



## รายงานการวิจัย

การศึกษาห้องรมควันหอยแมลงภู่วิธีแบบพลังงานความร้อนร่วม  
Study of Smoke House Green Mussel by using Combined  
Energy

โดย

นายดิษฐ์พร ตุงโสธานนท์

นางสาวเขวที วิบูลย์กิจ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2551

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาและและออกแบบห้องรมควันหอยแมลงภู โดยใช้เครื่องอบแบบถาด ในตอนต้นได้ศึกษาลักษณะของถาดที่อยู่ภายในเครื่องอบจำนวน 9 แบบ เพื่อหารูปแบบถาดที่เหมาะสมในเครื่องอบรมควัน โดยทำการทดลองอบหอยแมลงภูที่อุณหภูมิ 50 - 70 °C ความเร็วอากาศภายในตู้อบ 0.3 m/s ได้ข้อมูลว่า การจัดวางถาดแบบที่ 5 สามารถลดความชื้นได้ 41.256% และการจัดวางถาดแบบที่ 7 สามารถลดความชื้นได้ใกล้เคียงกันมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับถาดแบบที่ 1 จากนั้นนำข้อมูลมาทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ร่วมกับฮีตเตอร์และควันจากชานอ้อย พบว่า สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 32.55 เปอร์เซ็นต์ ที่เงื่อนไขสูงสุด และสุดท้ายนำข้อมูลของการทดลองของถาดทั้ง 9 แบบมาทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำนวน 5 แบบ ในการทำนายอัตราการอบแห้งรมควัน ในการเปรียบเทียบผลของแบบจำลองทำโดยการเปรียบเทียบ coefficient of determination ( $r^2$ ) และ ผลรวมของความคลาดเคลื่อน (SR) พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Logarithmic สามารถใช้ในการทำนายอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบที่ใช้อบหอยแมลงภูได้ดีที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่น

RCH

SH

378

ด 585 ก

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน...116950

วัน,เดือน,ปี...21 ส.ย. 2554

b. 12330972

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Abstract

The objective of this research was to study and to design the green mussel smoking chamber by using tray dryer. Initial, to find the best of position-laying model of tray was from 9 subjects in drying chamber. The green mussel was tested at 50-70°C with air velocity 0.3 m/s. The data was obtained the fifth position-laying model that could dehumidify to 41.256%, and the seventh position-laying model could decrease moisture nearness the fifth, the subject was compared with the first model. Then experiment the effect of solar energy, heater and bagasse smoke, found that could reduce electrical energy to 32.55% at highest condition. Finally, to predict smoke-drying rate by developed 9 tray data with 5 mathematical models, that were compared with coefficient of determination ( $r^2$ ) and sum of residue (SR). The result found the best model that can predict drying rate of green mussel tray dryer was Logarithmic.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการศึกษาห้องรมควันหอยแมลงภู่วิธีแบบพลังงานความร้อนร่วมสำเร็จลุล่วงไปได้โดยความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนวิจัยเงินรายได้จากหน่วยงาน และบุคคลต่าง ๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ผู้ที่ได้สั่งสอนข้าพเจ้าให้มีความรู้ ความเข้าใจ และสามารถประกอบอาชีพเลี้ยงดูตนเองได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์

ขอขอบคุณนายชัยรัตน์ เพชรศิริ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการสร้างเครื่องทดลองและอำนวยความสะดวกในการทดลองอย่างดีเสมอมา

ขอขอบคุณ อาจารย์หมพูนุช กุลเกตุวงศ์ ที่ช่วยเหลือผู้ทำวิจัยทั้งในเรื่องการตรวจเอกสาร หาข้อมูล แนะนำ คอยดูแลเอาใจใส่ ทำให้ข้าพเจ้าดำเนินการวิจัยจนแล้วเสร็จได้

ขอบคุณผู้ที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุน แนะนำ สั่งสอนและฝึกให้ข้าพเจ้ารู้จักคำว่าอดทน ได้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้วิจัยผู้ศึกษาซึ่งในพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณในทุกประการที่ให้แก่งานวิจัยเรื่องนี้ไว้ ณ โอกาสนี้

นายศิษุพร ตุงโสธานนท์  
นางสาวเขวลิ วิบูลย์กิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและการทบทวนวรรณกรรม	4
2.1 การรมควัน	4
2.1.1 การรมควันเย็น	5
2.1.2 การรมควันร้อน	5
2.2 เครื่องมือในการรมควัน	6
2.2.1 เครื่องมือรมควันพื้นบ้าน	6
2.2.2 เครื่องรมควันแบบอุตสาหกรรม	7
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
บทที่ 3. วิธีการดำเนินงานวิจัย	13
3.1 กระบวนการอบแห้ง	13
3.1.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา	13
3.1.2 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่	13
3.1.3 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง	14
3.2 นิยามความชื้นในวัสดุ	15
3.3 วัตถุประสงค์ของการรมควัน	15
3.4 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	15
3.4.1 สมการอบแห้งทางทฤษฎี	15
3.4.2 สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎี	18
3.5 ลักษณะของตู้อบและการจัดวางถาดอบรมควัน	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	21
3.6.1 การจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง	21
3.6.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง	24
3.6.3 การทดลองและบันทึกผลการทดลอง	26
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	28
4.1 บทนำ	28
4.2 ผลกระทบของการออกแบบและการจัดวางภาคในรูปแบบต่างๆต่อการกระจาย อุณหภูมิภายในห้องอบ	28
4.3 ผลกระทบของการออกแบบและการจัดวางภาคในรูปแบบต่างๆต่อการอบ	32
4.4 ผลกระทบต่อการอบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	35
4.5 ผลกระทบของการติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่ออัตราการใช้พลังงาน	35
4.6 ผลการทำนายของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	35
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	40
5.1 สรุปผลการทดลอง	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
บรรณานุกรม	41
ภาคผนวก	44
ภาคผนวก ก. วัตถุประสงค์หอยแมลงภู่	45
ภาคผนวก ข. ตารางบันทึกผลการทดลอง	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3-1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายอัตราการอบแห้งของหอยแมลงภู	19
ตารางที่ 4-1 สมการความสัมพันธ์ของค่าคงที่ต่ออุณหภูมิ ( $T$ ) และถาด ( $Tr$ )	36
ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติของหอยแมลงภูสด	47
ตารางที่ ข-1 ผลการทดลองแบบที่ 1 ที่อุณหภูมิ $50^{\circ}\text{C}$	50
ตารางที่ ข-2 ผลการทดลองแบบที่ 2 ที่อุณหภูมิ $50^{\circ}\text{C}$	51
ตารางที่ ข-3 ผลการทดลองแบบที่ 4 ที่อุณหภูมิ $50^{\circ}\text{C}$	52
ตารางที่ ข-4 ผลการทดลองแบบที่ 4 ที่อุณหภูมิ $50^{\circ}\text{C}$	53
ตารางที่ ข-5 ผลการทดลองแบบที่ 5 ที่อุณหภูมิ $50^{\circ}\text{C}$	54
ตารางที่ ข-6 ผลการทดลองแบบที่ 6 ที่อุณหภูมิ $50^{\circ}\text{C}$	55
ตารางที่ ข-7 ผลการทดลองแบบที่ 7 ที่อุณหภูมิ $50^{\circ}\text{C}$	56
ตารางที่ ข-8 ผลการทดลองแบบที่ 8 ที่อุณหภูมิ $50^{\circ}\text{C}$	57
ตารางที่ ข-9 ผลการทดลองแบบที่ 9 ที่อุณหภูมิ $50^{\circ}\text{C}$	58
ตารางที่ ข-10 ผลการทดลองแบบที่ 1 ที่อุณหภูมิ $70^{\circ}\text{C}$	59
ตารางที่ ข-11 ผลการทดลองแบบที่ 2 ที่อุณหภูมิ $70^{\circ}\text{C}$	60
ตารางที่ ข-12 ผลการทดลองแบบที่ 3 ที่อุณหภูมิ $70^{\circ}\text{C}$	61
ตารางที่ ข-13 ผลการทดลองแบบที่ 4 ที่อุณหภูมิ $70^{\circ}\text{C}$	62
ตารางที่ ข-14 ผลการทดลองแบบที่ 5 ที่อุณหภูมิ $70^{\circ}\text{C}$	63
ตารางที่ ข-15 ผลการทดลองแบบที่ 6 ที่อุณหภูมิ $70^{\circ}\text{C}$	64
ตารางที่ ข-16 ผลการทดลองแบบที่ 7 ที่อุณหภูมิ $70^{\circ}\text{C}$	65
ตารางที่ ข-17 ผลการทดลองแบบที่ 8 ที่อุณหภูมิ $70^{\circ}\text{C}$	66
ตารางที่ ข-18 ผลการทดลองแบบที่ 9 ที่อุณหภูมิ $70^{\circ}\text{C}$	67
ตารางที่ ข-19 ผลการวัดอัตราการใช้พลังงาน	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2-1	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า	9
รูปที่ 3-1	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของแข็งและเวลาในการอบแห้ง	14
รูปที่ 3-2	แสดงลักษณะการจัดวางรูปแบบถาดอบแห้งแบบต่างๆที่ได้ทำการออกแบบ	20
รูปที่ 3-3	ตู้อบ	21
รูปที่ 3-4	เครื่องมือวัดความเร็วลม	22
รูปที่ 3-5	ตาชั่งดิจิตอล	22
รูปที่ 3-6	เครื่องบันทึกอุณหภูมิ	23
รูปที่ 3-7	โถดูดความชื้น	23
รูปที่ 3-8	Pyranometer	23
รูปที่ 3-9	ชุดแผงหลอดไฟ	23
รูปที่ 3-10	แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์	24
รูปที่ 3.11	เครื่องวัดพลังงาน	24
รูปที่ 3-12	แสดงตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์วัดการกระจายอุณหภูมิภายในห้องอบ	25
รูปที่ 3-13	แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง	25
รูปที่ 3-14	การติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับตู้อบรมควัน	26
รูปที่ 4-1	แสดงการกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 50°C	31
รูปที่ 4-2	แสดงการลดลงของความชื้นที่เวลาใดๆของการจัดวางรูปแบบถาดแบบต่างๆที่อุณหภูมิ 50°C	31
รูปที่ 4-3	แสดงการลดลงของความชื้นที่เวลาใดๆของการจัดวางรูปแบบถาดแบบต่างๆที่อุณหภูมิ 70°C	32
รูปที่ 4-4	แสดงการลดลงของความชื้นที่เวลาใดๆของการจัดวางรูปแบบถาดแบบที่ 1, 5 และ 7 ที่อุณหภูมิ 50°C	33
รูปที่ 4-5	แสดงการลดลงของความชื้นทั้งหมดที่เวลาใดๆของการจัดวางรูปแบบถาดแบบที่ 1 และ 5 ที่อุณหภูมิ 50°C	33
รูปที่ 4-6	แสดงการลดลงของความชื้นทั้งหมดที่เวลาใดๆของการจัดวางรูปแบบถาดแบบต่างๆที่อุณหภูมิ 50°C	34
รูปที่ 4-7	การลดลงของความชื้นที่เวลาใดๆของการจัดวางถาดแบบที่ 1 ที่อุณหภูมิ 50°C และ 70°C	34
รูปที่ 4-8	การติดตั้งและไม่ติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่ออัตราการใช้พลังงาน	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4-9	การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง henderson and pabis ที่อุณหภูมิ 50°C	37
รูปที่ 4-10	การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง Two term ที่อุณหภูมิ 50°C	37
รูปที่ 4-11	การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง Wang and Singh ที่อุณหภูมิ 50°C	37
รูปที่ 4-12	การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง Wang and Singh ที่อุณหภูมิ 70°C	38
รูปที่ 4-13	การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง modified henderson and pabis ที่อุณหภูมิ 50°C	38
รูปที่ 4-14	การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง Logarithmic ที่อุณหภูมิ 50°C	39
รูปที่ 4-15	การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง Logarithmic ที่อุณหภูมิ 70°C	39
รูปที่ ก-1	ลักษณะภายในของหอยแมลงภู่	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

ภาคใต้มีภูมิประเทศที่เหมาะสมสำหรับการทำประมง เนื่องจากถูกขนาบด้วยชายฝั่งทะเลทั้งฝั่งอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามัน ส่งผลให้ประชากรมีอาหารทะเลบริโภคอย่างอุดมสมบูรณ์ บางครั้งอาหารทะเลดังกล่าวมีปริมาณมากเกินกว่าที่บริโภคได้ทัน จึงจำเป็นต้องมีการแปรรูปให้เก็บไว้บริโภคได้นานยิ่งขึ้น และกระจายผลิตภัณฑ์อาหารทะเลไปยังบริเวณที่ห่างไกล เช่น ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมไปถึงการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์

หอยแมลงภู่ (green mussel) เป็นอาหารทะเลที่ได้รับความนิยมจากประชาชนโดยทั่วไป จากการศึกษาพบว่าตามแนวริมชายฝั่งทะเลตั้งแต่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี จนถึงปัตตานี จะมีช่วงวางไข่ของหอยแมลงภู่อยู่ในระหว่างเดือนตุลาคมถึงธันวาคม และระหว่างเดือนมกราคมถึงกรกฎาคม หลังจากนั้นประมาณ 6-7 เดือน(พฤษภาคมถึงมกราคม) ผลผลิตหอยแมลงภู่จะถูกวางขายตามท้องตลาดเป็นจำนวนมากจนล้นตลาด ประกอบกับรูปแบบการจำหน่ายหอยแมลงภู่ของชาวประมงส่วนใหญ่อยู่ในรูปของหอยแมลงภู่สด ซึ่งราคาไม่สูงนัก หากเราสามารถทำการรักษาและแปรรูปหอยแมลงภู่ในรูปแบบอื่นได้น่าจะเป็นแนวทางเลือกที่ดี จากการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่สามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของการรมควันโดยต้องเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 55 – 70 % (มีทนา, 2545) จากความชื้นทั้งหมด

การรมควัน (smoking) เป็นการถนอมอาหารอีกรูปแบบหนึ่งที่ไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อถนอมรักษาอาหารเท่านั้น แต่ยังเป็นกรเพิ่มและรักษากลิ่น รสของอาหาร ทำให้อาหารมีสีสันทันรับประทาน รวมถึงป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ และกลิ่นหืนเนื่องจากการ oxidation ของไขมัน นันทิภา (2542) ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่รมควัน เพื่อศึกษาสภาวะและกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตหอยแมลงภู่รมควัน จนเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งน่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปเพื่อเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู่ และจากการศึกษา พบว่าประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนในบริเวณเส้นศูนย์สูตรทำให้มีแสงแดดตลอดปี พลังงานแสงอาทิตย์จัดเป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง เนื่องจากว่าแสงอาทิตย์สามารถนำมาผลิตเป็นแหล่งพลังงานความร้อนได้โดยไม่มีวันหมดเพียงแต่ว่าจะต้องหาวิธีการในการนำมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่าการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่าง ๆ ในแต่ละเดือนของประเทศรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m<sup>2</sup> - day นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ในช่วง 18-19 MJ/m<sup>2</sup> - day จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ  $18.2 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$  และหากพิจารณาถึงศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ในจังหวัดชุมพรมีค่าอยู่ระหว่าง 7,048-14,095 ktoe จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงและ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (กระทรวงพลังงาน))

ในกระบวนการรมควันนอกจากจะเป็นการทำให้อาหารแห้งแล้วยังมีควันของไม้ช่วยรักษาอาหารให้เก็บไว้ได้นาน มีกลิ่นรส สีที่แตกต่างกัน ดังนั้น หากสามารถประยุกต์หลักการของการอบแห้งโดยการอาศัยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับควันร้อนได้ก็น่าจะส่งผลดีต่อการถนอมอาหาร หากพิจารณาถึงกระบวนการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถกระทำได้หลายวิธี อาทิเช่น โดยการอบแห้งแบบรับรังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง การอบแห้งโดยใช้รังสีดวงอาทิตย์โดยอ้อม การอบแห้งแบบใช้กระแสลมแบบธรรมชาติและแบบบังคับ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงการออกแบบห้องรมควันหอยแมลงภู๋ โดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับควันร้อน อ้างอิงสถานะและกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตหอยแมลงภู๋รมควัน ตามวิธีการของ นันทิกา (2542) ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการใช้เป็นเครื่องมือในการแปรรูปและถนอมอาหาร

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและออกแบบห้องรมควัน
2. ศึกษาถึงผลกระทบของการจัดวางถาดในเครื่องรมควันแบบถาดรูปแบบต่างๆ จำนวน 9 แบบ และผลกระทบของการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิต่อการอบแห้งแบบรมควัน
3. ศึกษาผลกระทบและการกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง
4. ศึกษาผลของการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อลดอัตราการใช้พลังงาน
5. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบรมควัน

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและออกแบบการจัดวางถาด 9 แบบตามที่ได้ออกแบบไว้ วัสดุที่ใช้ทดลอง คือ หอยแมลงภู๋
3. ความชื้นที่มีอยู่ในหอยแมลงภู๋ 345 % db.
4. ทดลองอบหอยแมลงภู๋ที่อุณหภูมิ 50 - 70 °C ความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองได้แก่ 0.3 m/s
5. ทำการรมควันของหอยแมลงภู๋ให้เหลือความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 55-70 % ของความชื้นเริ่มต้น (มัทนา, 2545)
6. นำแผงรับพลังงานความร้อนที่มีขนาด  $0.8 \times 1.2$  เมตร วางเอียงเป็นมุม  $15^\circ$  ภายในแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีอุปกรณ์รับแสงประกอบด้วยแผ่นทรายที่มีความหนา 3 เซนติเมตรและแผ่นเหล็กหนา 3 มิลลิเมตร อ้างอิงเงื่อนไขที่เหมาะสมของ ธรวัฒน์ และคณะ (2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างเครื่องต้นแบบที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการอบรมคว้น
2. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปเผยแพร่ เช่น นำเสนอผลงานวิชาการ กลุ่มชาวประมงหรือเกษตรกรที่ทำการแปรรูปอาหารทะเล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### เอกสารและการทบทวนวรรณกรรม

ในปัจจุบันการศึกษากระบวนการแปรรูปอาหารและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเป็นกระบวนการหนึ่งในด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่มีสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาคุณภาพ ลดความสูญเสียและยืดระยะเวลาการเก็บผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพที่ดี ประกอบกับ ณ.ปัจจุบันมีความต้องการที่จะใช้พลังงานในปริมาณที่มากขึ้น ดังนั้น จึงมีจำเป็นต้องหาวิธีการและแนวทางในการที่จะนำพลังงานเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ ในบทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของงานวิจัยนี้ โดยแบ่งย่อยออกเป็นข้อๆ ดังนี้

#### 2.1 การรมควัน

การรมควันเป็นวิธีการถนอมอาหารที่มีมานานตั้งแต่สมัยมนุษย์ถ้ำ โดยการนำเนื้อสัตว์ ปลา เนยแข็ง แขนงไว้กับช่องระบายควันของถ้ำ (Borgstorm, 1969) การรมควันเกิดขึ้นโดยบังเอิญในช่วงที่อากาศมีความชื้นสูง ไม่มีแสงแดด ชาวประมงใช้ไฟในการฝั่งปลาให้แห้งพบว่าปลานั้นมีรสที่ดีขึ้น (Hall, 1992) แม้ว่าการรมควันมีจุดประสงค์เพื่อการถนอมอาหาร แต่ระยะต่อมาเทคโนโลยีทางด้านเครื่องทำความเย็นได้พัฒนามากขึ้น การรมควันจึงมีจุดประสงค์เพื่อทำให้กลิ่นรสที่ดี และลักษณะปรากฏที่สวยงาม (Roessink, 1988)

วัตถุประสงค์ของการรมควัน

1. เพื่อถนอมอาหาร
2. เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ และกลิ่นหืนเนื่องจากการออกซิเดชันของไขมัน
3. เพื่อทำให้สีสัณฐานรับประทาน
4. เพื่อเพิ่มและรักษากลิ่นรสของอาหาร

แต่เดิมการรมควันเป็นกระบวนการง่ายๆ เช่นการเอาเนื้อปลา เนื้อสัตว์ เนยแข็ง สัตว์ปีกไปแขวนหรือตั้งใกล้ๆ กับกองไฟหรือปล่องไฟ ต่อมามีการสร้างเครื่องมือในการรมควันแบบพื้นบ้าน จนกระทั่งพัฒนาถึงระดับอุตสาหกรรมที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการหมุนเวียนของควัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ (Nettleton, 1985)

อาหารรมควันสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทตามลักษณะวัตถุประสงค์คือ

- เนื้อและผลิตภัณฑ์จากเนื้อ
- ปลา (ปลาสด ปลาใส่เกลือ และปลาแช่เยือกแข็ง)
- สัตว์ปีก
- เนยแข็ง

การรมควันแบ่งตามอุณหภูมิของกระบวนการรมควันได้ 2 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 การรมควันเย็น (Cold Smoking)

FAO/WHO Codex Alimentarius Commission (1983) ได้ให้ความหมายของการรมควันเย็นว่าเป็นวิธีการรมควันปลาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งไม่ทำให้โปรตีนของผลิตภัณฑ์ตกตะกอนเนื่องจากความร้อน Borgstorm (1969) กล่าวว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการรมควันแบบเย็นจะไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส การรมควันแบบเย็นมักทำในยุโรปและอเมริกาเหนือ ใช้อุณหภูมิในการรมควันไม่เกิน 33 องศาเซลเซียส ปลารมควันแบบเย็นจะมีความชื้นสูงและต้องทำให้สุกก่อนรับประทาน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการรมควันจึงมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มกลิ่น รสและสีที่รับประทานเท่านั้น ข้อดีของการรมควันเย็นคือ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายสภพสด มีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารน้อย ไพบูลย์ (2532) รายงานว่าระยะเวลาในการรมควันเย็นอาจกินเวลาเป็นสัปดาห์ ถ้าใช้ควันไม่มาก หรือในกรณีที่ใช้ควันมากจะใช้เวลาเพียง 2-3 ชั่วโมง การรมควันแบบนี้อาจใช้กับอาหารแห้งหรืออาหารก่อนที่ทำการหมัก สำหรับในประเทศที่มีอุณหภูมิสูง อุณหภูมิของควันอาจสูงถึง 45 องศาเซลเซียส ซึ่งเรียกว่าการรมควันอุ่น

