



การกระจายอุณหภูมิภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์โดยการพาความร้อนแบบ  
บังคับในกรณีผนังตู้เป็นแบบทึบและโปร่งแสง  
TEMPERATURE DISTRIBUTION INSIDE SOLAR DRYING CABINET BY FORCED  
CONVECTION HEAT TRANSFER IN CASE OF OPAQUE AND TRANSLUCENT  
CABINET WALL.

ฉัตรมงคล พรพิทักษ์

CHATMONGKOL PORNPITAK

ทศพร ตูลยนิษกั

TOSSAPORN TULYANISKA

ทศพล บุญวิบูลวัฒน์

TOSSAPON BOONWIBONVAT

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายของอุณหภูมิภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์โดยการพาความร้อน  
แบบบังคับในกรณีผนังตู้เป็นแบบทึบและโปร่งแสง  
TEMPERATURE DISTRIBUTION INSIDE SOLAR DRYING CABINET BY FORCED  
CONVECTION HEAT TRANSFER IN CASE OF OPAQUE AND TRANSLUCENT  
CABINET WALL



ฉัตรมงคล พรพิทักษ์

CHATMONGKOL PORNPITAK

ทศพร ตูลยนิษกั

TOSSAPORN TULYANISKA

ทศพล บุญวิบูลวัฒน์

TOSSAPON BOONWIBONVAT

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEMPERATURE DISTRIBUTION INSIDE SOLAR DRYING CABINET BY FORCED  
CONVECTION HEAT TRANSFER IN CASE OF OPAQUE AND TRANSLUCENT  
CABINET WALL



CHATMONGKOL PORNPITAK  
TOSSAPORN TULYANISKA  
TOSSAPON BOONWIBONVAT

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

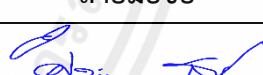



ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การกระจายของอุณหภูมิภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์โดยการพาความร้อนแบบบังคับในกรณีผนังตู้เป็นแบบทึบและโปร่งแสง

Project Title TEMPERATURE DISTRIBUTION INSIDE SOLAR DRYING CABINET BY FORCED CONVECTION HEAT TRANSFER IN CASE OF OPAQUE AND TRANSLUCENT CABINET WALL

ชื่อนักศึกษา นายฉัตรมงคล พรพิทักษ์ รหัสประจำตัว 61512003  
นายทศพร ตุลยนิษักร รหัสประจำตัว 61512007  
นายทศพล บุญวิบูลวัฒน์ รหัสประจำตัว 61512008

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.วรรัชชล วัฒนชะ  
ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศิระ สายศร		กรรมการสอบ	
อาจารย์อดิเรก สุริยะวงค์		กรรมการสอบ	
อาจารย์วัชร กาลาสี		กรรมการสอบ	
ผศ.วรรัชชล วัฒนชะ		อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 23 มิถุนายน 2564

สถานที่สอบ ณ ห้องสอบออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2564

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การกระจายของอุณหภูมิภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์โดยการพาความร้อนแบบบังคับในกรณีผนังตู้เป็นแบบทึบและโปร่งแสง		
ชื่อนักศึกษา	นายฉัตรมงคล พรพิทักษ์	รหัสประจำตัว	61512003
	นายทศพร ตุลยนิษฐ์	รหัสประจำตัว	61512007
	นายทศพล บุญวิบูลวัฒน์	รหัสประจำตัว	61512008
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.วราภชล วัฒนนะ		
ปริญญานิพนธ์			

### บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการพาความร้อนแบบบังคับและศึกษาการกระจายของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยที่กลไกการพาความร้อนที่ศึกษาประกอบด้วยพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้เครื่องเป่าลม ที่ความเร็ว 0.5, 0.7 และ 0.9 m/s ตามลำดับโดยแบ่งกรณีศึกษาเป็น 2 แบบ กรณีที่ 1 ใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นตู้ทึบมีฉนวนกันความร้อน (แผ่นเหล็ก) และในกรณีที่ 2 ใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นตู้ใส (แผ่นโพลีคาร์บอเนต) โดยตู้จะมีทั้งหมด 4 ชั้น และ ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิทั้งหมดภายในตู้จำนวน 10 ตำแหน่ง จากการศึกษพบว่า กรณีของตู้ทึบสามารถสร้างอุณหภูมิสูงสุดที่ 71 °C และสามารถสร้างอุณหภูมิให้คงที่ได้มากกว่าตู้ใสโดยตู้ใสสามารถสร้างอุณหภูมิสูงสุดได้ 67 °C และตู้ใสสามารถสร้างอุณหภูมิได้รวดเร็วกว่าตัวตู้ทึบ

**คำสำคัญ :** ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์, การพาความร้อนแบบบังคับ, การกระจายอุณหภูมิ

<b>Project</b>	TEMPERATURE DISTRIBUTION INSIDE SOLAR DRYING CABINET BY FORCED CONVECTION HEAT TRANSFER IN CASE OF OPAQUE AND TRANSLUCENT CABINET WALL	
<b>Student</b>	Mr. Chatmongkol Pornpitak	<b>Student ID</b> 61512003
	Mr. Tossaporn Tulyaniska	<b>Student ID</b> 61512007
	Mr. Tossapon boonwibonvat	<b>Student ID</b> 61512008
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering	
<b>Program</b>	Mechanical Engineering	
<b>Project Advisor</b>	Asst Prof. Wassachol Wattana	

## Abstract

This project aims to design and build a solar drying cabinet with forced convection and study the distribution of temperature inside the solar dryer. The convection mechanism studied consists of forced convection using a blower. The speed of air inlet to used study were 0.5,0.7 and 0.9 m/s, respectively. The case study was divided into 2 types of drying cabinet walls; one is opaque cabinet with insulation (Steel plate) and another is a translucent walls (Polycarbonate sheet). The cabinet will have a total of 4 layers and install thermocouples to measure the temperature in ten positions within the cabinet. The study was found that, opaque cabinet can produce a maximum temperature of 71 °C and provide more stable temperature than the translucent wall. The translucent cabinet was generated a maximum temperature of 67 °C and provided faster increasing of temperature than the opaque cabinet.

**Keywords :** solar cabinet opaque and translucent wall, forced convection heat transfer, temperature distribution

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจสำเร็จได้ด้วยดีหากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผศ.วรัชชล วัฒนะ ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือดูแล แนะนำด้านต่างๆเสมอมา ขอขอบคุณอาจารย์สาขาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาซึ่งเป็นประโยชน์ต่อโครงการนี้ ขอขอบคุณ คุณไชยรัตน์ เพชรศิริ ที่ช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ของสาขาวิศวกรรมเครื่องกล และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุตสาหกรรม จังหวัดชุมพร ที่ให้การสนับสนุนสถานที่สำหรับการดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญก็คือบิดามารดาที่สนับสนุนทุนทรัพย์ตลอดมาในการศึกษา ตลอดจนบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่คอยให้การสนับสนุนและให้กำลังใจเสมอมา

ฉัตรมงคล พรพิทักษ์

ทศพร ตุลยนิษัฏ

ทศพล บุญวิบูลวัฒน์

มิถุนายน 2564

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ลักษณะการทำงานของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	4
2.2 ชนิดของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	4
2.3 การจำแนกประเภทของเครื่องอบแห้ง	11
2.4 การเลือกชนิดของเครื่องอบแห้ง	14
2.5 การประเมินประสิทธิภาพของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	16
2.6 กลไกการถ่ายเทความร้อน	17
2.7 การทำแห้ง	23
2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง	24
2.9 อัตราเร็วของการทำแห้งอาหาร	25
2.10 วัตถุประสงค์ของการทำแห้งอาหาร	26
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	29
3.2 หลักการทำงานของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	30
3.3 วัสดุและอุปกรณ์	31
3.4 วิธีการทดสอบและเปรียบเทียบตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	32
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	
4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบของตู้ที่ความเร็วอากาศที่ 0.5, 0.7 และ 0.9 m/s	39
4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบของตู้ที่ความเร็วอากาศที่ 0.5, 0.7 และ 0.9 m/s	42
4.3 อิทธิพลของความเร็วอากาศที่ทางเข้า	44
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	51
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	55
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	61
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง	65
ประวัติผู้เขียน	70

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงานออกแบบและสร้างตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	3
2.1	เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีในระดับต่างๆ	10
2.2	การจำแนกประเภทของเครื่องอบแห้ง	11
ก.1	แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตู้(ทึบ)ที่ความเร็วอากาศ 0.5 m/s	56
ก.2	แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตู้(ทึบ)ที่ความเร็วอากาศ 0.7 m/s	57
ก.3	แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตู้(ทึบ)ที่ความเร็วอากาศ 0.9 m/s	58
ข.1	แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตู้(ใส)ที่ความเร็วอากาศ 0.5 m/s	60
ข.2	แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตู้(ใส)ที่ความเร็วอากาศ 0.7 m/s	61
ข.3	แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตู้(ใส)ที่ความเร็วอากาศ 0.9 m/s	62

## สารบัญญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังการดำเนินงานออกแบบและสร้างตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	2
2.1	กระบวนการหาความร้อน	
3.1	ลักษณะตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ (ก) ตู้ที่บิวส์คู่เป็นแผ่นเหล็ก (ข) ตู้ใสวัสดุเป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนต	29
3.2	ตำแหน่งการติดตั้ง Thermo couple ภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ (ก) ลักษณะภายในตู้ที่บ (ข) ลักษณะภายในตู้ใส	30
3.3	แผนผังการทำงานของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	30
3.4	ส่วนประกอบของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	31
3.5	Thermo couple type K	31
3.6	Temperature display	32
3.7	เครื่องเป่าลม (Bolwer)	32
3.8	เครื่องวัดความเข้มแสง	33
3.9	เครื่องวัดความเร็วอากาศ (DIGICON DA-43A)	33
3.10	อินเวอร์เตอร์ (Invertor)	34
3.11	แผ่นโพลีคาร์บอเนตแบบใส “GRADE A:BRAND “POLYTOP”	34
3.12	ฉนวนกันความร้อน PE ชนิดแผ่น	35
3.13	ตั้งตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ทางทิศตะวันออก	36
3.14	ตั้งตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ทางทิศตะวันตก	36
3.15	ตั้งค่าอินเวอร์เตอร์ควบคุมแรงลมเข้าตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	37
3.16	ทำการเก็บผลการทดลอง	37
3.17	ทำการเก็บค่าความเข้มแสง	38
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ,ความเข้มแสง และ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดลองที่ความเร็วอากาศ 0.5 m/s ในช่วงเวลา 8.00-16.00 นาฬิกาของตู้ที่บ	39

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.2	ตำแหน่งของ Thermo couple และทิศทางการไหลของอุณหภูมิภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	40
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ, ความเข้มแสง การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง และอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดลองที่ความเร็วอากาศ 0.7 m/s ในช่วงเวลา 8.00-16.00 นาฬิกา ของตู้ทึบเลือกช่วงเวลา 10.00-14.00 นาฬิกา	41
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ, ความเข้มแสง การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง และอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดลองที่ความเร็วอากาศ 0.9 m/s ในช่วงเวลา 8.00-16.00 นาฬิกาของตู้ทึบ	42
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ, ความเข้มแสง การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง และอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดลองที่ความเร็วอากาศ 0.5 m/s ในช่วงเวลา 8.00-16.00 นาฬิกาของตู้ใส(โพลีคาร์บอเนต)	43
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ, ความเข้มแสง และ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง และอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดลองที่ความเร็วอากาศ 0.7 m/s ในช่วงเวลา 8.00-16.00 นาฬิกา ของตู้ใส(โพลีคาร์บอเนต)	43
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ, ความเข้มแสง การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดลองที่ความเร็วอากาศ 0.9 m/s ในช่วงเวลา 8.00-16.00 นาฬิกา ของตู้ใส (โพลีคาร์บอเนต)	44
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ความเร็วอากาศ 0.5, 0.7 และ 0.9 m/s ของ (ตู้ทึบ)	45
4.9	จุดติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ตัวที่7 ภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ (ตู้ทึบ)	46
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ความเร็วอากาศ 0.5, 0.7 และ 0.9 m/s ของ (ตู้ใส)	47
4.11	จุดติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ตัวที่7 ภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ (ตู้ใส)	48
4.12	$T_{max} - T_{inlet}$ อุณหภูมิภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ (ตู้ทึบและตู้ใส)	49
ค.1	แผงรับแสงอาทิตย์ของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	64
ค.2	แผ่นกระจกของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	65

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค.3	แบบตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	66
ค.4	แบบพื้นตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	67
ค.5	แบบท่อลมของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	68
ค.6	ช่องอท่อลมของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	69



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยผลิตอาหารแห้ง จำพวกผัก ผลไม้ และสมุนไพรทั้งในระดับครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง ซึ่งการผลิตดังกล่าวเป็นกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ [1] อีกทั้งยังมีการผลิตอาหารทะเลแห้ง และสมุนไพรต่างๆ โดยบางส่วนได้ส่งออกต่างประเทศ อย่างไรก็ตามการผลิตผลิตภัณฑ์อบแห้งของประเทศไทยยังประสบปัญหาที่สำคัญ ได้แก่ เกษตรกร และผู้ประกอบการส่วนใหญ่ผลิตผลิตภัณฑ์อบแห้งโดยการตากแดดตามธรรมชาติ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีการปนเปื้อนจากการรบกวนของแมลง ฝุ่นละออง และความเสียหายจากการเปียกฝน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ไม่ได้มาตรฐานสำหรับการส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ

ถึงแม้จะมีเกษตรกรบางส่วนเริ่มนำเครื่องอบแห้งแบบใช้แก๊สหรือหม้อไอน้ำซึ่งใช้น้ำมันหรือแก๊สเป็นเชื้อเพลิงมาใช้งาน แต่ก็ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นเนื่องด้วยประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนทำให้มีปริมาณรังสีอาทิตย์เป็นจำนวนมาก จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อแก้ปัญหาการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร ดังนั้นนักวิจัยด้านพลังงานแสงอาทิตย์จึงได้ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์หลายแบบ เช่น เครื่องอบแห้งแบบถาด เครื่องอบแห้งแบบถัง เครื่องอบแห้งแบบสายพาน ซึ่งเครื่องส่วนใหญ่ที่พบจะไม่มีเครื่องควบคุมความเร็วอากาศคอยให้แรงลมเครื่องที่พบเจอส่วนใหญ่จะเป็นเพียงเครื่องธรรมดาที่ต้องอาศัยความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์และแรงลมจากธรรมชาติซึ่งเป็นสิ่งควบคุมไม่ได้ การเปลี่ยนผันของฤดูกาลทำให้ไม่สามารถควบคุมเวลา ความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์ ลม รวมถึงความชื้นสัมพัทธ์ได้ จึงทำให้คุณภาพและปริมาณการผลิตลดลง

ดังนั้นจึงทำให้ผู้จัดทำเกิดความสนใจสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ที่สามารถควบคุมความเร็วอากาศเพื่อนำมาทดแทน แรงลมจากธรรมชาติ โดยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะสร้างนี้สามารถควบคุมแรงลมได้ผ่านตัวควบคุมความเร็วอากาศ(เครื่องเป่าลม)ซึ่งจะทำให้มีการไล่ความชื้นของตัววัตถุที่เร็วกว่าเดิม โดยมีแรงลมจากเครื่องควบคุมความเร็วอากาศ(เครื่องเป่าลม)ให้พลังงานลมอยู่ตลอดเวลาซึ่งต่างจากตู้อบธรรมดาที่ต้องคอยแรงลมจากธรรมชาติซึ่งเป็นสิ่งเรควบคุมไม่ได้ การศึกษานี้จึงมีความสนใจในการสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และศึกษาอิทธิพลของความเร็วอากาศที่ทางเข้าที่มีต่อการกระจายของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการพาความร้อนแบบบังคับ
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเร็วอากาศตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อการกระทำของอุณหภูมิภายในตู้
3. เพื่อศึกษาอิทธิพลของลักษณะของผนังตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อการกระทำของอุณหภูมิ

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

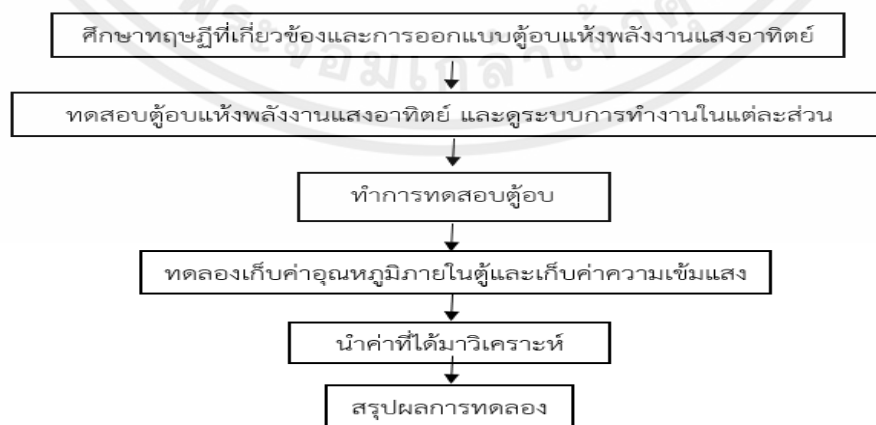
1. ลักษณะของผนังตู้ที่ศึกษาประกอบด้วย กรณีสู้บใช้ แผ่นเหล็กหนา 2 mm และในกรณีสู้ใส ใช้ แผ่น Polycarbonateหนา 6 mm
2. แผง Solar collector มีขนาด 80x122x22 cm
3. ตู้อบมีขนาด 80x80x120 cm และมีจำนวน 4 ชั้นในตู้จะมี Thermocouple จำนวน 10 ตัว และก่อนเข้าแผงรับแสงอาทิตย์จำนวน1ตัว

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ความรู้ความเข้าใจในการสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพ
2. เพื่อได้ต้นแบบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
3. ได้ทราบถึงประสิทธิภาพของการสร้างความร้อนในส่วนของวัสดุของตู้

## 1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานออกแบบและสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สถานที่ดำเนินงานภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
3. ระยะเวลาในการดำเนินงานดำเนินงาน ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนดำเนินการออกแบบและสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

หัวข้อ	ปี 2563			ปี 2564			
	ส.ค.-ก.ย.	ต.ค.-พ.ย.	ธ.ค.-ม.ค.	ก.พ.-มี.ค.	เม.ย.-พ.ค.	มิ.ย.	
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	↔						
2. ออกแบบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์		↔					
3. จัดหาร้านซื้อวัสดุอุปกรณ์		↔					
4. ปรับปรุงแก้ไขเครื่อง			↔				
5. ทำการทดสอบเครื่อง					↔		
6. ทำการเก็บค่าผลการทดลอง						↔	
7. จัดทำเล่ม						↔	

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ลักษณะการทำงานของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ [2]

ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์หรือตู้อบแห้งนั้นใช้เครื่องเป่าลมในการสร้างแรงลมจากด้านล่าง เมื่อความร้อนจากดวงอาทิตย์ส่องลงมาโดนกระจกก็จะนำความร้อนบวกกับแรงลมจากเครื่องเป่าลมที่พัดผ่านช่องผนังที่ทำไว้ ทำให้ความร้อนทั่วถึงทั้งตู้อบ ความร้อนในตู้อบจะมีความร้อนประมาณ 60 ถึง 80 °C เท่านั้น ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ลักษณะนี้ ไม่ได้ทำให้ของที่อบนั้นสุก ตู้อบนี้เพียงแค่ทำหน้าที่ไล่ความชื้นหรือไล่น้ำมันเท่านั้น ไม่สามารถนำไปทำให้ของสุก ระยะเวลาการอบแห้งไล่ความชื้นหรือไล่น้ำมันจะอยู่ที่ 6 ถึง 8 h

การอบแห้งและเครื่องอบแห้งมีความสำคัญในการลดความชื้นของวัตถุ ไม่ว่าจะเป็นในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่มชนิดผง ยา อุตสาหกรรมสีย้อม อุตสาหกรรมไม้ เป็นต้น การรู้จักชนิดของเครื่องอบแห้ง และการเลือกใช้ชนิดของเครื่องอบแห้งให้ตรงกับคุณสมบัติจำเพาะของวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเรื่องจำเป็น ขนาดของเครื่องอบและเวลาที่ใช้ในการอบ จะส่งผลต่อปริมาณไฟฟ้าหรือปริมาณไอน้ำที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการ เมื่อโรงงานนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานมาใช้ ผู้ปฏิบัติงานจึงจำเป็นต้องรู้พื้นฐานของการอบแห้ง และตู้อบแห้งเสียก่อน จึงจะสามารถนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานมาใช้ให้ได้ประโยชน์สูงสุด

### 2.2 ชนิดของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ [3]

เครื่องอบที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะมีการบุฉนวนไว้เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและทำให้สามารถนำอากาศมาหมุนเวียนใช้ใหม่ เพื่อประหยัดพลังงานมีการออกแบบเครื่องมือที่สามารถประหยัดพลังงานหลายแบบ เพื่อนำความร้อนจากอากาศที่ใช้แล้วมาใช้ใหม่หรือมีการควบคุมความชื้นของอากาศ โดยอัตโนมัติการควบคุมเครื่องอบแห้งโดยคอมพิวเตอร์ทำให้สามารถทำงานได้ซับซ้อนยิ่งขึ้นส่งผลให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากขึ้น

## 2.2.1 เครื่องทำแห้งด้วยลมร้อน (Hot-air dryers)

### 2.2.1.1. เครื่องอบแห้งแบบถัง (Bin dryers หรือ deep-bed dryers)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีรูปร่างกลมหรือทรงสี่เหลี่ยมด้านล่างจะมีช่องตาข่าย ให้อากาศร้อนพัดผ่านชั้นอาหารด้วยความเร็วค่อนข้างต่ำเช่น 0.5 m/s ของพื้นที่ผิว ของเครื่องทำแห้งชนิดนี้สามารถในการทำงานสูงใช้เงินลงทุน และค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องต่ำนิยมใช้ในการอบแห้งขั้นสุดท้าย หลังการทำแห้งขั้นต้นด้วยเครื่องมืออื่นๆ มาแล้วเพื่อให้อาหารมีค่าความชื้น เครื่องอบแห้งแบบถังช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานของเครื่องทำแห้งตอนต้นด้วยการใช้กับอาหารที่ทำแห้งอยู่ในช่วงอัตราลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ใช้เวลานานที่สุดโดยที่อาหารจะถูกกองทับกันสูงจึงทำให้เกิดความชื้นภายในแตกต่างกันจึงต้องนำมาทำแห้งต่อ เพื่อให้อาหารมีความชื้นเท่ากันบางครั้งเครื่องยังทำหน้าที่เหมือนภาชนะเก็บอาหาร ระหว่างขั้นตอนการทำให้แห้งการบรรจุอาหารในเครื่องนี้อาจสูงหลายเมตรดังนั้นอาหารที่อยู่ด้านล่างจะต้องทนต่อแรงอัดที่เกิดขึ้นได้และต้องมีช่องเปิดด้านล่างเพื่อให้อากาศหรือลมร้อนผ่านเข้ามาในกองอาหารได้ด้วย

### 2.2.1.2. เครื่องอบแห้งแบบถาด

เครื่องอบแห้งแบบถาดประกอบด้วยถาดเดี่ยวๆ ที่มีช่องตาข่ายอยู่ด้านล่างและบุเครื่องด้วยฉนวนในแต่ละถาดจะบรรจุอาหารขึ้นบางๆ ขนาด 2-6 cm อากาศร้อนจะไหลหมุนเวียนอยู่ในตู้ที่ความเร็วลม 0.5-5 m/s ของพื้นที่ผิวของถาดมีระบบท่อหรือบัพเฟิล เพื่อนำลมร้อนขึ้นไปด้านบนผ่านแต่ละถาดเพื่อให้ลมร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมออาจมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพิ่มด้านบนหรือด้านข้างของถาด เพื่อเพิ่มอัตราการทำให้แห้งนิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดในการผลิตอาหารในปริมาณต่ำ (1-20 Torr / day) หรือสำหรับใช้ในโรงงานต้นแบบเครื่องอบชนิดนี้ใช้เงินลงทุนและค่าดูแลรักษาต่ำแต่ควบคุมดูแลยากและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ

