้งแต่ช่วงระยะเวลา 9.00-17.00 นาฬิกา โดยวัดอุณหภูมิของอากาศแล้วจดบันทึกข้อมูลทุกๆ 30 นาที โดยเทอร์โมคัปเบิลชนิด K บันทึกค่าด้วย Data Logger และนำผลดิคัทธ์ออกมาซึ่งนำหน้าทุกๆ 1 ชั่วโมง ด้วยเครื่องซังคิจิตอล โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิและ Power meter สำหรับวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้



รูปที่ 1 ภาพแสดงอุปกรณ์ตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์



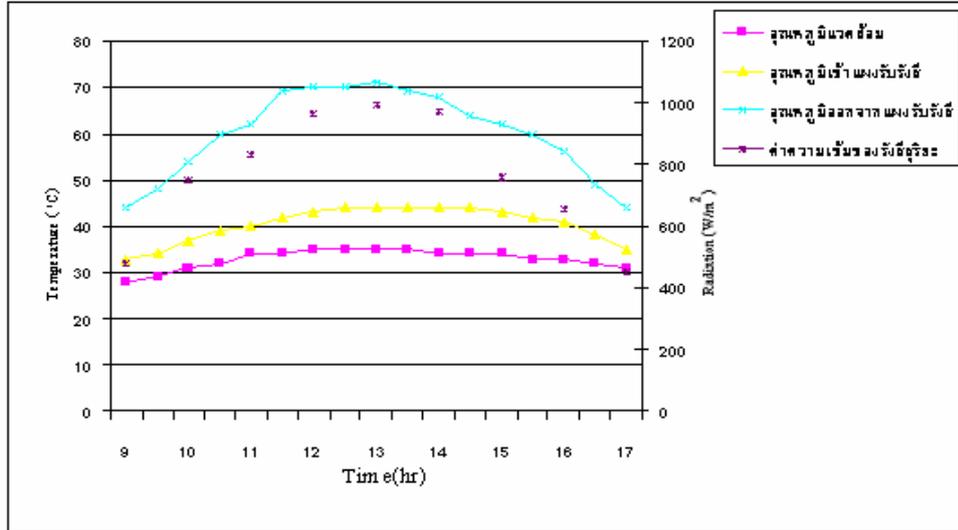
รูปที่ 2 แสดงจุดที่ทำการวัดอุณหภูมิ

### หลักการทำงาน

เมื่อเปิดสวิตช์มอเตอร์พัดลมจะทำงานอากาศที่อยู่ภายนอกก็จะถูกดูดเข้ามาตามท่อดูดอากาศ ผ่านกรองดักฝุ่นละออง แล้วถูกเป่าเข้าไปยังแผงรับรังสีสุริยะ ที่ทำมาจากแผ่นอะลูมิเนียมและใช้เป็นตัวรับรังสีสุริยะ ซึ่งเกิดการแลกเปลี่ยนพลังความร้อน จากนั้นลมก็จะพาอากาศร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีสุริยะส่งเข้าไปยังภายในตู้อบ อากาศร้อนก็จะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้อบ เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับผลิตภัณฑ์ จากนั้นอากาศร้อนและความชื้นของผลิตภัณฑ์ก็จะไหลออกจากตู้อบที่ท่อทางออก และอากาศร้อนที่ถูกปล่อยทิ้งไปนั้นบางส่วนก็จะถูกดูดเพื่อนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่

### ผลการทดลอง

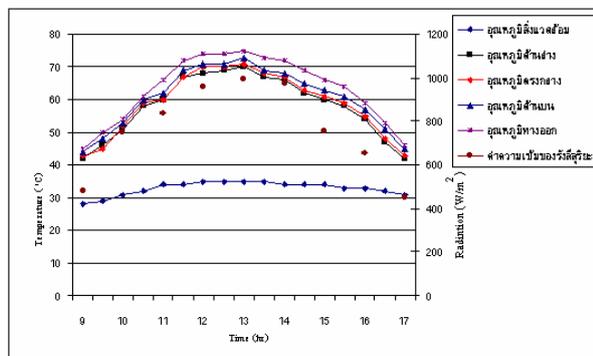
#### 1. การศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผงรับรังสี



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงรับรังสีแสงสุริยะตู้อบแห้งเทียบกับเวลาที่ใช้ออบแห้ง สำหรับผลิตภัณฑ์พริกสด ปลายหมีก ปลายู ที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม

จากรูปที่ 3 การทดลองนี้ใช้ผลิตภัณฑ์พริกสด ปลายหมีก ปลายู ที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศที่เข้าสู่แผงรับรังสีสุริยะ และอุณหภูมิก่อนเข้าแผงรับรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นผลจากการนำเอาความร้อนบางส่วนที่ถูกปล่อยทิ้งไปนำกลับมาใช้ใหม่ เมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิที่ออกจากแผงรับรังสีก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ถ้าค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ลดลงอุณหภูมิที่ออกจากแผงรับรังสีก็จะค่อยๆลดน้อยลง

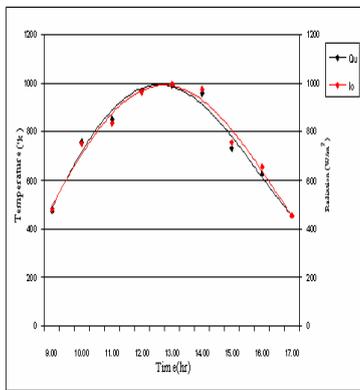
#### 2. การศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง



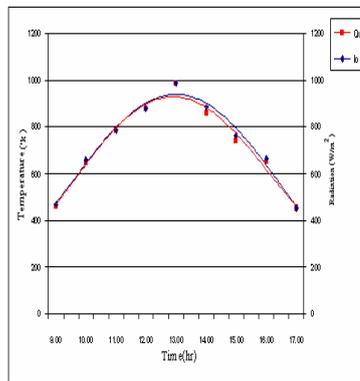
รูปที่ 4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของตู้อบแห้งเทียบกับเวลาที่ใช้ออบแห้ง สำหรับผลิตภัณฑ์พริกสด ปลายหมีก ปลายู ที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม

จากรูปที่ 4 การทดลองนี้ใช้ผลิตภัณฑ์พริกสด ปลาหมึก ปลาหู ที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบพบว่าอุณหภูมิที่อยู่ชั้นบนสุดภายในตู้อบแห้ง มีอุณหภูมิสูงที่สุด เนื่องจากพื้นที่ภายในของตู้อบถูกออกแบบมาให้มีพื้นที่ในส่วนของชั้นบนมีพื้นที่น้อยที่สุดและอยู่ตรงบริเวณก่อนที่ความร้อนกับความชื้นจะออกจากตู้อบแห้ง ดังนั้นความร้อนที่อยู่ในส่วนของชั้นด้านล่างภายในตู้อบซึ่งได้รับความร้อนมาจากแผงรับรังสี ที่ส่งเข้ามาภายในตู้อบ ผลของการพาความร้อนแบบบังคับทำให้ความร้อนที่อยู่ชั้นด้านล่างจะถูกส่ง ไปยังชั้นกลาง แล้วจึงจะไปรวมอยู่ในส่วนของชั้นบนก่อนที่จะถูกระบายออกไปจากตู้อบ โดยที่แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านกระจกที่ปิดอยู่น่าตู้อบแห้งทำให้อุณหภูมิที่อยู่ภายในตู้อบเพิ่มขึ้น ดังนั้นความร้อนในส่วนที่ทางออกของตู้อบแห้งก็จะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ละชั้นอยู่ที่ 1-2 องศาเซลเซียส

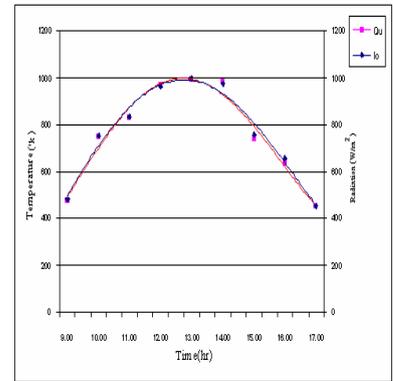
3. การเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อน