### 2.1.2 การรมควันร้อน (Hot Smoking)

FAO/WHO Codex Alimentarius Commission (1983) ได้ให้ความหมายของการรมควันร้อนว่าเป็นการรมควันที่อุณหภูมิสูง หรือระยะเวลาสั้นเพียงพอที่จะทำให้โปรตีนในเนื้อเกิดการตกตะกอนเนื่องจากความร้อน อุณหภูมิที่ใช้ในช่วง 80-115 องศาเซลเซียส ขณะรมควันจะทำให้ผลิตภัณฑ์สุก (Erlandson, 1980) มักทำในยุโรปและประเทศในเขตอบอุ่นทั่วโลก (Roessink, 1988) บางกระบวนการอาจใช้อุณหภูมิในการรมควันสูงถึง 120 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า มักกำหนดให้จุดกึ่งกลางของผลิตภัณฑ์แห้งหรือมีปริมาณความชื้นต่ำ สามารถนำมารับประทานได้ทันที วิธีการที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งพร้อมกับการรมควันเรียกว่ากระบวนการรมควันแบบ Hard Smoking ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นแบบ Dried Smoking ลักษณะคล้ายคลึงกับการผลิตปลารมควันของประเทศไทย ที่นำปลาสดมาทำให้แห้งพร้อมกับการรมควัน (ภานุวัฒน์, 2537) การรมควันด้วยควันปริมาณมาก อุณหภูมิสูงได้ผลิตภัณฑ์ที่แห้งนั้นนอกจากจะทำให้เกิดกลิ่นรสควันแล้ว ยังมีจุดประสงค์หลักเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ด้วย (Sikorski et al., 1988)

Luck and Jager (1997) รายงานว่าการรมควันอีกแบบหนึ่งคือการรมควันแบบอุ่น (Warm Smoking) ที่ใช้อุณหภูมิตั้งระหว่าง 25-50 องศาเซลเซียส

จากรายงานของวรรณา (2534) ไพบูลย์ (2532) และ Hall (1992) สามารถแบ่งการใช้ควันได้ 3 รูปแบบคือ

1. ควันในรูปก๊าซ (Gaseous) เป็นการสร้างควันจากกระบวนการเผาไหม้อย่างช้าๆ (Smoldering) หรือกระบวนการที่คล้ายกันเช่น ให้อากาศให้ควันอยู่บนพื้นผิวที่ร้อน การใช้แรงเสียดทาน (Friction) ระหว่างวัสดุแข็งกับวัสดุให้ควันจนเกิดความร้อนสูงให้ควัน โดยที่ไม่เกิดเปลวไฟ และควันที่ได้จากเครื่องกำเนิดควันด้วยไอน้ำแห้ง (Superheated steam) ไปยังวัสดุให้ควัน ควันที่ได้จะมีความชื้นเนื่องจากการกลั่นตัวของไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ควันในรูปของเหลว (Liquid Smoke) เป็นการใส่ของเหลวที่มีควันที่ถูกสกัดออกมาจากวัสดุให้ควันผสมอยู่ อาจมีการนำควันเหลวมาสกัด กลั่นแยกส่วน เพื่อให้มีกลิ่นรสที่ต้องการมากขึ้น หรือแยกส่วนที่เป็นอันตรายต่อร่างกายออกไป

3. ควันในรูปผง (Powder Smoke) เป็นควันที่ผลิตให้ขี้ดเกาะตัวกลางเช่นเกลือ หรือเต็กซทรินสามารถนำไปผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ หรือผสมกับเครื่องเทศชนิดอื่นได้ง่ายขึ้น

นอกจากจะแบ่งประเภทของการรมควันตามวิธีการดังกล่าวข้างต้นแล้ว Shahidi and Botta (1994) ยังกล่าวถึงการรมควันตามระดับของการให้ควันคือ Heavy Smoking Curing เป็นการรมควันที่ใช้ในการถนอมรักษาอาหารได้เป็นเวลาหลายเดือน อายุการเก็บรักษาที่ยาวนานของผลิตภัณฑ์เนื่องจากปริมาณความชื้นและค่า Water activity ต่ำ ปริมาณเกลือเข้มข้นเพียงพอ การใช้อุณหภูมิสูงซึ่งมักอยู่ระหว่าง 80-90 องศาเซลเซียส และองค์ประกอบของควันที่มีความเข้มข้นสูง อีกพวกหนึ่งคือ Lightly Smoking เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณเกลือและควันต่ำ ปริมาณความชื้นสูง ต้องเก็บรักษาโดยการบรรจุในภาชนะสุญญากาศและแช่ตู้เย็น บางครั้งอาจจะมีการเติมสารกันเสีย เช่นการเติมโซเดียมไนไตรต์ เป็นต้น

## 2.2 เครื่องมือในการรมควัน

2.2.1 เครื่องมือรมควันพื้นบ้าน เป็นแบบที่สามารถสร้างได้ง่ายจากวัสดุที่หาง่าย เช่น ไม้ เหล็ก ถังน้ำมัน หรือก่อด้วยอิฐ โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนบนเป็นที่แขวนหรือวางวัตถุดิบ ส่วนล่างเป็นส่วนสำหรับการเผาไหม้ หรือส่วนที่ให้ควันหรือความร้อน เครื่องมือนี้มีกพบปัญหา คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพและปริมาณความชื้นไม่สม่ำเสมอ เพราะมีควันและอากาศร้อนผ่านวัตถุดิบที่อยู่ด้านล่างไปแล้ว จะทำให้ควันและอากาศร้อนมีความชื้นสูง จึงไม่สามารถดึงความชื้นออกจากวัตถุดิบที่อยู่ด้านบนได้ จึงต้องมีการสลับชั้นจากบนลงล่าง ทำให้ยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลา

ผู้รมควันสังกะสีอย่างง่าย นิยมใช้ในชนบทหรือเกษตรกรผู้ผลิตปลารมควันรายย่อยของประเทศกัมพูชา โดยจะปักเสาไม้หรือเหล็กบนพื้นดินที่อัดแน่น หุ้มด้วยแผ่นสังกะสีทุกด้านพร้อมด้วยประตูเปิด วัสดุให้ควันจะปูลงไว้เหนือพื้นดินมีตะแกรงสำหรับวางวัตถุดิบเป็นชั้นๆ โดยทั่วไปมีขนาดกว้าง 1.80 เมตร ยาว 2.50 เมตร

**Barrel type smoker** ลักษณะเป็นทรงกระบอกกลมฝาเปิดออกทั้งสองด้าน วัตถุดิบที่จะรมควันนำมาแขวนบนราวที่ทำขึ้นตรงส่วนบนของทรงกระบอกแล้วปิดฝา มีช่องระบายควันออกได้บ้าง โดยควันและอากาศร้อนจะมาจากส่วนเผาไหม้ที่อยู่ด้านล่างทรงกระบอก

**Oil drum smoker** เป็นการนำเอาถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร เปิดฝาด้านบนและด้านล่างออก ด้านบนจัดเป็นที่แขวนวัตถุดิบ ด้านล่างเป็นส่วนเผาไหม้เกิดควันและความร้อน โดยมีแผ่นเหล็กเจาะรูเพื่อระบายควันและอากาศร้อนให้สม่ำเสมอ

**Dust bin hot smoker** ลักษณะเป็นถังทรงกระบอก ด้านบนเปิดให้ระบายควันและความชื้นออกได้ แต่จะใช้แผ่นเหล็กปิดไว้ขณะรมควัน ด้านล่างเจาะเป็นรูขนาดใหญ่เพื่อให้ควันและอากาศร้อนเข้าสู่ตัวถังได้ ภายในถังจะมีตะแกรงใช้วางวัตถุดิบ โดยมีถาดรองน้ำมันที่หยดจากวัตถุดิบ ตัวถังจะวางบนอิฐ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทนความร้อน ส่วนเผาไหม้อยู่ด้านล่างได้ถึง โดยใช้แก๊สในการเผาวัสดุให้ควันที่วางบนแผ่นเหล็กอีกชั้นหนึ่ง มักใช้กับกรรมวิธีการรมควันร้อน

**Atona type oven** เป็นเครื่องมือที่ใช้กันมานานในยุโรปบางประเทศเพื่อผลิตปลารมควัน ลักษณะเป็นตู้สี่เหลี่ยมตั้งอยู่บนฐานที่ก่อด้วยอิฐที่ใช้เป็นส่วนเผาไหม้ โดยมีช่องให้ควันและอากาศร้อนลอยเข้าสู่วัตถุดิบ ซึ่งวางอยู่บนตะแกรงลวดเป็นชั้นๆ หรืออาจใช้วิธีแขวนในตู้โลหะนี้จะมีช่องระบายควันและความชื้นอยู่ด้านบน

**Wooden cold smoker** ลักษณะเป็นตู้สี่เหลี่ยมผืนผ้า มีประตูปิดเปิด ด้านบนปิดเจาะรูด้านข้างๆ ละ 3-6 รู เพื่อใช้ระบายควันและความชื้นออกไป ภายในตู้ส่วนบนจะเป็นที่วางตะแกรงและวัตถุดิบหรือเป็นราวแขวนวัตถุดิบ ส่วนด้านล่างตู้เป็นส่วนเผาไหม้กำเนิดควันและความร้อน โดยเปลวไฟจากแก๊สหุงต้มเผาวัสดุให้ควันซึ่งวางอยู่บนแผ่นโลหะอีกทีหนึ่ง อาจมีการแยกส่วนเผาไหม้ออกจากตู้ โดยการเผาไหม้อาจอยู่ในหลุมแล้วส่งควันและอากาศร้อนผ่านมาตามท่อ หรือร่องพื้นซึ่งปิดด้วยแผ่นสังกะสี

**Masonry cold smoker** ลักษณะเป็นตู้หรือห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำด้วยไม้ ฉนวนก่อกอิฐไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ด้านบนปิดเจาะรูเพื่อระบายควันและความชื้น ส่วนบนจะเป็นห้องรมควันมีตะแกรงวางวัตถุดิบหรือราวแขวนวัตถุดิบ ส่วนล่างเป็นส่วนเผาไหม้ ควันและอากาศร้อนจะลอยผ่านแผ่นโลหะเจาะรูเพื่อกระจายควันอย่างสม่ำเสมอ เครื่องมือรมควันแบบนี้อาจมีการแยกส่วนเผาไหม้ออกจากตัวตู้ โดยการเผาไหม้อาจอยู่ในหลุม แล้วส่งควันหรืออากาศร้อนผ่านมาตามท่อ หรือร่องที่พื้น ปิดร่องด้วยแผ่นสังกะสี

**Refrigerator conversion cold smoker** ลักษณะคล้ายตู้ฉนวนโดยรอบเป็นโลหะ ชั้นระหว่างโลหะทั้งสองอาจบรรจุด้วยฉนวนความร้อน ป้องกันการถ่ายเทความร้อนเช่น ฉนวนใยแก้ว ด้านบนสุดของตัวตู้จะมีช่องสามารถเปิดปิดได้เพื่อควบคุมการระบายควันและความชื้นออกไป ภายในตัวตู้ส่วนบนเป็นส่วนรมควันจะวางตะแกรงหรือราวแขวนวัตถุดิบ ส่วนด้านล่างเป็นส่วนเผาไหม้ โดยเปลวไฟจากแก๊สผ่านแผ่นโลหะเจาะรูเพื่อกระจายควันอย่างสม่ำเสมอ

**Oil cabinet smoker** ลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำด้วยโลหะ แผ่นเหล็กนี้อาจบรรจุด้วยวัสดุป้องกันการถ่ายเทความร้อนเช่น ฉนวนใยแก้ว ด้านบนสุดปิดสนิทแต่จะมีการเจาะรูด้านข้างๆ ละ 3-5 รู เพื่อระบายควันและความชื้น ส่วนด้านบนสุดของตู้จะเป็นตะแกรงวางวัตถุดิบ ด้านล่างเป็นส่วนเผาไหม้ โดยเปลวไฟจากแก๊สจะผ่านแผ่นเหล็กซึ่งมีวัสดุให้ควันวางอยู่

**2.2.2 เครื่องรมควันแบบอุตสาหกรรม** เป็นแบบที่มีส่วนเผาไหม้หรือให้ควันแยกออกจากส่วนห้องรมควัน เครื่องมือนี้สามารถควบคุมสภาวะหรือปัจจัยต่างๆ ภายในห้องรมควันได้ ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิ ปริมาณควันและคุณภาพของควัน ความเร็วลมและการกระจายของอากาศรวมทั้งเวลา ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสม่ำเสมอ ใช้กันมากในต่างประเทศ ได้แก่ อังกฤษ สหรัฐอเมริกา รัสเซีย แคนาดา และญี่ปุ่น เครื่องมือแบบนี้ สามารถนำมาใช้ในระบอบการผลิตแบบอุตสาหกรรมได้ทั้งการผลิตเป็นชุดและการผลิตอย่างต่อเนื่อง การให้ความร้อนแก่วัตถุดิบอาจให้ความร้อนจากตัวทำความร้อนหรือความร้อนจากรังสีอินฟราเรดก็ได้ และมีการพัฒนาการจับของควันบนผิวผลิตภัณฑ์โดยใช้กระแสไฟฟ้า

**Leningrad type** นิยมใช้กันแพร่หลายในรัสเซีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Tunnel type smoke house** เป็นเครื่องมือรมควันที่มีระบบการทำงานอย่างต่อเนื่องมักใช้ในการรมควันเย็น ลักษณะเป็นอุโมงค์ ก่อด้วยอิฐและคอนกรีต บรรจิวัตถุดิบบนรถเข็นแล้วนำรถเข็นวางบนรางเหล็กเคลื่อนที่เข้าไปในอุโมงค์อย่างช้าๆ เคลื่อนที่ด้วยตัวเองหรือจากการดึง พื้นใต้อุโมงค์มีเตาเผาไหม้เกิดควันและอากาศร้อน ใช้ขี้เถ้าและน้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ประตูปิดเปิดเตาเผาไหม้เพื่อควบคุมปริมาณควัน อากาศร้อนจะระบายออกทางช่องอุโมงค์ด้านบน การรมควันอาจใช้เวลา 8-24 ชั่วโมง อุณหภูมิ 24-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70-75% กำลังการผลิต 55-60 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อาจมีการเพิ่มอุโมงค์อบแห้งวัตถุดิบก่อนการรมควันได้

**Tower smoke house** เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการรมควันเย็น ลักษณะเป็นหอสูงประมาณ 15 เมตร สร้างด้วยอิฐหรือคอนกรีต มีโซ่สายพานและราวแขวนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 1 เมตรต่อนาที เคลื่อนที่ขึ้นลงอยู่ในห้องรมควัน ด้านล่างของห้องรมควันจะมีเตาเผาไหม้ใช้ขี้เถ้าและน้ำมันเป็นเชื้อเพลิง การควบคุมอุณหภูมิอาจจะใช้อากาศร้อนซึ่งเกิดจากขดลวดทำความร้อน

**Torry kiln type** ออกแบบโดยนักวิทยาศาสตร์ของสถาบันวิจัยทอรี่ ทำงานโดยกำเนิดควันใน ส่วนเผาไหม้ซึ่งแยกออกจากห้องรมควัน ควันจะเคลื่อนที่เข้าตามท่อ โดยอาศัยการลอยตัวของควันและแรงดึงดูดของพัดลม ควันจะสัมผัสกับอากาศดีทำให้การควบคุมคุณภาพและความชื้นสัมพัทธ์ของควันได้ ควันจะเคลื่อนที่ผ่านขดลวดทำความร้อนหรือท่อไอน้ำร้อนเข้าสู่ห้องรมควัน โดยมีแผงกำหนดทิศทางการกระจายของควันและอากาศร้อนให้สม่ำเสมอ ภายในห้องรมควันอาจมีขดลวดทำความร้อนเพื่อควบคุม อุณหภูมิให้คงที่และสม่ำเสมอ

**Electronic smoking** เป็นเครื่องมือรมควัน โดยใช้ระบบไฟฟ้าสถิตย์ ช่วยให้ควันสามารถจับที่ผิว วัตถุดิบได้ง่ายและสม่ำเสมอกว่าวิธีธรรมดา

เครื่องมือรมควันแบบต่างๆจะมีผลต่อคุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยตรงไม่ว่าจะเป็นใน ด้านความชื้นของผลิตภัณฑ์ ความเข้มของกลิ่นควัน สีของผลิตภัณฑ์ Ramachandran และ Terushige (1995) แนะนำว่าเครื่องมือที่ใช้ในการรมควันควรมีลักษณะที่ดี ดังนี้

1. สามารถปรับอุณหภูมิและปริมาณควันได้
2. สามารถกระจายควันได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ
3. ปลอดภัยจากอัคคีภัย
4. ประหยัดเชื้อเพลิงและวัสดุให้ควัน
5. ระบายอากาศได้ดี
6. ราคาไม่แพง
7. มีวิธีการใช้งานง่าย
8. ถ้าเป็นไปได้ควรมีชุดควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ถาวร และคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ให้ สามารถเพิ่ม ระยะเวลาการกักเก็บความร้อนเพื่อใช้ในการอบในเวลาที่ไม่ม่มีแสงแดด โดยการทดลองใน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นต้น นั้นเริ่มจากการออกแบบเพื่อพัฒนาเครื่องอบ การเลือกสรรวัสดุก็เก็บความร้อนหรือวัสดุเปลี่ยนเฟสที่เหมาะสมมาช่วยในการเก็บรักษาความร้อนในเครื่องอบ ซึ่งจากการศึกษาถึงคุณสมบัติทาง ความร้อน การพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์พบว่าของผสมระหว่างซีพิงกับน้ำมันก๊าดมีความเหมาะสม ที่จะใช้เป็น วัสดุเปลี่ยนเฟสการทดลองเบื้องต้น พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างซีพิงกับน้ำมันก๊าด นั้นคือ อัตราส่วน 1:1 และ 2:1 โดยน้ำหนัก มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุเปลี่ยนเฟส เมื่อ ทำการทดลองเพื่อ ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องอบกับแสงแดดจริงแล้วบันทึกผลการทดลอง ตั้งแต่เวลา 09.30-20.00 น. พบว่าการใช้ PCM สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบ

นันทิภา (2542) ได้ศึกษากรรมวิธีการแปรรูปหอยแมลงภู่มกวัน พบว่า หอยแมลงภู่มกวันปรุงรส ด้วยเกลือร้อยละ 0.5 และน้ำตาลทรายร้อยละ 0.75 ของน้ำหนักเนื้อหอย รมกวันโดยชานอ้อยร้อยละ 20 ของน้ำหนักเนื้อหอย ที่อุณหภูมิ  $55^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที แล้วแช่ในน้ำมันถั่วเหลือง จะให้ผลผลิตเนื้อหอย และคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด

มารีนา (2549) ได้สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานร่วม เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนจาก แสงรังสีอาทิตย์ ซึ่งวางไว้ด้านบนของเครื่องอบแห้ง โดยใช้พัดลมดูดอากาศจากแสงรังสีอาทิตย์ผ่าน ท่อนำความร้อนไปยังห้องอบ ในกรณีที่รังสีอาทิตย์ไม่สามารถให้ความร้อนได้ตรงตามอุณหภูมิที่ต้องการ ก่อนเข้าห้องอบแห้ง และสามารถนำอากาศที่ได้ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ใช้พลังงานร่วม ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และไฟฟ้า ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิของอากาศร้อนประมาณ  $70^{\circ}\text{C}$  โดยสัม แชกสดมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 1300% db. จนเหลือความชื้นประมาณ 50% db. ซึ่งเป็นความชื้นของ สัมแชกแห้งที่มีขายอยู่ในท้องตลาด พบว่าคุณภาพทางด้านสีมีความเข้มน้อยกว่าที่ตากกลางแจ้ง ส่วนใน กรณีที่มีการนำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 9 ชั่วโมง และในกรณีที่ไม ้นำอากาศที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 15 ชั่วโมง



รูปที่2-1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า

Celma et al. (2007) ศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของกากน้ำมัน ซึ่งมีความชื้นเฉลี่ยจาก 2 ถึง ประมาณ  $0.7-0.08 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry matter}}$  ด้วยอากาศร้อนในช่วง  $20-40-80^{\circ}\text{C}$  และมีการจำลองช่วงเวลาด้วยฮีทเตอร์แสงอาทิตย์ลมร่วม และความเร็วม 1 m/s ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจำลองกราฟการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงวิชาการเท่านั้น มิใช่อยู่ใต้เงื่อนไขแบบฉบับของการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบแห้ง ได้แก่ Lewis, Page, Modified Page, Henderson and Pabis, Wand and Singh, Logarithmic, Two term, Two term exponential, Modified Henderson and Pabis, Midilli, Approximation of diffusion, Verma et al. และแบบจำลอง Simplified Fick's diffusion การหาประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้งหมดนี้ ใช้ตัวแปรทางสถิติ 4 ตัวแปรคือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ  $r^2$  ไควสแควร์  $\chi^2$  ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และผลรวมผลต่าง (sum of residuals) ระหว่างที่ทดลองได้และจากการคำนวณ อัตราส่วนความชื้น แบบจำลอง Midilli ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับคุณลักษณะเฉพาะของการอบแห้งดีกว่าวิธีอื่น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของการถ่ายเทความชื้นมีค่าระหว่าง  $2.224 \times 10^{-10}$  ถึง  $6.993 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s ค่าอุณหภูมิขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ด้วยความสัมพันธ์ Arrhenius พลังงานของการแพร่ความชื้น 15.77 kJ/mol

Ceylan et al. (2007) ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้เครื่องอบแบบปั๊มความร้อน และมีการควบคุมอุณหภูมิด้วย PID ควบคุมเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่ใช้อบผลไม้เมืองร้อนเช่น กีวี อะโวคาโด และกล้วย อุณหภูมิของอากาศแห้งที่  $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ค่าความถูกต้อง  $\pm 0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ความเร็วของอากาศแห้งอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.39 m/s ความชื้นเริ่มต้นของกีวี อะโวคาโด และกล้วย 4.31 1.51 และ 4.71 g<sub>water</sub>/g<sub>matter</sub> หลังจากอบเป็นเวลา 6 ชั่วโมง 0.75 0.35 และ 0.5 g<sub>water</sub>/g<sub>matter</sub> จากนั้นวิเคราะห์อัตราส่วนความชื้นด้วยโปรแกรม STATGRAPHIC โดยใช้แบบจำลองกึ่งทฤษฎีและค่าจากการทดลอง จะได้ค่าสหสัมพันธ์และความคลาดเคลื่อนในการประเมินค่า (SEE) และ R<sup>2</sup>

Ertekin and Yaldiz (2004) ทำการอบแห้งมะเขือยาวโดยเทคนิคการอบแห้งของแผ่นบาง เพื่อหาคุณสมบัติของมะเขือยาว โดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศตั้งแต่ 30-70 °C และความเร็วอากาศจาก 0.5-2.0 m/s และเปลี่ยนความหนาที่มะเขือยาวที่หั่นเป็นแผ่น โดยหาเวลาในการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง และทำการเปรียบเทียบผลการทดลองการอบแห้งกับแบบจำลองการอบแห้งของแผ่นบาง ผลกระทบของอุณหภูมิ และความเร็วอากาศต่อค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองการอบแห้งโดยใช้เทคนิค Multiple regression analysis จากผลการทดลองแสดงว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วอากาศจะทำให้เวลาในการอบแห้งลดลง และแผ่นของมะเขือยาวบางทำให้อัตราการอบแห้งสั้นลง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศและเพิ่มความเร็วอากาศ จะเพิ่มความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ ความหนาของผลิตภัณฑ์ไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ การเพิ่มความเร็วอากาศ จะเพิ่มอัตราการลดลงของอัตราส่วนความชื้น และมีค่าสูงสุดที่ อุณหภูมิอากาศ 50 °C แบบจำลองคณิตศาสตร์ของ Midilli และคณะ (2002) สามารถจำลองการอบแห้งของมะเขือยาวได้ดีที่สุด