### 2.2.1.3. เครื่องอบแห้งแบบสายพาน

เครื่องอบแห้งชนิดนี้ใช้สายพานแบบต่อเนื่องซึ่งอาจยาวถึง 20 m และกว้าง 3 m เป็นการทำให้แห้งอาหารซึ่งกองอยู่หนาประมาณ 5-15 cm บนสายพานที่มีรูพรุนอยู่ด้านล่างอากาศ จะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนผ่านกองอาหารและเคลื่อนที่กลับลงมา เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารปลิวไปจากสายพาน เครื่องแห้งแบบ 2 หรือ 3 ตอนจะผสมและกองอาหารที่ทำแห้งแล้ว เป็นบางส่วนให้เป็นกองสูงขึ้น (ถึง 15-25 cm ในเครื่องทำแห้งแบบ 2 ตอนหรือ 250-900 cm ในเครื่องทำแห้งแบบ 3 ตอน) วิธีนี้จะทำให้แห้งได้อย่างสม่ำเสมอขึ้น และประหยัดพื้นที่ด้วยอาหารจะถูกทำให้แห้งจนมีความชื้น 10-15% และถูกย้ายไปยังเครื่องอบแห้งแบบถัง เพื่อการทำแห้งขั้นสุดท้ายเครื่องอบแห้งแบบสายพานมีอัตราการผลิตสูงและสามารถควบคุมการทำงานได้ดีใช้ในการทำให้แห้งอาหารในปริมาณสูงเช่นใช้เวลา 2-3.5 h ในการทำให้แห้ง

ผักและผลไม้ได้ถึง 5.5 ton/h มีการควบคุมการทำแห้งในแต่ละส่วนของเครื่องอย่างอิสระรวมทั้งสามารถวาง (load) และยกอาหารลง (unload) ได้อย่างอัตโนมัติ นับเป็นการช่วยลดแรงงานได้ เครื่องนี้จึงเริ่มได้รับความนิยมแทนที่เครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์ (tunnel dryer) การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบสายพาน โดยการไหลของลมร้อนแบบผสมส่วนเป็นการอบแห้งขนมขบเคี้ยวแบบ 2 ชั้นตอน โดยการใช้เครื่องอบแห้งแบบสายพาน

การประยุกต์ใช้เครื่องทำแห้งแบบสายพานอีกชนิดหนึ่งคือเครื่องทำแห้งแบบโฟม (foam mat drying) อาหารเหลวเช่นน้ำผลไม้จะเปลี่ยนไปเป็นฟองที่มีความคงตัวด้วยการเติมสารเพิ่มความคงตัว และเติมก๊าซไนโตรเจน หรืออากาศฟองนี้จะแผ่อยู่บนสายพานที่มีรูเล็ก ๆ อยู่ด้านล่างโดยมีความหนาประมาณ 2-3 mm และถูกทำให้แห้งโดยเร็วใน 2 ชั้นตอน โดยอากาศที่ไหลขนาน และสวนทางกันวิธีการทำแห้งโฟมอาหารนี้จะเร็วกว่าวิธีทำแห้งอาหารเหลวที่มีความหนาใกล้เคียงกันถึง 3 เท่าอาหารแห้งที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ และมีรูพรุนอยู่ จะถูกปั่นเป็นแป้งซึ่งมีคุณสมบัติดูดซับน้ำได้ดี การทำแห้งแบบรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำนี้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีอย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสียคือต้องใช้พื้นที่ผิวมากเพื่อให้ได้อัตราการผลิตสูงทำให้ต้องใช้เงินลงทุนสูงตามด้วย

#### 2.2.1.4. เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ (Fluidized bed dryers)

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ประกอบด้วยถาดโลหะซึ่งมีรูตาข่ายอยู่ด้านล่างและบรรจุองอาหารชิ้นเล็กๆ สูงประมาณ 15 cm อากาศร้อนจะพัดขึ้นจากด้านล่างของเครื่องและทำให้อาหารเกิดการผสมและกวนอย่างรุนแรง (fluidized) อากาศ จึงทำหน้าที่เป็นทั้งตัวกลางทำแห้งและทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์ด้วยวิธีนี้เป็น การเพิ่มพื้นที่ผิวของอาหารให้มากที่สุดทำให้การทำแห้งง่ายขึ้นเครื่องอาจทำงานแบบกะหรือแบบต่อเนื่องก็ได้ซึ่งแบบหลังมักจะมีฐานสั่นสะเทือนเพื่อช่วยให้อาหารมีการสั่นในระบบต่อเนื่องอาหารจะเคลื่อนที่จากถาดหนึ่งไปยังอีกถาดหนึ่งซึ่งอาจมีทั้งหมดถึง 6 ถาดด้วยแรงโน้มถ่วงโลก เพื่อให้ได้อัตราการผลิตที่สูง

Torbed dryer เป็นเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำแห้งที่ชื้นๆ ได้การฟลูอิดไดซ์ขึ้นอาหารเหล่านี้ทำได้โดยการหมุนรอบถัง โดยอากาศร้อนที่เป่าโดยตรงจากเครื่องเผา เครื่องทำแห้งนี้จะให้อัตราการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวลสูงมาก จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้งได้มากผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ชินผักจะต้องการช่วงเวลาที่ทำให้เกิดการสมดุลเพื่อให้เกิดการกระจายความชื้นอย่างสม่ำเสมอ ก่อนการทำแห้งครั้งสุดท้ายเครื่องทำงานถึงต่อเนื่องและควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์เหมาะสำหรับการทำให้ผงอาหารเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนหลวมๆ และ การทำแห้งด้วยการพuff (puff drying) การย่างการทำให้สุกและการเคลือบผิว

### 2.2.1.5. เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา (Kiln dryers)

เครื่องอบแห้งแบบเตาเผา มีลักษณะเป็นโครงสร้าง 2 ชั้น โดยมีห้องอบแห้งที่มีพื้นที่เป็นช่องๆ อยู่เหนือเตาเผาตั้งเดิม สำหรับการอบแห้งแอปเปิลแผ่นในสหรัฐอเมริกาฮอปและข้าวมอลท์ ในยุโรปการควบคุมสภาวะการทำแห้งยากและใช้เวลาในการอบแห้งนานใช้แรงงานสูง เนื่องจากต้องคอยกลับผลิตภัณฑ์ต้องใส่และยกอาหารออกอย่างไรก็ตามเครื่องอบแห้งนี้มีความจุสูงสร้างง่ายและใช้ค่าดูแลรักษาต่ำ

### 2.2.1.6. เครื่องอบแห้งแบบพ่นลม (Pneumatic dryers)

อาหารที่เป็นชิ้น หรือผงจะแยกผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วออกมาชิ้นอาหาร ซึ่งโดยทั่วไปจะมีความชื้นน้อยกว่า 40% จะถูกส่งเข้าไปในท่อ และแขวนลอยอยู่ในอากาศร้อนมีการปรับความเร็วลมในเครื่องอบแห้งแบบตั้งเพื่อให้ชิ้นอาหารอยู่แยกกันอาหารที่เบาหรือเล็กกว่าจะแห้งเร็วกว่า และเคลื่อนที่ไปยังไซโคลนเร็วกว่าชิ้นอาหารที่หนักกว่าชิ้นอาหารที่ชิ้นกว่าจะยังคงแขวนลอยอยู่จนกว่าจะมีความชื้นน้อยลงท่อนี้มีลักษณะเป็นวงต่อเนื่องสำหรับอาหารที่ต้องการให้อยู่ในท่อนานขึ้น และอาหารจะวนเวียนอยู่ในท่อจนกว่าจะแห้งพอสมควรมีการใช้เครื่องอบแห้งเป็นท่อนี้ที่อุณหภูมิสูงเวลาสั้นเพื่อขยายโครงสร้างของเซลล์แป้งในมันฝรั่งหรือเซลล์ของแครอท เพื่อให้ได้โครงสร้างที่แข็ง และประสิทธิภาพของความร้อนสูงควบคุมสภาวะการอบแห้งได้ดีนิยมใช้วิธีนี้หลังการอบแห้งแบบพ่นลมเพื่อผลิตอาหารที่มีความชื้นต่ำกว่าปกติ เช่น นมแบบพิเศษ ไข่ผง หรือมันฝรั่งเม็ด มีการประยุกต์การอบแห้งดังกล่าว เป็นการขนส่งอาหารไปในตัวจึงนับเป็นวิธีที่มีประโยชน์ในการจัดการวัตถุดิบ

### 2.2.1.7. เครื่องอบแห้งแบบโรตารี (Rotary dryers)

เครื่องอบแห้งแบบนี้ประกอบด้วยภาชนะโลหะทรงกระบอกหมุนเอียงเป็นมุมเล็กน้อยอยู่ภายในและมีซี่โลหะ เพื่อทำให้อาหารเคลื่อนที่ผ่านไอน้ำหรือลมร้อนขณะที่เคลื่อนที่อยู่ในเครื่องอบอากาศอาจเคลื่อนที่แบบขนานหรือแบบวนทางกันก็ได้กับลมร้อนจะช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งและทำให้อบแห้งอาหารได้อย่างสม่ำเสมอ วิธีนี้เหมาะ กับอาหารที่มีแนวโน้มที่จะจับตัวหรือเกาะกันในเครื่องอบแห้งแบบสายพาน หรือถาดอย่างไรก็ตามความเสียหาย เนื่องจากการขีดหรือการกระทบกันในเครื่องทำให้เครื่องนี้ใช้ได้กับอาหารไม่กี่ชนิด เช่น ผลึกน้ำตาลหรือเมล็ดโกโก้

### 2.2.1.8. เครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอย (Spray dryers)

อาหารที่ผ่านการทำให้ข้นมาแล้ว จะถูกทำให้กระจายและกลายเป็นอนุภาคหรือหยดน้ำเล็ก ๆ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-200  $\mu\text{m}$  และพ่นเข้าไปในกระแสของลมร้อนที่อุณหภูมิ 150-300  $^{\circ}\text{C}$  ซึ่งในถังอบขนาดใหญ่มีการควบคุมอัตราการส่งวัตถุดิบเพื่อให้อุณหภูมิของอากาศที่จุดทางออกเท่ากับ 90-100  $^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเทียบได้กับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์) เท่ากับ

40-50 °C ซึ่งการอะตอมไมซ์ หรือพ่น (atomization) ที่สมบูรณ์และสม่ำเสมอสำคัญมาก สำหรับการอบแห้งที่ดีเครื่องอะตอมไมเซอร์ (atomizer) ระบบการเก็บผงผลิตภัณฑ์แบบต่างๆ ความต้องการอาหารจากการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอยมีความหลากหลายมาก เช่น นม ไข่กาแพโกโก้ มันฝรั่ง น้ำผลไม้ สารสกัดจากเนื้อ และยีสต์กลั่นบรรจุแคปซูล ผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวโพด และแป้งสาลีส่วนผสมของไอศกรีมครีมีโยเกิร์ตผงเนยแข็งนอกจากนั้น ยังมีการต่อเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอยไว้กับเครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เพื่อทำแห้งผงอาหารที่ได้ต่อไป

เครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอยมีหลายขนาดตั้งแต่ขนาดโรงงานต้นแบบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้อยแต่มูลค่าสูง เช่น เอนไซม์และกลีโคเจนถึงขนาดอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถผลิตนมผงได้ถึง 80,000 kg ต่อวัน ข้อดีที่สำคัญของเครื่องนี้คือ ใช้เวลาสั้นสามารถผลิตอาหารแบบต่อเนื่องในปริมาณมาได้ใช้แรงงานต่ำการใช้และดูแลรักษาง่ายแต่ข้อจำกัดคือ ใช้เงินลงทุนสูงและอาหารที่จะส่งมาต้องมีความชื้นสูง เพื่อให้มั่นใจว่าสามารถที่จะป้อนเข้ามาในเครื่องอะตอมไมเซอร์ได้ ทำให้ต้องใช้พลังงานเพื่อกำจัดความชื้น และเกิดการสูญเสียสารหอมระเหยสูง ปัจจุบันมีการนำเครื่องอบแห้งแบบสายพาน (conveyer-band dryer) และเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์มาใช้แทนเครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอยเนื่องจากมีความกะทัดรัดและประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่า

ความหนาแน่นก่อนอัด (bulk density) ของผงอาหารขึ้นอยู่กับขนาดของผงที่แห้งแล้ว และขึ้นอยู่กับว่าผงดังกล่าวเป็นของแข็งแน่น หรือกลวงลักษณะของอาหารและสภาวะการอบแห้ง จะเป็นตัวกำหนดความหนาแน่นก่อนอัดเช่นความสม่ำเสมอของขนาดหดยอดอนุหภูมิปริมาณของแข็ง และการให้อากาศแก่ของเหลวที่ส่งเข้ามามีการใช้เครื่องทำให้เกาะกันเป็นก้อน (agglomerator) และอบแห้งอีกครั้งได้อธิบายเครื่องทำให้เกาะกันเป็นก้อนแบบฟลูอิดไดซ์แบบไอพ่น หรือแบบกรวยส่วนการทำให้เกาะกันเป็นก้อนโดยตรง (straight-through, agglomeration) จะเป็นวิธีที่ทำให้เกาะกันเป็นก้อนในระหว่างการอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอยผงที่ค่อนข้างชื้นนี้จะถูกทำให้เกาะกันเป็นก้อนและ ทำให้แห้งในเครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ วิธีทำให้เกาะกันเป็นก้อนแบบอื่นได้แก่วิธีใช้สารตรึง

#### 2.2.1.9. เครื่องอบแห้งบนสายพานแขวน (Trough dryers หรือ belt-trough dryers)

เครื่องอบแห้งบนสายพานแขวนใช้ในการอบแห้งอาหารชิ้นเล็กๆ ที่มีขนาดสม่ำเสมอเช่นถั่วหรือฝักนั้นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมบนสายพานที่มีรูเล็กๆ อยู่ด้านล่างโดยสายพานนี้จะแขวนหลวมๆ ระหว่างลูกกลิ้งมีการเป่าลมร้อนผ่านกองอาหาร การเคลื่อนที่ของสายพานจะทำให้เกิดการผสมและกลับอาหารให้เกิดผิวหน้าใหม่สัมผัสกับลมร้อนเสมอการผสม จะช่วยให้ความชื้นเคลื่อนที่จากด้านในอาหารออกมายังผิวหน้าใหม่สัมผัสกับลมร้อนเสมอการผสมจะช่วยให้ความชื้นเคลื่อนที่จากด้านในอาหาร

ออกมายังผิวหน้าและระเหยไปอย่างรวดเร็ว เมื่ออาหารสัมผัสกับลมร้อนเครื่องอบแห้งนี้จะทำงานแบบ 2 ขั้นตอนคือ อบอาหารจนได้ความชื้น 50-60% และ 15-20% มีการใช้เครื่องอบแบบถังในขั้นตอนการทำแห้งตอนสุดท้ายเครื่องอบนี้ให้อัตราการอบแห้งสูงคือใช้เวลา 55 min สำหรับผักเทียบกับ 5 h ถ้าเครื่องใช้เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงควบคุมได้ดี และผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหายจากความร้อนน้อยมากอย่างไรก็ตามเครื่องนี้ไม่เหมาะกับอาหารที่มีความหนืดสูง

#### 2.2.1.10. เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (Tunnel dryers)

เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์เป็นเครื่องที่ใช้ลมร้อนในการทำแห้งอาหารขึ้นบางๆ บนถาดซึ่งซ้อนอยู่บนรถบรรทุกที่จัดให้เคลื่อนที่ที่กึ่งอัตโนมัติผ่านอุโมงค์ที่บรรจุลมร้อนไว้เครื่องมีรูปแบบต่างๆ และนิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบถังในการทำแห้งอาหารขึ้นสุดท้ายโดยทั่วไปอุโมงค์ขนาด 20 m จะใช้รถบรรทุก 12-15 คัน ที่มีความจุทั้งหมด 5,000 kg เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาเนื่องจากสามารถอบแห้งอาหารปริมาณมากในเวลาสั้นๆ แบบฟลูอิดไดซ์เนื่องจากมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่าวิธีอื่นใช้ค่าแรงต่ำและให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่า

#### 2.2.1.11. เครื่องอบแห้งแบบใช้ผิวร้อน (Head-surface dryer)

เครื่องอบแห้งแบบใช้ผิวร้อนเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้การนำความร้อน ทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นข้อดีที่สำคัญเมื่อเทียบกับการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน การใช้พลังงานทุกๆ ไปจะเท่ากับ 2,000-3,000 kJ ต่อกลิตรน้ำที่ระเหยไปเทียบกับ 4,000-10,000 kJ ต่อน้ำ ที่ระเหยไป 1 kg สำหรับเครื่องลมร้อนอย่างไรก็ตามอาหารที่มีค่าการนำความร้อนต่ำและต่ำลงอีกเมื่ออาหารแห้งขึ้นตั้งนั้นจึงควรใช้ขึ้นอาหารบางๆ เพื่อให้สามารถนำความร้อนได้รวดเร็วโดยไม่เกิดความเสียหาย เนื่องจากความร้อนอาหารอาจจะหดตัวระหว่างการอบแห้ง และกระตุกออกจากผิวร้อนทำให้เกิดอุปสรรคต่อการถ่ายเทความร้อนจึงต้องมีการควบคุมอย่างระมัดระวังโดยคำนึงถึงคุณสมบัติการไหลของอาหารเหลวเพื่อลดการหดตัวให้มากที่สุดและ เพื่อกำหนดความหนาของขึ้นอาหารที่ส่งเข้ามาด้วย

#### 2.2.1.12. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum dryers หรือ roller dryers)

มีการให้ความร้อนลูกกลิ้งที่ทำจากโลหะเหล็กทรงกระบอกกลวงซึ่งหมุนอย่างช้าๆ โดยใช้ไอน้ำความดันสูงที่อุณหภูมิ 120-170°C ซึ่งอาหารจะแผ่เป็นชั้นบางๆ อย่างสม่ำเสมอบนผิวของลูกกลิ้งโดยการจุ่มการฉีดยาหรือการแผ่บางๆ อาหารแห้งจะถูกพุดออกโดยใบมีดซึ่งจะสัมผัสกับผิวของลูกกลิ้งอย่างสม่ำเสมอขณะที่ลูกกลิ้ง 1 หรือ 2 ลูกก็ได้ นิยมใช้ลูกกลิ้งเดี่ยวมากกว่าเพราะมีความยืดหยุ่นในการใช้มากกว่าแบบลูกกลิ้งคู่เนื่องจากมีพื้นที่ผิวของลูกกลิ้งที่ใช้ในการอบแห้งสูงกว่าดูแลรักษาง่ายไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากวัตถุโลหะหล่นลงมาระหว่างลูกกลิ้ง เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งให้อัตรา

การอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงเหมาะกับอาหารเหลวที่มีขนาดของอนุภาคใหญ่เกินกว่าจะใช้เครื่องอบแห้งแบบฉีดพ่นฝอยอย่างไรก็ตามต้องใช้เงินลงทุนสูง และอาหารที่ไวต่อความร้อนอาจเกิดความเสียหายได้

ปัจจุบันมีการพัฒนาการออกแบบลูกกลิ้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการรวมทั้งมีการใช้ลูกกลิ้งเสริมเพื่อแยก และเติมอาหารใหม่ระหว่างการอบแห้งหรือการใช้ความเร็วลมสูงเพื่อเพิ่มอัตราการทำให้แห้ง หรือการใช้อากาศเย็นเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลงมีการใช้ลูกกลิ้งในระบบสุญญากาศ เพื่ออบแห้งอาหารที่อุณหภูมิต่ำลง แต่ทั้งนี้จะทำให้ค่าใช้จ่ายสูงและจำกัดการใช้ระบบดังกล่าวกับอาหารที่ไวต่อความร้อนที่มีมูลค่าสูงเท่านั้น

#### 2.2.1.13. เครื่องอบแห้งสุญญากาศ (Vacuum band และ vacuum shelf dryers)

อาหารเหลวจะถูกแผ่หรือฉีดพ่น บนสายพานโลหะซึ่งเคลื่อนที่ผ่านลูกกลิ้ง กลวง 2 ลูกในถังสุญญากาศที่ความดัน 1-70 Torr อาหารจะถูกอบแห้งก่อนด้วยลูกกลิ้ง และขดลวดที่ทำให้ร้อนโดยใช้ด้วยไอน้ำหรือเครื่องทำความร้อนด้วยรังสีความร้อน ซึ่งติดตั้งไว้เหนือสายพานลูกกลิ้งลูกที่ 2 สำหรับทำให้เย็น โดยใช้ชั้นกลวงในสุญญากาศขึ้นอาหารบางๆ บรรจุอยู่บนถาดโลหะราบ เพื่อให้สัมผัสกับอาหารได้ดีความดันไอลอยอยู่ในตู้จะเท่ากับ 1-70 Torr ใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำไหลผ่านชั้นกลวงเพื่อทำให้อาหารแห้ง

วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่ไวต่อความร้อนเนื่องจากสามารถอบแห้งได้อย่างถาดในตู้อบสุญญากาศนอกจากนั้นการหดตัวของอาหารจะลดการสัมผัสระหว่างอาหารกับผิวร้อนของเครื่องมือทั้ง 2 ชนิด เครื่องทั้งสองต้องใช้เงินลงทุน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค่อนข้างสูงแต่ให้อัตราการผลิตต่ำมีการใช้สายพานสุญญากาศและตู้อบแห้งสุญญากาศเพื่อผลิตอาหารแห้ง โดยวิธีทำให้พอง (explosion puff drying) ซึ่งเป็นวิธีอบแห้งอาหารเป็นบางส่วนความดันมีการเพิ่มอุณหภูมิและความดันภายในตู้ด้วยการลดอุณหภูมิและความดันลงอย่างรวดเร็ว

#### ตารางที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีในระดับต่างๆ

ช่วงความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ เฉลี่ยต่อปี (MJ/m <sup>2</sup> -day)	เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับรังสีเมื่อ เทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ
15-16	0.5%
16-17	7.1%
17-18	27.9%
18-19	50.2%
19-20	14.3%

## 2.3 การจำแนกประเภทของเครื่องอบแห้ง [4]

จากการค้นคว้าข้อมูลพบว่า มีหลักเกณฑ์หลากหลายที่ใช้ในการจำแนกประเภทของเครื่องอบแห้ง ในที่นี้ได้นำหลักเกณฑ์ที่นำเสนอไว้มารวบรวมดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การจำแนกประเภทของเครื่องอบแห้ง

เกณฑ์การจำแนกชนิด	ประเภทของเครื่องอบแห้ง
ลักษณะการทำงาน (Mode of Operation)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- แบบเป็นกะ (Batch)</li> <li>- แบบต่อเนื่อง (Continuous)</li> </ul>
วิธีการให้ความร้อนกับวัสดุ (Heat Input Type)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- โดยการนำความร้อน การพาความร้อน* การแผ่รังสี การใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (เช่น คลื่นไมโครเวฟ)</li> <li>- แบบต่อเนื่อง* หรือแบบเป็นห้วง (Intermittent)</li> </ul>
สถานะของวัสดุในเครื่องอบแห้ง	<ul style="list-style-type: none"> <li>- วัสดุอยู่กับที่ (Stationary)</li> <li>- วัสดุเคลื่อนที่ในเครื่องอบแห้ง (Moving, Agitated or Dispersed)</li> </ul>
ความดันในห้องอบแห้ง	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความดันบรรยากาศ (Atmospheric)</li> <li>- ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ</li> </ul>
ตัวกลางการอบแห้ง (ในกรณีเครื่องอบแห้งแบบพาความร้อน)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อากาศร้อน</li> <li>- ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Superheated Steam)</li> <li>- ก๊าซร้อนอื่นๆ</li> </ul>
อุณหภูมิอบแห้ง	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเดือด</li> <li>- สูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือด</li> <li>- ต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเยือกแข็ง</li> </ul>
จำนวนขั้นตอน (Stages)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ขั้นตอนเดียว (Simple Stage)</li> <li>- หลายขั้นตอน (Multistage)</li> </ul>
เวลาที่วัสดุอยู่ในเครื่องอบแห้ง	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สั้น (น้อยกว่า 1 นาที)</li> <li>- ปานกลาง (1-60 นาที)</li> <li>- ยาว (มากกว่า 60 นาที)</li> </ul>

\*เป็นชนิดที่ใช้งานกันทั่วไปในอุตสาหกรรม

เกณฑ์การจำแนกประเภทของเครื่องอบแห้งดังแสดงในตารางที่ 2.2 นั้นเป็นเพียงเกณฑ์อย่าง ง่ายในความเป็นจริงแล้ว เครื่องอบแห้งหลักแต่ละชนิดยังอาจจะแบ่งแยกย่อยลงไปได้อีกหลายประเภท เช่น เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด (Fluidized Bed Dryers) ก็ยังแบ่งแยกย่อยออกไปเป็นหลาย ประเภท อย่างไรก็ตาม คงไม่สามารถนำเสนอรายละเอียดของเครื่องอบแห้งทุกชนิด/ประเภทไว้ในหนังสือ เล่มนี้ ที่สนใจสามารถศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งและการจำแนกประเภท ในที่นี้จะกล่าวถึง เฉพาะเครื่องอบแห้งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร-ชีวภาพ

นอกจากเกณฑ์การจำแนกประเภทของเครื่องอบแห้งดังแสดงในตารางที่ 2.1 แล้ว ยังอาจจำแนก เครื่องอบแห้งตามวิธีการให้ความร้อนกับวัสดุที่อยู่ภายในเครื่องออกได้เป็น 2 ชนิดหลัก คือ