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของแผงรับรังสีกับค่าความร้อนที่นำไปใช้อบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์พริกสด น้ำหนัก 1 กิโลกรัม



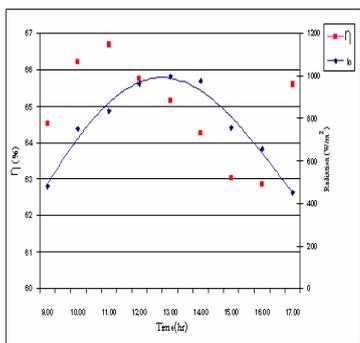
รูปที่ 6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของแผงรับรังสีกับค่าความร้อนที่นำไปใช้อบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาหมึก น้ำหนัก 2 กิโลกรัม



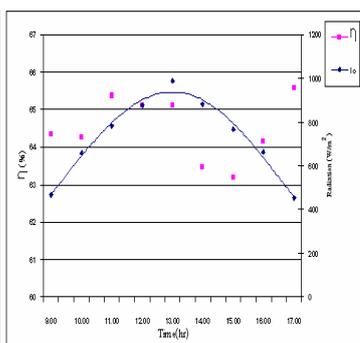
รูปที่ 7 ภาพเปรียบเทียบอุณหภูมิของแผงรับรังสีกับค่าความร้อนที่นำไปใช้อบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาหูสด น้ำหนัก 2 กิโลกรัม

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนภายในตู้อบแห้งสำหรับอบพริกสดรูปที่ 5 การอบปลาหมึก รูปที่ 6 และการอบปลาหูรูปที่ 7 พบว่าโดยภาพรวมปริมาณการเปลี่ยนแปลงความร้อนแปรผันตามความเข้มรังสีสุริยะ

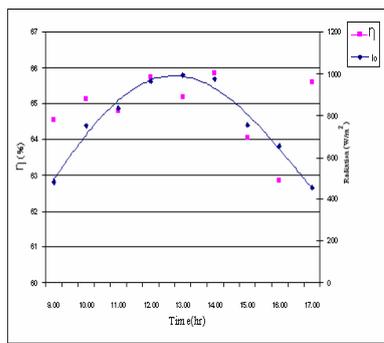
4. ประสิทธิภาพของตู้อบแห้ง



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับรังสีกับค่าความร้อนที่นำไปใช้อบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์พริกสด น้ำหนัก 1 กิโลกรัม



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับรังสีกับค่าความร้อนที่นำไปใช้อบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาหมึก น้ำหนัก 2 กิโลกรัม



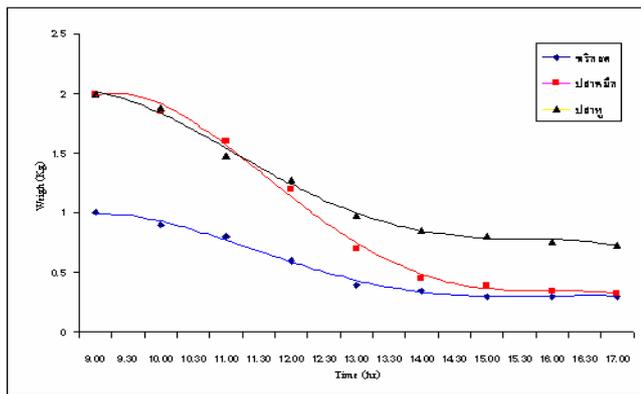
รูปที่ 10 ภาพเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับรังสีกับค่าความร้อนที่นำไปใช้อบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ปลาหูสด น้ำหนัก 2 กิโลกรัม

รับรังสีกับค่าความเข้มของรังสีสุริยะที่นำไปใช้ แผลงรับรังสีกับค่าความเข้มของรังสีสุริยะที่  
 อบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ พริกสด                      นำไปใช้ออบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์                      สุริยะที่นำไปใช้ออบแห้งสำหรับ  
 ผลิตภัณฑ์น้ำหนัก 2 กิโลกรัม                      ปลาหมึกน้ำหนัก 2 กิโลกรัม                      ปลาทุสคน้ำหนัก 2 กิโลกรัม