Jain and Rajeev (2004) ทำการศึกษาแบบจำลองแบบชั่วขณะสำหรับเครื่องฮีตเตอร์แบบแสงอาทิตย์ลมร่วมที่ติดตั้งตัวเก็บความร้อนและเครื่องอบแห้งแบบถักถัก ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งนี้ถูกใช้ทดลองหาด้วยการอบแห้งข้าวในถักถักที่มีขนาดพอเหมาะ ตัวแปรที่ควบคุมได้เลือกอุณหภูมิของอากาศวันๆ หนึ่งในเดือนตุลาคมในเดลี ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลจากการเปลี่ยนแปลงมุมเอียง ความยาว และกว้างของตัวเก็บสะสมความร้อน และอัตราการไหลเชิงมวลอากาศที่ผ่านเมสตีคพีช อัตราการระเหยความชื้นและความชื้นของอากาศแห้งใช้เวลาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความลึกของถัก พบว่าความชื้นในถักลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ความชื้นของอากาศและอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นตามความลึกของถัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Jain (2005)** ทำการศึกษาวិเคราะห์ช่วงเวลาการอบแห้งผลผลิตด้วยถาดอบหลายชั้นและใช้เครื่องอบแห้งแบบแสงอาทิตย์ลมร่วมหลายชั้นร่วมที่มีตัวเก็บความร้อน ใช้ข้าวเป็นตัวแปรในการประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ตัวแปรที่ควบคุมได้เลือกอุณหภูมิของอากาศวันๆ หนึ่งในเดือนตุลาคมในเคลิได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลจากการเปลี่ยนแปลงมุมเอียง ความยาวและกว้างของตัวเก็บสะสมความร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลอากาศที่ผ่านเมล็ดพืช ใช้สมการการอบแห้งแบบชั้นบางในการศึกษาอัตราการอบแห้งและเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นในถาด พบว่าความชื้นลดลงเมื่อเวลาผ่านไป อัตราการอบแห้งที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับถาดเนื่องจากอุณหภูมิที่แปรเปลี่ยน ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อมวลของผลผลิตเพิ่มขึ้น

**Khalil et al. (2007)** ทำการศึกษากาการทำงานเครื่องอบแห้งประกอบด้วย 3 ส่วน (ตัวเก็บแสงห้องอบแห้งแสงอาทิตย์ และ Blower) ตัวเก็บแสงอาทิตย์ 2 ตัวใช้การดูดซับแบบ V-corrugated โดยให้อากาศไหลผ่านแผ่นราบทั้งสอง ซึ่งด้านหนึ่งเป็นกระจก พื้นที่ทั้งหมดของตัวเก็บแสง 2.4 ตารางเมตร ขนาดห้องอบ  $1 \times 0.33 \times 2$  เมตร ห้องอบแบ่งออกเป็น 6 ส่วนด้วยชั้น 5 ชั้น ระยะห่างแต่ละชั้น 0.3 เมตร ยกเว้นชั้นบนสุดมีระยะห่าง 0.5 เมตรจากหลังคา ชั้นแต่ละชั้นผลิตจากตะแกรงเหล็กขนาด  $0.95 \times 0.3$  เมตรผนังห้องทำด้วยแผ่นอลูมิเนียมยกเว้นด้านใต้ติดแผ่นกระจก  $1 \times 2 \times 0.002$  เมตร ในการทดลองใช้ผลไม้สองชนิดคือองุ่นและแอฟริคอตและผักหนึ่งชนิดคือถั่ว ความชื้นของแอฟริคอตลดลงจาก 80 เหลือ 13% ใช้เวลาหนึ่งวันครึ่ง องุ่นใช้เวลาอบสองวันครึ่งความชื้นจาก 80 เหลือ 18% ส่วนถั่วความชื้น 65 เหลือ 18% ในเวลาหนึ่งวันเท่านั้น ผลที่ได้พบว่าตัวแปรที่มีผลมากที่สุดในการอบแห้งคืออุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่ห้องอบ ผลจากความเร็วกว่าที่เข้าห้องอบน้อยมากจนแทบไม่นำมาพิจารณา ความชื้นสัมพัทธ์ที่ออกจากห้องอบน้อย (25-30%) จึงไม่จำเป็นต้องใช้อากาศที่มีความเร็วสูง

**Kenisarin and Mahkamov (2007)** ทำการศึกษาลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนซึ่งมีอยู่ทุกมุมโลกและเป็นแหล่งพลังงานในอนาคตแหล่งหนึ่ง อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากแหล่งพลังงานขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสำหรับเก็บพลังงานมาใช้โดยที่มีต้นทุนไม่มากนัก ทางเลือกหนึ่งคือการใช้สารเปลี่ยนสถานะ (PCMs) แต่ในการเริ่มใช้เทคโนโลยีนี้จำเป็นต้องมีการแก้ปัญหาและพัฒนา จึงได้นำการศึกษานานาชาติ การประเมินคุณสมบัติของ PCMs วิธีการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น และการออกแบบการเก็บความร้อนด้วยระบบรับ-ส่งความร้อน เรือนกระจกและการใช้แสงอาทิตย์ในขั้นตอนการทำอาหาร

**Ramadan et al. (2007)** ได้ทำการทดลองและวิเคราะห์ทฤษฎีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของฮีทเตอร์แสงอาทิตย์ลมร่วม double-pass แบบ double glass ที่ผสมกับวัสดุทองน้ำ (DPSAHPB) ที่ติดอยู่ด้านบนของแผ่นดูดซับของฮีทเตอร์ ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาสมการสมดุลพลังงานของวัสดุหลายชนิด ใช้หินปูนและกรวดถูกใช้เป็นวัสดุทองน้ำ ได้ทำการศึกษากำหนดเชิงตัวเลขในช่วงฤดูร้อนปี 2003 ทดลองการทำงานและตัวแปรในลักษณะที่แตกต่างกัน ศึกษาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ  $\dot{m}_f$  และมวล ความพรุนของวัสดุทองน้ำ พบว่าอุณหภูมิที่ทางออกของอากาศ  $T_{fo}$  เพิ่มขึ้น เมื่อใช้วัสดุทองน้ำที่มีมวลมากและมีความพรุนน้อย ประสิทธิภาพ thermohydraulic ( $\eta_{th}$ ) พบว่าเพิ่มขึ้นเมื่อ  $\dot{m}_f$  เพิ่มขึ้น จนกระทั่งมีค่าเป็น 0.05 kg/s การทำงานของวัสดุทองน้ำที่มีค่า  $\dot{m}_f$  เท่ากับ 0.05 kg/s หรือต่ำกว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้ความดันลดลง จึงทดลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง การทดลองและทฤษฎีเพื่อหาค่าที่ถูกต้องที่สุด

**Shanmugam and natarajan (2006)** ได้ทำการศึกษาเครื่องอบแห้งแบบที่มีการไหลวนของ อากาศร้อนผ่านสารดูดความชื้น มีการติดตั้งและไม่ติดตั้งกระจกรวมแสง โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ มีแสงอาทิตย์และไม่มีแสงอาทิตย์ การทดลองกรณีที่มีการรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ จำนวน 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจากแผงรับความร้อนแบบเรียบ ความร้อนที่ผลิตได้จะถูกนำเข้ามาสู่ห้องอบ โดยการพาความร้อนแบบบังคับ ส่วนที่สองใช้สารดูดความชื้นเป็นแผงรับความร้อนถูกติดตั้งไว้ด้านบน ของห้องอบ รับความร้อนจากการแผ่รังสีโดยตรงและจากการรวมแสงของกระจกรวม ส่วนที่สองจะเป็น การทดลองกรณีไม่มีแสงอาทิตย์โดยอาศัยการไหลหมุนวนของอากาศร้อนที่ถูกสะสมไว้ที่แผงรับพลังงาน แสงอาทิตย์ที่ถูกติดตั้งอยู่ด้านบนของห้องอบ การทดลองการอบแห้งได้ใช้ถั่วลิสงเตาและแผ่นสับปะรด จำนวน 20 kg จากการทดลองพบว่า การติดตั้งกระจกรวมแสงและใช้สารดูดความชื้นส่งผลดีต่อการ อบแห้ง โดยที่ประสิทธิภาพของการอบแห้งอยู่ระหว่าง 43 – 55 % ความสามารถในการแบกรับความชื้น (pick-up efficiency) อยู่ระหว่าง 20 – 60 % และสามารถลดความชื้นลงได้ถึง 60 % จากการใช้พลังงาน แสงอาทิตย์และสารดูดความชื้น

**Togrul and Pehlivan (2003)** ศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งของผลเอพริคอต (apricot) โดยผ่าน อากาศร้อนผ่านห้องอบแห้ง ในการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลที่ 0.2, 0.5, 1.0 และ 1.5  $m/s$  และอุณหภูมิอากาศ 50, 60, 70 และ 80 °C ค่าอัตราการอบแห้งกับเวลา และปริมาณความชื้น ใช้ในการ ทดสอบกับแบบจำลองการอบแห้งทางคณิตศาสตร์ทั้ง 14 แบบ ซึ่งพบในงานวิจัยก่อนหน้านี้ และได้ทำ การพัฒนาแบบจำลองขึ้นมาใหม่ จากการทดลอง Logarithmic model ให้ความถูกต้องในการทำนาย พฤติกรรมการอบแห้งผลเอพริคอตมากที่สุด การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในช่วง Falling rate period ที่ ได้จากผลการทดลองพบว่า การใช้เทคนิค Multiple regression analysis ให้ผลการทดลองที่มีความแม่นยำ 97.3% ขึ้นอยู่กับอัตราการไหล และอุณหภูมิภายในผลเอพริคอต

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง มากที่สุด การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ก็สามารที่จะลดการใช้พลังงานได้จริง ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ได้ ทำการศึกษาห้องรมควันหอยแมลงภู่แบบพลังงานความร้อนร่วมที่โดยอาศัยสภาวะการรมควัน หอยแมลงภู่ที่เหมาะสมของ นันทิภา (2542) และอ้างอิงสภาวะที่เหมาะสมของ ธราววัฒน์ และคณะ (2550) สร้างแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการทดลอง โดยทำการศึกษาถึงผลกระทบของการจัดวาง รูปแบบถาดจำนวน 9 แบบ และผลของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่อการอบรมควัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้ เนื่องด้วยว่า งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยในเชิงทดลองเพื่อหาวิธีการและรูปแบบในการพัฒนาเครื่องอบรมควัน ดังนั้น เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงรายละเอียดต่างๆที่ต้องใช้ในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

#### 3.1 กระบวนการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้ง คือ กระบวนการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อน ไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกจากวัสดุโดยการระเหย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับจากอากาศร้อนเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งมักขึ้นกับกลไกการถ่ายเทความร้อนว่าเป็นการถ่ายเทความร้อนประเภทใด เช่น การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยทั่วไปมักจะใช้วิธีการพาความร้อน

##### 3.1.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา

ในกรณีที่อากาศไหลผ่านวัสดุขึ้น ตัวอากาศร้อนจะทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุ และพาไอน้ำออกไปด้วย ถ้าอากาศร้อนนั้นมีอุณหภูมิ และความชื้นคงที่จะพบว่ามีการอบแห้งเกิดขึ้นสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรก อัตราการอบแห้งจะคงที่ และเมื่ออบต่อไปจนกระทั่งถึงความชื้นค่าหนึ่ง จะพบว่าอัตราการอบแห้งจะเริ่มลดลง เรียกความชื้นที่จุดนี้ว่าความชื้นวิกฤติ ถ้าความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่าค่าความชื้นวิกฤติ ในการอบแห้งจะมีเพียงช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ผิวของวัสดุจะมีน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก การถ่ายเทความร้อน และมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิววัสดุเท่านั้น อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งถ้าสภาวะสิ่งแวดล้อมมีค่าคงที่จะทำให้อัตราการอบแห้งคงที่ด้วย และในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง อิทธิพลของอากาศภายนอกจะลดลงด้วย อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในเนื้อวัสดุ

##### 3.1.2 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant-rate Drying Period)

จากรูปที่ 3.1 ในช่วง A ถึง B ผิววัสดุจะมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากการระเหยของน้ำที่ผิวล่าช้ากว่าการแพร่ของความชื้นภายในวัสดุมายังผิวของวัสดุ จึงส่งผลให้อุณหภูมิของผิววัสดุมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ  $T_{wb}$  และความเข้มข้นของน้ำที่ผิววัสดุคงที่ ดังนั้นอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวจะเป็นตัวควบคุมอัตราการอบแห้ง ถ้า  $p_{wb}$  คือ ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก,  $p$  คือ ความดันย่อยของไอในอากาศ และ  $K_p$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ดังนั้นค่าอัตราการระเหยน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิวของวัสดุ  $N_c$  ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ที่กำหนดโดยสมการ

$$N_c = K_p (p_{wb} - p) \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

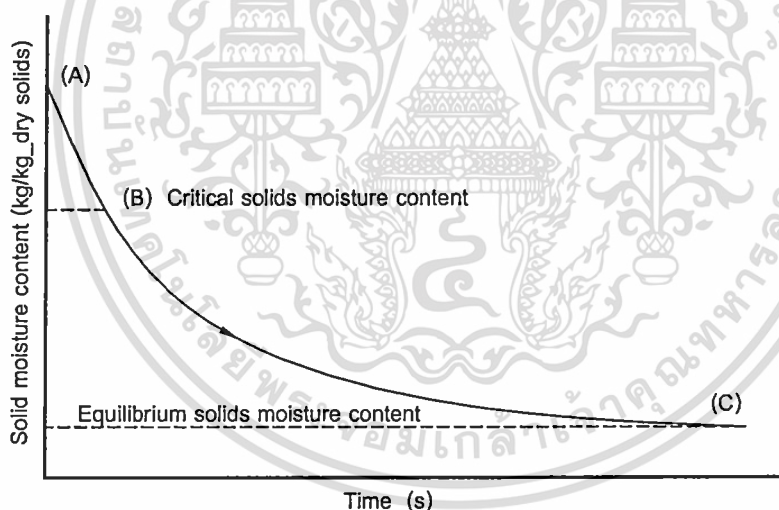
เมื่ออุณหภูมิที่ผิวของวัสดุไม่เพิ่มขึ้นในช่วงนี้ แสดงว่าความร้อนทั้งหมดถูกถ่ายโอนจากอากาศไปยังวัสดุ เพื่อใช้ในการระเหยกลายเป็นไอ จากสมการที่ 3.1 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$N_c = \frac{h_p}{\lambda} (T - T_{wb}) \quad (3.2)$$

เมื่อ  $h_p$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปสู่วัสดุ,  $\lambda$  คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอและ  $T$  คือ อุณหภูมิอากาศ

### 3.1.3 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling-Rate Drying Period)

ช่วง B ถึง C หลังจากที่มีความชื้นบริเวณผิวหน้าของวัสดุถูกระเหยออกไปมากแล้ว อัตราการอบแห้งจะเริ่มเปลี่ยนแปลงจากช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่ตำแหน่ง B นี้เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content) ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงนั้น การแพร่ของความชื้นมายังผิววัสดุช้ากว่าการระเหยของน้ำที่ผิวของวัสดุ ดังนั้นอัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมด้วยการแพร่ของความชื้นภายในวัสดุ โดยที่ผิวของวัสดุจะค่อยๆ แห้งและอุณหภูมิก็จะค่อยๆ สูงขึ้น เนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทให้กับวัสดุถูกใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ



รูปที่ 3-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของแข็งและเวลาในการอบแห้ง (Davidson et al., 1985)

ให้กับวัสดุส่วนหนึ่งจึงมีความร้อนเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ใช้ในการระเหยน้ำ อัตราการอบแห้งจึงลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงความชื้นค่าหนึ่งแล้วความชื้นก็จะไม่ลดลงอีกเรียกว่า ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ดังรูปที่ 3-1 ที่จุด C โดยทั่วไปการอบแห้งเมล็ดพืชจะมีแต่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น มีสมการอบแห้งหลายรูปแบบทั้ง สมการทางทฤษฎี สมการกึ่งทฤษฎี และสมการเอมไพริคัลซึ่งได้จากการทดลอง ที่พยายามทำนายในช่วงความชื้นลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 นิยามความชื้นในวัสดุ สมชาติ (2540)

ความชื้นเป็นตัวบอกริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุขึ้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

#### 1. ความชื้นมาตรฐานเปียก, $M_w$

$$M_w = \frac{w-d}{w} \quad (3.3)$$

ความชื้นมาตรฐานเปียกนิยมใช้ในวงการค้า โดยทั่วไปจะอ้างในรูปของเปอร์เซ็นต์  $100M_w$

#### 2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง, $M_d$

$$M_d = \frac{w-d}{d} \quad (3.4)$$

เมื่อ  $w$  คือ มวลของวัสดุ,  $kg$

$d$  คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น),  $kg$

ความชื้นมาตรฐานแห้งเป็นที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์ของกระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง ที่เกือบคงที่ผลผลิตทางเกษตรเป็นสิ่งมีชีวิต มีการหายใจ ดังนั้นจึงมีการเผาผลาญสารอาหาร ทำให้มวลแห้งลดลง ส่วนใหญ่แล้วมวลแห้งจะลดลงเล็กน้อย

### 3.3 วัตถุประสงค์ของการรมควัน

1. เพื่อถนอมรักษาอาหาร
2. เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ และกลิ่นหืนเนื่องจากการออกซิเดชันของไขมัน
3. เพื่อทำให้สีสันทนารับประทาน
4. เพื่อเพิ่มและรักษากลิ่นรสของอาหาร

### 3.4 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

หลักการของการรมควันคล้ายคลึงกับการอบแห้งเป็นอย่างมากเนื่องจากการลดปริมาณของความชื้นในอาหารลงเพื่อประโยชน์ในการถนอมรักษาอาหาร ซึ่งการรมควันเมื่อพิจารณาจากกระบวนการอบแห้ง พบว่า โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงการอบแห้งลดลง จากลักษณะปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นดังกล่าวได้มีการนำแบบจำลองในทางคณิตศาสตร์มาอธิบายการแพร่ที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุ

#### 3.4.1 สมการอบแห้งทางทฤษฎี (สมชาติ, 2540)

ได้มีผู้นำหลักการทางทฤษฎีหลายทฤษฎีมาอธิบายการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุนในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง Luikov (1966) ได้เสนอกลไกการเคลื่อนที่ของน้ำภายในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุ ซึ่งเกิดขึ้นในแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลว เนื่องมาจากการไหลในรูเล็ก (Capillary flow) ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงผิว (Surface Force)
2. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลว เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Liquid Diffusion)
3. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลว เนื่องจากการแพร่ของความชื้นบนผิวของรูพรุนเล็กๆ (Surface Diffusion)
4. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของไอ เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor Diffusion)
5. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปไอน้ำ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Thermal Diffusion)
6. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลว และไอน้ำ เนื่องจากความแตกต่างของความดันรวม (Hydrodynamic Flow)

จากกลไกการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุดังกล่าว Luikov ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุ อุณหภูมิของวัสดุ และความดันรวม แต่เนื่องจากแบบจำลองของ Luikov มีความยุ่งยากมาก เพราะมีตัวแปร และค่าพารามิเตอร์หลายตัว ดังนั้นจึงยังไม่มีการนำแบบจำลองนี้ไปใช้

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุโดยส่วนใหญ่อยู่ในรูปของของเหลวที่เป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ในระบบแกนโพлярสำหรับหนึ่งมิติสำหรับการแพร่ความชื้นในวัสดุจะได้ว่า

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \left[ \frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{c}{r} \frac{\partial M}{\partial r} \right] \quad (3.5)$$

โดยที่  $c=0$  สำหรับการแพร่ความชื้นในวัสดุแผ่นแบนซึ่งกว้างและยาวมาก  
 $c=1$  สำหรับการแพร่ความชื้นในแนวรัศมีของวัสดุทรงกระบอกยาวมาก  
 $c=2$  สำหรับการแพร่ความชื้นในแนวรัศมีของวัสดุทรงกลม

เมื่อ  $M$  คือ ปริมาณความชื้น, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

$t$  คือ ระยะเวลา, วินาที

$r$  คือ รัศมีทรงกลม, เมตร

$D$  คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น, เมตร<sup>2</sup>/วินาที

โดยเงื่อนไขที่สภาวะเริ่มต้น และขอบเขตสามารถเขียนได้ว่า

$$M(r,0) = M_m \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M(r_0, t) = M_{eq} \tag{3.7}$$

เมื่อ  $M_{in}$  คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง  
 $M_{eq}$  คือ ปริมาณความชื้นที่สภาวะสมดุล, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

คำตอบของสมการ (3.5) ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขสภาวะเริ่มต้น และเงื่อนไขขอบเขตตามสมการ (3.6) และ (3.7) สำหรับวัสดุแผ่นแบนซึ่งกว้างและยาวมากสามารถเขียนได้ว่า

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2}{4} X^2\right] \tag{3.8}$$

สำหรับการแพร่ความชื้นในแนวรัศมีของวัสดุทรงกลมสามารถเขียนได้ว่า

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left[-\frac{n^2 \pi^2}{9} X^2\right] \tag{3.9}$$

และสำหรับการแพร่ความชื้นในแนวรัศมีของวัสดุทรงกระบอกยาวมากสามารถเขียนได้ว่า

$$MR = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\lambda_n^2} \exp\left[-\frac{\lambda_n^2}{4} X^2\right] \tag{3.10}$$

เมื่อ  $\lambda_n$  คือ รากของสมการเบสเซลฟังก์ชันอันดับที่ศูนย์  
 โดยที่

$$MR = \frac{\bar{M}_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \tag{3.11}$$

และ

$$X = \frac{A}{V} \sqrt{Dt} \tag{3.12}$$

เมื่อ  $MR$  คือ อัตราส่วนความชื้น  
 $\bar{M}_t$  คือ ปริมาณความชื้นเฉลี่ยที่เวลาใดๆ, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง  
 $A$  คือ พื้นที่ผิวทรงกลม, เมตร<sup>2</sup>  
 $V$  คือ ปริมาตรทรงกลม, เมตร<sup>3</sup>

จากสมการที่ (3.8), (3.9) และ (3.10) จะเห็นได้ว่าสมการประกอบด้วยเทอมที่ไม่สิ้นสุด และใน

เทอมส่วนท้ายๆ จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นเราอาจตัดเทอมท้ายๆ ออกไปได้ โดยคงไว้เฉพาะเทอมแรก หรือสองสามเทอมแรกเท่านั้น ซึ่งคำตอบสุดท้ายที่ได้อาจไม่ผิดไปมากนัก โดยเฉพาะเมื่อเวลาการอบแห้งมีค่ามาก และรัศมีทรงกลมมีค่าน้อยๆ

### 3.4.2 สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎี

จากสมการ (3.9) ถ้าพิจารณาเฉพาะเทอมแรก (Brooker et al., 1981) จะได้ว่า

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \exp\left[-\frac{\pi^2 D}{r^2} t\right] \quad (3.13)$$