### 2.3.1. เครื่องอบแห้งแบบให้ความร้อนโดยตรง (Direct Dryers)

หรือเครื่องอบแห้งแบบพาความร้อน (Convective Dryers) กล่าวคือ วัสดุจะได้รับความ ร้อนโดยตรงจากตัวกลางการอบแห้งที่เคลื่อนที่ผ่านวัสดุที่ต้องการอบแห้ง (หรืออีกนัยหนึ่งคือเกิดการพา ความร้อนจากตัวกลางการอบแห้งไปยังวัสดุนั้นเอง) เครื่องอบแห้งชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดใน อุตสาหกรรมจากกล่าวได้ว่าเครื่องอบแห้งชนิดนี้ แม้ว่าประสิทธิภาพอุณหภูมิ (Thermal Efficiency) ของเครื่องอบแห้งชนิดนี้จะค่อนข้างต่ำเนื่องจากไม่สามารถที่นำมาเอาความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ของน้ำ (ความชื้น) ที่ถ่ายเทไปกับตัวกลางการอบแห้งที่ไหลออกจากเครื่องอบแห้งกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมี ประสิทธิภาพ (หรือได้อย่างคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์)

โดยทั่วไปแล้ว เครื่องอบแห้งชนิดนี้มักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางการอบแห้ง อาจจะใช้ไอน้ำยวด ยิ่งเป็นตัวกลางการอบแห้งได้เช่นเดียวกัน ซึ่งมีข้อดีที่สามารถนำเอาความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ เชื้อเพลิง (Flue Gases) ชนิดต่างๆ มาใช้เป็นตัวกลางการอบแห้งได้เช่นกัน แต่การใช้ก๊าซร้อนที่ได้จากการ เผาไหม้เชื้อเพลิงโดยตรงอาจจะไม่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งอาหาร เนื่องจากอาจจะทำให้อาหารเกิด การปนเปื้อนสารเคมีที่อาจเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น สารจำพวก Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) ในกรณีที่วัสดุอาจเสื่อมสภาพได้หากสัมผัสกับตัวกลางการอบแห้งที่มีอุณหภูมิสูง อาจเลือกใช้ อากาศที่ลดความชื้น (Dehumidified Air) ซึ่งผลิตโดยการให้อากาศแวดล้อม (Ambient Air) ไหลผ่านตัว ดูดซับความชื้น (Moisture Adsorbent) หรืออาจใช้ปั๊มความร้อน (Heat pump) ในกรณีที่วัสดุที่อาจติด ไฟได้ง่าย (เนื่องจากมีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นองค์ประกอบที่ต้องการขจัดออกแทนที่จะเป็นน้ำดังเช่นการ อบแห้งโดยทั่วไป) อาจใช้ก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจน เป็นตัวกลางในการอบแห้งแทนได้

เนื่องจากการใช้งานเครื่องอบแห้งชนิดนี้จำเป็นต้องให้ตัวกลางการอบแห้งปริมาณมากไหลผ่าน เครื่องอบแห้งจึงส่งผลให้อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตและที่ใช้ทำความสะอาดตัวกลางการอบแห้ง

ตลอดจนอุปกรณ์ที่อาจต้องใช้ในการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากตัวกลางการอบแห้งมีขนาดใหญ่และราคาแพง จนในบางครั้งอาจมีราคาแพงกว่าเครื่องอบแห้งเอง

### 2.3.2. เครื่องอบแห้งแบบให้ความร้อนโดยอ้อม (Indirect Dryers) [4]

หรือเรียกอีกอย่างว่าเครื่องอบแห้งแบบนำความร้อน (Convective-Dryers) เป็นเครื่องอบแห้งซึ่งอาศัยหลักการของการนำความร้อนในการถ่ายเทความร้อนจากตัวกลางการให้ความร้อน (Heat Transfer Medium) ไปยังวัสดุโดยที่ตัวกลางให้ความร้อนและวัสดุไม่ได้สัมผัสกันโดยตรง (จึงเป็นการให้ความร้อนโดยทางอ้อมผ่านผนังซึ่งกั้นระหว่างตัวกลางให้ความร้อน เช่น ไอน้ำ ก๊าซร้อนหรือน้ำมันร้อน (Hot Oil) กับวัสดุโดยการนำความร้อน) เนื่องจากในเครื่องอบแห้งชนิดนี้วัสดุไม่ได้สัมผัสกับตัวกลางให้ความร้อน (ซึ่งไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวกลางการอบแห้ง) โดยตรง จึงมักอาศัยสุญญากาศ (Vacuum) ในการดึงเอาความชื้นที่ระเหยจากวัสดุออกไปจากห้องอบแห้ง ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ห้องอบอยู่ในสภาวะอึดอัดกับไอของความชื้นที่ระเหยจากวัสดุจนไม่สามารถทำการอบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใน บางกรณี เช่น การระเหยตัวทำละลายอินทรีย์ออกจากวัสดุ อาจใช้การเป่าอากาศ (หรือก๊าซอื่นๆ เช่น ไนโตรเจน) ที่ความเร็วต่ำผ่านห้องอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นที่ระเหยจากวัสดุการใช้สุญญากาศได้

ในแง่ของอุณหภูมิผนังซึ่งกั้นระหว่างตัวกลางการให้ความร้อนกับวัสดุ (หรืออีกนัยหนึ่งก็คือพื้นผิวที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน) นั้นอาจจะมีค่าอยู่ระหว่าง  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  เช่นในกรณีของการแบบแห้งแบบแช่เยือกแข็งในช่วงแรก ไปจนถึง  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  เช่นในกรณีที่ใช้ก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นตัวกลางการให้ความร้อนและเนื่องจากในเครื่องอบแห้งชนิดนี้ไม่มีการสัมผัสกันโดยตรงของตัวกลางให้ความร้อนและวัสดุที่ต้องการอบแห้งซึ่งอาจเป็นวัสดุที่ติดไฟได้ง่าย จึงไม่มีความเสี่ยงในเรื่องของการระเบิดหรือติดไฟในเครื่องอบแห้ง นอกจากนี้ การนำเอาตัวทำละลายอินทรีย์ที่ระเหยจากวัสดุกลับมาใช้ใหม่ยังทำได้ง่าย เนื่องจากไม่ต้องทำการควบแน่นอากาศ (หรือตัวกลางอื่น) ในปริมาณมาก การจำกัดฝุ่นก็ทำได้ง่าย เช่นเดียวกัน เนื่องจากปริมาณการไหลของตัวกลางมีค่าน้อยด้วยเหตุผลดังกล่าวไปแล้วข้างต้น นอกจากนี้ การเดินเครื่องอบแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศยังมีข้อดีในช่วงที่ว่จุดเดือดของของเหลวที่ต้องการขจัดจากวัสดุที่อาจเสื่อมสภาพได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง เช่น ผัก ผลไม้ วัสดุชีวภาพ หรือผลิตภัณฑ์ยา ได้อย่างมีประสิทธิภาพและ รวดเร็วมากยิ่งขึ้น นอกจากการใช้แหล่งความร้อนดังกล่าวข้างต้น ยังอาจให้ความร้อนกับวัสดุ ที่ต้องการอบแห้งได้โดยการแผ่รังสีความร้อนหรือใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น คลื่นไมโครเวฟ ร่วมด้วย

## 2.4 การเลือกชนิดของเครื่องอบแห้ง [4]

ดังกล่าวไปข้างต้นว่าการเลือกชนิดของเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานอบแห้งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานอบแห้งหนึ่งๆนั้นเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยากและซับซ้อน ทั้งนี้เนื่องจากในทางปฏิบัติอาจมีเครื่องอบแห้งหลายชนิดที่สามารถใช้ได้สำหรับงานอบแห้งนั้นๆ (แม้ว่าอาจจะไม่ใช่ชนิดที่เหมาะสมที่สุด) ในการที่สรุปว่าเครื่องอบแห้งชนิดใดมีความเหมาะสมที่สุดนั้นต้องอาศัยประสบการณ์และการทดสอบอย่างรอบคอบโดยผู้ที่ใช้งานเครื่องอบแห้งนั้นโดยตรง มิควรปล่อยให้เป็นที่ของผู้ผลิต/จำหน่ายเครื่องอบแห้งแต่เพียงผู้เดียว (มิฉะนั้นก็จะได้รับคำตอบแต่เพียงว่าเครื่องอบแห้งชนิดที่ผู้ผลิต/จำหน่าย อยู่เป็นเครื่องอบแห้งชนิดที่เหมาะสมที่สุด) มีหลายบริษัททั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศที่ลงทุนซื้อเครื่องอบแห้งราคาแพงแต่ไม่สามารถใช้งานได้ตามที่ต้องการ นับเป็นการสูญเสียอย่างยิ่งสำหรับองค์กรนั้นๆ

การเปลี่ยนแปลงสูตรหรือองค์ประกอบของวัสดุที่ต้องการอบแห้งไปเพียงเล็กน้อยอาจส่งผลอย่างมากต่อ พฤติกรรมหรือสมบัติต่างๆ ของวัสดุนั้นขณะทำการอบแห้ง (เช่น วัสดุ อาจเปลี่ยนจากลักษณะที่ไม่เหนียวและเกาะติดผิวโลหะเป็นวัสดุที่ เหนียวและเกาะติดผิวโลหะได้ง่าย) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทดสอบกับวัสดุ ที่ต้องการนำไปอบแห้งจริงเสมอ ไม่ควรใช้วัสดุอื่นเพียงเพราะมีลักษณะ หรือสมบัติคล้ายคลึงกับวัสดุที่ต้องการอบแห้งมาทำการทดสอบ เช่น หากวัสดุที่ต้องการอบแห้งจริงมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 1 ไม่สามารถตั้งสมมติฐานว่ามีปริมาณน้ำตาลน้อยจนไม่มีผลต่อพฤติกรรม หรือจลนพลศาสตร์การอบแห้งของวัสดุ และทำการทดสอบวัสดุที่ไม่มี น้ำตาลเป็นองค์ประกอบแทน ต่อจากนี้ไปจะกล่าวถึงหลักการเบื้องต้นซึ่งผู้อ่านสามารถนำไปใช้ ในการเลือกชนิดของเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมกับงานของตนอย่างไร ก็ตามมิใช่เพียงแต่เครื่องอบแห้งเท่านั้นที่มีความสำคัญ หากแต่อุปกรณ์หรือกระบวนการที่ต้องใช้ควบคู่กันไปกับ เครื่องอบแห้ง เช่น เครื่องระเหยน้ำ เครื่องผสม เครื่องอัดเม็ด อุปกรณ์ หรือระบบทำความสะอาดอากาศหรือร้อนทั้งก่อนเข้าและหลังออก จากเครื่องอบแห้ง ฯลฯ ก็มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน ขอยก ตัวอย่างในกรณีที่ต้องการอบแห้งวัสดุที่มีลักษณะเป็นของเหลว ชันหนืด (Slurry) ซึ่งอาจทำให้เจือจางลงและนำไปอบแห้งโดยใช้เครื่อง อบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) ในทางตรงกันข้าม เลือกที่จะอัดรีดวัสดุดังกล่าวให้เป็นเม็ดเล็ก (Pellets) โดยใช้เครื่องอัดรีด (Extruder) แล้วจึงนำไปอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิทไดซ์เบด ได้ นอกจากนี้ ยังควรพิจารณาใช้กระบวนการขจัดน้ำโดยวิธีทางกล (Mechanical Dewatering) เพื่อลดปริมาณความชื้นของวัสดุให้ได้มาก ที่สุดก่อนนำวัสดุเข้าเครื่องอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากการขจัดน้ำโดยวิธีทางกล เช่น การเหวี่ยงแยก การบีบอัด หรือการกรอง ฯลฯ นั้นเป็นกระบวนการ ที่มีค่าใช้จ่ายน้อยกว่ากระบวนการอบแห้งมาก นอกจากนี้ เงื่อนไขด้าน คุณภาพของ

ผลิตภัณฑ์ที่เป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งอาจส่งผลเป็น อย่างมากต่อการเลือกชนิดของเครื่องอบแห้ง บ่อยครั้งที่การตัดสินใจขั้น สุดท้ายในการเลือกชนิดของเครื่องอบแห้งไม่ได้อยู่ที่ความเหมาะสมในด้าน ราคาของเครื่องอบแห้ง หรือค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องอบแห้ง หรือความ สามารถของเครื่องอบแห้งใน การอบแห้งวัสดุนั้นๆ แต่อยู่ที่ข้อจำกัดในด้าน คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการ โดยเฉพาะอย่าง ยิงในกรณีการ อบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ

ก่อนการตัดสินใจเลือกเครื่องอบแห้งสำหรับงานอบแห้งหนึ่งๆ ต้องมีข้อมูลต่อไปนี้

1. กำลังการผลิตและรูปแบบการผลิต แบบเป็นกะหรือแบบฝานึ่ง \*สมบัติทางกายภาพ เคมี และ/หรือชีวเคมีของวัสดุ ตลอดจน ลักษณะหรือสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ข้อมูลชุดนี้มีความ สำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพราะจะช่วยให้ผู้อ่านสามารถตัดสินใจเลือก ที่ไม่ เหมาะสม หรืออีกนัยหนึ่งคือ เครื่องอบแห้งที่ไม่สามารถ ใช้ได้กับวัสดุที่มีอยู่ หรือไม่ สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ ออกไปได้ก่อนอย่างง่ายดาย
2. กระบวนการที่จำเป็นทั้งก่อนและหลังกระบวนการอบแห้ง เช่น การผสม การระเหย
3. ความชื้นของวัสดุและผลิตภัณฑ์
4. จุลนัยพลศาสตร์การอบแห้งและข้อมูลการดูด คายซึบของวัสดุ เพื่อใช้เชื่อมโยงค่าความชื้น เข้ากับค่าแอกติวิตีของน้ำ เพื่อจะ ได้สามารถควบคุมกระบวนการอบแห้งได้อย่างมี ประสิทธิภาพ
5. เงื่อนไขด้านความปลอดภัยของกระบวนการ เช่น ความเสี่ยงต่อ การติดไฟ การระเบิด หรือการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์
6. มูลค่าของผลิตภัณฑ์ กระบวนการอบแห้งที่มีราคาแพงอาจไม่ เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ ราคาถูก แห่ง มีมากก็ตามถึงแม้ว่าจะเป็นกระบวนการอบ
7. ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องอบแห้ง เช่น ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับ
8. แรงงาน ชนิดและราคาของเชื้อเพลิงที่สามารถใช้งานได้ ฯลฯ – พื้นที่ในโรงงานและขนาด ของเครื่องอบแห้ง
9. กฎหมาย ข้อบังคับหรือข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม

ในกรณีของการอบแห้งวัสดุที่มีมูลค่าสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุ ชีวภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์ยา เงื่อนไข ด้านคุณภาพมักเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ซึ่งต้องพิจารณาเมื่อต้องการเลือกชนิดของเครื่องอบแห้ง ทั้งนี้ เนื่องจาก ค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการอบแห้งมักเป็นสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับ มูลค่าของผลิตภัณฑ์

ประเด็นสำคัญอีกประเด็นหนึ่งซึ่งต้องพิจารณาเสมอ เมื่อทำการออกแบบกระบวนการอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพคือ ข้อ กำหนดที่เกี่ยวกับสุขาภิบาลโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร (Food Plant Sanitation) และหลักเกณฑ์ วิธีการที่ดีในการผลิตหรือ GMP (Good Manufacturing Practice) ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค

ประเด็นสำคัญอีกประเด็นหนึ่งคือ ข้อมูล เกี่ยวกับพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องอบแห้งแต่ละชนิดย่อมมีความต้องการพลังงานที่แตกต่างกันออกไป ทั้งในแง่ของปริมาณและรูปแบบของพลังงานที่ต้องการใช้) ในปัจจุบันวิกฤติ ด้านพลังงานเป็นปัญหาใหญ่ปัญหาหนึ่ง การเลือกเครื่องอบแห้งที่มี ประสิทธิภาพคุณภาพสูงย่อมช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตลงไปได้มาก ทั้งนี้มีประมาณการว่าค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องอบแห้งเครื่องหนึ่งๆ นั้นเป็นค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานสูงถึงร้อยละ 70 ดังนั้น เลือกเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพคุณภาพสูง แม้ว่าอาจต้องลงทุน ซื้อเครื่องในราคาที่สูงกว่า นอกจากนี้ เครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพ คุณภาพสูง เป็นเครื่องอบแห้งที่ช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (เช่น CO<sub>2</sub>) และ NO<sub>x</sub> อันเป็นผลสืบเนื่องจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง ดังนั้นการเลือกใช้งานเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูงก็จะช่วยลดผลกระทบของกระบวนการอบแห้ง ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

## 2.5 การประเมินประสิทธิภาพของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ [4]

ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar collector efficiency) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นความร้อน เพื่อใช้แลกเปลี่ยนความร้อนให้อากาศที่ดูดเข้ามาให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนที่จะไหลเข้าสู่ห้องอบแห้งของ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทั่วไปการคำนวณค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถหาได้จากสมการ

$$\eta_{th} = \frac{m_a C_a (T_{outC} - T_{InC})}{G_t A_c} \times 100 \quad (2.1)$$

โดยที่

- $\eta_{th}$  คือ ประสิทธิภาพของแผงรับรังสี (%)
- $m_a$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ ( kg/s)
- $T_{InC}$  คือ อุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าแผงรับรังสี (°C)
- $T_{OutC}$  คือ อุณหภูมิของอากาศที่ไหลออกจากแผงรับรังสี (°C)

- $A_c$  คือ พื้นที่แผงรับรังสี ( $m^2$ )
- $G_t$  คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับรังสี ( $W/m^2$ )
- $C_a$  คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ ( $kJ/kg$ )

## 2.6 กลไกการถ่ายเทความร้อน [5]

1. การนำความร้อน (Conduction) กระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดการนำความร้อนนั้นได้แก่ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลในตัวกลาง หนึ่งๆ การนำความร้อนนั้นสามารถมองได้ว่าเป็นการส่งถ่ายพลังงานจากอนุภาคของสารที่มีพลังงาน สูงกว่าไปยังอนุภาคที่มีพลังงานต่ำกว่าเมื่ออนุภาคทั้งสองมากระทบกัน กลไกทางกายภาพของการนำ ความร้อนสามารถอธิบายได้โดยการพิจารณาก๊าซจำนวนหนึ่ง ซึ่งแต่ละอนุภาคของก๊าซมีอุณหภูมิต่าง กันสมมุติว่าก๊าซนี้ไม่มีการเคลื่อนที่เป็นกลุ่มก้อน (no bulk motion) และก๊าซนี้อาจจะครอบคลุม บริเวณระหว่างพื้นผิวสองแห่งซึ่ง มีอุณหภูมิต่างกัน ในบริเวณดังกล่าวก๊าซจะมี อุณหภูมิคหนึ่งและโมเลกุลของก๊าซ ณ จุดนี้จะมีพลังงานอยู่จำนวนหนึ่ง พลังงานสัมพันธ์กับการ เคลื่อนที่ ซึ่งไม่เป็นแบบแผ่น (random motion) และกับการสั่นสะเทือนของโมเลกุล โมเลกุลที่มีอุณหภูมิ สูงจะมี พลังงานสูง การเคลื่อนที่ซึ่งไม่เป็นแบบแผ่นของโมเลกุลทำให้โมเลกุลของก๊าซกระทบกันอยู่ เสมอ และเมื่อเกิดการกระทบกันก็จะเกิดการส่งถ่ายพลังงานระหว่างโมเลกุลขึ้น ถ้าโมเลกุลมีอุณหภูมิ ต่างกัน (เรียกว่ามี temperature gradient” ในบริเวณที่ก๊าซครอบคลุมอยู่) พลังงานที่ถูกส่งถ่ายนี้ก็คือ พลังงาน ความร้อน และกระบวนการดังกล่าวนี้เรียกว่า “การนำความร้อน การถ่ายเทความร้อนนี้จะ เกิดขึ้นใน ทิศทางเดียวกับทิศทางที่อุณหภูมิลดลง การเคลื่อนที่ซึ่ง ไม่เป็นแบบแผ่นของโมเลกุลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ ของโมเลกุลผ่านพื้นผิวสมมุติ 80 ขึ้นและลงอยู่เสมอ อย่างไรก็ตามโมเลกุลที่อยู่เหนือ 1. มีอุณหภูมิสูงกว่า โมเลกุลที่อยู่ต่ำ ดังนั้นจะมีการส่งถ่ายสุทธิ (not transfer) ของพลังงานในทิศทางบวกตามแกน  $x$  ใน บางครั้งการส่งถ่ายสุทธิของพลังงานซึ่งเป็นผล มาจากการเคลื่อนที่อันไม่เป็นแบบแผ่นของโมเลกุลนี้ เรียกว่าการแพร่กระจาย (diffusion) ของพลังงานสำหรับในของเหลวสถานะการณก็จะ เป็นเช่นเดียวกัน เพียงแต่โมเลกุลของของเหลวนั้นอยู่ ใกล้กันมากกว่า การกระทบกันของโมเลกุลจึงรุนแรงและบ่อยครั้ง กว่า ส่วนในของแข็งนั้นโมเลกุลยังอยู่ ใกล้กันมากกว่า ดังนั้นการนำความร้อนจึงเกิดในของแข็งได้ง่ายกว่า ในของเหลวหรือ ก๊าซ ตัวอย่าง ของการนำความร้อนนี้เห็นได้ชัดเจนเมื่อเราจุ่มช้อนโลหะลงในกาแฟที่ร้อนจัด ซึ่งในที่สุดจะพบว่าส่วน ของช้อนที่ไม่ได้จุ่มอยู่ในกาแฟจะร้อนขึ้น ปรากฏการณ์นี้เป็นผลเนื่องมาจาก การนำความร้อนในช้อน โลหะ จะกล่าวถึงคุณสมบัติ (properties) ที่สำคัญสำหรับการนำความร้อนใน รายละเอียด

อัตราการถ่ายเทความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการอัตรา (rate equations) สมการเหล่านี้ จะใช้ในการคำนวณหาจำนวนพลังงานความร้อนที่ถูกส่งถ่ายต่อหน่วยเวลา สมการอัตรา (rate equation) สำหรับการนำความร้อนมีชื่อเรียกว่ากฎของฟูเรียร์ (Fourier's law) ซึ่งการกระจายอุณหภูมิในผนังราบ (plane wall) เป็นแบบมิติเดียว (one-dimensions temperature distribution) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าอุณหภูมิ (x) แปรผันกับระยะทางตามแกน x เท่า นั้น สมการกฎของฟูเรียร์เขียนได้เป็น

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

โดยที่  $q_x$  (หน่วย  $W/m^2$ ) ซึ่งเรียกว่า "Heat flux" ได้แก่อัตราการถ่ายเทความร้อนในทิศทาง x หนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางของการถ่ายเท จากสมการเห็นว่า  $q_x$  แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ temperature gradient  $dT/dx$  ในทิศทาง x นี้ ค่า k คือค่าสัมประสิทธิ์ของการ แปรผัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติในการส่งถ่ายพลังงาน (เรียก transport property) และมีชื่อเรียกว่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity :  $W/m.K$ ) ค่าของมันขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำผนัง เครื่องหมายลบในสมการนี้เป็นเพราะความร้อนจะต้องถ่ายเทในทิศทางที่อุณหภูมิลดลงเสมอ. จะพบว่าภายใต้ภาวะคงตัว (steady state) การกระจายอุณหภูมิในผนังจะเป็นสมการเส้นตรง (Linear) และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ตามทิศทาง x เขียนได้เป็น

$$\frac{dT}{dx} = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2.3)$$

ดังนั้น heat flux มีค่าเท่ากับ

$$q_x = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2.4)$$

(2.3) - สมการ (2.4) ให้ค่าของ "heat flux" หรืออัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ สำหรับอัตรา การถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อน ทั้งหมด 4 ผ่านผนังซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A มีค่าเท่ากับผล คูณของ heat flux และพื้นที่ดังกล่าว หรือ  $q_x = q_x \cdot A$