จากการรูปที่ 8,9 และรูปที่ 10 สามารถนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบ เพื่อหาสมรรถนะทางความร้อน  
 ของแผงรับรังสีสุริยะ โดยมีการวัดค่าความเข้มของรังสีสุริยะ การวัดค่าอุณหภูมิของไหลตรงทางเข้าและ  
 ทางออก อัตราการไหลและพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ผลจากการทดลองสำหรับการอบพริกสด  
 ปลาหมึก และปลาทุสที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม พบว่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีสุริยะโดยเฉลี่ยประมาณ 60-65  
 เปอร์เซ็นต์

**5. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก**

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพริกสด ปลาหมึกและปลาทุส ดังรูปที่ 11 พบว่าขณะเริ่มกระบวนการอบน้ำหนัก  
 ของผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงและน้ำหนักจะลดลง  
 เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากผลของความต้านทานความร้อนในเนื้อผลิตภัณฑ์เอง



**รูปที่ 11** การเปรียบเทียบน้ำหนักที่ลดลงเมื่อเทียบกับเวลาที่นำไปใช้ออบแห้ง สำหรับผลิตภัณฑ์ พริกสด ปลาหมึก ปลาทุส ที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม



**รูปที่ 12** การอบแห้งผลิตภัณฑ์ พริกสด ปลาหมึก ปลาทุส

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง พบว่าการลดลงของความชื้นของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด จะมีลักษณะค่อยๆลดลงไปตามอุณหภูมิที่ได้รับและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะลดลงไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งจะแตกต่างกันที่ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง โดยที่น้ำหนักและความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงไปอย่างรวดเร็วเมื่อมีอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งที่สูงขึ้น อุณหภูมิภายในตู้อบโดยเฉลี่ย 60-65 องศาเซลเซียส อากาศร้อนและอัตราการไหล 0.84 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ผลจากการทดลองในการอบผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในการอบแห้งจำนวน 2 กิโลกรัมได้แก่ พริกชี้หนูสวน ปลายี่มหักสด และปลาหูสดที่แล้เป็นชั้นมีความหนาไม่เกิน 1 เซนติเมตร โดยวิธีการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ใช้ตู้อบแห้งกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้การตากแดด จากการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ตู้อบจะได้อัตราการลดลงของน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ มีอัตราการลดลงของน้ำหนักและความชื้นที่เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตากแดด น้ำหนักของผลิตภัณฑ์จะลดลงไปอย่างช้าๆเป็นไปตามระยะเวลาและชั่วโมงที่ใช้ในการอบ หลังจากทำการอบไปถึงชั่วโมงที่ 6 น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ลดลงก็จะเริ่มจะคงที่

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนการแก้ปัญหาต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

### รายการสัญลักษณ์

$A_C$	คือ	พื้นที่ของตัวรับรังสีทั้งหมด , ( $m^2$ )
$C_p$	คือ	ความจุความร้อนของอากาศ, $J/Kg\ ^\circ C$
$F_R$	คือ	แฟกเตอร์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี
$h$	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน , $W/m^2\ ^\circ C$
$h_{p-c}$	คือ	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์กับ แผ่นกระจก , $W/m^2\ ^\circ C$
$h_{r,p-c}$	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผงรับพลังงานความร้อนกับแผ่นกระจก , $W/m^2\ ^\circ C$
$h_{r,c-s}$	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นกระจกกับแสงอาทิตย์, $W/m^2\ ^\circ C$
$h_w$	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยลม , $W/m^2\ ^\circ C$
$I_o$	คือ	ความเข้มของรังสีรวมที่ตกกระทบบนตัวรับรังสี , $W/m^2$
$\dot{m}$	คือ	อัตราการไหลเชิงมวล , $Kg/s$
$T_a$	คือ	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม , ( $^\circ C$ )
$T_{in}$	คือ	อุณหภูมิของของไหลกระแสร้อนตรงทางเข้า , ( $^\circ C$ )
$T_{SKY}$	คือ	อุณหภูมิท้องฟ้า, ( $^\circ C$ )
$U_L$	คือ	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวรับรังสี, ( $W/m^2\ ^\circ C$ )
$U_t$	คือ	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนความชื้นด้านบนของตัวรับรังสี, ( $W/m^2\ ^\circ C$ )