หรือ

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \exp(-Kt) \quad (3.14)$$

สมการ (3.9) และ (3.13) จะให้ค่าใกล้เคียงกันมากเมื่อเวลาการอบแห้งมีค่ามาก และค่าความแตกต่างจะน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ถ้าอัตราส่วนของ  $\pi^2 Dt/r^2$  มีค่ามากกว่า 1.2

เราสามารถสร้างแบบจำลองการอบแห้งง่ายๆ โดยการตั้งสมมติฐานว่าอัตราการอบแห้งภายใต้สภาวะคงที่ แปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของปริมาณความชื้น และ ปริมาณความชื้นสมดุล ข้อสมมติฐานดังกล่าวคล้ายกับกฎการเย็นตัวของนิวตัน สมการดังกล่าวเขียนได้ว่า

$$\frac{d\bar{M}}{dt} = k(\bar{M} - M_{eq}) \quad (3.15)$$

ใช้เงื่อนไขสภาวะเริ่มต้น  $M_0 = M_{in}$  คำตอบของสมการ (3.15) คือ

$$MR = \exp(-k_1 t) \quad (3.16)$$

สมการ (3.16) คือสมการ Simple logarithmic model หรือแบบจำลองของ Newton

เมื่อ  $K$ ,  $k$  และ  $k_1$  คือค่าคงที่ของการอบแห้ง, วินาที<sup>-1</sup>

และยังมีผู้ทำการพัฒนาสมการอบแห้งกึ่งทฤษฎีอีกหลายท่าน สำหรับงานวิจัยนี้จะอาศัยสมการอบแห้งกึ่งทฤษฎีของนักวิจัยหลายท่านซึ่งสมการต่างๆแสดงดังในตารางที่ 3-1

แบบจำลอง	สมการ	อ้างอิง
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson and Pabis (1961)
Two term	$MR = a \exp(-k_1t) + b \exp(-k_2t)$	Henderson (1974)
Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and Singh (1978)
Modified Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Karathanos (1999)
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	Togrul and Pehlivan (2002)

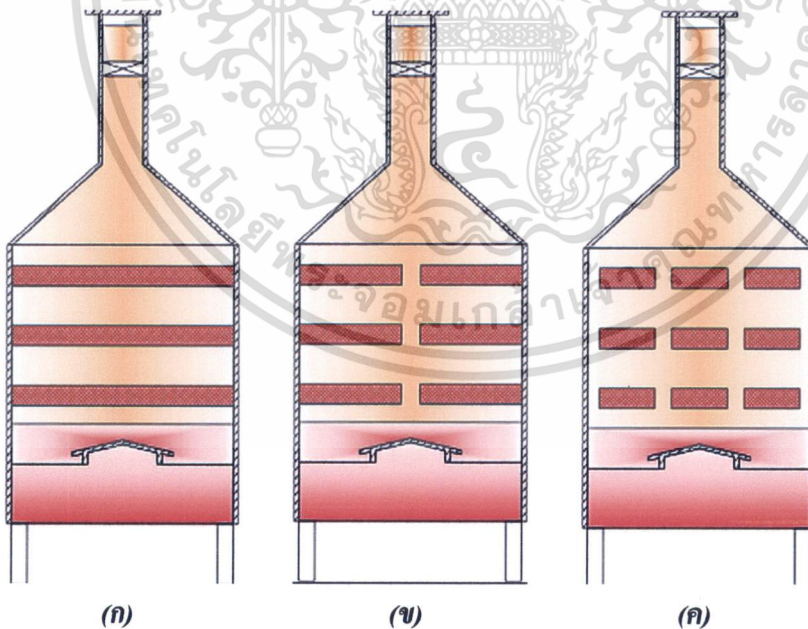
ตารางที่ 3-1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายอัตราการอบแห้งของหอยแมลงภู่

การพิจารณาสมการทำนายทั้ง 5 สมการกับผลการทดลองที่เกิดขึ้น ในที่นี้ค่าของ  $r^2$  จะต้องมีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด ค่าของ  $SR$  (sum of residues) ต้องใกล้เคียงกับ 0 มากที่สุด โดยที่

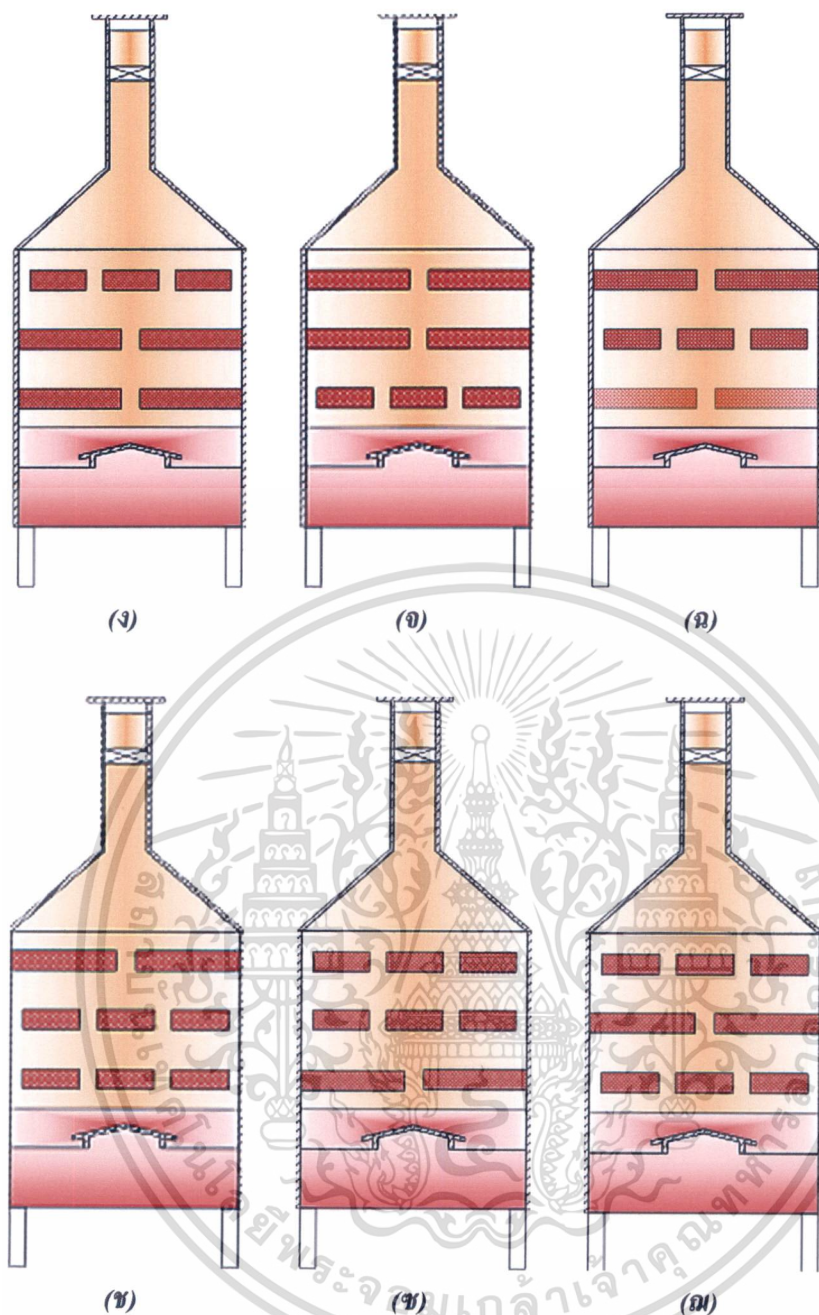
$$SR = \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i}) \quad (3.17)$$

เมื่อ  $SR$  คือ ผลรวมของความคลาดเคลื่อน (ไร้หน่วย)  $MR_{pre,i}$  คือ อัตราส่วนความชื้นจากแบบจำลอง (ไร้หน่วย) และ  $MR_{exp,i}$  คืออัตราส่วนความชื้นจริง (ไร้หน่วย)

### 3.5 ลักษณะของตู้อบและการจัดวางถาดอบรมกวน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-2 แสดงลักษณะการจัดวางรูปแบบถาดอบแห้งแบบต่างๆที่ได้ทำการออกแบบ

- (ก) รูปแบบที่ 1 (แบบมาตรฐาน)    (ข) รูปแบบที่ 2    (ค) รูปแบบที่ 3    (ง) รูปแบบที่ 4  
 (จ) รูปแบบที่ 5    (ฉ) รูปแบบที่ 6    (ช) รูปแบบที่ 7    (ซ) รูปแบบที่ 8    (ด) รูปแบบที่ 9

คู่มือที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3-3 เป็นคู่มือที่มีมิติภายในคู่มือขนาด  $60 \times 30 \times 50$  cm ในการทดลองครั้งนี้จะทำการทดลองรูปแบบของการจัดวางถาดกับห้องอบที่มีมิติเดียวกัน โดยภายในคู่มือจะทำการติดตั้งตำแหน่งของถาดไว้จำนวน 3 ชั้น แต่ละชั้นของถาดจะมีระยะห่างกันเท่ากับ 15 cm ชุดทดลองนี้จะมีแหล่งให้ความร้อนอยู่ที่ด้านล่างของคู่มือโดยใช้แหล่งความร้อนจากฮีตเตอร์ ชานอ้อยและแสงอาทิตย์ให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ คู่มือจะมีแผ่นป้องกันไม่ให้ น้ำที่ระเหยออกมาจากวัสดุที่ใช้ในการทดลองแล้วเกิดการกลั่นตัวหยดลงมาสัมผัสกับฮีตเตอร์ ที่ทางออกของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้อบได้ทำการติดตั้งพัดลมดูดอากาศหลังจากที่ได้ทำการอบเป็นที่เรียบร้อยแล้วและมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิของอากาศที่ทางออกที่ได้ทำการติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งทางเข้าของพัดลมดูดอากาศ

การออกแบบถาดได้ทำการออกแบบถาดเป็น 3 ลักษณะ คือ แบบมาตรฐาน (แบบถาดเต็ม) ที่ใช้ในการเปรียบเทียบมีขนาด  $60 \times 30 \times 5 \text{ cm}^3$  ดังรูปที่ 3-2 (ก) แบบแบ่งครึ่งมีขนาด  $27.5 \times 30 \times 5 \text{ cm}^3$  โดยวางในตำแหน่งเดียวกับกับแบบมาตรฐานและในแต่ละชั้นจะวางชั้นละ 2 ถาดแต่ละถาดห่างกัน  $5 \text{ cm}$  ดังรูปที่ 3-2 (ข) และแบบสุดท้ายมีขนาด  $15 \times 30 \times 5 \text{ cm}^3$  โดยวางในตำแหน่งเดียวกับกับแบบมาตรฐานและในแต่ละชั้นจะวางชั้นละ 3 ถาดแต่ละถาดห่างกัน  $5 \text{ cm}$  ดังรูปที่ 3-2 (ค) โดยทำการทดลองกับถาดจำนวน 3 แบบ ที่กล่าวมาก่อนจากนั้นจึงทำการสลับปรับเปลี่ยนถาดทั้ง 3 แบบ ดังนี้

1. ชั้นที่ 1 และ 2 วางแบบ 2 ถาด ส่วนชั้นที่ 3 วางแบบ 3 ถาด ดังรูปที่ 3-2 (ง)
2. ชั้นที่ 2 และ 3 วางแบบ 2 ถาด ส่วนชั้นที่ 1 วางแบบ 3 ถาด ดังรูปที่ 3-2 (จ)
3. ชั้นที่ 1 และ 3 วางแบบ 2 ถาด ส่วนชั้นที่ 2 วางแบบ 3 ถาด ดังรูปที่ 3-2 (ฉ)
4. ชั้นที่ 1 และ 2 วางแบบ 3 ถาด ส่วนชั้นที่ 3 วางแบบ 2 ถาด ดังรูปที่ 3-2 (ช)
5. ชั้นที่ 2 และ 3 วางแบบ 3 ถาด ส่วนชั้นที่ 1 วางแบบ 2 ถาด ดังรูปที่ 3-2 (ซ)
6. ชั้นที่ 1 และ 3 วางแบบ 3 ถาด ส่วนชั้นที่ 2 วางแบบ 2 ถาด ดังรูปที่ 3-2 (ฌ)



รูปที่ 3-3 ตู้อบ

### 3.6 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การศึกษาห้องรวมควันทอยแมลงรูปแบบพลังงานความร้อนร่วมสามารถแบ่งขั้นตอนเป็น 3 ขั้นตอน คือ

#### 3.6.1 การจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

ในการศึกษาถึงรูปแบบของการถาดแบบต่าง ๆ นั้น การศึกษาในครั้งนี้จะทำในรูปแบบของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยเชิงทดลอง ดังนั้น จึงต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลองมีหลายชนิดประกอบเข้าด้วยกันรายละเอียดต่างๆของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

### 1. อุปกรณ์วัดความเร็วลม

ในการวัดความเร็วลมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมชนิด Hot Wire ยี่ห้อ Testo รุ่น 445 ในการวัดความเร็วลม



รูปที่ 3-4 เครื่องมือวัดความเร็วลม

### 2. ตาชั่งดิจิตอล

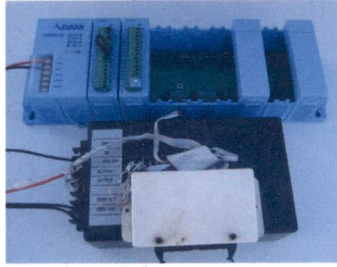
ในการหาความชื้นเริ่มต้นและความชื้นที่เวลาใดๆได้ทำการหาโดยอาศัยการชั่งน้ำหนักด้วยตาชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง (หน่วยกรัม) แล้วเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นแล้วนำมาคำนวณเป็นปริมาณความชื้น



รูปที่ 3-5 ตาชั่งดิจิตอล

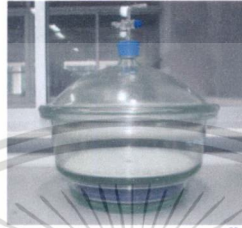
### 3. เครื่องบันทึกอุณหภูมิ

การทดลองในครั้งนี้ได้อาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า Data Logger มาใช้ในการอ่านค่าอุณหภูมิหลายๆตำแหน่งในตอนที่ทำกรวัดการกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบโดย Data Logger ยี่ห้อ ADAM 5000 ซึ่งเป็นชนิดที่อาศัยการส่งงานมาจากคอมพิวเตอร์และในการบันทึกค่าของอุณหภูมิจะทำการบันทึกเข้าสู่คอมพิวเตอร์โดยตรง



รูปที่ 3-6 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ

#### 4. โถดูดความชื้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 เซนติเมตร



รูปที่ 3-7 โถดูดความชื้น

#### 5. เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์

เป็นเครื่องที่ใช้ทำหน้าที่วัดอ่านค่าพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์และแสงที่ได้มาจากชุดหลอดไฟที่ได้ทำการสร้างขึ้นมา



รูปที่ 3-8 Pyranometer

#### 6. Solar collector

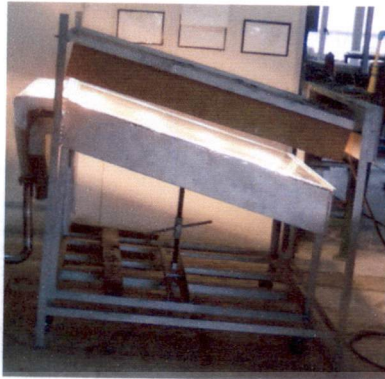
คือ ชุดแผงหลอดไฟเป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลองก่อนที่จะนำเครื่องไปทดสอบจริงกับแสงอาทิตย์ สำหรับหลอดไฟที่นำมาใช้มีขนาดของกำลังที่ให้ออกมาต่อหลอดคือ 200 W ใช้จำนวนทั้งหมด 12หลอดโครงทำจากเหล็กและไม้อัด ดังรูปที่ 3-9 ชุดแผงหลอดไฟ



รูปที่ 3-9 ชุดแผงหลอดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3-10 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการรับพลังงานความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์ในครั้งนี้นั้นได้อ้างอิงสถานะที่เหมาะสมของ ทรายวุ้น และคณะ (2550) ซึ่งแผงรับชุดนี้จะรับความร้อนโดยภายในแผงประกอบด้วยแผ่นเหล็กหนา 3 มิลลิเมตรและแผ่นทรายที่มีความหนา 3 เซนติเมตร เป็นตัวรับความร้อนและในการไหลของอากาศร้อนนั้นจะอาศัยพัดลมดูดที่อยู่ภายในตู้อบรมควันเป็นตัวพาความร้อนแบบบังคับทิศทางการไหลของลมร้อนภายในแผงรับเป็น แบบที่ลมไหลเข้าด้านล่างของแผ่นรับเพื่อนำความร้อนที่อยู่ในแผ่นทรายออกมาก่อนแล้วค่อยไหลผ่านแผ่นเหล็กด้านบนเข้าสู่เตาอบต่อไป

8. เครื่องวัดพลังงาน เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การใช้ปริมาณพลังงาน ในโครงการวิจัยนี้ ได้ใช้เครื่องวัดพลังงาน ยี่ห้อ Carlo Gavazzi รุ่น WM14-96

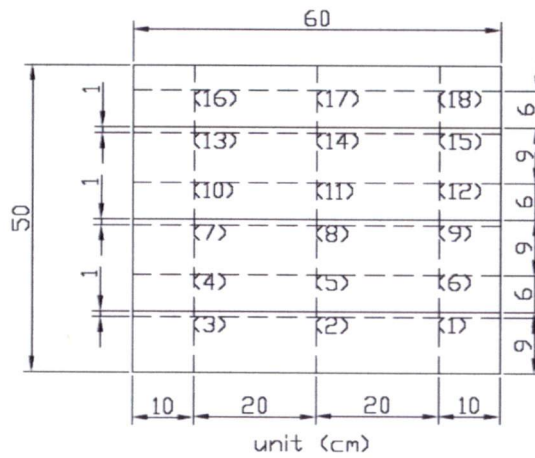


รูปที่ 3-11 เครื่องวัดพลังงาน

### 3.6.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง แบ่งออกเป็น 3 กรณี

1. การวัดการกระจายอุณหภูมิ รูปที่ 3-12 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์วัดการกระจายอุณหภูมิภายในห้องอบจำนวน 18 ตำแหน่งโดยใช้เซนเซอร์เป็น Thermocouple Type K ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ดังรูป เพื่อทำการวัดการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในห้องอบเมื่อทำการติดตั้งถาดชนิดต่างๆเข้าไป

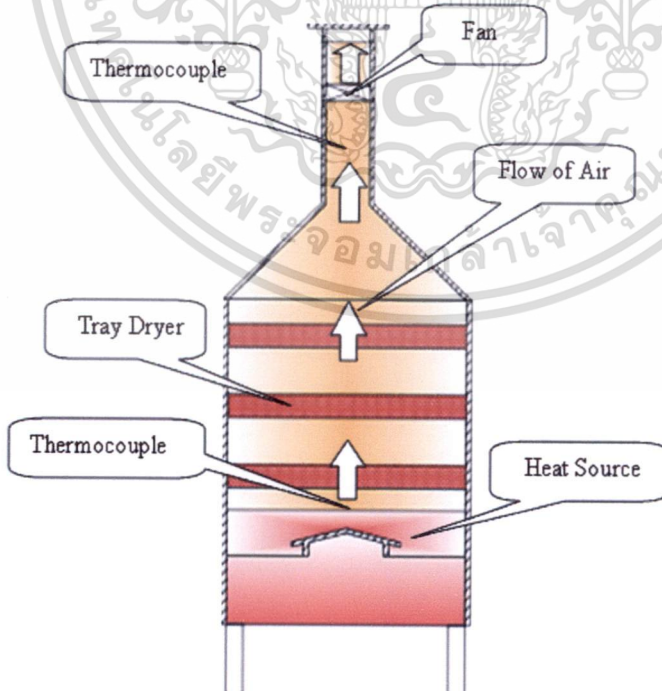
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-12 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์วัดการกระจายอุณหภูมิภายในห้องอบ

## 2. การติดตั้งถาดในการอบแห้ง

รูปที่ 3-13 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองที่ตู้อบ จากรูปด้านล่างสุดเป็นห้องสำหรับใส่วัสดุให้ควันในที่นี้ คือ ชานอ้อย (นันทิภา, 2542) ชั้นถัดมาทำการติดตั้งฮีตเตอร์ซึ่งเป็นแหล่งความร้อนของตู้อบที่ใช้ในการทดลอง โดยอาศัยสัญญาณที่ได้มาจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด Thermocouple Type K เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิของแหล่งความร้อน ถัดมาเป็นตำแหน่งติดตั้งของถาดที่ใช้ในการทดลองในที่นี้มีจำนวนอยู่ 3 ชั้น ดังรูปที่ 3-13 อากาศร้อนสามารถไหลขึ้นไปสู่ทางออกของห้องอบ โดยอาศัยพัดลมเป็นตัวบังคับการไหลออกของอากาศร้อนหลังจากอบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

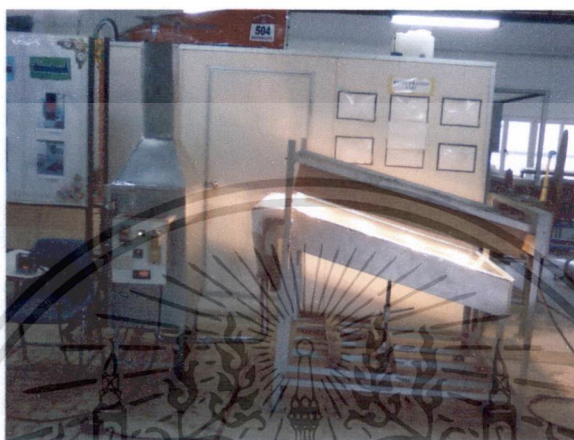


รูปที่ 3-13 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 3-14 แสดงการติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับตู้อบรมควันเพื่อทำการศึกษาถึงการนำพลังงานความร้อนที่ได้มาจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์เพื่อจุดประสงค์ของการลดการใช้พลังงานสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้จะทำการศึกษาถึงผลของการออกแบบถาดในตู้อบรมควันก่อนเพื่อที่จะหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการที่จะทำให้เกิดการกระจายอุณหภูมิและความร้อนที่ดี หลังจากนั้นจะทำการศึกษาถึงผลของการติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เข้าไปเพื่อที่จะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการที่จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง



รูปที่ 3-14 การติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับตู้อบรมควัน

#### 3.6.3 การทดลองและบันทึกผลการทดลอง

##### การหาปริมาณความชื้นเริ่มต้นของหอยแมลงภู

คัดเลือกหอยแมลงภูที่ผ่านการแกะออกจากเปลือก ให้ได้หอยที่มีขนาดใกล้เคียงกัน นำไปล้างน้ำให้สะอาดจากนั้นแช่น้ำประมาณ 5 นาที แล้วนำมาผึ่งบนตะแกรงประมาณ 10 นาที เพื่อให้หอยแมลงภูสะเด็ดน้ำจากนั้นนำหอยแมลงภูมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้น ทดลองอบหอยแมลงภู ที่อุณหภูมิ  $103^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาประมาณ 72 ชั่วโมง แล้วนำออกมาเก็บไว้ในโถสุญญากาศ ความชื้น ประมาณ 1 ชั่วโมง (เพื่อให้หอยแมลงภูเย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิห้อง) แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำผลไปคำนวณหาความชื้นเริ่มต้นซึ่งในที่นี้ได้ค่าของความชื้นเริ่มต้นประมาณ 345 % db.