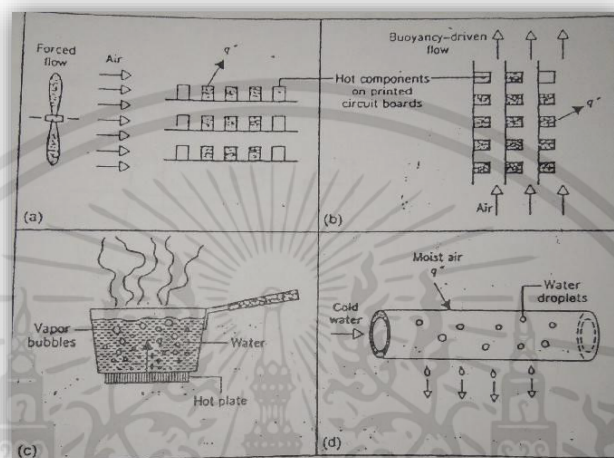
2. การพาความร้อน (Convection) การพาความร้อนนั้นประกอบไปด้วยกลไกสองชนิด คือนอกจากพลังงานซึ่งถูกส่งถ่ายโดยการเคลื่อนที่อัน แล้ว ยัง นที่อันไม่เป็นแบบแผนของโมเลกุลหรือที่เรียกว่า การแพร่กระจาย (diffusion) ดังในหัวข้อที่ มีพลังงานซึ่งถูกส่งถ่ายเนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นกลุ่มก้อน (bulk หรือ macroscopic motion) ของของไหล โดยสากลนิยมจะใช้ชื่อ "convection" เมื่อกล่าวถึงผลรวมของกลไกทั้งสองชนิด คำว่า advection นั้นจะใช้เมื่อกล่าวถึงการส่งถ่ายอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่เป็นกลุ่มก้อน (bulk motion) ของของไหล การพาความร้อน (convective heat transfer) กรณีซึ่งได้รับความสนใจเป็นพิเศษได้แก่ กรณี ที่ของไหลเคลื่อนที่ผ่านวัตถุซึ่งมีอุณหภูมิต่างกับของไหล ซึ่งเป็นการไหลผ่านพื้นผิวที่ ร้อน ความหนืดของของไหลทำให้เกิดย่านการไหลที่ของไหลมีความเร็วเปลี่ยนแปลงจากศูนย์ที่พื้นผิว จนถึงความเร็วค่าหนึ่งและชั้นของใหญ่ในย่านนี้มีชื่อเรียกว่า "hydrodynamic หรือ velocity boundary layer นอกจากนั้นแล้วถ้าพื้นผิวและของไหลส่วนใหญ่มีอุณหภูมิต่างกันก็จะมีอันหนึ่งใน ของไหลที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจาก  $T$  ที่พื้นผิว (ที่  $y = 0$ ) ถึง 1 ที่ระยะหนึ่งจากพื้นผิว ชั้นของ ไหลในย่านนี้มีชื่อเรียกว่า "thermal boundary layer" ซึ่งอาจจะบางกว่า หนา กว่า หรือมีขนาดเดียวกัน กับ velocity boundary layer ก็ได้ ซึ่งไม่ว่าจะเป็นกรณีใดถ้า  $T > L$  จะมีการถ่ายเทความร้อนใน ลักษณะการพาความร้อนจากพื้นผิวของไหลเสมอ

ดังที่กล่าวไว้ในตอนต้น การพาความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่อันไม่เป็นแบบแผนของโมเลกุลตลอดจนการเคลื่อนที่เป็นกลุ่มก้อน (bulk motion) ของของไหล ผลของการเคลื่อนที่อันไม่เป็นแบบแผนของของไหลจะเด่นกว่าในย่านใกล้กับพื้นผิวซึ่งของไหลมีความเร็วต่ำ (ซึ่งที่จริงแล้ว ณ ผิว สัมผัสระหว่างพื้นผิวและของไหล (ที่  $y = 0$ ) ความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยกลไกนี้เท่านั้น และเนื่องจาก "boundary layer" มีความหนามากขึ้นตามทิศทางของการไหล ผลของการเคลื่อนที่อันเป็นกลุ่มก้อน (bulk fluid motion) จึงมีมากขึ้นตามทิศทางของการไหล การเข้าใจปรากฏการณ์ของ "boundary layer" จึงมีส่วนสำคัญต่อการทำความเข้าใจปัญหาการพาความร้อนเป็นอย่างมาก ดังนั้นเห็นได้ว่า การวิเคราะห์ปัญหาการพาความร้อนจำเป็นต้องใช้ความรู้จากวิชากลศาสตร์ของไหลด้วย

การพาความร้อนอาจจะแบ่งออกได้ตามธรรมชาติของการไหล โดยเขาเรียกการพาความร้อน ว่า เป็นแบบ บังคับ (Forced Convection) " เมื่อการไหลมีสาเหตุเนื่องมาจากการกระทำภายนอก เช่น โดยพัดลม บั้ม ฯลฯ ส่วน "การพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural หรือ Free Convection)" นั้น การเคลื่อนที่ของของไหลมีสาเหตุเนื่องมาจากแรงลอยตัวในของไหล แรงเหล่านี้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากมีความแตกต่างอุณหภูมิในของไหล ตัวอย่างของการพาความร้อนตามธรรมชาติได้แก่การพาความร้อนซึ่งเกิดขึ้นระหว่างพื้นถนนที่ร้อนจัดกับอากาศเหนือถนน อากาศ

ในย่านที่อยู่ติดกับถนนมีความหนาแน่นต่ำกว่าความหนาแน่นของอากาศที่เย็นกว่าข้างบน ดังนั้นอากาศที่ร้อนจะลอยตัวขึ้นและอากาศที่เย็นจะเคลื่อนที่ลงมาแทน ทำให้เกิดการไหลวนของกระแสอากาศ

อย่างไรก็ตามไม่ว่าธรรมชาติของการพาความร้อนจะเป็นเช่นใดสมการสำหรับใช้คำนวณอัตราการพาความร้อนจะเขียนอยู่ในรูป



รูป 2.1 กระบวนการหาความร้อน การหาความร้อนแบบบังคับ, การหาความร้อนตามธรรมชาติ, การเลือก, การควบแน่น

$$q'' = h + (T_s - T_\infty) \quad (2.5)$$

โดยที่  $q_x$  คือค่า Convective hat flux (หน่วย Win) ซึ่งแปรผันตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างพื้นผิวและของไหล (1 และ 1 ตามลำดับ) สัมประสิทธิ์ของการแปรผัน 5 (หน่วย Work) มีชื่อเรียกว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convective heat transfer coolicent) ซึ่งบาง ครั้งอาจเรียกเป็น (film conductance หรือ film coolicent) มีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า Newton's law of cooling” เป็นสมการที่รวมผลทั้งหมดที่ทำให้เกิดการพาความร้อน เช่นสภาพต่างๆ ในการไหล ไว้เป็นสัมประสิทธิ์เพียงตัวเดียว จะพบว่าการศึกษาการพาความร้อนไม่ว่า กรณีใดในที่สุดจะลดลงเหลือเป็นการศึกษาวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) และแม้ว่า เราจะยังไม่พิจารณากรณีการพาความร้อนอย่างละเอียดในบทต้น ๆ การพาความร้อนมักปรากฏเป็น เงื่อนไขที่ขอบเขต (boundary condition)

ของสมการเชิงอนุพันธ์ (Global equation) ที่ใช้ในการเคราะห์ปัญหาการนำความร้อนอยู่เสมอ โดยในเบื้องต้นนี้เราจะสมมุติว่าค่า  $h$  เป็นค่าที่รู้โดยใช้ค่าคร่าว ๆ

3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) การแผ่รังสีความร้อน คือพลังงานความร้อนซึ่งแผ่ออกโดยสาร ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ แม้ว่าเราจะเน้นการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวที่เป็นของแข็ง แต่การแผ่รังสีนั้นสามารถเกิดขึ้นโดยของเหลว หรือก๊าซ และไม่ว่าสารจะมีสถานะใดก็ตาม การแผ่รังสีจะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบอิเล็กตรอนในอะตอมของสาร พลังงานของการแผ่รังสีจะถูกส่งออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) และในขณะที่การนำและการพาความร้อนจำเป็นต้องมีตัวกลาง แต่การแผ่รังสีความร้อนนั้นไม่ต้องการตัวกลาง ซึ่งที่จริงแล้วการแผ่รังสีความร้อนจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในสุญญากาศ

รังสีความร้อนที่พื้นผิวใด ๆ สามารถแผ่ออกไปได้มากที่สุด (maximum flux ;  $W/m^2$ ) นั้น เป็นไปตามสมการซึ่งเรียกว่า “Stefan-Boltzmann Law

$$q'' = \sigma T_s^4 \quad (2.6)$$

คือค่าคงที่สมบูรณ์ (absolute constant ( $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ ) temperature : K) ของพื้นผิว "Stefan-Boltzmann คือสมการการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวทางอุดมคติซึ่งเรียกว่า “วัตถุดำ (black body)” ค่า heat flux ที่ส่งออกมาจากพื้นผิวที่แท้จริงจะมีค่าน้อยกว่า และเป็นไปตามสมการ

$$q'' = \epsilon \sigma T_s^4 \quad (2.7)$$

โดยที่  $\epsilon$  คือคุณสมบัติของการแผ่รังสีความร้อนตัวหนึ่งซึ่งมีชื่อเรียกว่า “emissivity” เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวโดยเปรียบเทียบกับวัตถุดำสมการ (2.6) นั้นใช้สำหรับหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนโดยพื้นผิวหนึ่ง ๆ เท่านั้น การหา อัตราการแผ่รังสีความร้อนสุทธิระหว่างพื้นผิวต่าง ๆ นั้นเป็นเรื่องที่ซับซ้อนกว่ามาก อย่างไรก็ตาม พิเศษที่พบบ่อยในทางปฏิบัตินั้นมักเกี่ยวข้องกับอัตราการแลกเปลี่ยนสุทธิระหว่างพื้นผิวเล็กๆ กับพื้นผิวขนาดใหญ่กว่ามากซึ่งครอบคลุมพื้นผิวเล็กไว้ทั้งหมด ถ้าสมมุติว่าพื้นผิวและสิ่งแวดล้อม (surrounding) นั้นแยกกันโดยก๊าซซึ่งไม่มีผลต่อการแผ่รังสีความร้อน อัตราการส่งถ่ายรังสีความร้อน สุทธิระหว่างพื้นผิวและสิ่งแวดล้อม (ต่อหน่วยพื้นที่ของพื้นผิว) สามารถคำนวณได้จาก

$$q'' = \frac{q}{A} = \epsilon\sigma(T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (2.8)$$

โดยที่ 4 คือพื้นที่ของพื้นผิว คือ ค่า รก ของพื้นผิว และ T คืออุณหภูมิสมบูรณ์ของสิ่งแวดล้อม สำหรับกรณีพิเศษนี้พื้นที่และ "missinity" ของสิ่งแวดล้อมจะไม่มีผลต่อข้อจำกัดของสมการ ในหลายกรณี อัตราการแผ่รังสีความร้อนสุทธิที่นักเรียนอยู่ในรูปที่สะดวกกว่า และให้คล้ายคลึงกับ Newton's law of cooling คือ

$$q_{rad} = h_r A (T_s - T_{sur}) \quad (2.9)$$

โดยที่สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (radation heat transfer coefficient) ได้แก่

$$h_f = \epsilon\sigma(T_s + T_{sur})(T_s^2 + T_{sur}^2) \quad (2.10)$$

ซึ่งที่จริงแล้วสมการเป็นเพียงการจัดรูปของสมการให้คล้ายกับกรณีของการพาความร้อน แต่สามารถสังเกตได้จากสมการ  $h_r$  นั้นเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิ อย่างมาก ในขณะที่เดียวกันสัมประสิทธิ์การพาความร้อนนั้นแม้ว่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิบ้างแต่ก็ไม่มากนักพื้นผิวภายในสิ่งแวดล้อมอาจถ่ายเทความร้อนได้ทั้งโดยการพา และการแผ่รังสีความร้อนในเวลาเดียวกัน ในกรณีนี้ อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดจากพื้นผิวคือผลรวมของอัตราการถ่ายเท ความร้อนทั้งสองแบบ นั่นคือ

$$q = q_{conv} + q_{rad} \quad (2.11)$$

หรือ

$$q = hA(T_s - T_\infty) + \epsilon A \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (2.12)$$

ในที่นี้  $q_{conv}$  คือผลคูณของ heat flux ในสมการกับพื้นที่ของผิว  $T_\infty$  คืออุณหภูมิของของไหลที่อยู่ระหว่างพื้นผิวและสิ่งแวดล้อม

## 2.7 การทำแห้ง (Dehydration) [6]

เนื่องจากร้อยละ 70% ขององค์ประกอบของเนื้อสัตว์คือน้ำ ดังนั้นเนื้อสัตว์จึงเป็นแหล่งอาหารที่ดีสำหรับจุลินทรีย์ เนื่องจากมีสารอาหารครบถ้วน และมีปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อจำนวนมาก จุลินทรีย์ในเนื้อสัตว์จึงเจริญเติบโตได้ดี เอ็นไซม์ในเนื้อจะทำงานได้ดีหากมีปริมาณน้ำที่เพียงพอ ดังนั้นการลดความชื้นหรือการทำให้อาหารแห้งจะช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ หลักการทำแห้งเป็นวิธีการดึงเอาน้ำอิสระ (Free Water) ในอาหาร ซึ่งเป็นน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ออกไป ส่วนน้ำที่เหลือจากการทำแห้งเป็นน้ำที่ถูกยึดไว้กับองค์ประกอบของอาหาร (Bound Water) ซึ่งเป็นน้ำที่อยู่ในโครงสร้างหรือในเซลล์ที่ประกอบเป็นกล้ามเนื้อสัตว์ ซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถดึงออกมาใช้ประโยชน์หรือ เพื่อกำจัดรังสีได้ การทำแห้งสามารถทำได้ 3 วิธี คือ

**2.7.1. การทำแห้งด้วยแสงแดด (Sun drying)** เป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้มาตั้งแต่อดีต โดยนำเนื้อสัตว์มาหั่นเป็นชิ้นบางๆ ล้างด้วยน้ำแล้วคลุกเคล้าเกลือ หลังจากนั้นนำไปตากให้แห้งโดยใช้แสงแดด วิธีการนี้ประหยัดพลังงานความร้อน แต่เนื้อตากแห้งที่ได้มักมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์สูง หากระยะเวลาของการตากไม่เพียงพอกับสภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้การเก็บเนื้อสัตว์แดดเดียวไว้เพื่อการบริโภคมีเวลาจำกัด

**2.7.2. การทำแห้งด้วยความร้อน (Hot Air Drying)** เป็นการนำวิธีการแรกมาปรับปรุง โดยใช้อุปกรณ์เข้าช่วยเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์จำนวนมากแห้งตามที่ต้องการ และมีความชื้นสม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่ตากแห้งโดยวิธีนี้สะอาด ลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการตากแดด การทำแห้งในผลิตภัณฑ์เนื้อที่ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ หรือผลิตภัณฑ์เนื้อที่สุกแล้วมักใช้วิธีการทำให้แห้งด้วยความร้อน โดยใช้ตู้อบขนาดใหญ่ที่มีลมร้อนเป่าผ่าน ทำให้น้ำระเหยไปกับลมร้อน โดยทางช่องระบายลมภายในตู้อบ ใช้อุณหภูมิประมาณ 50-70 °C

**2.7.3. การทำแห้งด้วยความเย็น (Freeze Drying)** การแช่แข็งแล้วทำให้แห้งในสุญญากาศ เป็นวิธีการทำให้เนื้อสัตว์แห้งโดยการระเหิด (Sublimation) น้ำออกจากชิ้นเนื้อในสถานะที่เป็นน้ำแข็งในสภาพสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูพรุนโปร่ง คงรูปร่างเดิมได้ดี มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 2.0% และสามารถดูดน้ำกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ง่ายการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จึงต้องบรรจุในสภาพสุญญากาศ (Vacuum Packaging) ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้วิธีทำแห้งในลักษณะดังกล่าวนี้ มีราคาสูงมากทั้งนี้อาหารจะแห้งเร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกหลายประการ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วของอากาศ หรือลมร้อนภายนอก และพื้นที่ผิวที่สัมผัส กับอากาศ อาหารจะแห้ง เร็วเมื่ออากาศรอบๆ อาหารมีอุณหภูมิสูง และมีความชื้นน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้อุณหภูมิในระยะเริ่มต้นสูงจะทำให้ผิวหน้าของอาหารแห้งเร็วจนเกินไป ทำให้ความชื้นภายในอาหารระเหยออกมาได้ยากขึ้น นอกจากนี้

อาหารจะแห้งช้าลง ถ้าวิธีการระบายความชื้นที่ออกจากอาหารไม่มีประสิทธิภาพ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับอบอาหารอยู่ระหว่าง 125–140 °F (51.6 - 60 °C) การหมักเกลือก่อนทำให้แห้งจะช่วยให้น้ำออกจากอาหารเร็วขึ้นเพราะความดันออสโมซิส ของเกลือสูงกว่าอาหารน้ำในอาหารจึงไหลออกมาภายนอก

## 2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง [7]

สภาวะการอบแห้งสามารถเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากการดำเนินงานและการควบคุมสภาวะภายนอกที่สำคัญและมีผลต่ออัตราการอบแห้งวัสดุได้แก่ อุณหภูมิของลมร้อนความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนและน้ำหนักของวัสดุอบแห้งต่อหน่วยพื้นที่นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น การกวนการแบ่งขนาดของชิ้นวัสดุ

**2.8.1. อุณหภูมิของลมร้อน** โดยปกติการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ความดันอบแห้งจะถูกควบคุมโดยเครื่องควบคุมอุณหภูมิในกรณีดังกล่าวถือว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยคงที่ในกรณีที่มีการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิในขณะอบแห้ง จะถือว่าอุณหภูมิมิมีผลต่ออัตราการอบแห้งเป็นอย่างมากในเปียกกับกระเปาะแห้งของอากาศร้อนเท่านั้นดังนั้นอัตราการอบแห้งมีค่าสูงเมื่ออุณหภูมิกะเปาะแห้งมีค่าสูงและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าต่ำสุดในช่วงของอัตราการอบแห้งคงที่อัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับการสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแห้งเท่านั้นส่วนในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงวัสดุอบแห้งมีแนวโน้มจะแห้งเร็วขึ้นถ้าอุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น

**2.8.2. ความเร็วของลมร้อน** ความเร็วของลมร้อนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอากาศอุณหภูมิและการนำอากาศที่ใช้แล้วมาผสมกับอากาศแวดล้อม แม้ว่าการนำที่ใช้แล้วมาผสมกับอากาศแวดล้อมทำให้องค์ประกอบและคุณสมบัติอากาศร้อนเปลี่ยนแปลงไปแต่จะไม่มีผลต่อความเร็วของลมร้อน โดยปกติในการอบแห้งจะควบคุมให้ความเร็วของลมร้อนคงที่ตลอดช่วงของการอบแห้งในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของลมร้อนความเร็วของลมร้อนมีผลต่ออัตราการอบแห้ง เนื่องจากความเร็วของลมร้อนจะมีผลประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนดังนั้นถ้าปัจจัยอื่นๆ คงที่การอบแห้งที่ความเร็วลมร้อนสูงจะทำให้อัตราการอบแห้งดีขึ้น

**2.8.3. ความชื้นของลมร้อน** ความชื้นจะขึ้นอยู่กับการนำอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อมและยังขึ้นอยู่กับการอบแห้งที่เวลาใดๆ หากลมร้อนมีความชื้นสูงจะทำให้ความสามารถในการดึงน้ำในวัสดุอบแห้งต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของลมร้อนลดลง นั่นคืออัตราการอบแห้งจะลดลงด้วยและในทางทฤษฎีสามารถที่จะควบคุมความชื้นของลมร้อนได้โดยการควบคุมการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับ

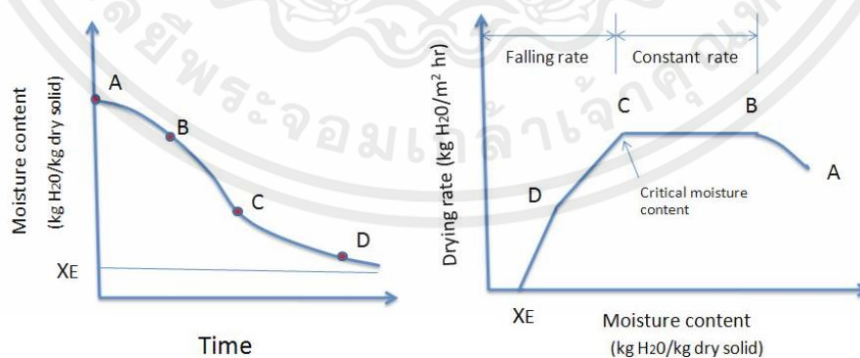
อากาศแวดล้อม ซึ่งหากเพิ่มการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อมมากขึ้นเท่าใดอัตราการอบแห้งจะลดลงมากขึ้นเท่านั้นในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถควบคุมการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อมได้แน่นอนและวิธีที่นิยมทดลองกันคือ การลองผิดลองถูกหรือ หาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นอัตราการอบแห้งขณะใดขณะหนึ่งและสัดส่วนของการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อมโดยการสมดุลมวลสาร

**2.8.4. น้ำหนักของวัสดุ** ต่อหน่วยพื้นที่หรือความหนาของชั้นวัสดุในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ที่อัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิววัสดุเท่านั้น ดังนั้นความหนาของวัสดุไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งในช่วงนี้เลยแต่เมื่อถึงช่วงอัตราการอบแห้งลดลงการแพร่ของน้ำจากภายในสู่พื้นผิวของวัสดุซึ่งเกิดการระเหยจะเป็นตัวควบคุมอัตราการอบแห้งในช่วงนี้ การเพิ่มความหนาของชั้นวัสดุจะทำให้อัตราการอบแห้งลดลงดังนั้นต้องกำหนดความหนาของชั้นวัสดุที่เหมาะสมด้วย

**2.8.5. ปัจจัยอื่นๆ** นอกจากอุณหภูมิของลมร้อนความเร็วของลมร้อนความชื้นสัมพัทธ์และความหนาของชั้นวัสดุอบแห้งแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการอบแห้งเช่นการสลับตำแหน่งของถาดบรรจุวัสดุขณะทำการอบแห้งขนาดของชั้นวัสดุอบแห้ง

## 2.9 อัตราเร็วของการทำแห้งอาหาร [8]

ขึ้นอยู่กับสภาพธรรมชาติของอาหารเริ่มต้นก่อนการทำแห้ง และสภาวะแวดล้อมระหว่างการทำแห้ง เช่น ชนิดของเครื่องทำแห้ง (drier) อุณหภูมิ เวลา ความชื้นสัมพัทธ์ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (heat transfer coefficient) เป็นต้น



รูปที่ 2.2 กราฟระหว่างอัตราการทำแห้ง (drying rate) และความชื้นในสารนั้น (moisture content)

1. ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial adjustment period -AB ) เป็นช่วงเริ่มต้นที่อาหารที่ใช้ในการอบแห้ง มีความชื้นเริ่มต้น (A) ของอาหารยังสูงอยู่ ผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหาร ทำให้อุณหภูมิจึงผิวอาหาร มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก(wet bulb temperature) ของกระแสลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลาง อัตราการทำแห้งค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงอัตราทำแห้งคงที่ (constant rate)

2. ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (Constant rate period-BC) เป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า พลังงานความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากของวัสดุอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง จุดสุดท้ายของช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่ อัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง ความชื้นของวัสดุ ณ เวลานี้ เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content)

3. ช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (Falling rate period CD และ DE) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิจึงผิวของอาหารสูงขึ้น อัตราการอบแห้งจะลดลงความชื้นจะลดลง จนถึงค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content, XE) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุด ภายใต้สภาวะที่ใช้อุณหภูมิในขณะนั้น ที่ความชื้นนี้ อัตราการทำแห้งเป็นศูนย์ น้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก

## 2.10 วัตถุประสงค์ของการทำแห้งอาหาร [9]

2.10.1. ยืดอายุการเก็บรักษา การทำแห้งเป็นการลดปริมาณน้ำในอาหาร เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิด เช่น รา (mold) ยีสต์ (yeast) แบคทีเรีย (bacteria) ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (microbial spoilage) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme) หรือชะลอปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมีซึ่งมีน้ำเป็นส่วนร่วมและเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (food spoilage)

2.10.2. ทำให้อาหารปลอดภัย การลดปริมาณน้ำในอาหารโดยการทำแห้ง ทำให้อาหารมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity) น้อยกว่า 0.6% ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) รวมทั้งยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อรา (mycotoxin) เช่น Aflatoxin

2.10.3. เพื่อทำให้อาหารมีน้ำหนักเบา ลดปริมาตรทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่นๆ

2.10.4. ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้น อาหารที่นำมาทำแห้งมีหลายหลาย วัตถุดิบเริ่มต้นที่นำมาทำแห้งอาจมีสถานะเป็นของเหลว ของกึ่งแข็งหรือของแข็ง ให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีสถานะเป็นของแข็ง ซึ่งอาจเป็นชิ้น เป็นแผ่น หรือเป็นผง ที่มีลักษณะและคุณภาพแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับ กระบวนการทำแห้งที่เลือกใช้ ตัวอย่างอาหารแห้งที่พบทั่วไป ได้แก่ ผักผลไม้ ถั่วเมล็ดแห้ง นมผง