**หมายเหตุตัวห้อย**

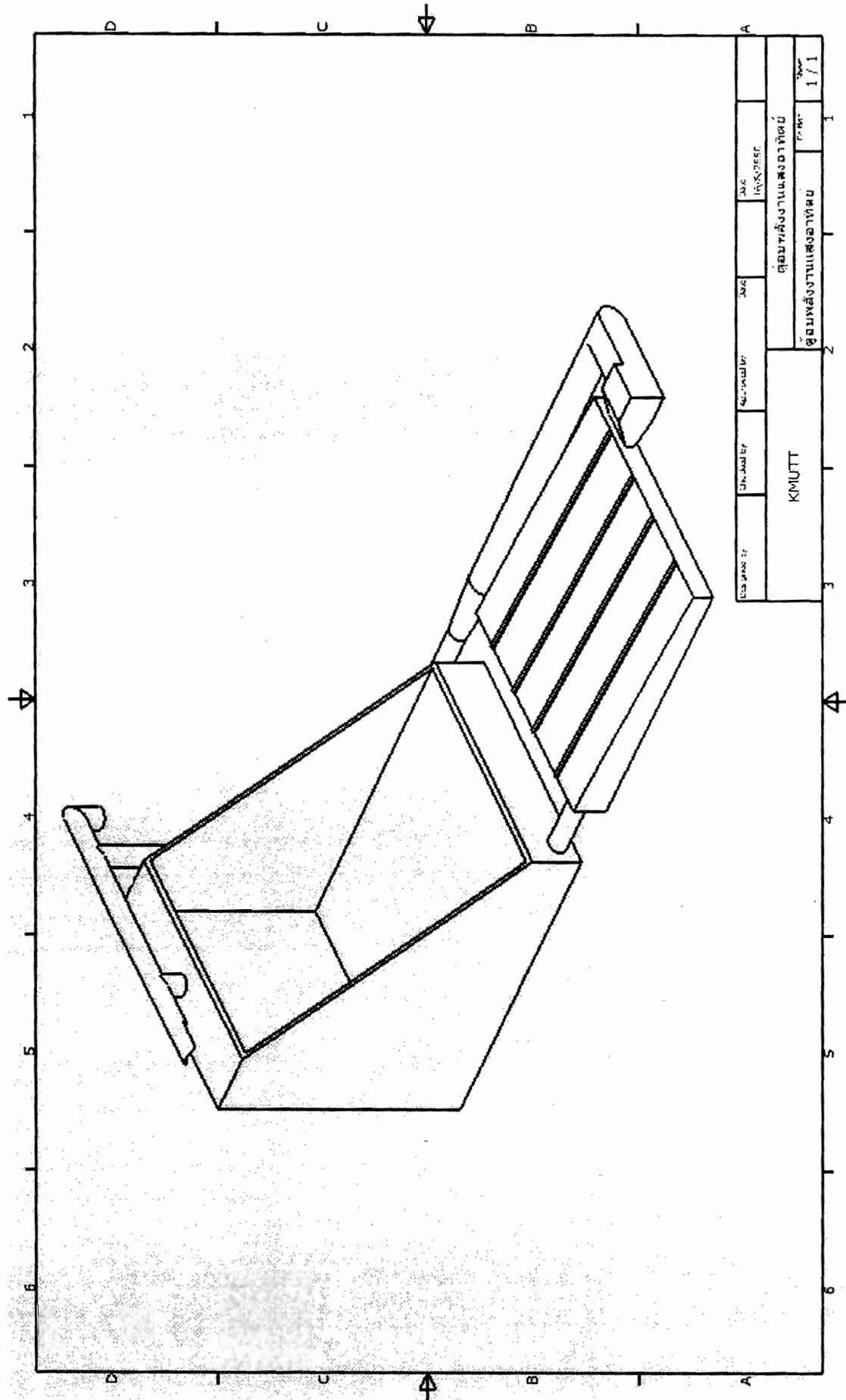
r	คือ	การแผ่รังสี
p	คือ	แผ่นดูดกลืนรังสี
c	คือ	ตัวเก็บรังสี,แผ่นปิดใส
w	คือ	ลม
s	คือ	ห้องฟ้า
a	คือ	อากาศแวดล้อม,ดูดกลืน