##### การทดลองถาดอบรมควัน

1. วัดการกระจายอุณหภูมิภายในห้องอบเปล่าตามรูปแบบของถาดทั้ง 9 แบบที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$
2. จ่ายความร้อน โดยทำการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่  $50^{\circ}\text{C}$  รอจนกว่าอุณหภูมิคงที่ ใช้เวลาประมาณ 20 นาที
3. คัดเลือกหอยแมลงภูที่ผ่านการแกะออกจากเปลือก ให้ได้หอยที่มีขนาดใกล้เคียงกัน นำไปล้างน้ำให้สะอาดจากนั้นแช่น้ำประมาณ 5 นาที แล้วนำมาผึ่งบนตะแกรงประมาณ 10 นาที เพื่อให้หอยแมลงภูสะเด็ดน้ำจากนั้นนำถาดเปล่ามาชั่งน้ำหนักแล้วนำหอยแมลงภูจำนวน  $600 \pm 10$  กรัม ใส่ในถาดแบบมาตรฐาน (รูปที่ 3-2 (ก)) แล้วนำไปใส่ในตู้อบ
4. ทุกๆ 10 นาทีทำการนำถาดและหอยแมลงภูมาชั่งน้ำหนัก และบันทึกผลการทดลอง
5. ทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น  $70^{\circ}\text{C}$  แล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบของถาดเป็นแบบอื่น แล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 2 - 5 การศึกษาถึงผลของรูปแบบถาดจะยังคงใช้หอยในการทดลองครั้งละ  $600 \pm 10$  กรัม เช่นเดิม เพียงแต่แบ่งหอยแมลงภูใส่ในถาดให้มีปริมาณที่เท่ากันใส่ในแต่ละชั้นของถาด (ภายในตู้อบมีชั้นของถาดจำนวน 3 ชั้น)

#### การทดลองติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

- นำแผงรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ติดตั้งเข้ากับเครื่องอบรมควัน ณ ตำแหน่งทางเข้าของอากาศจากสิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 3-14 เปิดแผงหลอดไฟเพื่อจ่ายความร้อนให้กับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์รจนอุณหภูมิอิมตัวประมาณ 300 นาที (ธราวัดน์ และคณะ, 2550) นำขานอ้อยร้อยละ 20 ของน้ำหนักเนื้อหอย (น้ำหนัก, 2542) ใส่เข้าไปด้านล่างสุดของตู้อบ จากนั้นทำการเปิดฮีตเตอร์เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่  $55^{\circ}\text{C}$  (น้ำหนัก, 2542) ใช้เวลาประมาณ 10 นาที เมื่อทำการเตรียมการทดลองเป็นที่เรียบร้อยแล้วทำการเผาขานอ้อยเพื่อให้เกิดควันและทำการวัดพลังงานที่ใช้ไป เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์
- กรณีที่ทำการทดลองแบบไม่มีพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ก็สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกันกับข้อ 1 เพียงแต่ไม่ต้องทำการเปิดแผงหลอดไฟเพื่อจ่ายความร้อนให้กับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์



## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและวิจารณ์

#### 4.1 บทนำ

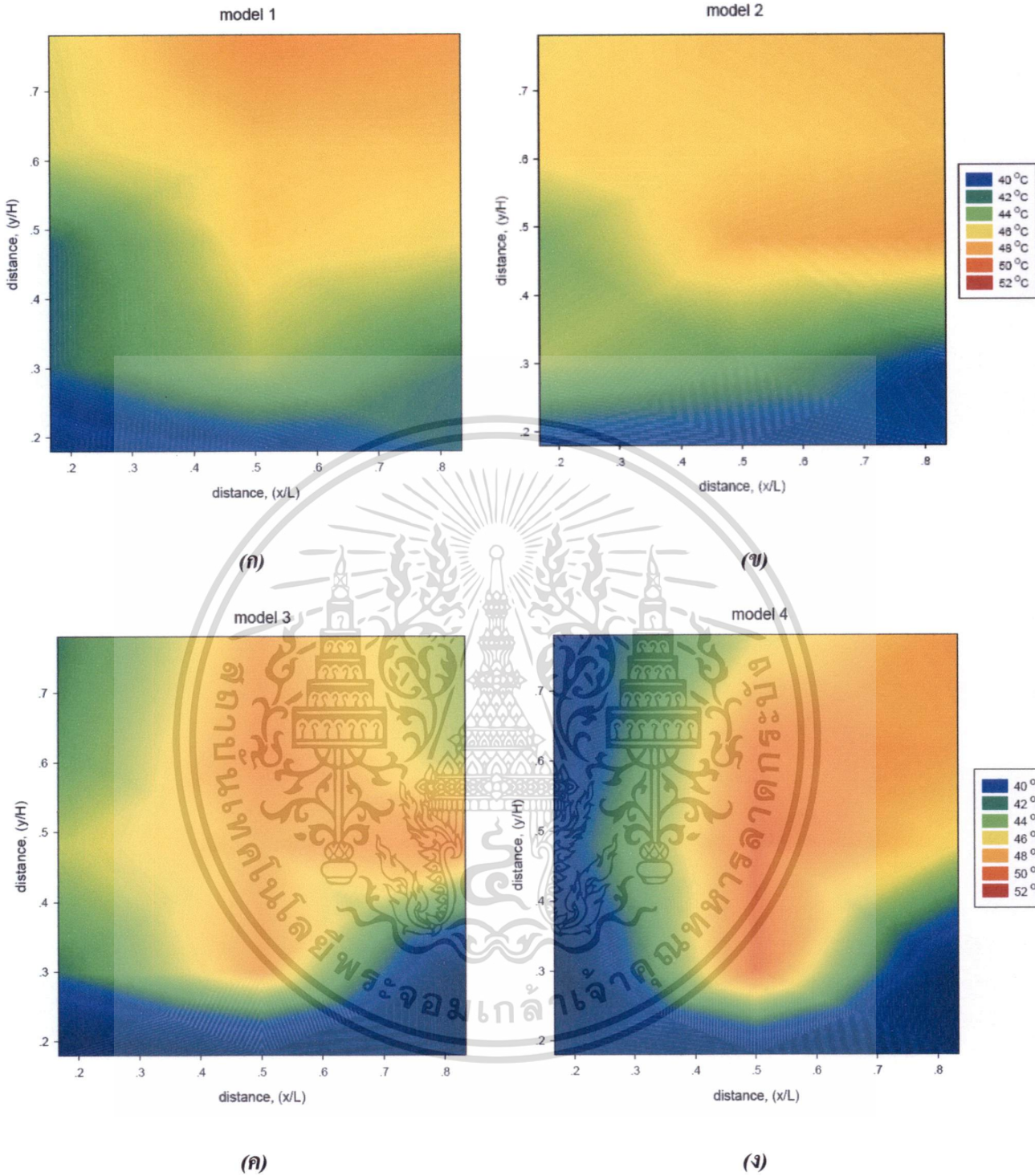
จากวิธีการดำเนินงานวิจัยที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3. ในการทดลองนี้มุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาดัง ผลกระทบของการออกแบบและการจัดวางถาดในรูปแบบต่างๆที่มีผลต่อการอบรมควัน ผลของพลังงาน ความร้อนจากแสงอาทิตย์และการพัฒนาแบบจำลองของเครื่องอบรมควันหอยแมลงภู่นี้นี้จะขอแยก พิจารณาผลการทดลอง ดังนี้

1. ผลกระทบของการออกแบบและการจัดวางถาดในรูปแบบต่างๆต่อการกระจายอุณหภูมิภายในห้องอบ
2. ผลกระทบของการออกแบบและการจัดวางถาดในรูปแบบต่างๆต่อการอบแห้ง
3. ผลกระทบต่อการอบแห้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
4. ผลกระทบของการติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่ออัตราการใช้พลังงาน
5. ผลการทำนายของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

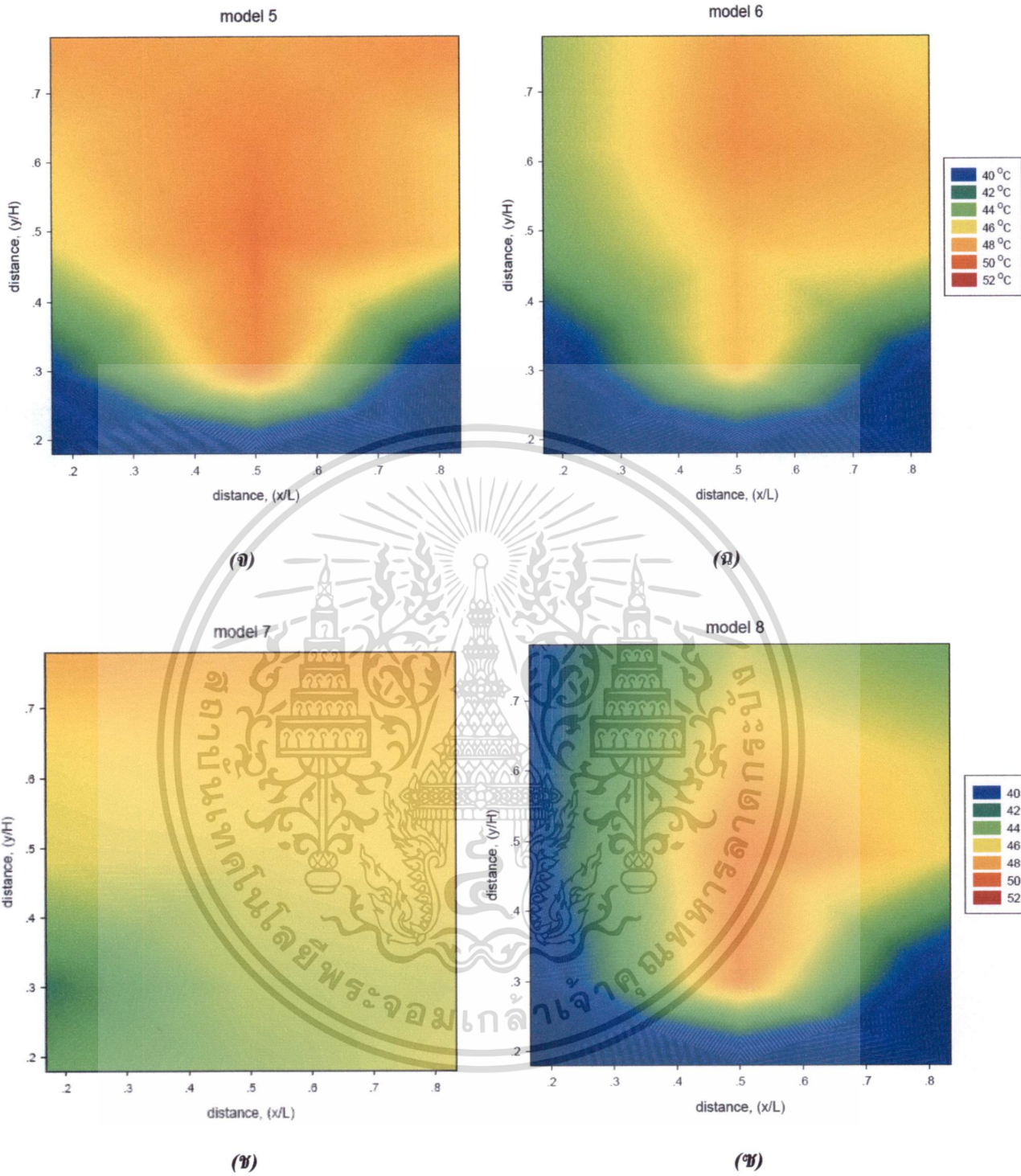
ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองสามารถวิเคราะห์ผลการทดลอง ได้ดังต่อไปนี้

#### 4.2 ผลกระทบของการออกแบบและการจัดวางถาดในรูปแบบต่างๆต่อการกระจายอุณหภูมิภายในห้องอบ

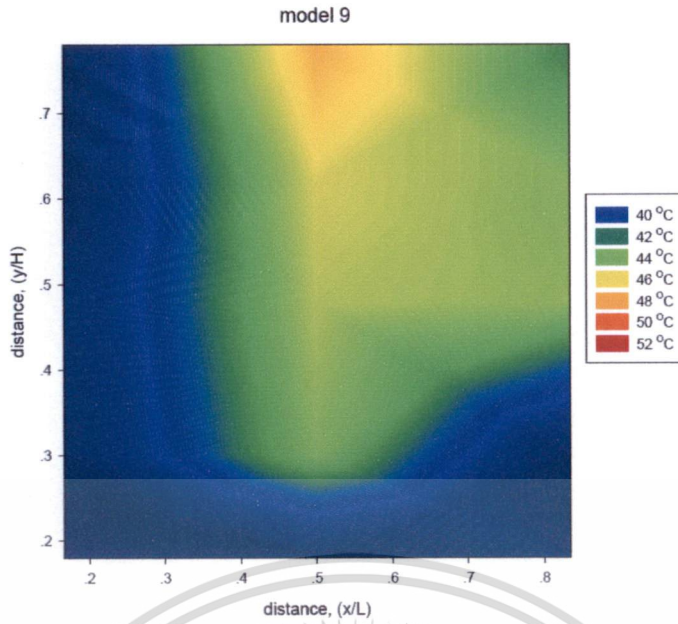
จากการศึกษาถึงอิทธิพลของการวางถาดในรูปแบบต่างๆทั้ง 9 รูปแบบต่อการกระจายอุณหภูมิ ภายในห้องอบ โดยที่ยังคงให้จำนวนของชั้นที่วางถาดมีจำนวน 3 ชั้นเท่ากัน พิจารณาจากรูปที่ 4-1 ได้ แสดงลักษณะของการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตู้อบที่ได้ทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ ตำแหน่งเดียวกันจำนวน 18 ตำแหน่ง แล้วนำข้อมูลมาวาดกราฟการกระจายอุณหภูมิดังรูปที่ 4-1 ดังที่ได้ กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองที่เงื่อนไขของอุณหภูมิของแหล่งความร้อนที่  $50^{\circ}\text{C}$  จากการทดลองพบว่ารูปแบบของถาดทั้ง 9 แบบ ที่ตำแหน่งด้านบนสุดจะมีค่าอุณหภูมิสูงสุดทุกๆ กรณี รูปที่ 4-1 (ก) ซึ่งเป็นแบบมาตรฐานยังคงมีช่วงการกระจายอุณหภูมิที่ค่ามากที่สุดอยู่ระหว่าง  $44 - 48^{\circ}\text{C}$  รูปแบบที่ 4-1 (จ) พบว่าช่วงการกระจายอุณหภูมิในตู้อบจะมีค่ามากที่สุดอยู่ระหว่าง  $48 - 50^{\circ}\text{C}$  ซึ่งจากการทดลองวัดการกระจายอุณหภูมิกครั้งนี้ พบว่าเป็นรูปแบบที่น่าจะสามารถทำให้ อัตราการอบรมควันมีค่าเหมาะสมที่สุด รูปแบบที่ 4-1 (ข) พบว่าช่วงการกระจายอุณหภูมิในตู้อบจะมีค่า ใกล้เคียงกันมากที่สุดอยู่ระหว่าง  $44 - 46^{\circ}\text{C}$  ซึ่งจากการทดลองวัดการกระจายอุณหภูมิกครั้งนี้คาดว่าจะเป็นรูปแบบที่สามารถทำให้การอบแห้งแบบรมควัน ความชื้นหายไปจะมีความสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน ใน ทุกๆชั้นที่ทำการอบแห้งและรูปแบบอื่นๆที่มีได้กล่าวถึงไว้ในที่นี้ คือ รูปที่ 4-1 (ข) (ค) (ง) (ฉ) (ช) และ (ณ) พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่นๆที่กล่าวมาแล้วในตอนต้นก็ยังคงมีการกระจายอุณหภูมิที่ ไม่ดี (พิจารณาจากรูปที่ 4-1)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

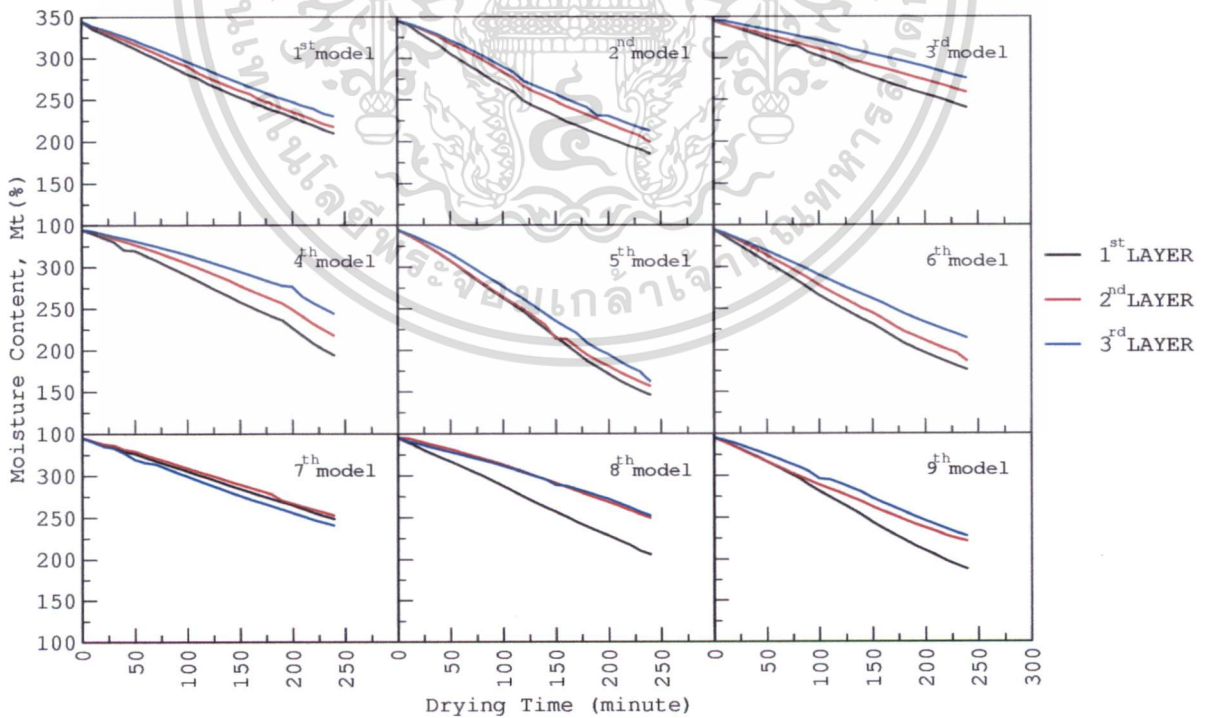


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



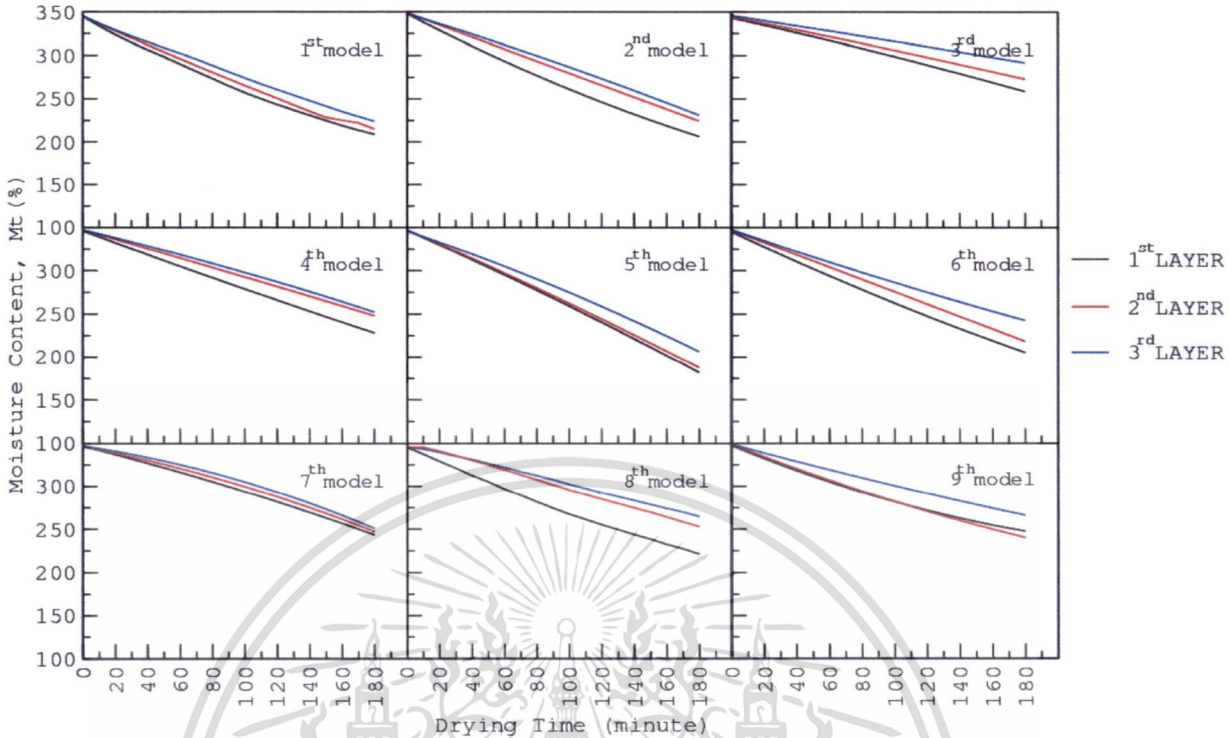
(ณ)

รูปที่ 4-1 แสดงการกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบที่อุณหภูมิแหล่งความร้อน 50°C (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2 (ค) แบบที่ 3 (ง) แบบที่ 4 (จ) แบบที่ 5 (ฉ) แบบที่ 6 (ช) แบบที่ 7 (ซ) แบบที่ 8 (ณ) แบบที่ 9



รูปที่ 4-2 แสดงการลดลงของความชื้นที่เวลาใดๆของการจัดวางรูปแบบถาดแบบต่างๆที่อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