ชา กาแฟ โกโก้ น้ำตาล เนื่อสัตว์ สัตว์น้ำ อาหารทะเลเห็ด กว๊วยเตี๋ยว พาสต้า สมุนไพร เครื่องเทศ วัตถุเจือปนอาหาร (food additive) เป็นต้น การทำแห้งอาหารที่มีประสิทธิภาพสูง ต้องคำนึงถึงคุณภาพของอาหารที่ได้หลังจากการทำแห้ง เช่น การนำมาคืนตัว (rehydration) ด้วยการดูดน้ำกลับเข้าไปใหม่ คุณค่าทางโภชนาการ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส รูปร่าง ทั้งยังต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงาน มีการนำพลังงานกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกด้วย

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คณินิต ปทุมมาเกษตร,วันชลี เพ็งพงศา,ติณณภพ จุ่มอิน และ สายชล ทองคำ และคณะ[10] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ขนาดพื้นที่  $1.305 \text{ m}^3$  โดยการทดลองหมักด้วยชะครามจำนวน  $1 \text{ kg}$  ทำการอบด้วยสามความเร็วลม  $1, 2, 3 \text{ m/s}$  และจากการทดลองพบว่า  $3 \text{ m/s}$  จะใช้เวลาอบแห้งเร็วสุด  $80$  นาที โดยมีความชื้นสุดท้ายที่  $180\% \text{ db}$

พลวัฒน์ พลเดช และ โสภา แคนสี [11] ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งและเตรียมปลานิลที่มีผลต่อคุณภาพอบแห้งของผลิตภัณฑ์เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกมีขนาดกว้าง  $3 \text{ m}$  ยาว  $4 \text{ m}$  สูง  $2.3 \text{ m}$  และมีพัดลมระบายอากาศ ขนาด  $3.4 \text{ W}$  และเมื่อทำการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม  $12.8 \text{ }^\circ\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งมีค่าต่ำกว่าภายนอก  $13\% \text{ w.b.}$  เป็น  $25\% \text{ w.b.}$  ลดได้มากกว่าการตากแดดธรรมชาติถึง  $62\% \text{ w.b.}$

สำรวย ภูบาล และ สุรพิชญ์ ทับเที่ยง [12] ได้ทำการทดลองเห็นมาสองกลุ่มและนำมาอบแห้งด้วยวิธีต่างๆคืออบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และการไหลแบบธรรมชาติและการไหลแบบบังคับผลการทดลองพบว่าวิธีการอบแห้งส่งผลต่อคุณภาพเห็ดและเวลาการอบแห้งการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไมโครเวฟช่วยลดเวลาการอบแห้งและมีการหดตัวน้อยที่สุดอย่างไรก็ตามการใช้ไมโครเวฟทำให้เห็ดหอมเกิดสีน้ำตาลคล้ำมากกว่าวิธีอื่นๆและการไหลแบบบังคับช่วยลดเวลาการอบแห้งให้สั้นลง

อนุชิต กลับประสิทธิ์ และ ดุชนิ ศุภวรรณะกุล และคณะ. [13] ได้ทำการสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับปลาช่อนแดดเดียวและผลการวิจัยพบว่าได้มีการสร้างที่ขนาด  $120 \times 120 \times 102 \text{ cm}$  โดยตัวเครื่องสามารถถอดประกอบทำความสะอาดได้ง่ายบำรุงรักษาได้ง่ายและเมื่อมีความเข้มแสงสูงสุดสามารถสร้างความต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายในได้สามารถจ่ายลมร้อนที่อุณหภูมิ  $40\text{-}55 \text{ }^\circ\text{C}$

ศิริ ดวงพร และ อภิรักษ์ ลอยแก้ว และคณะ. [14] ได้ทำการวิจัยจลน์พลศาสตร์การอบแห้งของกล้วยหอมและสมรรถนะของเครื่องอบแห้งร่วมกับอินฟาเรดโดยก่อนการทดลองมีความชื้นเริ่มที่  $309.2 \text{ } \%$  db. และมีความเข้มรังสีอยู่ที่  $666.8\text{-}687.1 \text{ W/m}^2$  ความชื้นและอัตราความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่องโดยการอบที่อุณหภูมิคงที่  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  และสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าอยู่ระหว่าง  $8.68 \times 10^{-8}$  ถึง  $9.85 \times 10^{-8}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การศึกษาการออกแบบตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้หลักการทางวิศวกรรมในการออกแบบเพื่อให้ได้รูปแบบตามที่เราต้องการ ซึ่งมีวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

#### 3.1 ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ มี 2 รูปแบบ (1) ตู้อบวัสดุจะเป็นแผ่นเหล็กใช้ในการทำตู้อบ (2) ตู้อบจะใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตใช้ในการทำตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยกัน 2 ส่วน คือ ส่วนแผงรับแสงอาทิตย์มีขนาดความกว้าง 80 cm ยาว 122 cm สูง 22 cm และส่วนของตู้อบซึ่งมีขนาดความกว้าง 80 cm ยาว 80 cm สูง 120 cm ดังรูปที่ 3.1 ภายในตู้อบจะประกอบด้วย ตัววัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิลจำนวน 11 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.2



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.1 ลักษณะตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ (ก) ตู้อบวัสดุจะเป็นแผ่นเหล็ก

(ข) ตู้อบวัสดุแผ่นโพลีคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

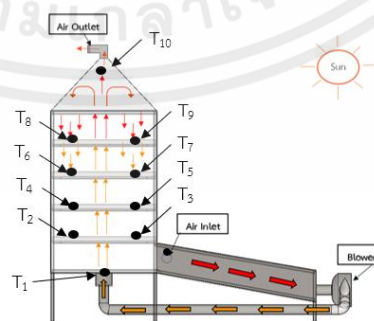
รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการติดตั้ง Thermo couple ภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

(ก) ลักษณะภายในตู้ดำ (ข) ลักษณะภายในตู้ใส

### 3.2 หลักการทำงานของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

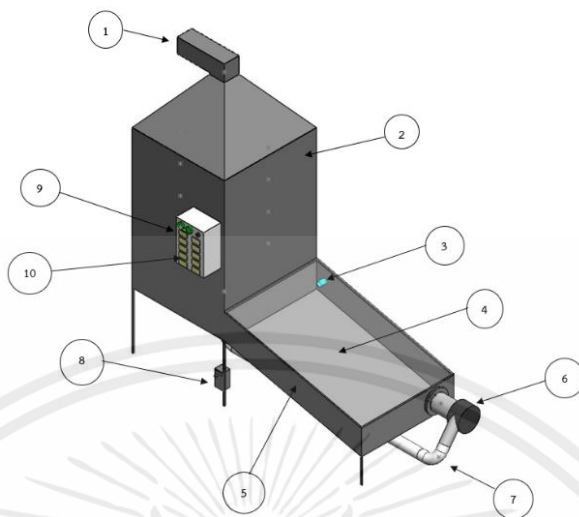
อากาศที่ถูกดูดด้วยเครื่องเป่าลมเข้าไปยังเครื่องแล้วจะผ่านแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างไว้เพื่อนำลมเข้าสู่ห้องอบลมที่ไหลผ่านเข้าสู่ห้องอบก็จะได้รับความร้อนจากแสงของดวงอาทิตย์เพื่อให้ความร้อนแล้วจะไหลผ่านตู้อบเพื่อสร้างความร้อนในตู้อบแล้วจะไหลออกทางท่อด้านบนของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์และมีเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ 10 จุดภายในตู้ โดยมีหลักการและ ส่วนประกอบ ดังนี้

1. ท่อระบายอากาศ
2. ตู้อบ
3. ท่ออากาศเข้า
4. กระจก
5. แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์
6. พัดลม Blower
7. ท่ออากาศ
8. อินเวอร์เตอร์
9. ตู้ควบคุม
10. จอแสดงอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของตู้พลังงานแสงอาทิตย์

### 3.3 วัสดุและอุปกรณ์

#### 3.3.1 Thermocouple Probe type K

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยใช้วัดภายในตู้บั้ง ตำแหน่งทางเข้าทางออกของอากาศ ตำแหน่งชั้นวาง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 Thermocouple Probe type K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 Temperature display

เป็นอุปกรณ์แสดงผลค่าของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งจุดต่างๆ ที่ได้ทำการติดตั้งThermo couple type k เอาไว้การอ่านค่าอุณหภูมิจะปรากฏขึ้นอัตโนมัติที่เข้าบนหน้าจอ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 Temperature display

### 3.3.3 พัดลม Blower

พัดลมหอยโข่ง AC220 V 320 W เป็นอุปกรณ์ที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศด้วยความเร็วและทิศทางที่ต้องการ เพื่อให้อากาศเคลื่อนที่จากจุดให้ความร้อนภายในแผง Solar panel และส่งอากาศร้อนเข้าไปยังตู้อบ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 พัดลม Blower

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4 เครื่องวัดความเข้มแสงดิจิทัล

เครื่องวัดความสว่าง Luxmeter Light มีความเสถียรใช้งานได้จริงเชื่อถือได้ในการวัดความสว่างของแสงนอกจากนั้น เมื่อทำการวัดภายใต้โหมด Max มิเตอร์จะแสดงเฉพาะค่ามากกว่าค่าปัจจุบันเท่านั้นเมื่อวัดภายใต้โหมด Min จะแสดงเฉพาะค่าที่น้อยกว่าปัจจุบันเท่านั้น ดังรูป 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความเข้มของแสง

### 3.3.5 เครื่องวัดความเร็วลม DIGICON DA-43A

เครื่องวัดความเร็วลมและอุณหภูมิขนาดเล็กสามารถติดตั้งใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เช่น ตรวจสอบสภาพ ตรวจสอบความเร็วของอากาศของท่อลม,พัดลม,มอเตอร์,เครื่องเป่าลม,ความเร็วอากาศของระบบปรับอากาศได้ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความเร็วลม DIGICON DA-43A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.6 อินเวอร์เตอร์

อุปกรณ์ที่ใช้ปรับรอบการทำงานของเครื่องเป่าลมให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ใช้งาน  
ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.10 อินเวอร์เตอร์

### 3.3.7 แผ่นโพลีคาร์บอเนต สีใส "GRADE A" BRAND "POLYTOP"

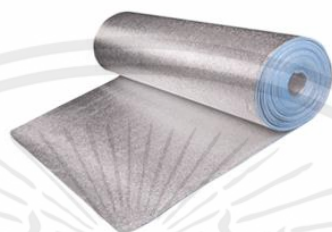
แผ่น Polycarbonate เป็นแผ่นพลาสติกใสโปร่งแสงวัสดุแผ่นสามารถดัดงอโค้งได้โดยไม่ต้องใช้ความร้อน (ดัดได้ตามโครงสร้างหน้างาน) สามารถประยุกต์รูปแบบให้เหมาะสมกับการออกแบบได้หลายรูปทรงตามความต้องการ ทนต่อแรงกระแทกและยากต่อการแตกหัก มีความแข็งแรงมากกว่ากระจก 80-250 เท่า หรือมากกว่า อะคริลิก ถึง 15 เท่า ทนทานต่อความร้อนได้สูง ไม่ติดไฟง่าย ดังรูป 3.11

รูปที่ 3.11 แผ่นโพลีคาร์บอเนต สีใส "GRADE A" BRAND "POLYTOP"

<https://www.homepro.co.th/p/1039485>

### 3.3.8 ฉนวนกันความร้อน PE ชนิดแผ่น (STAY COOL) รุ่น 7.5 mm. PREMIUM

คือแผ่นฉนวนกันความร้อนพีอีชนิดแผ่น (sheet) ที่มีลักษณะเป็นวัสดุโพลีเอทิลีนนุ่มจะมีคุณสมบัติต้านทาน ความร้อน ส่วนแผ่นฟอยล์ที่หุ้มเคลือบอยู่บนผิวอีกหนึ่งชั้น จะเป็นตัวช่วย สะท้อน ความร้อนและปกป้องแผ่นโพลีเอทิลีน ดังรูป 3.12



รูปที่ 3.12 ฉนวนกันความร้อน PE ชนิดแผ่น

[https://www.boonthavorn.com/stay-cool-1114184?gclid=CjwKCAjwwqaGBhBKEiwAMk-FtJmYTMpLSspF6D02q6HkRoLD2pMJEaFWClDrj83dJ5A2rO3NizKiYxoC7pMQAvD\\_BwE](https://www.boonthavorn.com/stay-cool-1114184?gclid=CjwKCAjwwqaGBhBKEiwAMk-FtJmYTMpLSspF6D02q6HkRoLD2pMJEaFWClDrj83dJ5A2rO3NizKiYxoC7pMQAvD_BwE)

### 3.4 วิธีการทดสอบและเปรียบเทียบตู้อบความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1. เริ่มเก็บผลการทดลองที่เวลา 08.00 น. โดยจะตั้งเครื่องหันไปทางทิศตะวันออกเป็นทิศที่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์สามารถรับแสงได้เต็มที่ในช่วงเช้าและในเวลา 13.00 น. จะตู้ไปทางทิศตะวันตกซึ่งเป็นทิศที่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้เต็มที่ในช่วงบ่าย ดังรูป 3.13,3.14

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

1. ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบตู้อบแบบทึบ
2. ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์แบบตู้อบแบบใส

โดยนำทั้ง 2 กรณีทดลองที่ความเร็วอากาศที่ทางเข้ามีค่าความเร็วอากาศที่ 0.5 0.7 และ 0.9 m/s



รูปที่ 3.13 ตั้งตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์หันไปทิศตะวันออก



รูปที่ 3.14 ตั้งตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์หันไปทางทิศตะวันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการตั้งค่าอินเวอร์เตอร์อยู่ที่ 5.64 Hz, 6.79 Hz และ 8.59 Hz ตามลำดับเพื่อให้เครื่องเป่าลมสร้างความเร็วอากาศตามค่าที่กำหนดไว้ ดังรูป 3.15



รูปที่ 3.15 ตั้งค่าอินเวอร์เตอร์ควบคุมอากาศเข้าเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์

3. ทำการเก็บค่าอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ทุกๆ 30 นาที ดังรูป 3.16



รูปที่ 3.16 ทำการเก็บผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการเก็บค่าความเข้มแสงที่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ทุกๆ 30 นาที ดังรูป 3.17



รูปที่ 3.17 ทำการเก็บค่าความเข้มแสง

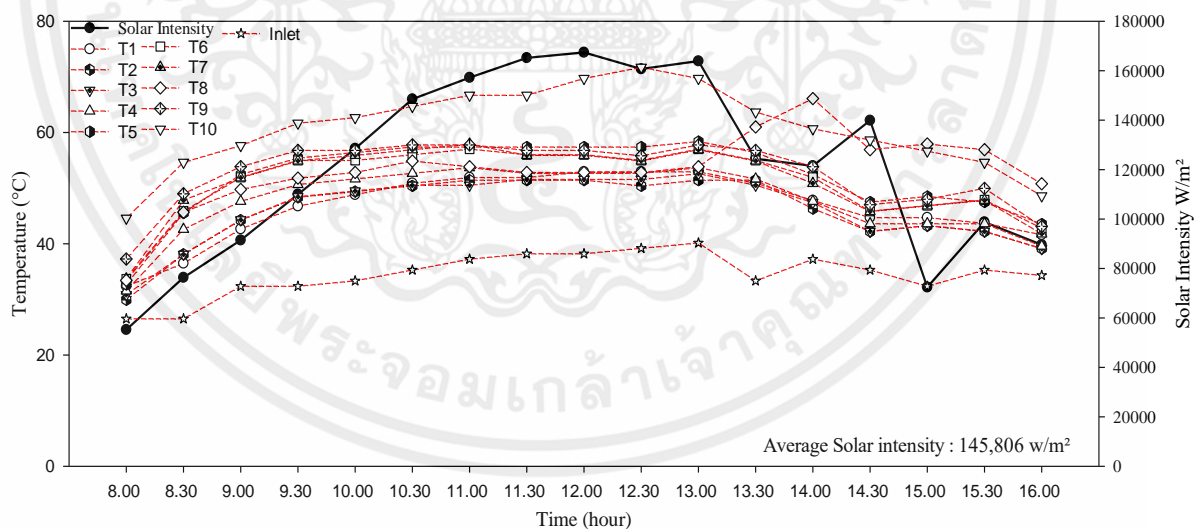
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

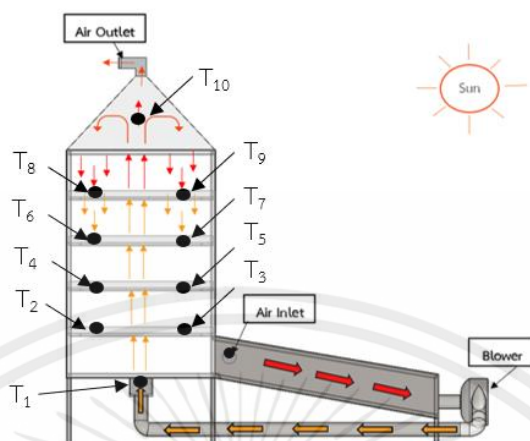
### ผลและวิจารณ์ผล

จากการทดลองตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 แบบ 1.แบบตู้ใส(โพลีคาร์บอเนต) 2.ตู้ทึบ(เหล็กแผ่น) โดยการทดลองความเร็วอากาศ ใช้เวลาในการเก็บผลทุกๆครึ่งชั่วโมง ตั้งแต่ 8.00-16.00 นาฬิกา แบ่งออกเป็น 17 ครั้งของผลการทดลอง ความเร็วอากาศที่ ค่า 0.5,0.7 และ 0.9m/s ความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละวันที่ทำการทดลองนั้นมีความต่างกันแต่ใช้ความเร็วอากาศที่กำหนดเท่ากันโดยหลังการเก็บผลตู้ทึบเสร็จเรียบร้อยแล้วจะทำการเปลี่ยนวัสดุตู้เป็นตู้ใส(โพลีคาร์บอเนต) โดยใช้หลักการเดียวกันในการเก็บผล เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับตู้ทึบ อุณหภูมิภายในตู้อบ และการนำและการพาความร้อนของตู้ จะได้ผลการวิจัยดังนี้

#### 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบของตู้ทึบที่ความเร็วอากาศที่ 0.5 0.7 และ 0.9 m/s

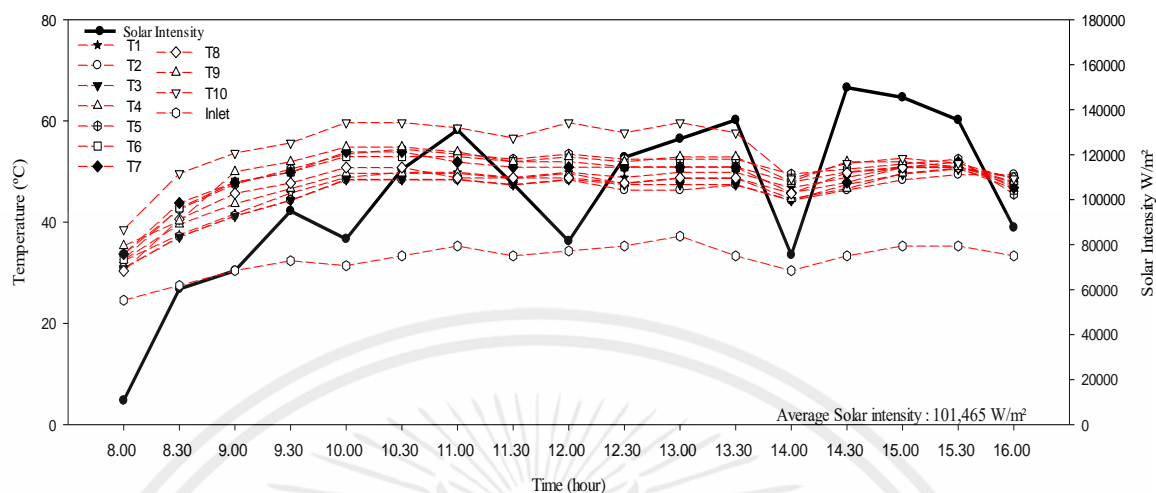


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ , ความเข้มแสง การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิ ในขณะที่ทำการทดลองที่ความเร็วอากาศที่ 0.5 m/s ในช่วงเวลา 8.00-16.00 นาฬิกา



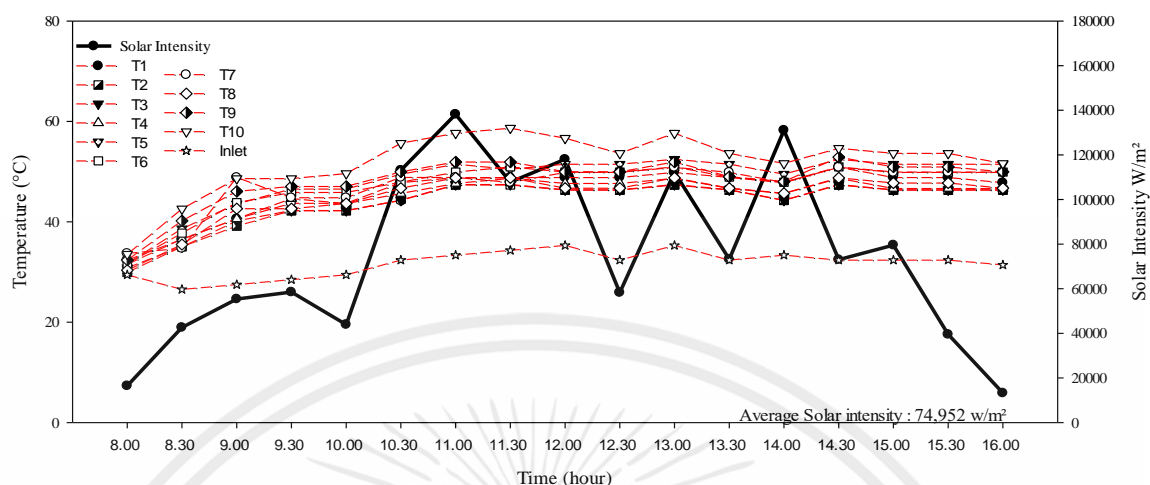
**รูปที่ 4.2** ตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิลและทิศทางการไหลของอุณหภูมิภายในตึกแห่งพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 4.1 เนื่องจากระดับชั้นบนมีอุณหภูมิ 2 ตัว ซึ่งใช้วัดอุณหภูมิของตึกชั้นบนสุดซึ่งค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ  $T_8$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $55-58\text{ }^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิ  $T_9$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $55-56\text{ }^{\circ}\text{C}$  ระดับชั้นกลางมีอุณหภูมิ  $T_6$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $52-54\text{ }^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิ  $T_7$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $53-54\text{ }^{\circ}\text{C}$  และระดับภาคชั้นล่างสุดมีอุณหภูมิ  $T_5$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $49-52\text{ }^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิ  $T_4$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $48-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  และระดับภาคชั้นล่างสุดมีอุณหภูมิ  $T_3$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $47-49\text{ }^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิ  $T_2$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $46-48\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยมีค่าอุณหภูมิสูงสุดของรูปที่ 4.1 อยู่ที่  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  ณ อุณหภูมิ  $T_{10}$  ในช่วงเวลาที่  $12.30$  นาฬิกา และมีค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงอยู่ที่  $145,806\text{ W/m}^2$  และจากรูปที่ 4.1 จะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิในช่วง  $08.00 - 10.00$  นาฬิกา มีการเปลี่ยนอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและเริ่มมีอุณหภูมิคงที่ในช่วงเวลา  $10.30 - 13.30$  นาฬิกา โดยมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ย ณ ช่วงเวลานั้นอยู่ที่  $52\text{ }^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิ  $T_9$  ที่อยู่ชั้นบนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าชั้นกลางและชั้นล่างสุดมีผลมาจากการพาความร้อนจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนโดยที่ไม่มีวัสดุอื่นมากันส่งผลให้การพาความร้อนไปชั้นบนสุดมากที่สุดและเกิดความร้อนสะสมอยู่ด้านบนเพราะพื้นที่หลังคามีขนาดเล็กและทางออกตึกมีการเปิดการระบายอากาศเพียงเล็กน้อย



**รูปที่ 4.3** ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ , ความเข้มแสง การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิ ในขณะทำการทดลองที่ความเร็วอากาศที่ 0.7 m/s ในช่วงเวลา 8.00-16.00 นาฬิกา ของตู้ที่บ เลือกช่วง 10.00-14.00 นาฬิกา

