การพัฒนาชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

Development of Tray Drying Demonstration Unit

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

นายหาญ เลาว้าง รหัส 51383713

นายอานนท์ แฮตุ้ย รหัส 51383720

นายเอกชัย ผาติพรพิชิต รหัส 51384796

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 2 ต.ค. 2556
เลขทะเบียน 16840077
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ฟร 526 ก 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	: การพัฒนาชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายหาญ เลาว้าง รหัส 51383713
	นายอานนท์ แฮตุ้ย รหัส 51383720
	นายเอกชัย ผาติพรพิชิต รหัส 51384796
ที่ปรึกษาโครงงาน	: รองศาสตราจารย์ ดร. มัทนี สงวนเสริมศรี
สาขาวิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	: 2554

....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงาน

.... ที่ปรึกษาโครงการ

(รศ.ดร.มัทนี สงวนเสริมศรี)

.... กรรมการ

(ดร.ศลิษา วีรพันธุ์)

.... กรรมการ

(อ.สุรัตน์ ปัญญาแก้ว)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	: การพัฒนาชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายหาญ เลาว้าง รหัส 51383713
	นายอานนท์ แฮตุ้ย รหัส 51383720
	นายเอกชัย ผาติพรพิชิต รหัส 51384796
ที่ปรึกษาโครงงาน	: รองศาสตราจารย์ ดร. มัทนี สงวนเสริมศรี
สาขาวิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	: 2554

....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดสาธิตการอบแห้ง เพื่อใช้ในการเรียนปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล โดยใช้กระแสอากาศร้อนไหลผ่านถาดบรรจุวัสดุเปียกเพื่อทำให้เกิดการอบแห้ง ชุดสาธิตการอบแห้งที่สร้างขึ้นประกอบด้วย ห้องอบแห้งขนาด 30×260×30 เซนติเมตร ภายในมีถาดวางตัวอย่างขนาด 24×32 เซนติเมตร จำนวน 4 ถาด แขวนไว้กับเครื่องชั่งดิจิตอลซึ่งอยู่ด้านบนของตู้อบ ฮีตเตอร์ไฟฟ้าปรับกำลังได้สูงสุด 2,000 วัตต์ และพัดลมแบบไหลตามแกน ปรับความเร็วกระแสอากาศร้อนได้สูงสุด 4.5 เมตรต่อวินาที(ที่ระนาบทางออกของชุดสาธิต) จากการทดสอบชุดสาธิตการอบแห้งแบบไม่มีภาระภายใต้สภาวะอุณหภูมิและอัตราเร็วกระแสอากาศร้อนต่างๆ พบว่า โดยเฉลี่ยใช้เวลาในการอุ่นเครื่องเพื่อให้ได้อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบตามต้องการประมาณ 12 นาที ค่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าห้องอบสูงสุดเฉลี่ย ที่อัตราเร็วกระแสอากาศร้อน ณ ระนาบทางออก 1.5, 3.0 และ 4.5 เมตรต่อวินาที เท่ากับ 82, 75 และ 67 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

Project Title	: Development of tray drying demonstration unit		
Name	: Mr.Han	Laewang	ID. 51383713
	Mr.Arnon	Haetuy	ID. 51383720
	Mr.Ekckachai	Patipornchit	ID. 51384796
Project Advisor	: Assoc. Prof. Dr. Mathanee Sanguansermsri		
Major	: Mechanical Engineering		
Department	: Mechanical Engineering		
Academic Year	: 2011		

....

Abstract

A laboratory demonstration drying unit was designed and constructed. This small scale tray drier dries solids by passing a stream of hot air over trays of wet material. The unit consists of a floor standing tunnel in one end of which is mounted an axial flow fan. Downstream of the fan an electrically heated elements heat the air flowing to the drying chamber of size 30x260x30 cm. The drying chamber with transparent access door, contains a rack of four perforated sample trays of size 24x32 cm suspended from a balance mounted on top of the drier. Control unit mounted on a panel at the fan end of the tunnel permit variation of air speed and heater power to vary temperature through the drier. The heater power adjustable up to 2 kW. The fan adjustable to give air velocities up 4.5 m/s at the tunnel exit. The no-load test results under various conditions took 12 minute in average to get the decided temperature in drying chamber. The measured maximum drying temperature were 82, 75 and 67°C for 1.5, 3.0 and 4.5 m/s hot air velocity at exit plane, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

โครงงานนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือ ในด้านคำแนะนำในการทำโครงงาน จากรองศาสตราจารย์ ดร.มัทนี สงวนเสริมศรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานให้คำปรึกษาแก่ผู้ดำเนินโครงงานตลอดมา คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์ประเทือง โมราราย ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในทางที่เป็นประโยชน์ในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

ขอขอบคุณร้านพิษณุโลกเตาอบ อำเภอเมืองพิษณุโลกที่ให้ความอนุเคราะห์ ให้ใช้สถานที่และให้ข้อมูลเกี่ยวกับระบบวงจรไฟฟ้าภายในชุดสาธิตการอบแห้ง

และขอขอบพระคุณบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล คำแนะนำและความช่วยเหลือในการจัดทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงงานขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยอบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการศึกษา กราบขอบพระคุณอาจารย์และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้มอบความรู้ให้ผู้จัดทำโครงงานตลอดมา