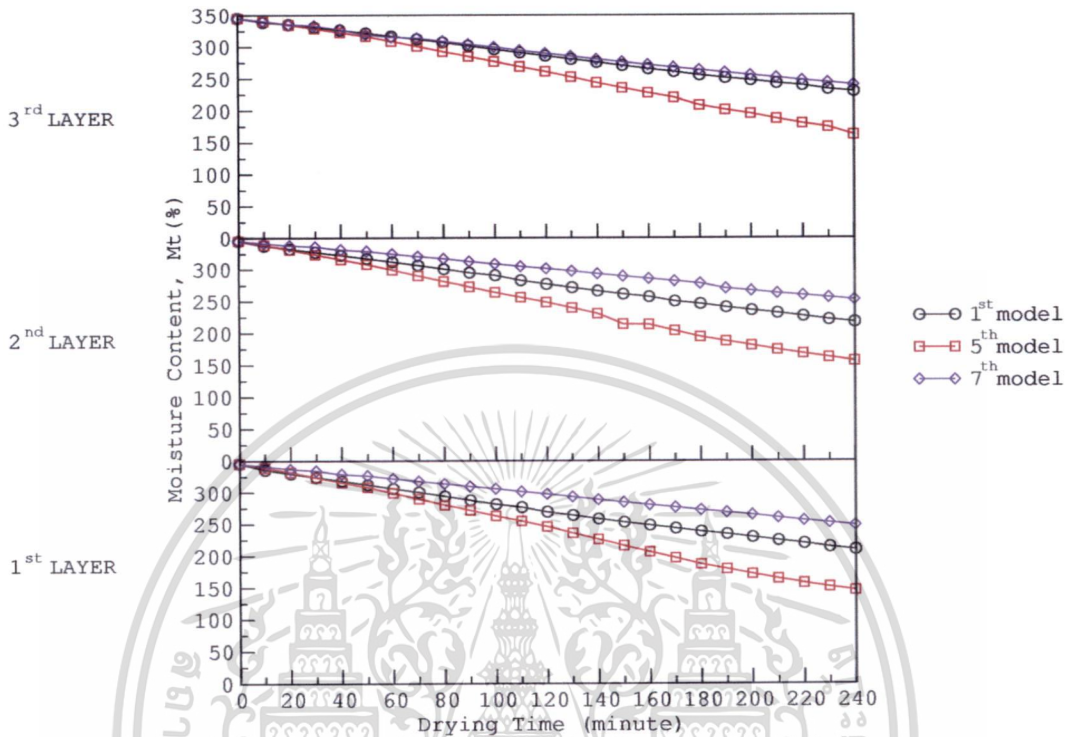
รูปที่ 4-3 แสดงการลดลงของความชื้นที่เวลาใดๆของการจัดวางรูปแบบถาดแบบต่างๆที่อุณหภูมิ 70°C

#### 4.3 ผลกระทบของการออกแบบและการจัดวางถาดในรูปแบบต่างๆต่อการอบ

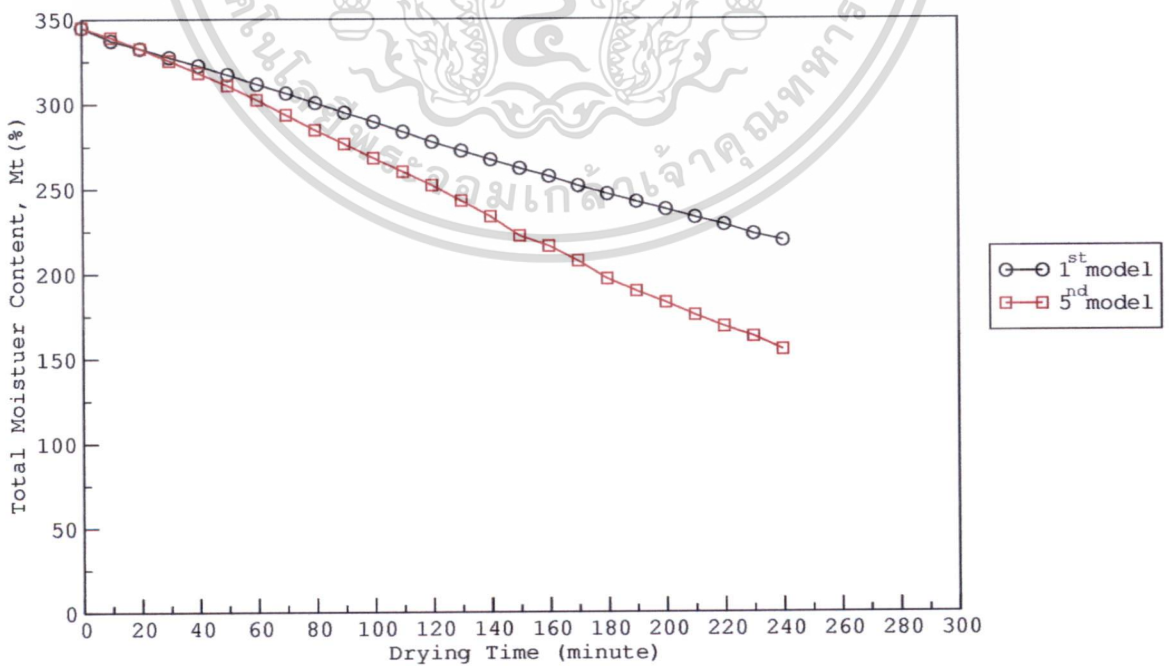
จากการศึกษาถึงอิทธิพลของการจัดวางถาดในรูปแบบต่างๆทั้ง 9 รูปแบบต่อการการอบรมควัน โดยที่ยังคงให้อำนาจของชั้นที่วางถาดมีจำนวน 3 ชั้นเท่ากัน พิจารณาจากรูปที่ 4-2 และ รูปที่ 4-3 แสดงการลดลงของความชื้นที่เวลาใดๆกับการจัดวางถาดในรูปแบบต่างๆทั้ง 9 แบบที่อุณหภูมิ 50°C และ 70°C ตามลำดับในการทดลองครั้งนี้จะทำการลดเปอร์เซ็นต์ของความชื้นให้เหลืออยู่ประมาณ 55 – 70 % จากความชื้นทั้งหมด (มีทนา, 2545) เนื่องจากจะนำตู้อบและรูปแบบการจัดวางถาดที่ดีที่สุดไปประยุกต์ใช้ในการถนอมอาหารทะเลโดยวิธีการรมควัน จากการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของความชื้นของชั้นที่ทำการติดตั้งถาดตามรูปแบบที่กำหนดนั้นใน รูปแบบที่ 1 พิจารณารูปที่ 4-4 และ 4-5 ซึ่งเป็นแบบมาตรฐานนั้นการลดลงของความชื้นมีการลดลงตามอัตราส่วนที่เท่ากันทุกชั้นของการจัดวางถาด แต่ก็ยังคงไม่สามารถทำให้ค่าของความชื้นสุดท้ายนั้นมีค่าที่เท่ากันได้ รูปแบบที่ 5 พิจารณารูปที่ 4-4 ถึง 4-6 เป็นรูปแบบที่สามารถลดเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้มากที่สุดที่เงื่อนไขเดียวกัน แต่ก็ยังคงไม่สามารถทำให้ความชื้นในแต่ละชั้นของการจัดวางถาดนั้นมีค่าเท่ากันได้ และในรูปแบบที่ 7 พิจารณารูปที่ 4-4 เป็นรูปแบบที่สามารถทำให้การลดลงของความชื้นมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดแต่เมื่อมาพิจารณาที่การลดลงของความชื้นแล้วกลับกลายเป็นว่าไม่สามารถที่จะทำการลดความชื้นลงได้ดีกว่าแบบที่ 1 ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐานเลย ดังนั้นจากการทดลองในครั้งนี้จึงได้ข้อสรุปว่าหากต้องการคำนึงถึงผลของการลดลงของความชื้นให้ได้มากที่สุดควรเลือกการจัดวางถาดรูปแบบที่ 5 และหากต้องการให้การลดลงของความชื้นมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดควรเลือกการจัดวางถาดในรูปแบบที่ 7 แต่หากจะใช้การจัดวางถาดรูปแบบที่ 7 นั้นควรจะมีการนำค่าของพลังงานความร้อนที่สูญเสียกลับมาใช้ใหม่

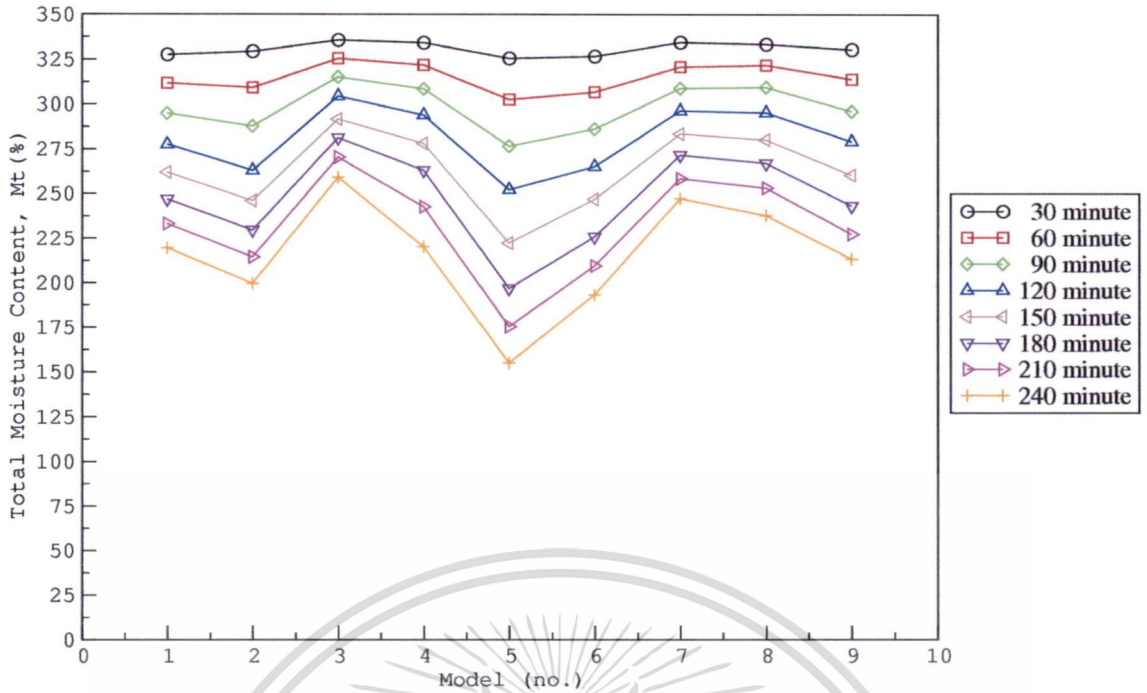


รูปที่ 4-4 แสดงการลดลงของความชื้นที่เวลาใดๆของการจัดวางรูปแบบถาดแบบที่ 1, 5 และ 7 ที่อุณหภูมิ 50°C

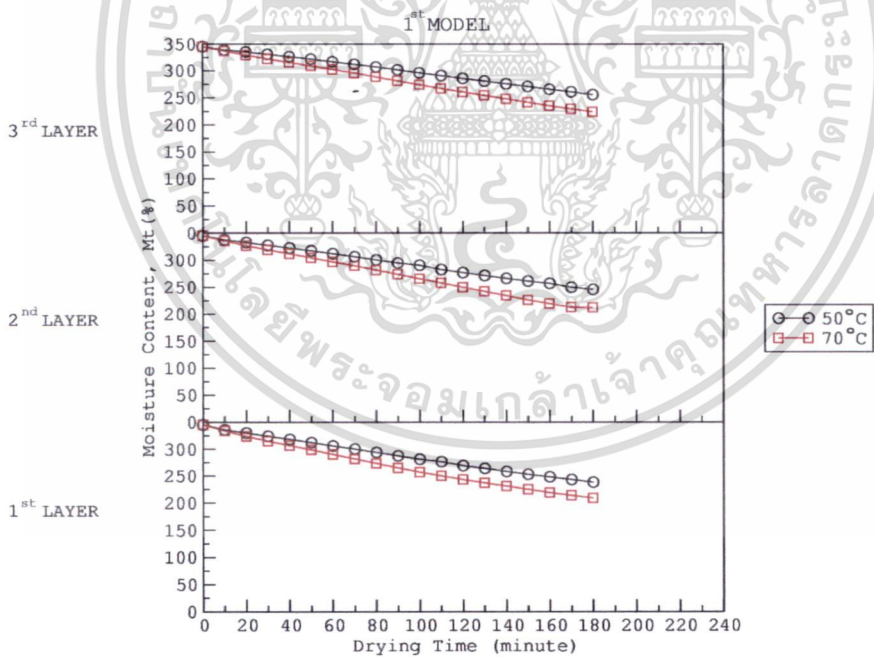


รูปที่ 4-5 แสดงการลดลงของความชื้นทั้งหมดที่เวลาใดๆของการจัดวางรูปแบบถาดแบบที่ 1 และ 5 ที่อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-6 แสดงการลดลงของความชื้นทั้งหมดที่เวลาใดๆของการจัดวางรูปแบบถาดแบบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50°C



รูปที่ 4-7 การลดลงของความชื้นที่เวลาใดๆของการจัดวางถาดแบบที่ 1 ที่อุณหภูมิ 50°C และ 70°C

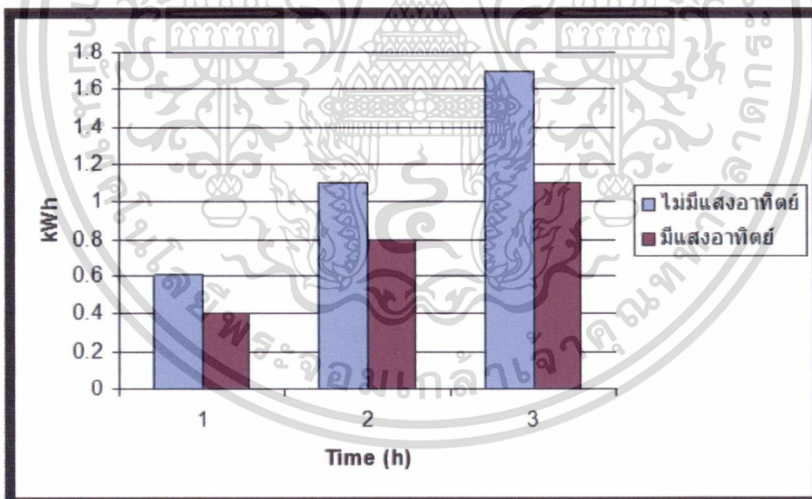
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลกระทบต่อการอบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของการอบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยที่ยังคงให้จำนวนของชั้นที่วางถาดมีจำนวน 3 ชั้นเท่ากัน ในที่นี้จะทำการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิสองค่า คือ 50°C และ 70°C จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น พิจารณารูปที่ 4-7 ในครั้งนี้ได้กำหนดเงื่อนไขไว้ว่าจะทำการอบแห้งให้ความชื้นเหลือประมาณ 55 – 70 % (มัทนา, 2545) ซึ่งจากการทดลองนั้นพบว่าหากมีการเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 50°C เป็น 70°C ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อให้เหลือความชื้นตามที่กำหนดนั้นลดลง และยังคงอยู่ในเงื่อนไขของการนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการในการถนอมอาหารแบบรมควันด้วย (มัทนา, 2545)

#### 4.5 ผลกระทบของการติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่ออัตราการใช้พลังงาน

จากการศึกษาถึงผลกระทบของการติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่ออัตราการใช้พลังงาน พบว่า เมื่อมีการติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เข้าไปและทำการวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยทำการทดลองบันทึกอัตราการใช้พลังงานตั้งแต่ 1 ชั่วโมงจนถึง 3 ชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 4-8 ปรากฏว่าสามารถลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ถึง 32.55 เปอร์เซ็นต์ (อ้างอิงเงื่อนไขสูงสุดของพลังงานความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์จากทราวิคซ์ และคณะ (2550)) เมื่อเปรียบเทียบกับไม่มีแสงอาทิตย์แสดงว่าผลของการติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ส่งผลดีต่อการลดปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการรมควัน



รูปที่ 4-8 การติดตั้งและไม่ติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต่ออัตราการใช้พลังงาน

#### 4.6 ผลการทำนายของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การพัฒนาแบบจำลอง 5 แบบ จากข้อมูลที่ได้ทำการทดลอง ตอนเริ่มต้นจะต้องทำการหาค่าคงที่ของสมการของตารางที่ 3-1 ที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ โดยทำการแทนค่าของอัตราส่วนความชื้นต่อเวลาใดๆแล้วใช้เทคนิคสมการถดถอยเพื่อทำการสร้างเส้นแนวโน้มตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากนั้นจึงใช้วิธีการเทคนิคสมการถดถอยอีกครั้ง เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ของค่าคงที่ต่ออุณหภูมิและถาดตั้งแสดงในตารางที่ 4-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Henderson and Pabis	$r^2$
$a = 0.037275Tr + 0.036208T - 0.00707Tr^2 - 0.0003T^2$	0.999994
$b = -0.000375Tr + 0.000355T - 0.000025Tr^2 - 0.0000025714T^2$	0.999939
Two term	
$a = 0.045175Tr + 0.007813333T$	0.977269
$k_1 = 0.000159Tr + 0.000173411T$	0.983937
$b = 0.039549Tr + 0.007124767T$	0.976596
$k_2 = 0.000159Tr + 0.000173411T$	0.983937
Wang and Singh	$r^2$
$a = 0.000334884Tr - 0.00011469T$	0.9882031
$b = -6.93321 \times 10^{-06}Tr + 1.77712 \times 10^{-07}T + 8.40765 \times 10^{-07}Tr^2 + 8.80653 \times 10^{-10}T^2$	0.9990626
Modified Henderson and Pabis	$r^2$
$a = 0.019025Tr + 0.012444T - 0.003725Tr^2 - 0.000104229T^2$	0.9999882
$k = -0.000375Tr + 0.000355T - 2.5 \times 10^{-05}Tr^2 - 2.57143 \times 10^{-06}T^2$	0.9999397
$b = 0.01045Tr + 0.012142T - 0.002Tr^2 - 0.0001016T^2$	0.9999951
$g = -0.000375Tr + 0.000355T - 2.5 \times 10^{-05}Tr^2 - 2.57143 \times 10^{-06}T^2$	0.9999397
$c = 0.0076Tr + 0.011626T - 0.0013Tr^2 - 9.77143 \times 10^{-05}T^2$	0.9999978
$h = -0.000375Tr + 0.000355T - 2.5 \times 10^{-05}Tr^2 - 2.57143 \times 10^{-06}T^2$	0.9999397
Logarithmic	$r^2$
$c = 1409.32 - 1296.193475Tr - 20.11643T + 18.4901275Tr \times T$	0.9835106
$a = -1412.58 + 1299.365Tr + 20.17727T - 18.5354Tr \times T$	0.9833080
$k = -0.001964Tr + 4.48 \times 10^{-05}T + 0.000242Tr^2 + 4.14039 \times 10^{-07}T^2$	0.9718350

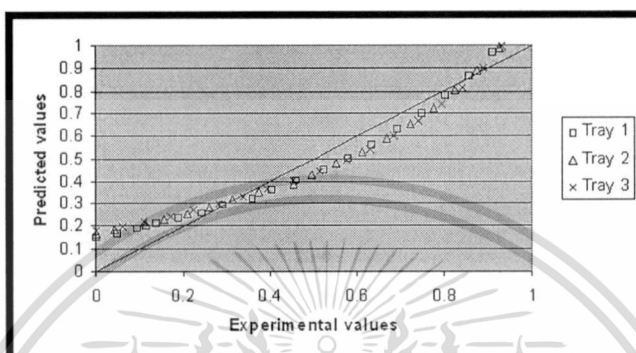
#### ตารางที่ 4-1 สมการความสัมพันธ์ของค่าคงที่ต่ออุณหภูมิ ( $T$ ) และภาค ( $Tr$ )

รูปที่ 4-9 แสดงการเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง henderson and pabis ที่อุณหภูมิ 50°C พิจารณาจากกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นตรง พบว่าแบบจำลองชนิดนี้ไม่สามารถทำนายอัตราส่วนความชื้นได้ตั้งแต่ตอนเริ่มต้นการทดลองจนถึงตำแหน่งสิ้นสุดการทดลองโดยที่ค่าของ  $r^2$  จะอยู่ระหว่าง 0.9294 ถึง 0.9462 ค่าของ  $SR$  จะอยู่ระหว่าง -0.18728951 ถึง -0.19208547 และแบบจำลองชนิดนี้สามารถทำนายผลการทดลองได้แม่นยำที่สุดที่เงื่อนไขการทดลองอุณหภูมิ 70°C ที่การอบแห้งของภาคที่ 1 ค่าของ  $r^2$  คือ 0.96 และ  $SR$  คือ -0.17289

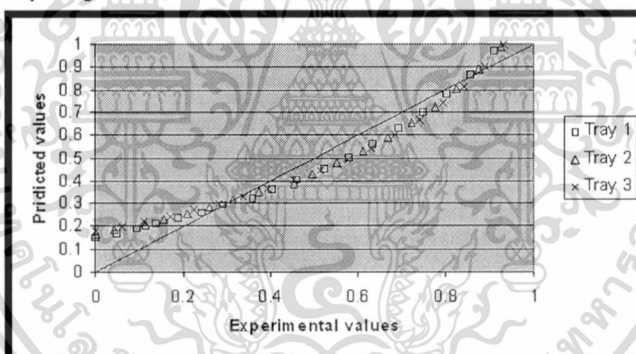
รูปที่ 4-10 แสดงการเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง Two term ที่อุณหภูมิ 50°C พบว่าผลการทดลองมีลักษณะแนวโน้มนั้นเช่นเดียวกับ รูปที่ 4-9 โดยที่ค่าของ  $r^2$  จะอยู่ระหว่าง 0.9294 ถึง 0.9462 ค่าของ  $SR$  จะอยู่ระหว่าง -0.18729001 ถึง -0.19208660

รูปที่ 4-11 การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง Wang and Singh ที่อุณหภูมิ 50°C พิจารณาจากกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นตรง พบว่าแบบจำลองชนิดนี้สามารถทำนายอัตราส่วนความชื้นได้ตั้งแต่ตอนเริ่มต้นการทดลองจนถึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

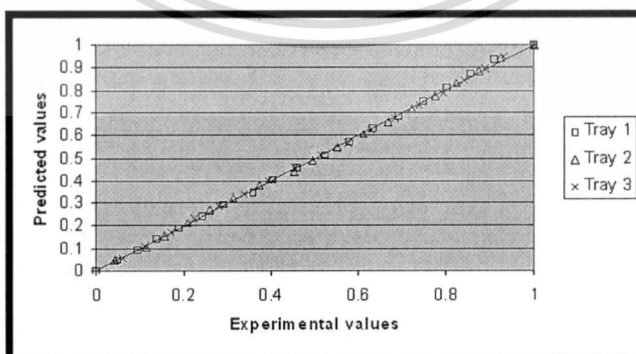
ตำแหน่งสิ้นสุดการทดลองโดยที่ค่าของ  $r^2$  จะอยู่ระหว่าง 0.9991 ถึง 0.9996 ค่าของ  $SR$  จะอยู่ระหว่าง -0.00727643 ถึง -0.01901603 เมื่อมาพิจารณารูปที่ 4-12 ซึ่งใช้แบบจำลองชนิดเดียวกันทำนายที่อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  พบว่าแบบจำลองสามารถทำนายผลการทดลองได้อย่างแม่นยำที่ตำแหน่งถาดที่ 1 ส่วนที่ตำแหน่งถาดอื่นๆ ไม่สามารถทำนายผลการทดลองที่เกิดขึ้นได้และแบบจำลองชนิดนี้สามารถทำนายผลการทดลองได้แม่นยำที่สุดที่เงื่อนไขการทดลองอุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  ที่การอบแห้งของถาดที่ 1 ค่าของ  $r^2$  คือ 0.9998 และค่าของ  $SR$  ที่ดีที่สุดเกิดที่เงื่อนไขการทดลองอุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  ที่การอบแห้งของถาดที่ 3 คือ -0.00727643