จากรูปที่ 4.3 เนื่องจากระดับชั้นบนมีเทอร์โมคัปเปิล 2 ตัว ซึ่งใช้วัดอุณหภูมิของตู้อบชั้นบนสุดซึ่งค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ  $T_8$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 53-55 °C และอุณหภูมิ  $T_9$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 55-58 °C ระดับชั้นกลางมีอุณหภูมิ  $T_6$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 50-53 °C และอุณหภูมิ  $T_7$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 53-54 °C และระดับภาคชั้นล่างมีอุณหภูมิ  $T_5$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 49-54 °C และอุณหภูมิ  $T_4$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47-55 °C และระดับภาคชั้นล่างสุดมีอุณหภูมิ  $T_3$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 49-54 °C และอุณหภูมิ  $T_2$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47-55 °C โดยมีค่าอุณหภูมิสูงสุดของรูปอยู่ที่ 58 °C ณ อุณหภูมิ  $T_{10}$  ในช่วงเวลาที่ 12.00 นาฬิกา และมีค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงอยู่ที่ 101,465 W/m<sup>2</sup> และจากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าอุณหภูมิในช่วง 08.00 – 10.00 นาฬิกา มีการเปลี่ยนอุณหภูมิสูงขึ้นและเริ่มคงที่ในช่วงเวลา 10.00 – 13.30 นาฬิกา โดยมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ช่วงเวลานั้นอยู่ที่ 46 °C และอุณหภูมิ  $T_9$  ที่อยู่ชั้นบนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าชั้นกลางและชั้นล่างและชั้นชั้นล่างสุดมีผลมาจากการพาความร้อนจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน จึงทำให้เกิดความร้อนสะสมอยู่ด้านบนเพราะพื้นที่หลังคามีขนาดเล็กและทางออกตู้มีการเปิดการระบายอากาศเพียงเล็กน้อย และจากกราฟยังสามารถอธิบายได้ว่า ในกรณีของตู้ที่บที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงต่อช่วงเวลา ซึ่งไม่สอดคล้องกับค่าอุณหภูมิที่ทำความร้อนภายในตู้อบ เพราะภายในตู้ที่บมีฉนวนกันความร้อนทำให้อุณหภูมิมีการคงที่



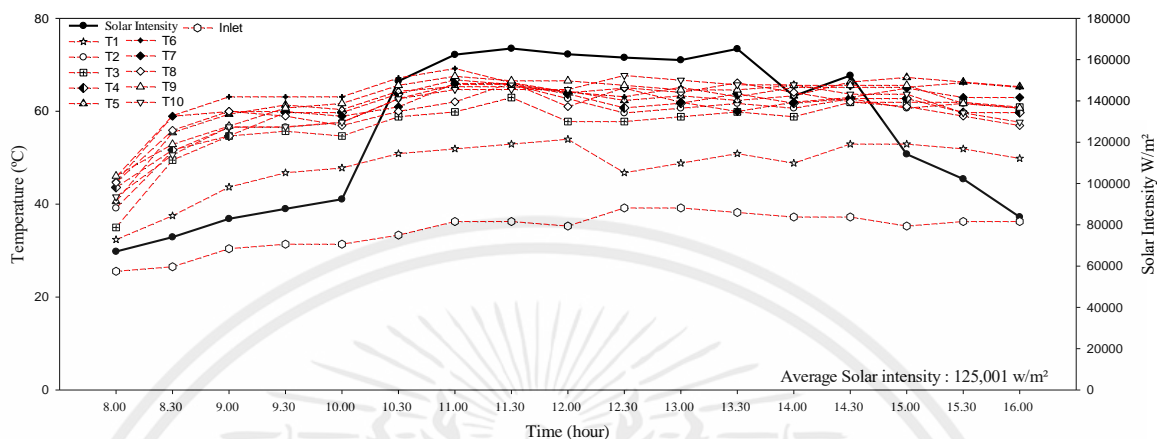
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ, ความเข้มแสง การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิ ในขณะที่ทำการทดลองที่ความเร็วอากาศที่ 0.9 m/s ในช่วงเวลา 8.00-16.00 นาฬิกา ของตู้ที่บี

จากรูปที่ 4.4 เนื่องจากระดับชั้นบนมีเทอร์โมคัปเปิล 2 ตัว ซึ่งใช้วัดอุณหภูมิของตู้อบชั้นบนสุดซึ่งค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ  $T_8$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 48-51 °C และอุณหภูมิ  $T_9$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 48-50 °C ระดับชั้นกลางมีอุณหภูมิ  $T_6$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47-48 °C และอุณหภูมิ  $T_7$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 44-46 °C และระดับภาคชั้นล่างมีอุณหภูมิ  $T_5$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 45-46 °C และอุณหภูมิ  $T_4$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 44-46 °C และระดับภาคชั้นล่างสุดมีอุณหภูมิ  $T_3$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 42-44 °C และอุณหภูมิ  $T_2$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 41-43 °C ขณะทำการทดลองสังเกตเห็นได้ว่าตั้งแต่ช่วงเวลา 11.00 นาฬิกา มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงที่ค่อนข้างสูง แต่ขณะทดลองมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงตลอดเวลาจึงไม่ส่งผลถึงอุณหภูมิในตู้มากนัก และอุณหภูมิ  $T_9$  ที่อยู่ชั้นบนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าชั้นกลางและชั้นล่างและชั้นล่างสุดมีผลมาจากการพาความร้อนจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน จึงทำให้เกิดความร้อนสะสมอยู่ด้านบนเพราะพื้นที่หลังคามีขนาดเล็กและทางออกตู้มีการเปิดการระบายอากาศเพียงเล็กน้อย จากรูปที่ 4.4 มีความค่าลักษณะความเข้มแสงที่ใกล้เคียงกับรูปที่ 4.3

## 4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในตู้อบของตู้ใส่ที่ความเร็วอากาศที่ 0.5 0.7 และ 0.9 m/s

เปลี่ยนวัสดุเป็นโพลีคาร์บอเนต ลักษณะโปร่งใส และทำการทดลองแบบรูปแบบเดิม ที่ความเร็วอากาศทั้ง 3 ระดับแบบเดียวกับตู้ที่บีโดยการทดลองความเร็วอากาศ ทั้ง 3 ค่า 0.5, 0.7 และ 0.9 m/s

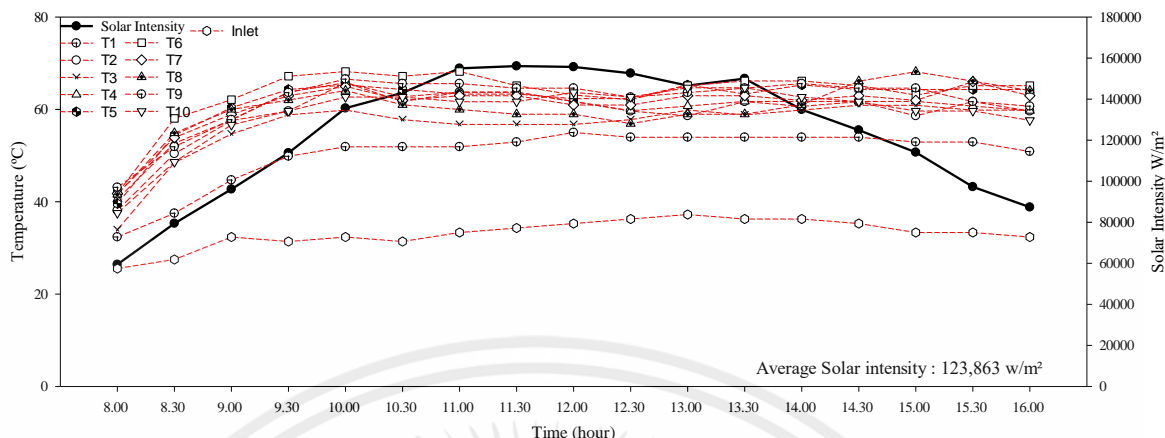
ใช้เวลาในการเก็บผล ทุกๆครึ่งชั่วโมง ตั้งแต่ 8.00-16.00 นาฬิกา แบ่งออกเป็น 17 ครั้งของผลการทดลอง แต่ความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละวันที่ทำการทดลองนั้นมีความต่างกันตามสภาพปัจจัยสิ่งแวดล้อม



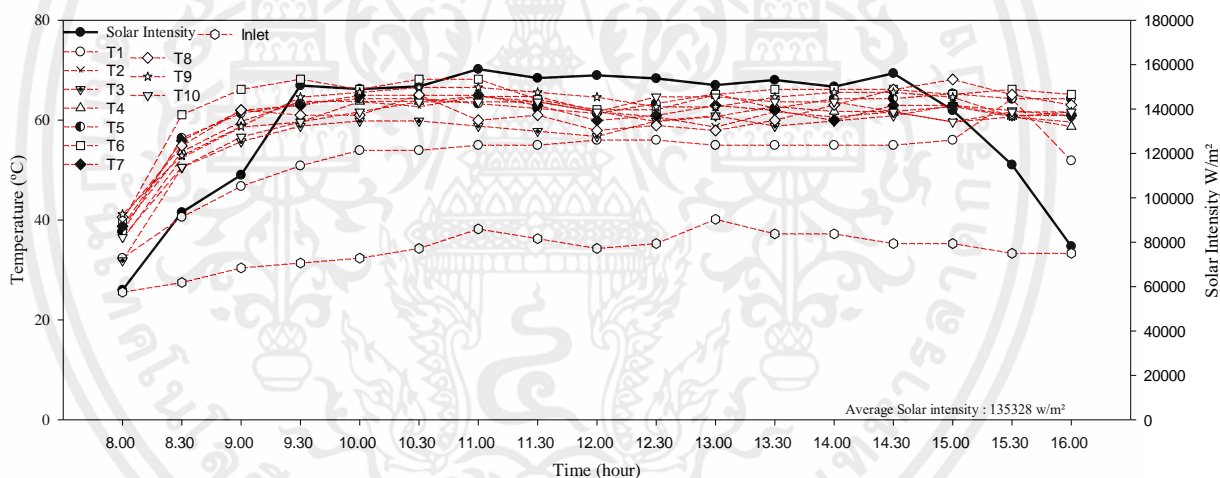
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ , ความเข้มแสง และ ความเร็วอากาศ ของตู้ใส่โพลีคาร์บอเนต การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดลองที่ความเร็วอากาศที่ 0.5 m/s ในช่วงเวลา 8.00-16.00 นาฬิกา

จากรูปที่4.5 จากรูปสามารถอธิบายได้ว่า อุณหภูมิเริ่มต้นที่เริ่มทำการทดลอง ณ เวลา 08.00 นาฬิกา มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอยู่ที่ 40 °C และเริ่มมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 10.00 – 10.30 นาฬิกา ตามความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นจาก 90,000 W/m<sup>2</sup> ไปถึง 150,000 W/m<sup>2</sup> ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยจาก 56 °C ไปถึง 60 °C และตั้งแต่ 11.00 – 13.30 นาฬิกา มีค่าความเข้มแสงคงที่ทำให้ อุณหภูมิภายในตู้ค่อนข้างที่จะคงที่ แต่ค่าความเข้มแสงจะส่งผลถึงอุณหภูมิที่ T<sub>1</sub> มีการเปลี่ยนแปลงตามลำดับ

จากรูปที่4.6 สามารถอธิบายได้ว่า ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 08.00 นาฬิกา มีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 39 °C และมีความเข้มแสงเริ่มต้นที่ 59,470 W/m<sup>2</sup> และเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้นเรื่อยตามค่าความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ และอุณหภูมิเริ่มมีการคงที่ และความเข้มแสงเริ่มมีการลดหลั่นตามลำดับจนเริ่มมีการคงที่ในช่วงเวลา 13.00 – 14.30 นาฬิกา และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 63 °C



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ , ความเข้มแสง และ ความเร็วอากาศ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดลองที่ความเร็วอากาศที่ 0.7 m/s ในช่วงเวลา 8.00-16.00 นาฬิกาของตู้ใส(โพลีคาร์บอเนต)

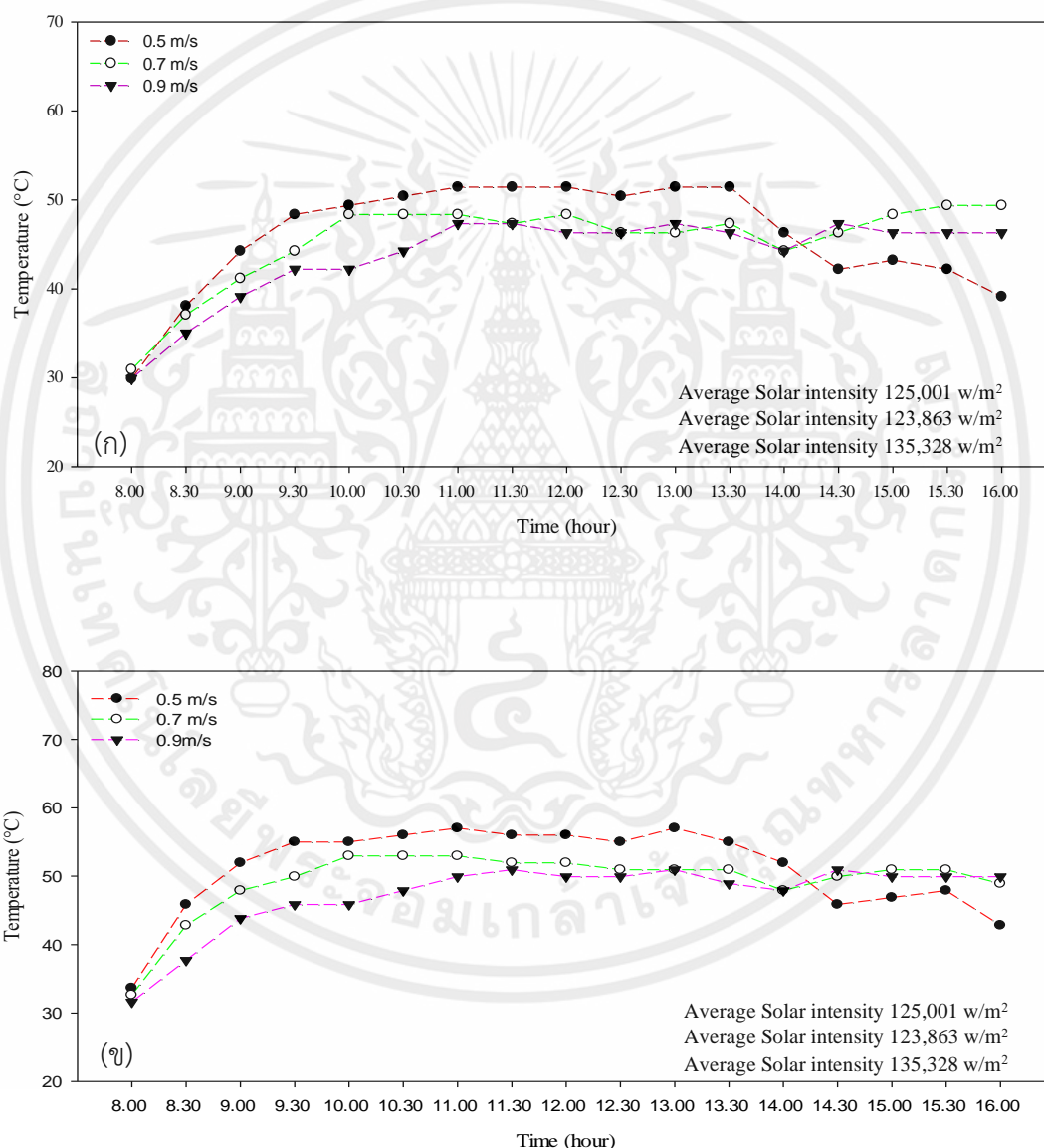


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ , ความเข้มแสง และ ความเร็วอากาศ ของตู้ใส (โพลีคาร์บอเนต) การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดลองที่ความเร็วอากาศที่ 0.9 m/s ในช่วงเวลา 8.00-16.00 นาฬิกา

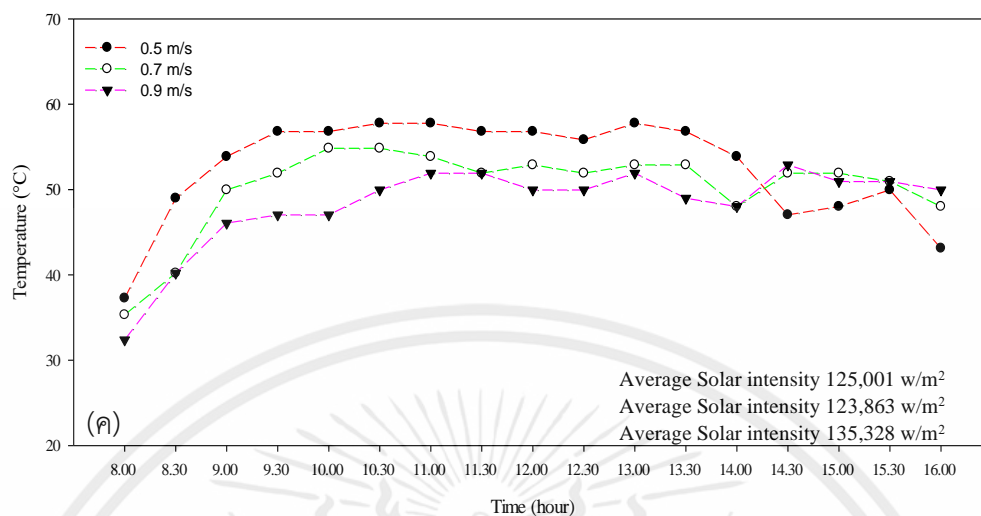
จากรูปที่4.7 ในช่วงเวลา 11.00-13.00นาฬิกา มีค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าวแต่อุณหภูมิภายนอกมีการลดลงในช่วงเวลาดังกล่าวส่งผลให้อุณหภูมิภายในตู้มีการลดลงโดยไม่เพิ่มตามค่าความเข้มแสง และมีตู้ยังมีประสิทธิภาพในการกักเก็บอุณหภูมิได้ ส่งผลมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามค่าความเข้มที่น้อย

### 4.3 อิทธิพลของความเร็วอากาศที่ทางเข้า

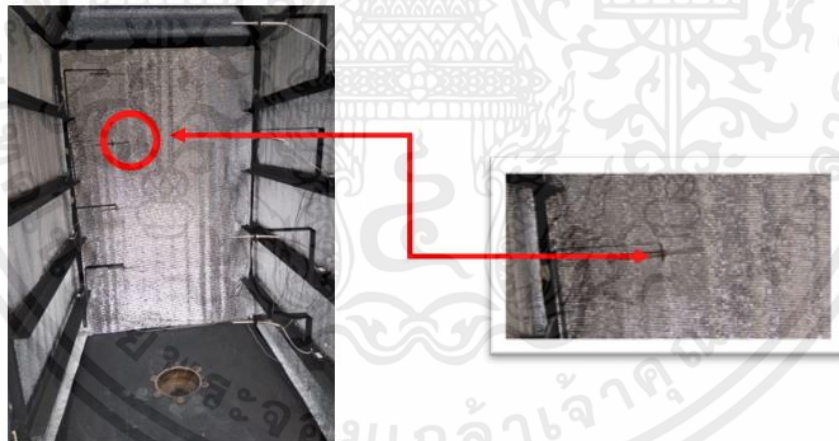
เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของความเร็วอากาศที่ทางเข้าที่มีต่อการกระจายของอุณหภูมิภายในตู้อบ ของ ทั้งตู้ทึบและตู้ใส จึงได้นำเสนอผลการทดลองของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่ T7 ซึ่งเป็นบริเวณกลางตู้ จะเห็น ได้ว่าความเร็วอากาศที่เหมาะสมแก่การนำมาพัฒนาต่อของตัวตู้ทึบคือที่ความเร็วอากาศที่ 0.5 m/s ดังรูปที่ 4.8 และในส่วนของตู้ใสจากการวิเคราะห์เพราะว่าอุณหภูมิที่ได้สูงจะอยู่ในส่วนของความเร็วอากาศที่ 0.9 m/s ดังรูป 4.10



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ความเร็วอากาศ (ก) 0.5m/s (ข) 0.7 m/s และ (ค) 0.9 m/s ของ (ตู้ทึบ)



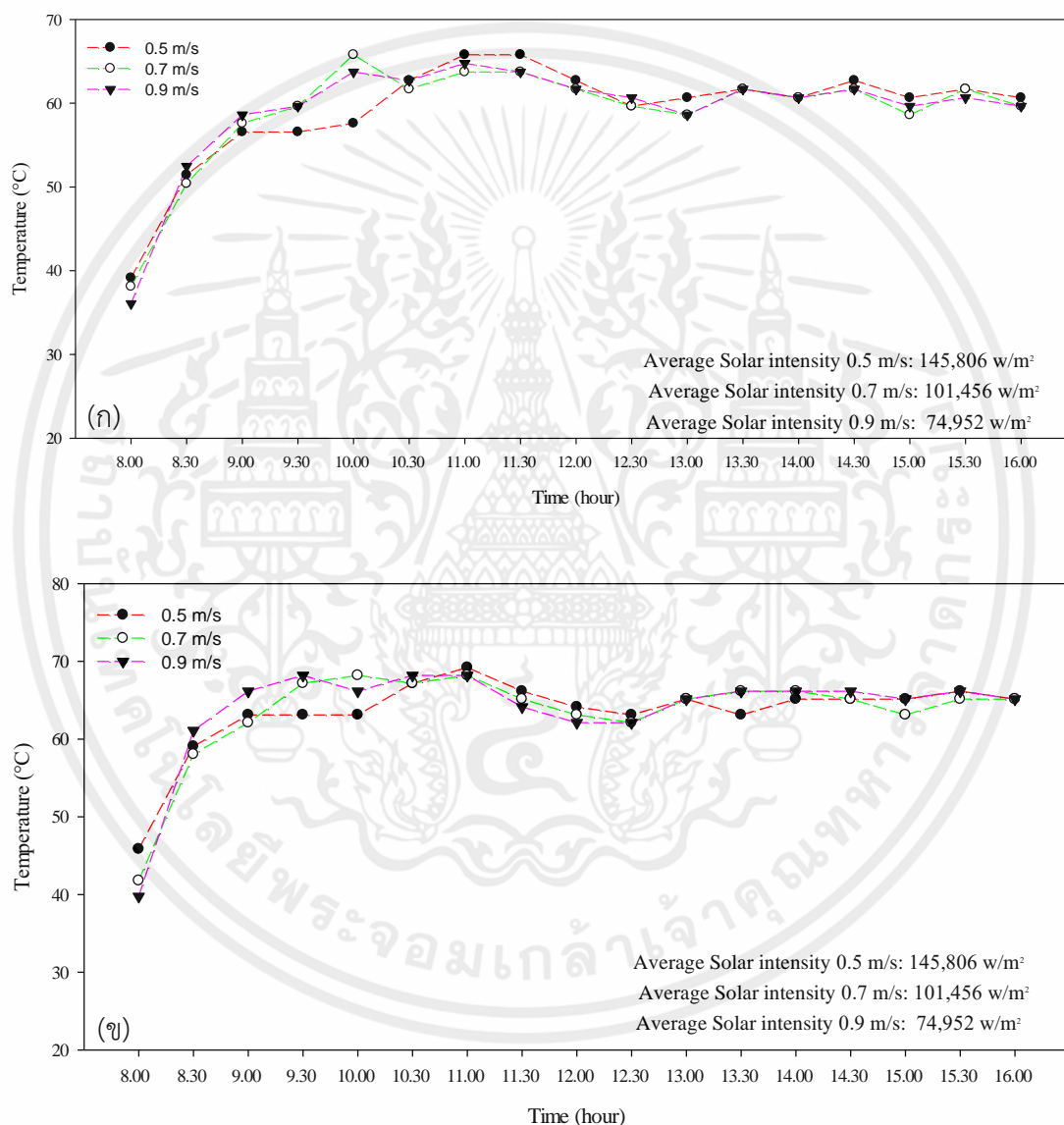
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ความเร็วอากาศ (ก) 0.5m/s (ข) 0.7 m/s และ (ค) 0.9 m/s ของ (ตู้ที่บ) ต่อ)



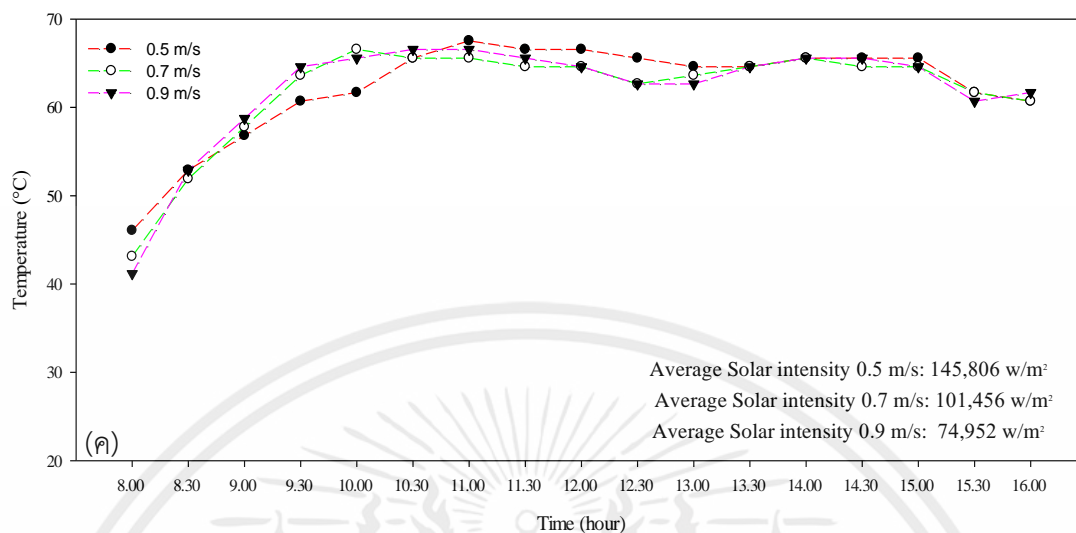
รูปที่ 4.9 จุดติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ตัวที่ 7 ภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ (ตู้ที่บ)