**เอกสารอ้างอิง**

- [1] Shanmugama,Natarajan,การทดสอบการพาความร้อนและการทำแห้งโดยใช้พลังงาน แสงอาทิตย์,Department of Mechanical Engineering, Sathyabama Deemed University, Chennai 600 119, India, 10 August 2005
- [2] Ho-Ming Yeh and Chii-Dong Ho,อิทธิพลของอัตราส่วนผิวของ Collector ที่มีต่อประสิทธิภาพของcollector ของแผ่นและท่อทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์, Department of Chemical Engineering Tamkang University Tamsui, Taipei, Taiwan, 26 March 1999
- [3] จงจิตร หิรัญธาดา ,กระบวนการพลังงานรังสีอาทิตย์ในรูปความร้อน, 2547
- [4] Kays,W.M.and Crawford M.E.,1993,**Convective Heat and Mass Transfer**,3 th Ed., McGraw-Hill, Singapore
- [5] Poulidakos D.,1994,**Conduction Heat Transfer**,Prentice-Hall, U.S.A

**ภาคผนวก ง.**

คู่มือแห่งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ





## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายสิทธิชัย เชนทร
วัน เดือน ปีเกิด	5 มกราคม พ.ศ. 2524
ภูมิลำเนา	จังหวัดระนอง
<b>ประวัติการศึกษา</b>	
ระดับประถมศึกษา	โรงเรียนอนุบาลระนอง พ.ศ. 2530
ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพิชัยรัตนาคาร พ.ศ. 2536
ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ	สาขาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคระนอง พ.ศ. 2539
ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	สาขาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคระนอง พ.ศ. 2542
ระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเครื่องกล มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี พ.ศ. 2545
ระดับปริญญาโท	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2549

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ข้อตกลงว่าด้วยการโอนลิขสิทธิ์ในวิทยานิพนธ์

วันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2550

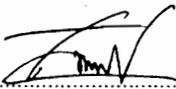
ข้าพเจ้า นายสิทธิชัย เชนทร รหัสประจำตัว 48470213 เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี อยู่บ้านเลขที่ 70/6 หมู่ 2 ตำบล/บางนอน อำเภอเมือง จังหวัดระนอง รหัสไปรษณีย์ 85000 ขอโอนลิขสิทธิ์ในวิทยานิพนธ์ให้ไว้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ กongsสุวรรณ ตำแหน่ง คณบดีคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี เป็นผู้รับโอนลิขสิทธิ์และมีข้อตกลง ดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ ผศ.ดร.ณัฐ กาศยปนนันท์ ผศ.ทวีวัฒน์ สุภารส ตามมาตรา 14 แห่ง พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

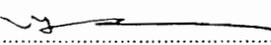
2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้น จากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามมาตรา 23 แห่งพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

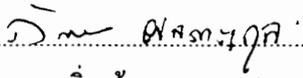
3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตามข้าพเจ้าจะต้องระบุวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกครั้งที่มีการเผยแพร่

4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่ หรืออนุญาตให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามมาตรา 27, มาตรา 28 และมาตรา 29 และมาตรา 30 แห่งพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ลงชื่อ..... .....ผู้โอนลิขสิทธิ์  
(นายสิทธิชัย เชนทร)

ลงชื่อ..... .....ผู้รับโอนลิขสิทธิ์  
(รศ.ดร.ศักดิ์ กongsสุวรรณ)

ลงชื่อ..... .....พยาน  
(ผศ.ทวีวัฒน์ สุภารส)

ลงชื่อ..... .....พยาน  
(นางกิงแก้ว ผลตระกูล)