รูปที่ 4-9 การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง *henderson and pabis* ที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$

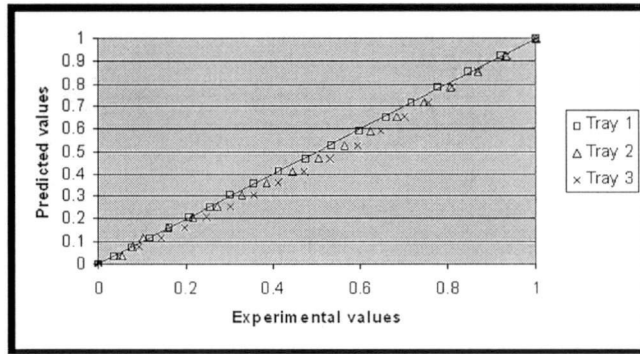


รูปที่ 4-10 การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง *Two term* ที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$

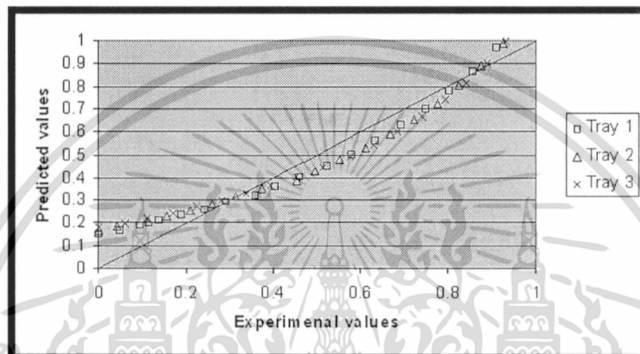


รูปที่ 4-11 การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง *Wang and Singh* ที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-12 การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง Wang and Singh ที่อุณหภูมิ 70°C

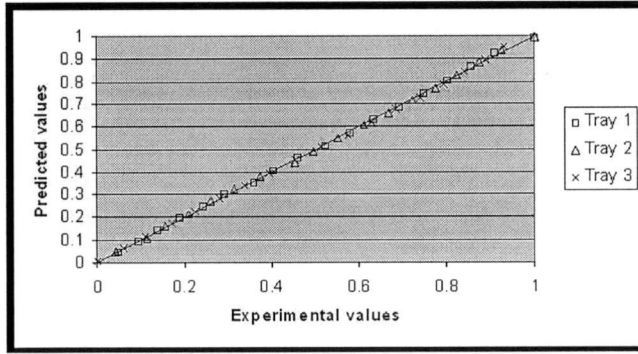


รูปที่ 4-13 การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง modified Henderson and Pabis ที่อุณหภูมิ 50°C

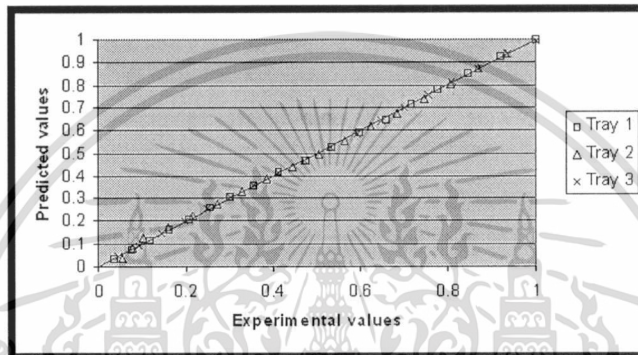
รูปที่ 4-13 แสดงการเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง modified Henderson and Pabis ที่อุณหภูมิ 50°C พบว่าผลการทดลองมีลักษณะแนวโน้มเช่นเดียวกับ รูปที่ 4-9 และรูปที่ 4-10 โดยที่ค่าของ  $r^2$  จะอยู่ระหว่าง 0.9294 ถึง 0.9462 ค่าของ  $SR$  จะอยู่ระหว่าง -0.18729002 ถึง -0.19208643

รูปที่ 4-14 แสดงการเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง Logarithmic ที่อุณหภูมิ 50°C พิจารณาจากกราฟพบว่าแบบจำลองชนิดนี้สามารถทำนายอัตราส่วนความชื้นได้ตั้งแต่ตอนเริ่มต้นการทดลองจนถึงตำแหน่งสิ้นสุดการทดลอง โดยที่ค่าของ  $r^2$  จะอยู่ระหว่าง 0.9992 ถึง 0.9995 ค่าของ  $SR$  จะอยู่ระหว่าง 0.00000989 ถึง -0.00007328 เมื่อมาพิจารณารูปที่ 4-15 ซึ่งใช้แบบจำลองชนิดเดียวกันทำนายที่อุณหภูมิ 70°C พบว่าแบบจำลองยังคงสามารถทำนายผลการทดลองได้อย่างแม่นยำ แสดงว่าแบบจำลองชนิดนี้สามารถทำนายผลการทดลองได้แม่นยำที่สุดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับแบบอื่นๆ แบบจำลองชนิดนี้สามารถทำนายผลการทดลองได้แม่นยำที่สุดที่เงื่อนไขการทดลองอุณหภูมิ 70°C ที่การอบแห้งของถาดที่ 3 ใ้ค่าของ  $r^2$  คือ 0.9998 และค่าของ  $SR$  ที่ดีที่สุดเกิดที่เงื่อนไขการทดลองอุณหภูมิ 70°C ที่การอบแห้งของถาดที่ 1 คือ -0.00000009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-14 การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง Logarithmic ที่อุณหภูมิ 50°C



รูปที่ 4-15 การเปรียบเทียบผลของการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นโดยใช้แบบจำลอง Logarithmic ที่อุณหภูมิ 70°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วในก่อนหน้า สรุปได้ว่า การจัดวางรูปแบบของถาดอบ เวลาและอุณหภูมิ มีอิทธิพลต่อการลดลงของความชื้นในการอบแห้ง ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าถาดแบบที่ 5 สามารถลดความชื้นได้มากที่สุด ประมาณ 41 % และถาดแบบที่ 7 สามารถลดความชื้นได้ใกล้เคียงกันมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับถาดแบบมาตรฐาน (แบบที่ 1) โดยใช้เวลาในการทดลองเท่ากัน

การเลือกใช้อุณหภูมิในการอบที่ได้ทำการทดลองมา คือ 50°C และ 70°C นั้นใช้ระยะเวลาในการที่จะทำให้การลดลงของความชื้นให้เหลือประมาณ 55 -70 % (มีทนา, 2545) นั้นไม่เท่ากัน ที่อุณหภูมิสูงกว่าจะใช้ระยะเวลาน้อยกว่า หากนำไปใช้ในการรมควันแล้ว หากเลือกใช้อุณหภูมิค่าใดควรจะคำนึงถึงระยะเวลาในการที่จะทำให้เหลือความชื้นสุดท้ายตามที่ต้องการด้วย

ผลของการติดตั้งแผงรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ปรากฏว่า สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานจากไฟฟ้าได้ ถึง 32.55 เปอร์เซ็นต์ ที่เงื่อนไขสูงสุด

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายอัตราส่วนความชื้นของหอยแมลงภูที่ได้มาจากเทคนิคสมการถดถอย พบว่า แบบจำลอง Logarithmic (2002) สามารถทำนายความชื้นได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุดทุกเงื่อนไขของการทดลอง

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำเครื่องรมควันไปทดลองกับผลิตภัณฑ์อย่างอื่น เช่น ปลาหมึก ปลาและกุ้ง เป็นต้น
2. ปรับเปลี่ยนวิธีการติดตั้งห้องสร้างควันเป็นแบบแยกออกจากเครื่องเนื่องด้วยที่ผ่านมาประสบปัญหาเรื่องของเขม่าที่เกิดขึ้นและน้ำที่มาจากหอยแมลงภูหยดลงมา
3. หาแนวทางในการที่จะควบคุมปริมาณของความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งทางเข้าให้คงที่เนื่องจากส่งผลกระทบต่อความชื้นและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

## บรรณานุกรม

- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. องค์ประกอบการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของอาหาร. ฟอรัมแมต  
พรีนติ้ง, กรุงเทพฯ. 261 หน้า.
- ถาวร ศรีชมภู, ทิววรรณ ม่วงสำเภา, อาทิตย์ ไชยอำนาจ และ กันยรัตน์ โทละสุด. 2550. การเพิ่มเวลาการ -  
เก็บกักความร้อนในเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการเปลี่ยนเฟสของวัสดุที่เหมาะสม.  
ผลงานวิจัยโครงการทุน IRPUS ด้านพลังงาน
- ประสิทธิ์ สายสิทธิ์. 2527. กรรมวิธีอุตสาหกรรมประมง. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นันทิภา พันธุ์สวัสดิ์. 2542 . การพัฒนาหอยแมลงภู่รมควันวิทยานิพนธ์ปริญญาโท.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พงศ์ธร พิทักษ์โกศลพงศ์. 2535. การพัฒนาผลิตภัณฑ์กึ่งอุตสาหกรรมควัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาลิก. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมอาหาร คณะ  
ทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา. 302 หน้า.
- ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรง. 2534. การปรับปรุงคุณภาพและกรรมวิธีการผลิตปลาเนื้ออ่อนรมควันโดยใช้  
ซานอ้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- มารีนา มะหนิ, สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, จอมภพ แวศักดิ์, ภรพนา บัวเพชร และ จตุพร แก้วอ่อน. 2549. การ  
อบแห้งส้มแขกโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า.  
มหาวิทยาลัยทักษิณ
- มัทนา แสงจินดาวงษ์. 2545. ผลิตภัณฑ์ประมงของไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 323 น.
- วรรณ ตังเจริญชัย. 2534. ควันสำหรับรมอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการ  
เกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 147 หน้า.
- วิไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
พระนครเหนือ. สำนักพิมพ์ เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด. 500 น.
- สมชาติ โสภณธฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ :  
หนังสือในโครงการส่งเสริมการสร้างตำรา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ธราวัฒน์ แก่นแสง, นฤพล ทิงลำพอง และสุพล สมอ่อน ปี พ.ศ. 2550. วิทยานิพนธ์การศึกษาแผ่น -  
รับพลังงานแสงอาทิตย์แบบสะสมความร้อน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร, ชุมพร
- Borgstorm , G. 1969. Principle of Food Science. The Macmillan Company, London. 397 p.
- Brooker, D.B. Bakker-Arkema, F.D. and Hall, C.W. 1981. Drying Cereal Grains. The AVI publish  
Company, Inc, Westport, Connecticut

- Celma, A.R., S. Rojas., F. Lopez., I. Montero. and T. Miranda. 2007. Thin-layer drying behaviour of sludge of olive oil extraction. *Journal of Food Engineering.*, 80 (2007): 1261–1271
- Ceylan, I., M. Aktas., H. Dogan. (2007). Mathematical modeling of drying characteristics of tropical fruits. *Applied Thermal Engineering.*, 27(2007): 1931–1936
- Daun, H. 1979. Interaction of wood smoke components and foods. *Food Tech.* (5) : 86-90.
- Davidson, J. F. Clift, R. and Harrison, D. 1985. *Fluidization*. 2nd ed. London : Academic Press
- Erlanson, K. 1980. *Home Smoking and Curing*. 2nd ed., Barrie & Jenkins, London. 119 p.
- Ertekin, C. and O. Yaldiz. 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering.* 63 : 349-359.
- FAO/WHO Codex Alimentarius Commission. 1983. *Recommended International Code of Practice for Smoked Fish*. Food and Agricultural Organization of the United State Nation and World Health Organization, Rome. 35 p.
- Hall, G.M. 1992. *Fish Processing Technology*. VCH Publishing, Inc., New York. 324 p.
- Henderson, S. M., & Pabis, S. 1961. Grain drying theory. II. Temperature effects on drying coefficients. *Journal of Agricultural Engineering Research.* 6: 169–174.
- Henderson, S. M. (1974). Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of ASAC*, 17, 1167–1172.
- Jain, D., R.K. Jain. 2004. Performance evaluation of an inclined multi-pass solar air heater with in-built thermal storage on deep-bed drying application. *Journal of Food Engineering.*, 65(2004): 497–509.
- Jain, D. 2005. Modeling the system performance of multi-tray crop drying using and inclined multi-pass solar air heater with in-built thermal storage. *Journal of Food Engineering.*, 71 (2005): 44–54.
- Karathanos., V.T. 1999. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering* 39 (1999): 337-344
- Kenisarin, M., K. Mahkamov. 2007. Solar energy using phase change materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 11(2007): 1913-1965.
- Luck, E. and M. Jager. 1997. *Antimicrobial Food Additives : Characteristics, Uses, Effects*. Sprinklers, Berlin. 260 p.
- Nettelton, J.A. 1985. *Seafood Nutrition : Facts, Issues and Marketing of Nutrition in Fish and Shellfish.*, London. 280 p.
- Pigott, G.M. and B.W. Tucker. 1990. *Seafood : Effect of technology on Nutrition*. Marcel Dekker, Inc., New York. 362 p.
- Ramachandran, A. and T. Motohiro. 1995. *Smoked salmon processing in Japan – a new approach*. INFOFISH. Int. 4(7) : 42-47.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Roessink, G.L. 1988. Drying and smoking an equipment review. *INFOFISH Int.* 6(11) : 42-46.
- Ramadan, M.R.I., A.A. El-Sebaii, S. Aboul-Enein and E. El-Bialy. 2007. Thermal performance of a packed bed double-pass solar air heater. *Energy.* 32 (2007): 1524–1535
- Shahidi, F. and J.R. Botta. 1994. *Seafood : Chemistry, Processing, Technology and Quality.* Backies Academic & professional, London. 342 p.
- Sikorski, Z.E., B. SunPan and F. Shahidi. 1994. *Seafood Protein.* Chapman and Hall, New York. 234 p.
- Shanmugam , V. and E. Natarajan .2006. Experimental study of regenerative desiccant integrated solar dryer with and without reflective mirror. *Applied Thermal Engineering.* 27 (2007): 1543-1551.
- Togrul, I. T., & Pehlivan, D. 2002. Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering,* 55: 209–216.
- Togrul, I.T. and Pehlivan, D. 2003. Modeling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering* 58 : 23-32.
- Wang, C. Y., & Singh, R. P. 1978. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers.* 11: 668–672.
- <http://ipc9.dip.go.th/Research/>. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. วัตุดิบหอยแมลงภู

หอยแมลงภูเป็นหอยที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมากชนิดหนึ่งเป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เป็นสัตว์ที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว รสดี ราคาถูก ตลาดมีความต้องการสูงสามารถนำมาปรุงอาหารรับประทานได้อย่างหลากหลายอีกทั้งยังสามารถแปรรูปเป็นอาหารกึ่งสำเร็จรูปได้อีกด้วย

หอยแมลงภูเป็นสัตว์น้ำกร่อยอาศัยอยู่ในทะเลหรือปากแม่น้ำที่มีความลึก 2- 8 เมตร นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศและต่างประเทศ แต่เดิมหอยแมลงภูในประเทศไทยจัดอยู่ใน Genus *Mytilus* Species *smaragdinus* chemnity แต่ปัจจุบันหอยแมลงภูที่นิยมเลี้ยงส่วนใหญ่ในประเทศไทย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Perna viridis* Linneaus มีชื่อสามัญเรียกว่า green mussel

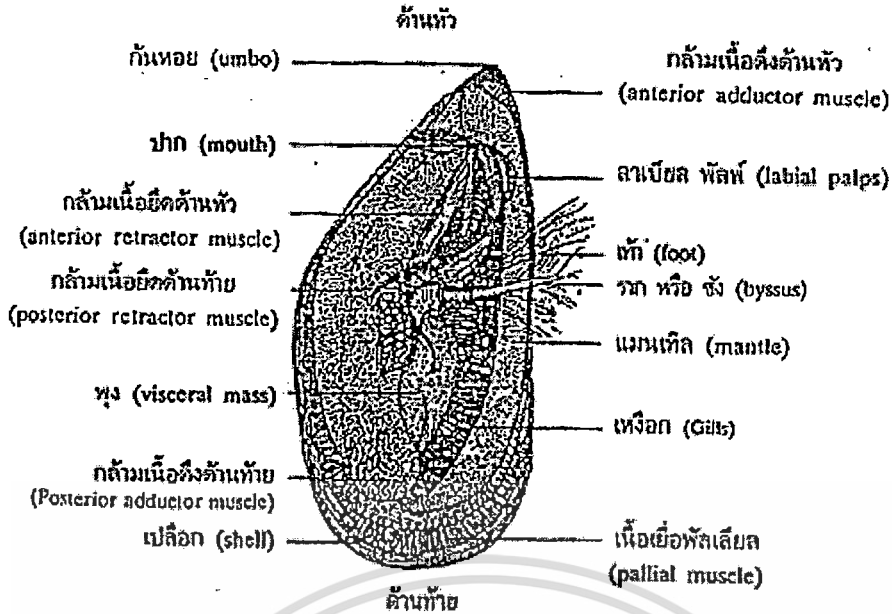
ลักษณะโดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนเปลือกหอยและส่วนลำตัวส่วนอ่อนหรือเนื้อหอย

### 1. ส่วนเปลือกหอย

หอยแมลงภูมีเปลือกแข็งหุ้มลำตัวอยู่ภายนอกหรือเปลือก หรือฝาหอย ลักษณะรีคล้ายรูปไข่ มีลักษณะเหมือนกันและขนาดเท่ากันทั้งสองฝา ฝาด้านนอกสีเขียว ด้านในมีสีม่วง ส่วนประกอบของเปลือกหอยแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ชั้นนอกสุดมีสีเขียวเข้ม มีวงรอยแสดงการเจริญเติบโตของหอยในแต่ละปีสามารถลอกออกเป็นแผ่นได้ ส่วนชั้นกลางเป็นสีขาวประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ชั้นในหรือส่วนผิวของฝาด้านในมีสีขาวเคลือบมันวาวเหมือนมุก ฝาทั้งสองยึดติดด้วยเส้นเอ็น ภายในจะเป็นลำตัวอ่อนหรือเนื้อหอย มีกล้ามเนื้อติดอยู่ที่ฝาทั้งสองข้าง ประกอบด้วย กล้ามเนื้อรั้งหัวด้านท้าย กล้ามเนื้อยึดด้านหัว กล้ามเนื้อยึดด้านท้าย

### 2. ลำตัวส่วนอ่อนหรือเนื้อหอย

เป็นส่วนเนื้อหอยที่อ่อนนุ่ม อยู่ในฝาสองข้างประกอบด้วย เยื่อหุ้มลำตัวซึ่งติดอยู่กับฝาทั้งสองข้าง ส่วนพุง ส่วนของเท้าซึ่งมีขนาดเล็กและมีรากหรือขัง (byssus) ติดอยู่กับส่วนเท้า ทำหน้าที่ยึดเกาะกับวัสดุใต้น้ำ มีเหงือกขนาดใหญ่เท่ากับลำตัว บนเยื่อหุ้มลำตัวจะเป็นส่วนของอวัยวะเพศ และถัดจากส่วนที่ติดกับเท้าก็จะเป็นส่วนของอวัยวะเพศเช่นกัน



รูปที่ ก-1 ลักษณะภายในของหอยแมลงภู'

## 2. คุณค่าทางโภชนาการของหอยแมลงภู'

คุณค่าทางโภชนาการของหอยแมลงภู'แตกต่างกันไปตามฤดูกาล ความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร ปัจจัยจากสภาพแวดล้อมและองค์ประกอบที่ใช้ในการแปรรูป โดยเฉลี่ยหอยแมลงภู'และผลิตภัณฑ์หอยแมลงภู'มีคุณค่าทางโภชนาการดังนี้

หอยแมลงภู'สด	มีลิกกรัมต่อ 100 กรัม
โปรตีน	8.7 - 13.1 %
ไขมัน	0.8 - 1.4 %
ความชื้น	82.4 - 87.6 %
เถ้า	1.1 - 1.6 %
โซเดียม	61 - 121
โปแตสเซียม	220 - 434
ฟอสฟอรัส	130 - 160

ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติของหอยแมลงภู'สด

## 3. ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากหอยแมลงภู' (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม)

การแปรรูปหอยแมลงภู'ตามลักษณะการแปรรูปพื้นฐาน สามารถแบ่งได้ดังนี้

3.1 แกะสด เป็นการจำหน่ายเฉพาะเนื้อหอย โดยแช่เนื้อหอยไว้ในน้ำเย็นพอท่วมเนื้อหอยเพื่อรักษาความสด สามารถเก็บไว้ได้ประมาณ 30 ชั่วโมง โดยปริมาณของเนื้อหอยที่แกะได้จำนวน 1 กิโลกรัม จะใช้หอยสดทั้งเปลือกประมาณ 3.37 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 หอยต้มแกะเนื้อ ทำโดยนำหอยสดทั้งเปลือกไปต้ม แยกเนื้อออกจากเปลือกแล้วนำไปลวกในน้ำที่เติมเกลือเล็กน้อยนาน 1-2 นาที นำเนื้อหอยไปลวกอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นนำขึ้นผึ่งลมให้แห้งพอหมาด ๆ โดยผึ่งบนตาข่ายประมาณ 5 นาที ใส่ถุงพลาสติกแช่ในน้ำแข็งเพื่อรอส่งห้องเย็นต่อไป

3.3 หอยต้มตากแห้ง วิธีการเหมือนหอยต้มแกะเนื้อ แต่แตกต่างกันตรงระยะเวลาในการตาก ซึ่งหอยต้มตากแห้งใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง เก็บได้นาน 2-7 วัน

3.4 หอยดองปรุงรส นำหอยมาแกะเปลือกแยกเนื้อ นำไปใส่ในไหหรือโถง ใส่เกลือเล็กน้อย ปิดฝาเก็บไว้ 7-21 วัน

3.5 เกสรหอย คือ ส่วนของเท้าหอยที่ยื่นออกมามีขนาดเล็ก อยู่ติดกับส่วนที่เป็นขน เอาส่วนที่เป็นขนออกแล้วนำไปตากแห้งประมาณ 6 ชั่วโมง

3.6 เนื้อหอยแมลงภู่ม้วนแช่แข็ง ห้องเย็นจะซื้อหอยทั้งเปลือกและหอยต้มเพื่อทำการแช่แข็ง โดยนำหอยไปต้มแล้วคัดขนาด ต่อจากนั้นนำไปแช่แข็ง เก็บได้นานประมาณ 2 ปี

3.7 หอยผ่าตากแห้งหรือหอยผิเล็ก ทำโดยนำหอยมาผ่าแกะเนื้อ เวลาตากจะแผ่หอยเป็นรูปผิเล็กวางบนผ้าขาวบางก่อน แล้วจึงวางบนตะแกรงนำไปตากแห้ง

### 3.8 อุตสาหกรรมหอยแห้ง (Dried Mussels)

หอยแห้งนับเป็นผลิตภัณฑ์ทางประมงอีกชนิดซึ่งเป็นสินค้าที่ทำรายได้ให้แก่ประเทศมากปริมาณหอยสดที่นำมาทำเป็นหอยแห้งมีอัตราเพิ่มเฉลี่ยปีละ 25.20 เปอร์เซ็นต์ การผลิตหอยแห้งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