จากรูปที่ 4.8 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ความเร็วอากาศ 0.5, 0.7 และ 0.9 m/s ของเทอร์โมคัปเปิลตัวที่ 7 ณ ตำแหน่งดังรูปที่ 4.9 ของตู้ที่บ (ชั้นที่2) ที่ความเร็วอากาศ 0.5 m/s ที่เวลา 8:00 นาฬิกา จะมีอุณหภูมิมากกว่าความเร็วอากาศอื่นๆ และที่เวลา 16:00 นาฬิกา จะมีอุณหภูมิน้อยกว่าความเร็วอากาศที่ 0.7 m/s และ 0.9 m/s ความเร็วอากาศที่ 0.7 m/s ที่เวลา 8:00 นาฬิกา จะ

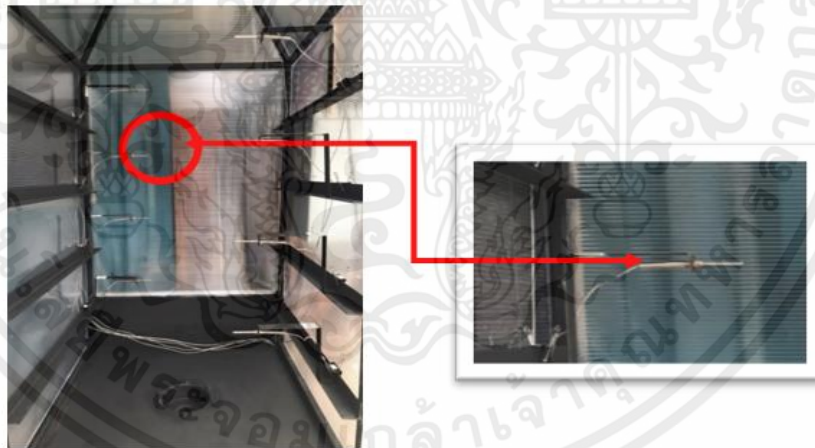
มีอุณหภูมิอยู่ระหว่างกลางของความเร็วอากาศที่ 0.5 m/s และ 0.9 m/s และที่เวลา 16:00 นาฬิกา จะมีอุณหภูมิมากกว่าความเร็วอากาศ 0.5 m/s และน้อยกว่าความเร็วอากาศ 0.9 m/s ความเร็วอากาศที่ 0.9 m/s ที่เวลา 8:00 นาฬิกา จะมีอุณหภูมิน้อยกว่าความเร็วอากาศที่ 0.5 m/s และ 0.7 m/s และที่เวลา 16:00 นาฬิกา จะมีอุณหภูมิมากกว่าความเร็วอากาศ 0.5 m/s และ 0.7 m/s



รูป 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ความเร็วอากาศ (ก) 0.5m/s (ข) 0.7 m/s และ (ค) 0.9 m/s ของ (ตู้ใส)



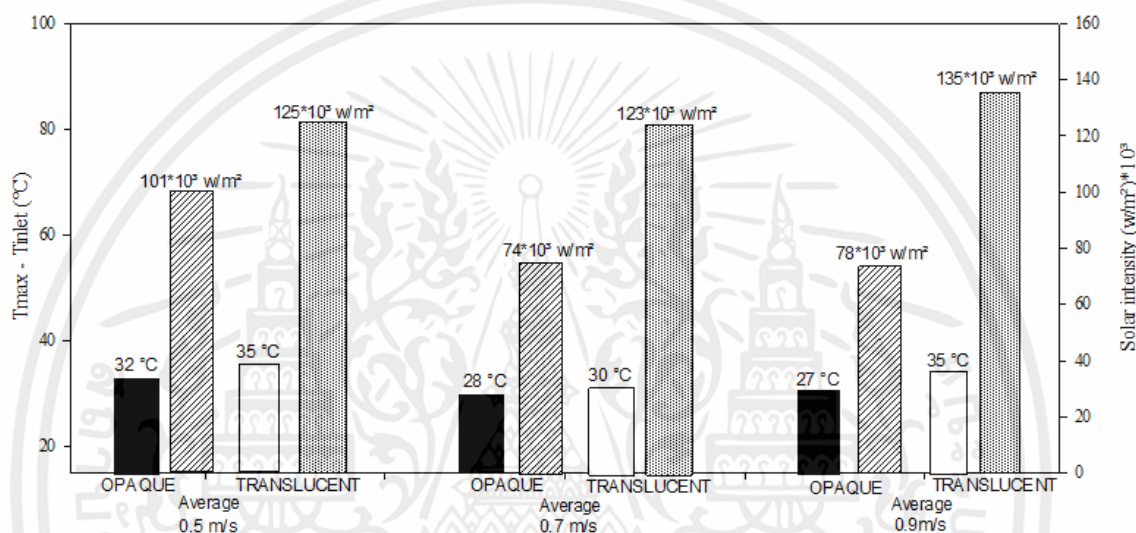
รูป 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ความเร็วอากาศ (ก) 0.5m/s (ข) 0.7 m/s และ (ค) 0.9 m/s ของ (ตู้ใส)(ต่อ)



รูปที่ 4.11 จุดติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ตัวที่ 7 ภายในตู้พลังงานแสงอาทิตย์ (ตู้ใส)

จากรูป 4.10 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ความเร็วอากาศ 0.5, 0.7 และ 0.9 m/s ของเทอร์โมคัปเปิลตัวที่ 7 ณ ตำแหน่งดังรูปที่ 4.11 ของ (ตู้ใส) ที่ความเร็วอากาศ 0.5 m/s ที่เวลา 8:00 นาฬิกา จะมีอุณหภูมิมากกว่าความเร็วอากาศอื่นๆ และที่เวลา 16:00 นาฬิกา จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับ

ความเร็วอากาศที่ 0.7 m/s และ 0.9 m/s ความเร็วอากาศที่ 0.7 m/s ที่เวลา 8:00 นาฬิกาจะมีอุณหภูมิอยู่ระหว่างกลางของความเร็วอากาศที่ 0.5 และ 0.9 m/s และที่เวลา 16:00 นาฬิกา จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับความเร็วอากาศที่ 0.5 m/s และ 0.9 m/s ความเร็วอากาศที่ 0.9 m/s ที่เวลา 8:00 นาฬิกาจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าความเร็วอากาศที่ 0.5 m/s และ 0.7 m/s และที่เวลา 16:00 นาฬิกา จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับความเร็วอากาศที่ 0.5 m/s และ 0.7 m/s



รูปที่ 4.12  $T_{max} - T_{inlet}$  อุณหภูมิภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ (ตู้ทึบและตู้ใส) และความเข้มแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 4.12 จากรูปเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิที่ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์สร้างขึ้น จากการทดลอง พบได้ว่า เมื่อมีค่าเฉลี่ยความเข้มแสงที่สูงขึ้นส่งผลให้มีอุณหภูมิภายในตู้สูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อตู้ทึบมีค่าเฉลี่ยความเข้มแสงที่  $74,000 w/m^2$  มีค่าอุณหภูมิที่ตู้สร้างได้  $28\text{ }^{\circ}C$  และ ตู้ใสมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่  $123,000 w/m^2$  มีค่าอุณหภูมิที่ตู้สร้างได้  $30\text{ }^{\circ}C$  จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าลักษณะของวัสดุในการใช้ทำผนังตู้มีผลต่อการสร้างอุณหภูมิที่สูงแบบเห็นได้ชัด

เมื่อพิจารณาภาพรวมจากทุกกรณี แสดงในรูป รูปที่ 4.1 กับ 4.5 จะเห็นได้ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่าง ตู้ทึบกับตู้ใส(โพลีคาร์บอเนต) ที่ความเร็วอากาศ 0.5,0.7,และ 0.9 m/s มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ตามช่วงเวลา และความเข้มแสงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานั้นๆ ของแต่ละวัน เมื่อพิจารณาช่วงเวลา 9.00 นาฬิกา อุณหภูมิค่อยๆสูงขึ้นอย่างช้าๆและจะสอดคล้องกับค่าความเข้มแสง ณ

ช่วงเวลาดังกล่าวซึ่งมีอุณหภูมิในช่วง ตั้งแต่ 20-70 องศา จากรูปที่ 4.1 และ 4.4 กราฟเปรียบเทียบ ความเร็วอากาศที่ 0.5 m/s ระหว่างตู้ทึบกับตู้ใส(โพลีคาร์บอเนต) อุณหภูมิเฉลี่ยตู้ใส(โพลีคาร์บอเนต) 25-70 องศาเซลเซียส , ตู้ทึบ ช่วงอุณหภูมิเฉลี่ย 25-60 องศา เซลเซียส ผ่านการพาความร้อนแบบธรรมชาติ และแบบบังคับ พิจารณาการไหลของอากาศคงที่ 0.5 m/s ตู้ใส(โพลีคาร์บอเนต) มีค่า Solar Intensity ช่วง 70,000 ถึง 170,000 w/m<sup>2</sup> ตู้ทึบ มีค่า Solar Intensity ช่วง 60,000 ถึง 170,000 w/m<sup>2</sup> จากรูปที่ 4.2 และ 4.5 กราฟเปรียบเทียบ ความเร็วอากาศที่ 0.7 m/s ระหว่างตู้ทึบกับตู้ใส(โพลี คาร์บอเนต) ช่วง อุณหภูมิตู้ใส(โพลีคาร์บอเนต) 30-65 องศาเซลเซียส ส่วนตู้ทึบ ช่วงอุณหภูมิเฉลี่ย 30-62 องศาเซลเซียส กรณีนี้พบว่า ตู้ใส(โพลีคาร์บอเนต) มีอุณหภูมิสูงกว่าตู้ทึบ กรณีที่การพาความร้อนแบบบังคับ จะสังเกตได้ ว่ากรณีที่ความเร็วอากาศ 0.7 m/s ค่าอุณหภูมิมีความใกล้เคียงในทุกกรณี จากรูปที่ 4.3 และ 4.6 กราฟ เปรียบเทียบ ความเร็วอากาศที่ 0.9 m/s ช่วงอุณหภูมิช่วงอุณหภูมิตู้ใส(โพลีคาร์บอเนต) 32-68 องศา เซลเซียส ส่วนตู้ทึบ ช่วงอุณหภูมิเฉลี่ย 28-58 องศาเซลเซียสจากการเทียบตู้ใส(โพลีคาร์บอเนต) ทำ อุณหภูมิได้สูงกว่าตู้ทึบทั้งสามการทดลองที่ความเร็วอากาศ 0.5, 0.7, และ 0.9 m/s เมื่อพิจารณาจากการ ไหลอากาศผ่านรูปแบบการพาความร้อนแบบธรรมชาติและแบบบังคับ ระยะเวลาการอบมากขึ้นอุณหภูมิ เพิ่มขึ้นความคงที่ เนื่องจากมีการแผ่รังสีความร้อนมาเกี่ยวข้อง

## บทที่ 5

# สรุปและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. อุณหภูมิสูงสุดของตู้เก็บแสงสามารถทำได้อยู่ที่  $71\text{ }^{\circ}\text{C}$  และส่วนของตู้โปร่งแสงอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่  $69\text{ }^{\circ}\text{C}$
2. ความเร็วอากาศที่สร้างอุณหภูมิสูงสุดตู้เก็บคือ  $0.5\text{ m/s}$  และของตู้ใสคือ  $0.5\text{ m/s}$
3. ช่วงความเร็วอากาศที่เก็บอุณหภูมิที่ดีที่สุดอยู่ที่ความเร็วลมของตู้เก็บ  $0.9\text{ m/s}$  และของตู้ใสอยู่ที่  $0.7\text{ m/s}$
4. ผนังของตู้ส่งผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในตู้ที่แตกต่างกันโดยตู้ใสมีการกระจายอุณหภูมิที่ดีกว่าและเกาะกลุ่มกันมากกว่าตู้เก็บ
5. ความเร็วทิศทางเข้าของอากาศมีผลต่อการพาอุณหภูมิและการกระจายอุณหภูมิที่แตกต่างกันโดยความเร็วอากาศที่ดีที่สุดอยู่ที่  $0.5\text{ m/s}$

### 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. สภาพอากาศที่ไม่สามารถควบคุมได้
2. เนื่องด้วยสถานการณ์ COVID-19 ส่งผลให้การทดลองและการสร้างตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์มีความล่าช้าและไม่ตรงตามวัตถุประสงค์แรก
3. อุณหภูมิที่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศควรให้มีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมประเทศไทย, (2553) เข้าถึงเมื่อ 3 ตุลาคม 2563  
เข้าถึงได้จาก [https://issuu.com/prajakchai/docs/annual\\_report\\_2553?backgroundcolor=%2523222222](https://issuu.com/prajakchai/docs/annual_report_2553?backgroundcolor=%2523222222).
- [2] คุณยุต เอี่ยมสะอาด, กิตตินาถ วรรณิสสร และวรัทยา ธรรมกิตติภพ. (2560). **เครื่องอบเนื้อปลาและเนื้อสัตว์แดดเดียว**. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ภาควิชาอาชีวศึกษา คณะศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] ไชยชนะ เตอบลมร้อน. (2558). เข้าถึงเมื่อ 22 กันยายน 2563. เข้าถึงได้จาก.  
<https://www.chaichana.net/%E0%B8%95%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0%B8%A5%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%99>.
- [4] รศ.ดร.สั๊กมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. (2555). **การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ**. กรุงเทพมหานคร. บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- [5] ผศ.ดร.ศิระ สายศร. (2560). **การถ่ายเทความร้อน**. เอกสารประกอบการสอนวิชา Heat Transfer. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพร.
- [6] คุณยุต เอี่ยมสะอาด, กิตตินาถ วรรณิสสร และวรัทยา ธรรมกิตติภพ. (2560). **เครื่องอบเนื้อปลาและเนื้อสัตว์แดดเดียว**. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภาควิชาอาชีวศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [7] **เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน**. เข้าถึงเมื่อ 18 กันยายน 2563. เข้าถึงได้จาก.  
[http://www.completesengineering.com/style/article\\_heat%20xchanger1.pdf](http://www.completesengineering.com/style/article_heat%20xchanger1.pdf).
- [8] อิศเรศ วรรณทร. (2554). **การศึกษาการกระจายอุณหภูมิและความชื้นของวัสดุพูนในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนโดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล**. ปริญญาโท วศ.ม (วิศวกรรมเครื่องกล) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- [9] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิตยา รัตนาปนนท์. (2551). **อัตราการทำแห้ง**. เข้าถึงเมื่อ 22 กันยายน 2563 เข้าถึงได้จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0663/deying-rate>.

- [10] คณิงนิต ปทุมมาเกษร และคณะ. (2561). “การอบแห้งพลาสติกหมักชะครามด้วยเครื่องต้นแบบ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์”. วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม. ปีที่5 ฉบับที่ 1, หน้า 23-30. กรุงเทพมหานคร
- [11] พลวัฒน์ พลเดช, โสภา แคนสี. (2563). “การอบแห้งปลานิลด้วยเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก”. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ฉบับที่ 2, หน้า 58-64. มหาสารคาม.
- [12] สำรวย ภูบาล, สุรพิชญ์ ทับเที่ยง. (2564). “การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อแปรรูปเห็ดหอมอบแห้ง”. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ฉบับที่ 1, หน้า 42-51. กรุงเทพมหานคร
- [13] อนุชิต กลัประสิทธิ์ และ ดุชนิ ศุภวรรธนะกุล และคณะ. (2563) “การสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการจัดการเทคโนโลยีการผลิตปลาช่อนแดดเดียว”. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. ฉบับที่ 2, หน้า 82-96 นราธิวาส
- [14] ศิริ ดวงพร และ อภิรักษ์ ลอยแก้ว และคณะ. (2562). “การอบแห้งกล้วยหอมทองด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรด”. วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. ฉบับที่ 1, หน้า 12-24 เพชรบุรี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก  
ผลการทดลอง (กรณีตู้ทึบที่ความเร็วอากาศ 0.5, 0.7 และ 0.9 m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตู้(ทีบ)ที่ความเร็วอากาศที่ 0.5 m/s

เวลา	ความเข้มแสง	อุณหภูมิ										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>Inlet</sub>
8.00	55250	32	29	30	31	32	33	33	33	37	44	26
8.30	76330	36	38	38	42	45	45	47	45	48	54	26
9.00	91460	42	44	44	47	52	51	51	49	53	57	32
9.30	110000	46	48	48	50	55	54	54	51	56	61	32
10.00	128500	48	49	49	51	56	54	55	52	56	62	33
10.30	148500	50	50	50	52	57	56	56	54	57	64	35
11.00	157200	51	51	50	53	57	57	57	53	57	66	37
11.30	165200	51	51	51	52	57	56	55	52	56	66	38
12.00	167400	52	51	51	52	57	56	55	52	56	69	38
12.30	160700	52	50	51	52	57	54	54	52	55	71	39
13.00	163900	52	51	52	53	58	57	56	53	57	69	40
13.30	124400	50	51	50	51	56	54	54	61	56	63	33
14.00	121500	47	46	47	47	52	51	50	66	53	60	37
14.30	139900	44	42	42	43	47	45	45	56	47	58	35
15.00	72440	44	43	43	43	48	46	46	57	48	56	32
15.30	98770	43	42	42	43	47	47	47	56	49	54	35
16.00	89610	41	39	39	39	43	42	41	50	43	48	34

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตู้(ทีบ)ที่ความเร็วอากาศที่ 0.7 m/s

เวลา	ความเข้มแสง	อุณหภูมิ										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>Inlet</sub>
8.00	10670	32	30	30	32	33	32	33	30	35	38	24
8.30	60340	37	37	37	39	42	42	43	40	40	49	27
9.00	68410	41	41	41	43	47	47	47	45	49	53	30
9.30	94920	45	44	44	46	50	49	49	47	51	55	32
10.00	82550	48	48	48	49	53	52	53	50	54	59	31
10.30	113400	49	48	48	49	54	52	53	50	54	59	33
11.00	131000	49	48	48	49	53	52	51	48	53	58	35
11.30	107000	48	47	47	48	52	51	50	48	51	56	33
12.00	81570	49	48	48	49	53	51	50	48	52	59	34
12.30	118800	48	46	47	47	52	50	50	47	51	57	35
13.00	127100	49	46	47	48	52	50	50	48	52	59	37
13.30	135400	49	47	47	48	52	50	50	48	52	57	33
14.00	75420	46	44	44	44	49	47	45	45	48	48	30
14.30	149800	48	46	47	46	50	49	47	49	51	51	33
15.00	145500	50	48	49	49	51	50	50	50	51	52	35
15.30	135420	50	49	50	50	52	50	51	50	50	51	35
16.00	87620	47	49	47	46	45	48	46	48	48	48	33

ตารางที่ ก.3 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตู้(ทีบ)ที่ความเร็วอากาศที่ 0.9 m/s

เวลา	ความเข้มแสง	อุณหภูมิ										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>Inlet</sub>
8.00	16470	32	29	30	31	31	31	33	30	32	33	29
8.30	42640	36	35	34	36	38	37	34	35	40	42	26
9.00	55410	40	39	40	40	43	43	48	45	46	48	27
9.30	58530	43	42	42	44	46	45	44	45	47	48	28
10.00	43950	43	42	42	43	46	45	44	43	47	49	29
10.30	113100	47	44	44	45	49	47	48	46	49	55	32
11.00	138200	48	47	47	47	51	49	48	48	51	57	33
11.30	107800	48	47	47	48	50	50	47	48	51	58	34
12.00	118000	48	46	46	47	51	49	49	46	49	56	35
12.30	58270	48	46	46	47	51	49	49	46	49	53	32
13.00	112200	49	47	47	48	52	50	50	48	51	57	35
13.30	73230	48	46	46	46	51	48	49	46	48	53	32
14.00	131000	47	44	44	45	49	47	47	45	48	51	33
14.30	73050	50	47	47	48	52	50	50	48	52	54	32
15.00	79540	48	46	46	46	51	49	49	47	50	53	32
15.30	39560	48	46	46	46	51	49	49	47	50	53	32
16.00	13250	47	46	46	46	51	49	49	46	49	51	31



ภาคผนวก ข  
ผลการทดลอง (กรณีดูไลที่ความเร็วอากาศ 0.5, 0.7 และ 0.9 m/s )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตู้(ใส)ที่ความเร็วอากาศที่ 0.5 m/s

เวลา	ความเข้มแสง	อุณหภูมิ										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>Inlet</sub>
8.00	67070	32	39	34	43	40	45	44	44	46	47	25
8.30	74040	37	51	49	51	55	59	58	55	52	50	26
9.00	82910	43	56	54	54	59	63	59	59	56	56	30
9.30	87730	46	56	55	59	61	63	59	58	60	56	31
10.00	92390	47	57	54	59	60	63	58	56	61	57	31
10.30	149600	50	62	58	63	64	67	60	59	65	62	33
11.00	162400	51	65	59	66	65	69	65	62	67	64	36
11.30	165400	52	65	62	65	65	66	65	66	66	64	36
12.00	162600	53	62	57	63	64	64	63	61	66	64	35
12.30	161000	46	59	57	60	62	63	64	65	65	67	39
13.00	159800	48	60	58	61	63	65	61	64	64	66	39
13.30	165200	50	61	59	63	62	63	59	66	64	65	38
14.00	142400	48	60	58	61	63	65	61	64	65	65	37
14.30	152300	52	62	61	62	66	65	62	62	65	63	37
15.00	114200	52	60	61	62	67	65	64	61	65	63	35
15.30	102200	51	61	61	59	66	66	62	58	61	59	36
16.00	83780	49	60	60	59	65	65	62	56	60	51	36

ตารางที่ ข.2 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตู้(ใส)ที่ความเร็วอากาศที่ 0.7 m/s

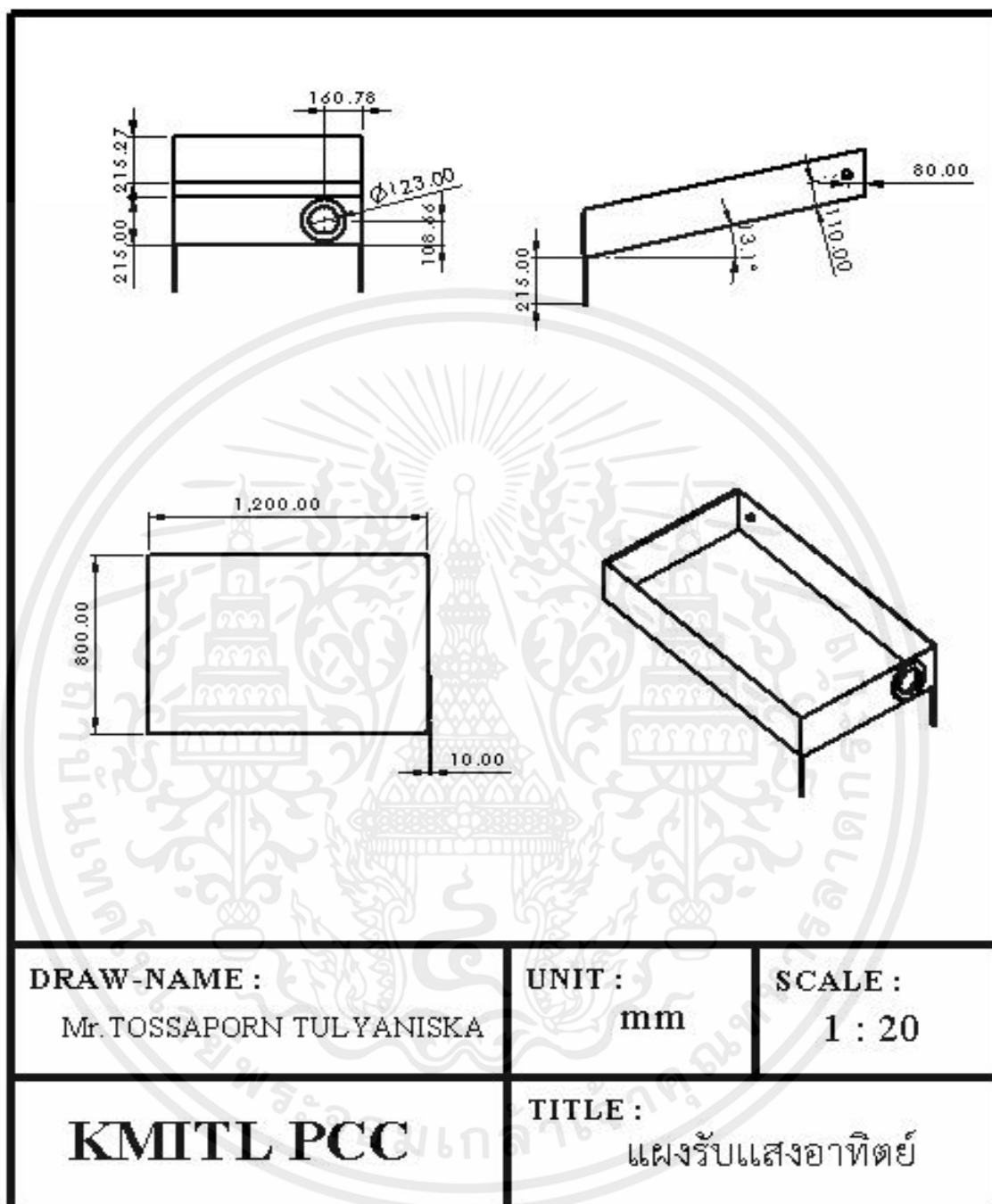
เวลา	ความเข้มแสง	อุณหภูมิ										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>Inlet</sub>
8.00	59470	32	38	33	40	39	41	41	41	43	37	25
8.30	79430	37	50	48	52	54	58	53	54	51	48	27
9.00	96120	44	57	54	57	60	62	58	59	57	56	32
9.30	113800	49	59	58	63	64	67	62	62	63	59	31
10.00	135600	51	65	59	65	65	68	64	64	66	62	32
10.30	143100	51	61	57	62	64	67	61	61	65	62	31
11.00	155000	51	63	56	63	63	68	62	59	65	61	33
11.30	158100	52	63	56	63	63	65	62	58	64	61	34
12.00	157300	54	61	56	61	62	63	60	58	64	63	35
12.30	152600	53	59	57	59	62	62	60	56	62	62	36
13.00	146600	53	58	59	60	65	65	62	58	63	64	37
13.30	150000	53	61	58	61	63	66	62	58	64	64	36
14.00	134900	53	60	59	61	65	66	61	61	65	62	36
14.30	124900	53	61	60	61	64	65	62	66	64	61	35
15.00	114100	52	58	60	61	64	63	61	68	64	59	33
15.30	97290	52	61	59	60	64	65	65	66	61	59	33
16.00	87370	50	59	59	59	64	65	62	64	60	57	32