3.8.1 ประเภทอุตสาหกรรมในครัวเรือน ได้แก่ ชาวบ้านที่มีถิ่นอาศัยแถบชายฝั่งทะเล การผลิตส่วนใหญ่จะใช้แรงงานในครัวเรือน คือ สมาชิกตั้งแต่ 3-5 คน

3.8.2 โรงงานขนาดเล็ก ซึ่งประกอบด้วยโรงงานต่างๆ ใช้ทุนไม่เกิน 150,000 บาท ใช้แรงงาน 8-10 คน เครื่องมือเครื่องใช้จะมีขนาดใหญ่กว่าครัวเรือน ใช้ทุนหมุนเวียนประมาณ 150,000-300,000 บาท

หอยแห้งที่ผลิต ได้แก่ หอยแมลงภู่ม้วน ซึ่งเป็นที่นิยมในตลาดต่างประเทศและตลาดภายในประเทศ สำหรับอัตราส่วนของหอยสดที่ใช้เป็นวัตถุดิบกับแห้งแตกต่างกันตามขนาดของหอย โดยเฉลี่ยหอยสด 2.5-4.5 กิโลกรัม จะได้หอยแห้ง 1 กิโลกรัม วัตถุดิบคือหอยแมลงภู่ม้วน จะซื้อโดยตรงจากชาวประมงหรือซื้อจากตลาดค้าหอยแมลงภู่ม้วนที่ตลาดปากน้ำ จังหวัดสมุทรปราการ โดยมีผู้ค้าส่งรายใหญ่ 2-3 ราย ซึ่งทำหน้าที่เป็นผู้รวบรวมด้วย มีขอบข่ายงานกว้างขวางรับซื้อหอยทั้งภาคตะวันออกและภาคใต้ และกระจายออกไปยังผู้บริโภคต่างๆ หอยแมลงภู่ม้วนที่ผลิตได้ในจังหวัดสมุทรปราการมักจะเป็นผลพลอยได้จากการทำโปิ๊ะ ซึ่งมีปริมาณไม่มากนัก แต่จะมีการขนส่งหอยแมลงภู่ม้วนจากแหล่งผลิตในจังหวัดอื่น เช่น ฉะเชิงเทรา เพชรบุรี สมุทรสาคร สมุทรสงคราม ฯลฯ มาสู่จังหวัดนี้ ลักษณะการค้าจะมีผู้รวบรวมออกไปรับซื้อหอยจากแหล่งผลิต โดยมีการติดต่อตกลงล่วงหน้ากับชาวประมงเกี่ยวกับจำนวนที่ต้องการ และวันที่ต้องการให้ส่งหอย เมื่อมีการส่งมอบก็จะตกลงราคาและจ่ายเงิน ซึ่งอาจจ่ายทันที หรือจ่ายบางส่วนเป็นงวดๆ ไป ปกติผู้รวบรวมจะไปรับหอยตามท่าขึ้นหอย ซึ่งส่วนมากเป็นท่าที่คลองด่าน เมื่อรวบรวมได้แล้วจะนำไปจำหน่ายให้ผู้ขายส่งรายใหญ่ที่ตลาดปากน้ำ สมุทรปราการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แบบที่ 1		
	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.000000	345.0000000	345.000000
10	335.596794	337.4731183	338.7639435
20	329.825799	332.7035373	335.266652
30	324.012744	327.6084 405	330.8034678
40	318.2519329	322.7406472	326.5119081
50	312.1714153	317.5465205	321.8472906
60	305.9050445	312.1978752	316.8304744
70	300.1214565	306.6172333	312.0242238
80	293.8893366	300.6651431	307.1038358
90	287.3666027	295.0299940	301.7369452
100	281.1193051	290.8019583	296.1609446
110	276.5269276	282.8641301	290.9484441
120	269.2788110	277.0033599	285.9289748
130	264.0918410	271.7648333	280.7469408
140	258.2935026	266.4870132	275.8715751
150	253.0122872	261.3284048	270.9254961
160	248.1883488	257.2418325	265.7028448
170	243.3870968	250.0175484	261.0637646
180	238.2460372	245.9289980	255.8150717
190	234.2888499	240.5079922	251.5077881
200	229.3355738	235.6928068	247.8326378
210	224.2494481	231.3704337	243.0341995
220	219.5208568	226.5083209	239.6119878
230	214.2485193	221.2529833	233.5835095
240	209.9731678	217.4169322	230.1618447

ตารางที่ ข-1 ผลการทดลองแบบที่ 1 ที่อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 2			
เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000	345.0000	345.0000
10	340.7899	342.0187	342.1070
20	331.0312	336.925	337.7940
30	323.3702	331.2904	332.8672
40	315.6952	325.8152	328.0706
50	305.7889	318.0911	321.5813
60	297.7137	312.1037	316.5616
70	289.7205	305.6401	310.1140
80	282.0893	299.0785	303.9762
90	273.5224	291.0789	296.8409
100	266.4126	283.7487	289.8048
110	259.9291	277.0175	283.5795
120	248.5428	266.1997	272.7940
130	242.0779	259.7919	267.4274
140	236.4857	254.4028	261.9839
150	230.7602	248.5492	257.0301
160	223.8018	242.2082	250.9759
170	219.4022	237.4306	245.9950
180	213.8752	232.0679	241.0155
190	209.1139	226.9767	230.8749
200	204.1812	221.5113	230.7219
210	199.6313	216.3850	226.0299
220	194.4258	211.5370	221.0024
230	190.7627	207.0558	216.4721
240	185.2597	199.2796	212.7120

ตารางที่ ข-2 ผลการทดลองแบบที่ 2 ที่อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 3			
เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000	345.0000	345.0000
10	341.1075	340.2532	344.7929
20	336.9931	337.4577	342.2286
30	332.7246	334.3132	339.5185
40	328.2299	331.1502	336.9581
50	323.7805	327.4497	334.3887
60	319.8566	324.3582	331.8821
70	315.7537	321.4898	329.1900
80	314.2640	317.8867	326.3268
90	306.8085	314.2867	323.6211
100	302.4246	310.8588	321.1303
110	297.6740	307.3916	318.0024
120	293.0782	303.4438	315.1074
130	286.2698	297.8979	311.0086
140	281.7525	294.5788	308.1137
150	277.0316	290.9168	304.6852
160	272.8830	287.6725	301.8497
170	268.0506	284.1852	298.7620
180	264.1627	280.8952	295.8909
190	260.0432	276.9516	292.5222
200	256.3148	273.6155	289.4992
210	252.7046	269.9759	285.6501
220	248.7035	266.4233	282.3278
230	244.2371	262.1401	278.7858
240	240.0400	258.5024	275.6807

ตารางที่ ข-3 ผลการทดลองแบบที่ 4 ที่อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 4			
เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000	345.0000	345.0000
10	340.5432	341.8576	343.1393
20	335.4210	338.2954	340.2605
30	330.5486	334.5638	337.0747
40	320.4515	330.9554	334.5272
50	319.5688	326.8223	331.3916
60	313.9956	322.6808	328.2594
70	308.4471	318.4337	325.0648
80	302.1599	313.9355	321.5965
90	296.1277	309.3823	318.3135
100	290.0693	304.6557	314.7804
110	283.4709	299.5701	311.0355
120	277.3367	294.4883	307.1577
130	271.0063	289.0992	302.8772
140	264.9226	283.9002	299.0679
150	258.1714	277.7713	294.7295
160	252.5072	272.4771	290.6433
170	246.5611	267.1168	286.1438
180	241.0224	261.8442	281.8324
190	236.4277	256.7883	278.0272
200	226.8023	248.9664	276.6546
210	217.4428	240.6194	264.5109
220	207.9489	231.9621	256.8945
230	200.7998	224.6791	250.4096
240	193.7648	217.3997	243.7995

ตารางที่ ข-4 ผลการทดลองแบบที่ 4 ที่อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 5			
เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000	345.0000	345.0000
10	338.6962	338.6736	340.1782
20	331.6684	331.4282	334.7950
30	323.6604	323.8099	328.9683
40	315.6311	315.9539	322.8129
50	307.9292	308.0856	316.5451
60	298.8475	299.3725	308.8468
70	289.4427	290.0293	300.8281
80	279.9744	281.1506	292.4718
90	271.6748	272.7298	284.7393
100	262.9888	264.1027	276.7867
110	254.7352	256.1426	268.9230
120	245.9224	248.5621	261.3059
130	235.7439	239.6401	252.7046
140	225.8459	230.4461	243.7388
150	215.9312	214.0087	235.4808
160	206.403	213.4381	227.6402
170	196.7892	203.8037	220.4659
180	186.7578	194.2268	208.5095
190	179.2075	187.2680	201.3452
200	171.5144	180.7643	195.2601
210	163.9037	173.9361	187.3344
220	157.2164	167.8765	179.9238
230	151.2711	162.0479	174.1808
240	145.8824	156.5107	162.2479

ตารางที่ ข-5 ผลการทดลองแบบที่ 5 ที่อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 6			
เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000	345.0000	345.0000
10	337.1213	339.8365	340.9165
20	329.2101	334.2560	335.6028
30	321.3295	327.9337	330.4984
40	313.6083	321.0587	324.9640
50	305.6531	314.1442	319.5111
60	298.1751	307.1324	313.9298
70	290.4405	300.5296	308.2821
80	282.4953	293.3700	302.5938
90	274.3370	285.9374	296.6137
100	265.7618	277.7852	290.1293
110	258.3342	270.7435	284.1421
120	251.2454	263.9663	278.3657
130	244.1901	257.2947	272.8583
140	237.6458	250.2896	267.4169
150	231.4009	244.7330	261.9951
160	223.7692	237.8177	256.6051
170	215.6334	229.6375	249.9605
180	208.0612	222.4481	243.8804
190	202.0949	216.8631	238.5519
200	196.6556	211.3460	233.4568
210	191.0747	205.8228	228.4951
220	185.9103	200.9587	223.7611
230	180.6479	196.2128	219.0964
240	176.0382	186.2343	214.2485

ตารางที่ ข-6 ผลการทดลองแบบที่ 6 ที่อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 7			
เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000	345.0000	345.0000
10	341.0895	341.3158	340.3920
20	336.6224	337.7652	335.3449
30	334.0389	336.0102	333.1411
40	328.7682	331.3507	327.1450.
50	326.4182	329.1744	319.2771
60	321.8827	324.7643	315.5641
70	317.4517	320.7301	313.8008
80	313.5594	317.1854	308.8252
90	309.4313	312.7977	303.8733
100	305.6369	308.9024	299.5525
110	301.1875	304.8557	294.4467
120	297.3695	301.3906	289.8008
130	293.0128	297.5001	285.2343
140	288.3625	293.3086	280.3955
150	284.2628	289.4185	276.2426
160	280.1920	285.6671	271.8698
170	276.1999	281.8191	267.8521
180	272.3431	277.9807	263.8789
190	268.4983	270.3987	259.7805
200	264.8685	266.8422	255.7017
210	260.2596	262.8119	251.9187
220	255.8866	259.5114	247.5601
230	252.1174	256.0712	244.1497
240	248.3818	252.5010	240.5498

ตารางที่ ข-7 ผลการทดลองแบบที่ 7 ที่อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แบบที่ 8

เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000	345.0000	345.0000
10	339.2377	344.1359	340.4175
20	333.3762	340.9850	337.8533
30	327.4981	337.5251	334.5251
40	321.9079	334.2785	331.3357
50	316.8469	331.7176	328.3751
60	311.1581	327.9108	325.1175
70	305.5105	324.1443	321.7309
80	300.1599	320.4308	318.5831
90	293.6645	316.9481	315.2478
100	287.3335	312.9112	311.4173
110	280.8233	308.4533	307.6845
120	274.4631	304.3530	303.5173
130	268.1236	299.7954	299.5208
140	262.0062	295.5343	295.3853
150	256.4867	291.0828	288.7012
160	250.8252	286.3370	287.5775
170	244.4384	281.6058	283.6359
180	238.7436	277.0457	279.8290
190	233.3598	272.6753	275.9288
200	228.3153	268.4567	272.1043
210	222.646	263.7640	267.1326
220	217.0625	258.5778	261.8442
230	209.9271	253.9355	256.4334
240	205.6224	249.3755	252.0926

ตารางที่ ข-8 ผลการทดลองแบบที่ 8 ที่อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 9			
เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000	345.0000	345.0000
10	339.9598	339.6648	341.9338
20	334.4682	334.1967	338.3712
30	328.6285	328.2117	334.1578
40	322.9322	322.2228	329.7129
50	316.1672	316.2971	325.1438
60	310.0897	310.6937	320.3842
70	303.4705	304.6196	315.0567
80	297.0637	299.4149	310.2896
90	288.3257	293.9350	304.6590
100	280.7559	288.5096	296.0316
110	273.7573	283.4404	294.7483
120	266.8051	278.7858	290.2132
130	259.5171	273.6204	284.7907
140	252.4331	268.5554	279.8154
150	243.7590	262.1958	272.8385
160	236.4494	257.0006	267.2064
170	229.5215	252.2537	261.8386
180	222.9833	246.9802	256.5400
190	215.7036	241.5964	251.0136
200	209.9824	237.3947	245.9818
210	204.4033	233.0158	241.0086
220	197.9848	227.9861	236.0354
230	192.6765	224.1763	231.2106
240	187.5114	221.2029	227.4747

ตารางที่ ข-9 ผลการทดลองแบบที่ 9 ที่อุณหภูมิ 50°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 1			
เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.000000	345.00000	345.0000000
10	333.917688	336.26231	336.9619706
20	323.7413351	328.09315	329.1318579
30	314.6558916	319.99621	322.0340616
40	306.5437868	311.97148	315.4858938
50	298.5442296	304.01897	308.9949225
60	290.0413223	296.13868	302.5227964
70	281.6635814	288.33060	295.8093592
80	273.3900123	280.59474	288.5503637
90	264.9927997	272.93110	281.2713529
100	257.1360135	265.33966	274.1425805
110	250.0492251	257.82047	267.1748022
120	243.3735466	250.58640	260.6398832
130	237.0637671	242.99670	254.2816275
140	231.1115072	235.69615	248.0656120
150	224.9941332	228.46581	241.6239577
160	219.0198109	225.30768	235.3930131
170	213.7861272	222.22178	229.6992967
180	209.0117994	215.20809	224.2332033

ตารางที่ ข-10 ผลการทดลองแบบที่ 1 ที่อุณหภูมิ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แบบที่ 2		
	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000000	345.0000000	345.0000000
10	339.1593607	340.6086019	341.4374482
20	330.9216946	335.4269696	337.0785668
30	321.6124386	330.1674641	330.5878220
40	312.6476684	324.7185414	326.2389515
50	301.3257621	315.2823618	319.3232950
60	290.5980344	308.2476943	315.6844484
70	285.6414029	302.6842251	308.7614141
80	278.0333178	296.0864651	299.1657450
90	268.1091145	287.6682809	294.3624376
100	260.8715751	277.4879002	286.7821842
110	254.6227879	273.5740281	280.7052281
120	244.1957833	261.7841561	268.0697919
130	237.9521713	255.7135600	263.0456836
140	232.2464338	248.9996280	257.1625380
150	227.0916469	242.1780108	253.0931210
160	218.7534361	236.5731302	246.7078355
170	214.7448936	233.9183673	239.1746393
180	205.0908958	229.2444413	233.9224567

ตารางที่ ข-11 ผลการทดลองแบบที่ 2 ที่อุณหภูมิ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 3			
เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000000	345.0000000	345.0000000
10	339.7959111	339.5129281	342.4500239
20	333.6855524	337.0135710	341.4990169
30	328.5519332	332.3293252	337.7068535
40	325.6195784	329.9104454	334.4843625
50	321.8648649	325.7572883	331.5946139
60	316.7370398	322.0678215	327.7764225
70	312.5213946	318.5790977	325.6954902
80	310.2713635	313.0641068	321.0798661
90	302.9131434	310.0141912	317.6522041
100	269.7915537	305.1915064	316.9623867
110	294.2382748	303.4250000	312.6552563
120	291.77573100	299.2369535	310.1706675
130	282.8035874	292.9628397	309.0023472
140	276.9322495	290.8621323	305.9549106
150	274.2340426	285.3663076	301.1361365
160	269.9923664	280.4318456	297.0806536
170	264.9807985	275.2890367	294.2666421
180	257.4253204	274.8618120	291.9328403

ตารางที่ ข-12 ผลการทดลองแบบที่ 3 ที่อุณหภูมิ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 4			
เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000000	345.00000	345.0000000
10	338.1205244	342.00704	341.1740124
20	331.7839082	336.76328	337.2297661
30	325.9594667	331.52394	337.3979125
40	319.3639676	326.28901	329.0579710
50	313.1724305	321.05850	324.4793508
60	307.4610306	315.83241	319.9583194
70	298.5299287	308.61074	314.3977058
80	291.9895188	302.39348	308.4594816
90	284.2024441	297.18064	301.9555370
100	277.9807371	291.97222	297.4057857
110	271.9097623	286.76822	292.0480269
120	265.7135600	281.56864	286.1732006
130	257.3886057	276.37347	280.3819140
140	252.3774439	270.18272	274.6906046
150	246.5676158	265.99639	269.2273326
160	240.9530692	256.61447	264.1845222
170	234.2888499	254.63698	258.7802607
180	229.3820750	248.463900	253.9111118

ตารางที่ ข-13 ผลการทดลองแบบที่ 4 ที่อุณหภูมิ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แบบที่ 5

เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000000	345.0000000	345.0000000
10	338.2265315	338.5158246	339.7160915
20	331.2116849	330.8140243	332.0441832
30	322.3660798	323.1926659	326.5623047
40	313.5377806	315.3690906	320.2152390
50	305.4557686	307.7763426	313.5747948
60	294.7518933	298.4272667	305.4044001
70	285.3903754	289.6912952	297.7776457
80	275.2412186	278.6521868	289.1530193
90	267.0192356	270.8712971	282.6161097
100	258.6435248	260.3682538	273.1714861
110	251.1370392	251.2804934	265.6431203
120	243.2515739	245.6062307	258.7798455
130	229.5518067	235.6620956	252.8367261
140	220.5590421	224.6594267	241.7852426
150	211.7500711	208.8575080	232.7168673
160	201.9819310	209.0976943	223.8392998
170	189.38519970	201.6087313	216.4452822
180	183.46492240	186.68017040	205.8492568

ตารางที่ ข-14 ผลการทดลองแบบที่ 5 ที่อุณหภูมิ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 6			
เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000000	345.0000000	345.0000000
10	336.6743084	339.6325301	340.0492686
20	325.5650407	333.2637475	335.1366959
30	320.2637303	326.8401976	329.9397323
40	311.6162466	319.1114325	322.8408666
50	300.3997875	310.0610841	317.0701123
60	296.0956864	305.5718488	309.3452427
70	283.6324390	297.7913561	304.6203723
80	280.2481739	291.9611650	298.1621426
90	269.1654514	281.3664981	294.7580388
100	261.8030453	274.2328168	289.4099687
110	250.2536626	268.0059465	278.8827459
120	248.8503713	258.5580730	272.8242266
130	241.1747566	253.8678834	266.6903297
140	235.0212569	248.7998060	261.7101202
150	227.7831358	239.1696998	256.2225686
160	219.5069554	234.2324154	252.1755099
170	210.7868989	225.5258761	250.3157627
180	203.9429207	217.7924226	245.0392324

ตารางที่ ข-15 ผลการทดลองแบบที่ 6 ที่อุณหภูมิ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 7			
เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000000	345.0000000	345.0000000
10	341.7669418	342.8311950	342.9662162
20	337.1531015	339.3596735	340.6031801
30	333.0695879	335.4139394	338.7690157
40	329.0011570	332.0069172	335.6500744
50	320.6238758	323.0377457	330.8039512
60	316.6376827	319.4610455	323.5271206
70	309.3248607	314.0045298	323.5263243
80	304.2390669	307.4916099	312.5583024
90	299.6475947	306.9524005	310.5008443
100	294.1814376	301.9887218	306.3995805
110	288.4104693	292.2297232	296.4369667
120	282.3211823	285.6929668	289.8516147
130	275.0841713	285.3929439	288.9793527
140	268.7932045	273.0386740	277.3740961
150	262.9763382	272.0375458	277.7676809
160	256.4909752	260.7007031	265.3467911
170	250.7383666	254.6069139	259.8221134
180	243.7319750	245.6812932	250.5009281

ตารางที่ ข-16 ผลการทดลองแบบที่ 7 ที่อุณหภูมิ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 8			
เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000000	345.0000000	345.0000000
10	343.1798171	345.1574585	337.2619394
20	339.5111041	340.6281089	328.9593506
30	334.9090127	335.4877586	320.9253888
40	331.1359892	330.0420369	312.3227877
50	326.4209374	324.6947647	305.1383300
60	321.8078830	318.8726530	296.5945665
70	316.7885850	313.2151422	289.3763468
80	312.3336569	307.3192555	281.7370306
90	307.4070472	301.3983873	274.3783751
100	302.2259550	295.6329114	267.4659196
110	297.3171001	290.2780608	261.4295382
120	292.4195676	284.9611704	255.2923618
130	287.8993155	279.8351271	249.4209194
140	283.4292969	274.7524563	243.8024169
150	278.7020547	269.6619466	238.5437164
160	274.2250021	264.1556712	232.4679916
170	269.8784181	258.4492904	227.2926046
180	264.8202247	252.9672524	221.1492633

ตารางที่ ข-17 ผลการทดลองแบบที่ 8 ที่อุณหภูมิ 70 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 9			
เวลา	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 1	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 2	ความชื้นคงเหลือชั้นที่ 3
0	345.0000000	345.0000000	345.0000000
10	340.5594655	343.5215026	344.6683350
20	333.3719889	336.1420173	339.7339562
30	325.8355041	328.3282392	334.7878072
40	317.9695302	319.6108753	329.3217688
50	311.5256846	313.0879343	324.4260454
60	305.5258741	306.6559799	319.7610087
70	298.6225928	299.6498345	314.5195274
80	292.6286518	293.9881623	309.7280414
90	285.0833868	286.2438416	303.3035258
100	281.0341993	281.7577881	299.0568989
110	276.7405683	277.1585605	295.2520101
120	272.1681109	271.8467148	291.5695315
130	267.7191922	265.5864276	286.6283276
140	262.6358716	258.5417449	282.0633936
150	259.3011433	255.1461474	279.0459487
160	254.9481628	250.0826820	274.5112204
170	251.3762038	245.5145522	271.0290683
180	246.7967166	239.8064836	266.3081302

ตารางที่ ข-18 ผลการทดลองแบบที่ 9 ที่อุณหภูมิ 70 °C

เวลา (h)	พลังงาน (kWh)	
	ไม่มีแสงอาทิตย์	มีแสงอาทิตย์
1	0.61	0.4
2	1.1	0.8
3	1.7	1.1

ตารางที่ ข-19 ผลการวัดอัตราการใช้พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้