ตารางที่ ข.3 แสดงค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิภายในตู้(ใส)ที่ความเร็วอากาศที่ 0.9 m/s

เวลา	ความเข้มแสง	อุณหภูมิ										
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>Inlet</sub>
8.00	58440	32	36	31	38	37	39	38	40	41	36	25
8.30	93480	40	52	50	53	56	61	55	54	52	50	27
9.00	110300	46	58	55	59	61	66	61	62	58	56	30
9.30	150600	50	59	58	63	63	68	62	61	64	59	31
10.00	149000	53	63	59	63	64	66	64	61	65	61	32
10.30	150200	53	62	59	63	64	68	64	65	66	63	34
11.00	158000	54	64	58	64	63	68	64	59	66	63	38
11.30	164000	54	63	57	64	62	64	62	61	65	63	36
12.00	165200	56	61	56	61	61	62	59	57	64	61	34
12.30	158800	56	60	59	59	63	62	60	58	62	64	35
13.00	150800	54	58	60	61	65	65	62	57	62	64	40
13.30	153100	54	61	58	62	62	66	61	59	64	63	37
14.00	150100	54	60	59	61	64	66	59	63	65	63	37
14.30	156100	54	61	60	61	64	66	62	66	65	61	35
15.00	139400	56	59	62	62	65	65	62	68	64	59	35
15.30	114900	64	60	61	60	64	66	60	65	60	61	33
16.00	78160	51	59	60	58	64	65	60	63	61	61	33

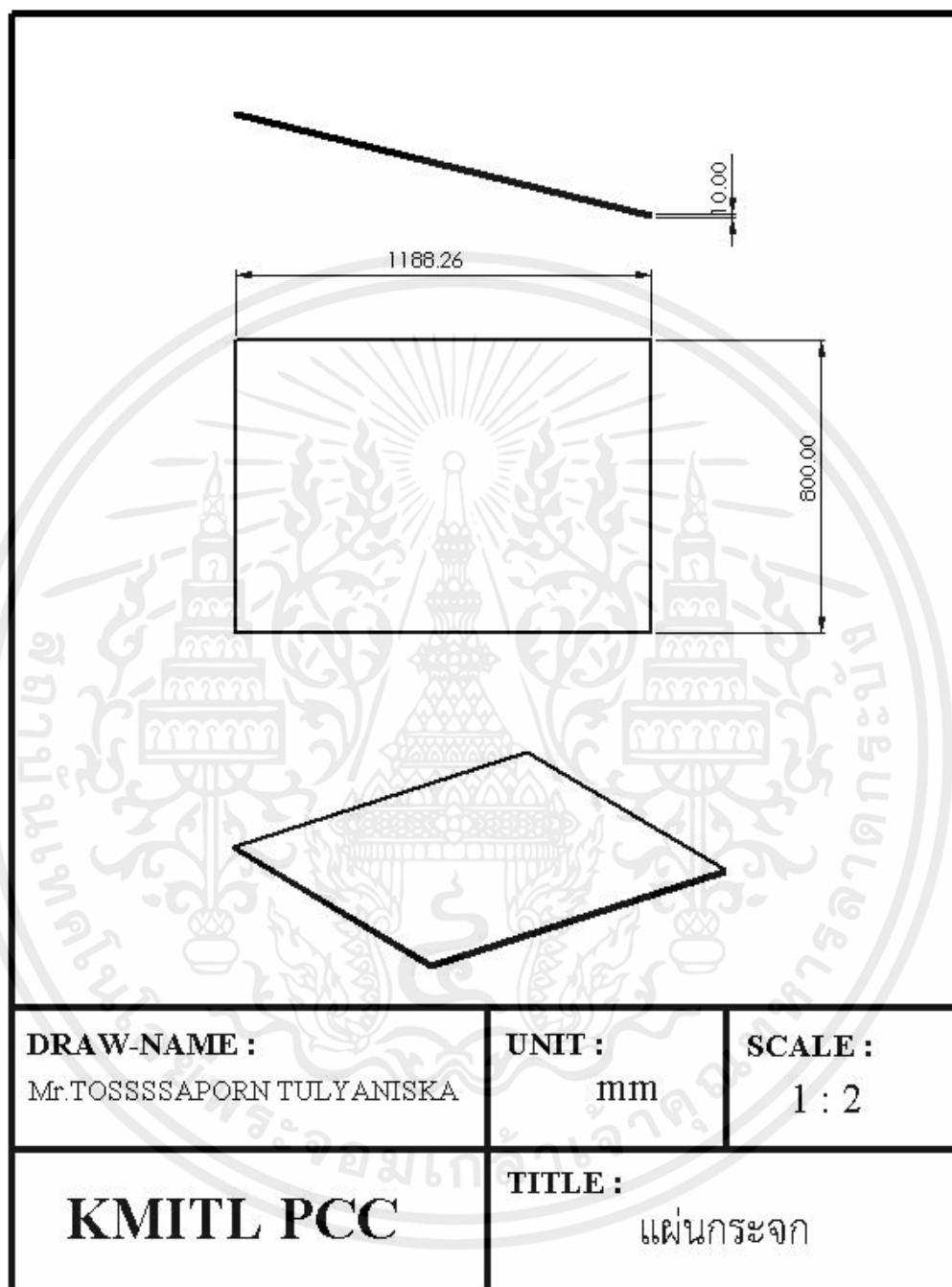


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



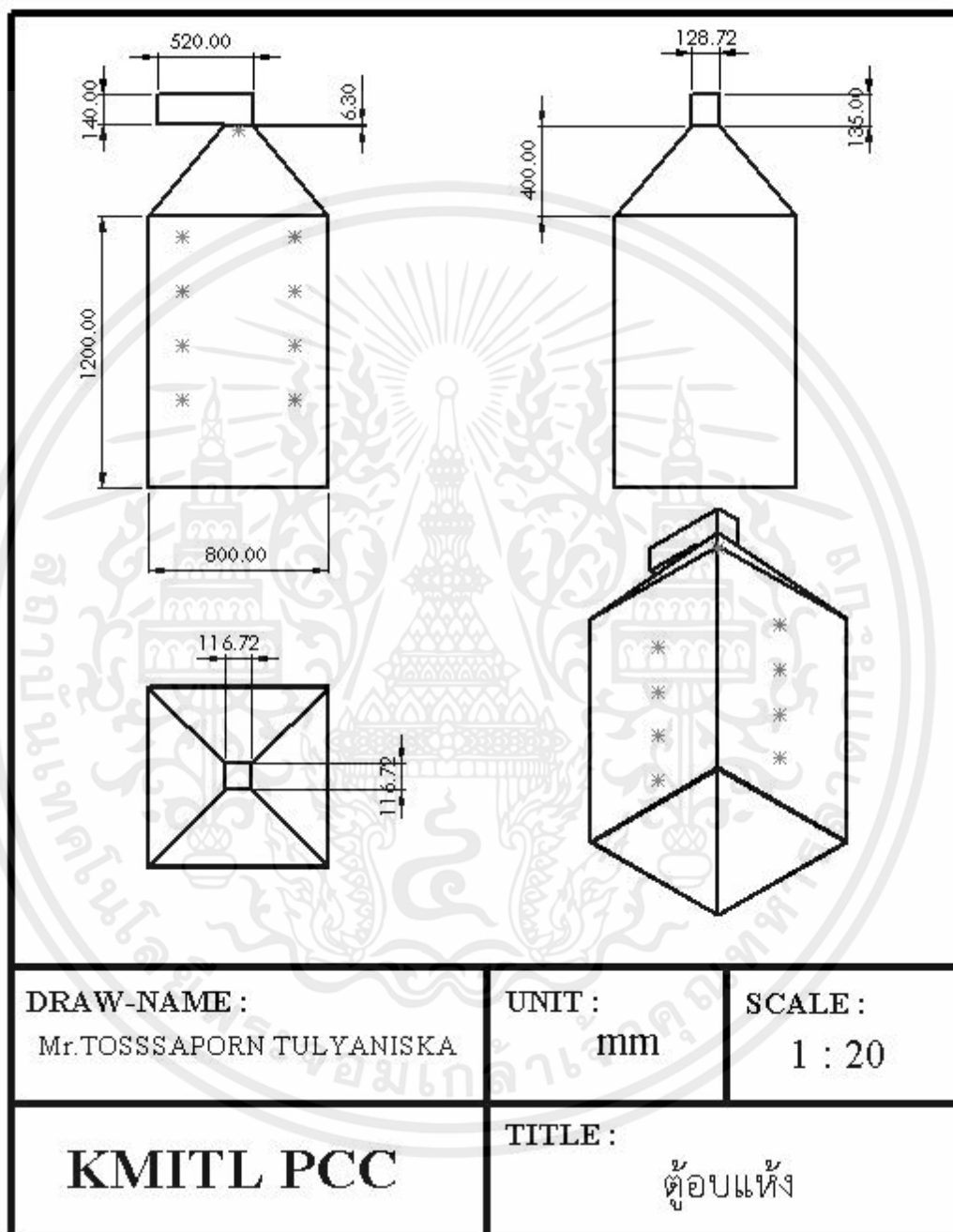
รูปที่ ค.1 แผงรับแสงอาทิตย์ของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

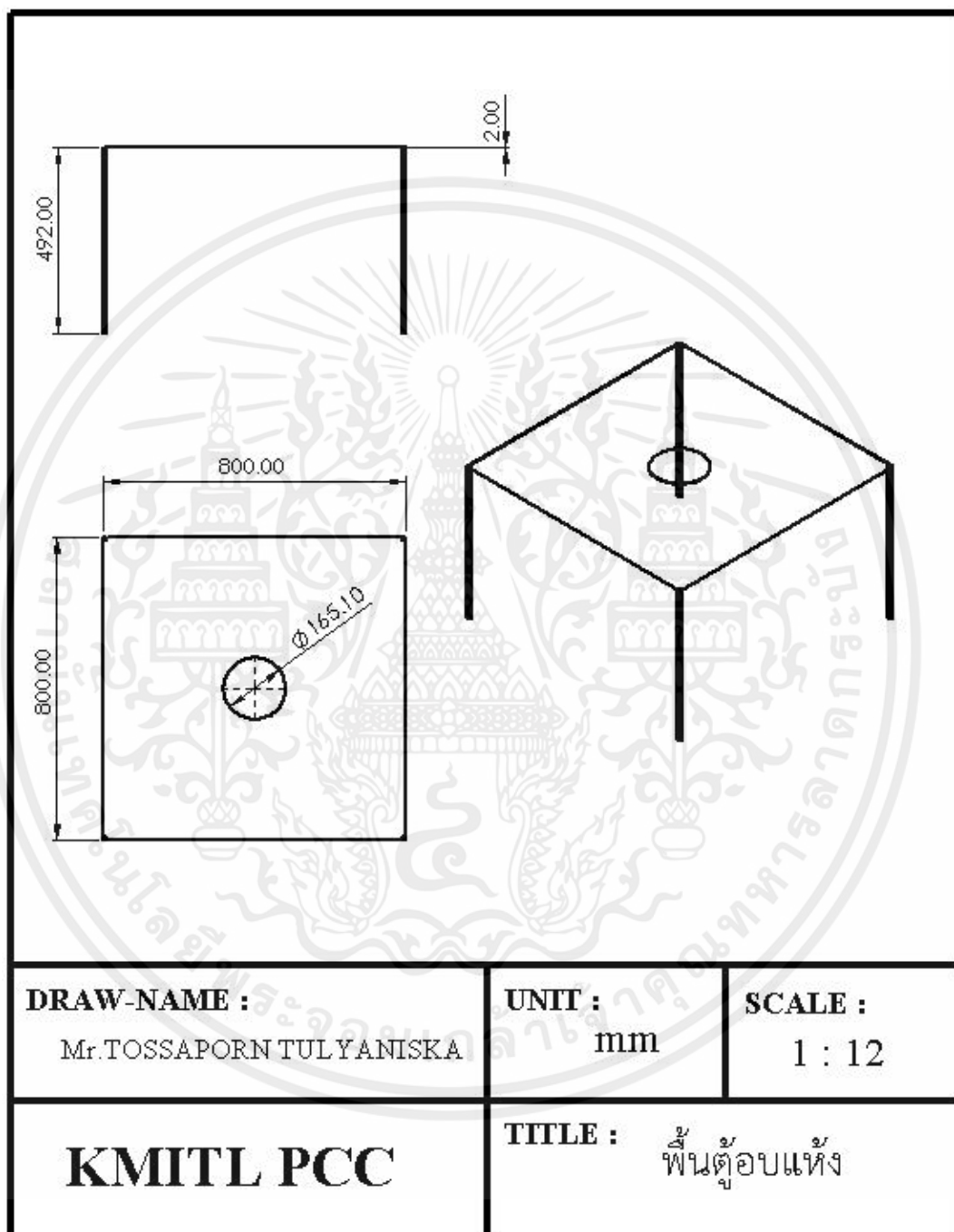


รูปที่ ค.2 แผ่นกระจกของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

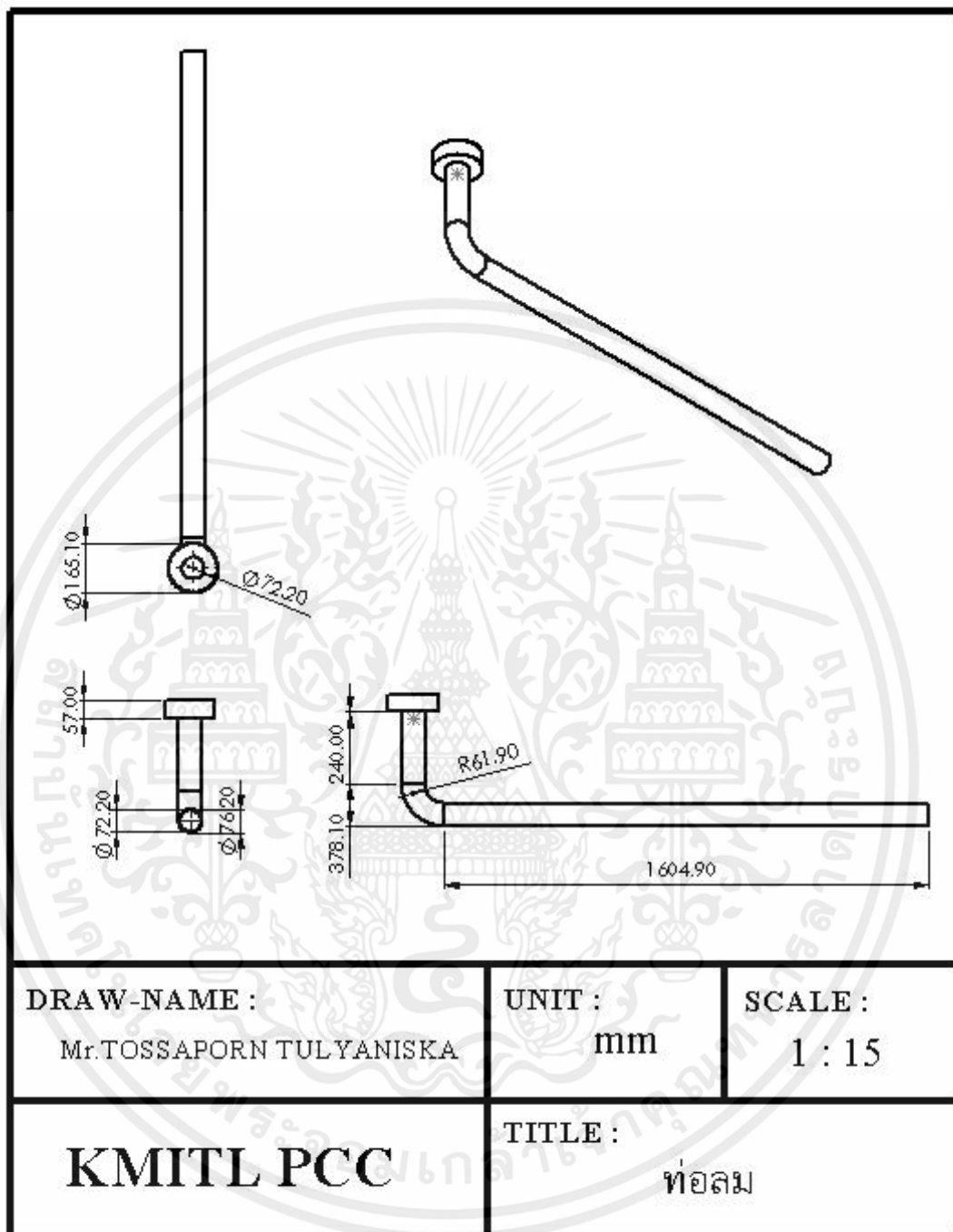


รูปที่ ค.3 แบบตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

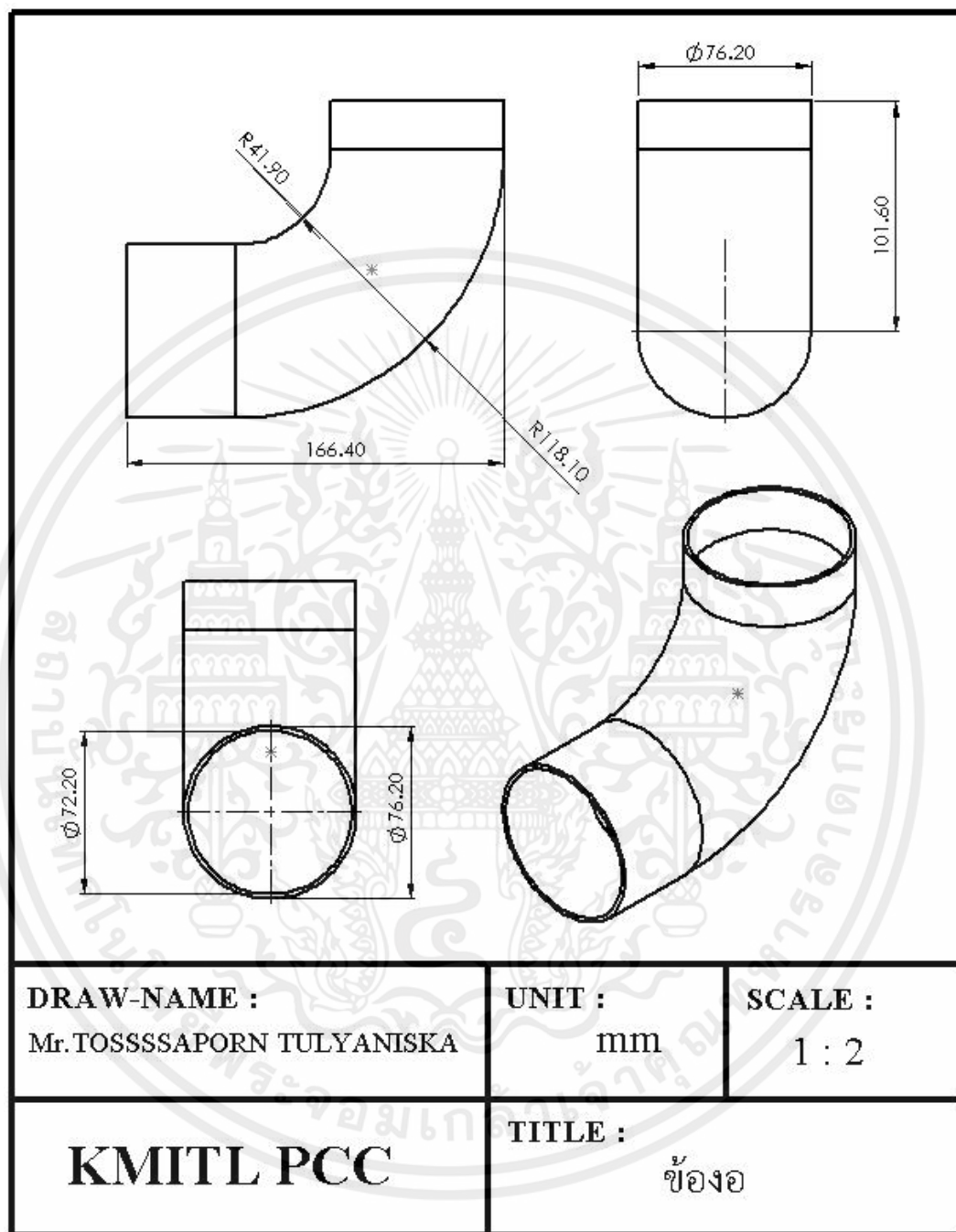


รูปที่ ค.4 แบบฝั่้นตู้้อบแ่ห่งตู้้อบพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.5 แบบท่อลมของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ ค.6 ข้องอท่อลมของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

## ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นายฉัตรมงคล พรพิทักษ์  
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2540  
 ภูมิลำเนา จังหวัดฉะเชิงเทรา  
 ที่อยู่ 67/191 หมู่ 2 ตำบลสนามจันทร์  
 อำเภอบ้านโพธิ์  
 จังหวัดฉะเชิงเทรา 24140

### ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษา สายวิทย์-คณิต ปีการศึกษา 2558 จากโรงเรียน“สุขบท”จังหวัด ชลบุรี
- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีการศึกษา 2560 วิทยาลัยเทคโนโลยียานยนต์โตโยต้า จังหวัด ฉะเชิงเทรา
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศบ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

### ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงาน ในส่วน Maintenance จากบริษัทโตโยต้า สาขาโตโยต้าเมืองชล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นายทศพร ตูลย์นิกษ์  
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2540  
 ภูมิลำเนา จังหวัดสมุทรปราการ  
 ที่อยู่ 255 หมู่ 5 ตำบล บ้านนา อำเภอ ศรีนครินทร์  
 จังหวัด พัทลุง 93000

### ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ปีการศึกษา 2558 วิทยาลัยเทคนิคบ้านค่าย จังหวัด ระยอง
- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีการศึกษา 2560 วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง จังหวัด พัทลุง
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศบ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขต ชุมพรเขตอุตสาหกรรมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

### ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงานในส่วน Maintenance จากบริษัทอิชูซุ ชาติใหญ่มอเตอร์เซล สาขา พัทลุง

## ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นายทศพล บุญวิบูลวัฒน์  
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2541  
 ภูมิลำเนา จังหวัดจันทบุรี  
 ที่อยู่ 96/2 หมู่ 1 ตำบลทับช้าง อำเภอสอยดาว  
 จังหวัดจันทบุรี 22180

### ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา ปีการศึกษา 2558 จากโรงเรียนทุ่งขนานวิทยา จังหวัดจันทบุรี
- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีการศึกษา 2560 วิทยาลัยเทคโนโลยียานยนต์โตโยต้า จังหวัด ฉะเชิงเทรา
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศบ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

### ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงาน ในส่วน Maintenance จากบริษัทโตโยต้าจันทบุรี สำนักงานใหญ่ (1972)