ขอขอบพระคุณ

หาญ เลาว้าง

อานนท์ แฮตุ้ย

เอกชัย ผาติพรพิชิต

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ก
บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ จ
สารบัญรูปภาพ ช
สารบัญตาราง ฌ
ลำดับสัญลักษณ์ ญ

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน 1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 สถานที่ปฏิบัติงาน 2
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน 2
1.8 ระยะเวลาการปฏิบัติงาน 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการอบแห้ง 4
2.2 ระบบการอบแห้ง 8
2.3 แผนภูมิอากาศชื้น 8
2.4 การคำนวณอัตราการไหลของอากาศ 11
2.5 การคำนวณปริมาณความร้อนที่ต้องการ 11
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 กระบวนการออกแบบชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด	14
3.2 การสร้างชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด	19
3.3 การทดสอบชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด	22
บทที่ 4 ผลการทดสอบชุดสาธิตการอบแห้ง	
4.1 ผลการกระจายอุณหภูมิสูงสุด	25
4.2 ผลการกระจายอุณหภูมิที่อัตราเร็วอากาศต่างๆ	27
4.3 การประมาณอุณหภูมิของชุดสาธิตการอบแห้ง	30
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก ก แบบชุดสาธิตการอบแห้งและการคำนวณ	37
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการดำเนินงานและเครื่องมือการทดสอบ	45
ภาคผนวก ค ตารางผลการทดลอง	57
ภาคผนวก ง คู่มือปฏิบัติการอบแห้งแบบถาด	71
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน	78

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 กราฟการอบแห้งของอาหารชื้นในอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิและความชื้นคงที่ 6

รูปที่ 2.2 ปริมาณต่างๆ และเส้นกระบวนการบนแผนภูมิอากาศชื้น 9

รูปที่ 2.3 กระบวนการอบแห้งบนแผนภูมิอากาศชื้น 10

รูปที่ 2.4 ชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เชียงใหม่ 12

รูปที่ 2.5 ชุดทดลองการทำแห้งชาสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด 13

รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงกลไกการทำงานของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด 14

รูปที่ 3.2 แบบร่างของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด 15

รูปที่ 3.3 โครงสร้างและองค์ประกอบของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด 16

รูปที่ 3.4 พัดลม 17

รูปที่ 3.5 ฮีตเตอร์ 17

รูปที่ 3.6 ห้องอบแห้ง 18

รูปที่ 3.7 ประกอบโครงกรอบเหล็กเข้ากับสังกะสี 18

รูปที่ 3.8 ผนังสองชั้น ภายในบรรจุฉนวนใยหิน 19

รูปที่ 3.9 หลังประกอบโครงสร้างแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน 19

รูปที่ 3.10 หลังการติดตั้งชุดควบคุมและถาดวางผลิตภัณฑ์ 20

รูปที่ 3.11 ชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาดที่สร้างเสร็จ 20

รูปที่ 3.12 ชุดเก็บข้อมูลอุณหภูมิ 22

รูปที่ 3.13 ตำแหน่งการเก็บข้อมูล 22

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่บริเวณต่างๆ ของชุดสาธิตการอบแห้งเมื่อปิดพัดลม 25

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่บริเวณต่างๆ ชุดสาธิตการอบแห้งเมื่อความเร็วลม 1.5 m/s 26

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่บริเวณต่างๆ ชุดสาธิตการอบแห้งเมื่อความเร็วลม 3.0 m/s 26

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่บริเวณต่างๆ ชุดสาธิตการอบแห้งเมื่อความเร็วลม 4.5 m/s 27

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิที่อัตราเร็วลม 1.5 m/s 27

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิที่อัตราเร็วลม 3.0 m/s 28

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิที่อัตราเร็วลม 4.5 m/s 28

รูปที่ 4.8 กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศเมื่อตั้งค่าไว้ที่ 60°C ที่อัตราเร็วลมต่างๆ 29

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ 4.9 กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศเมื่อตั้งค่าไว้ที่ 80°C ที่อัตราเร็วลมต่างๆ 29

รูปที่ 4.10 กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศเมื่อตั้งค่าไว้ที่ 100°C ที่อัตราเร็วลมต่างๆ 30

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงอุณหภูมิขาเข้าห้องอบแห้งที่อัตราเร็วลมต่างๆ 31

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและระยะเวลาการปฏิบัติงาน 3
ตารางที่ 2.1 สภาวะที่แนะนำให้ใช้ในการอบแห้งผักและผลไม้บางชนิด 5
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะและเงื่อนไขเบื้องต้นสำหรับการออกแบบชุดสาธิตการอบแห้ง 14
ตารางที่ 3.2 รายละเอียดข้อมูลจำเพาะและแนวคิดสำหรับการออกแบบชุดสาธิตการอบแห้ง 15
ตารางที่ 4.1 ค่าการกระจายอุณหภูมิสูงสุดภายในชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด 27
ตารางที่ 5.1 ข้อมูลจำเพาะของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด 22
ตารางที่ 5.2 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกระแสอากาศร้อนขาเข้าสู่ห้องอบแห้งที่สภาวะต่างๆ 33
ตารางที่ 5.3 ผลิตผลทางการเกษตรที่สามารถนำมาทำการอบแห้งได้ 33

ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
C_a	ความร้อนจำเพาะของอากาศ	kJ/kg
E	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต้องการในการอบแห้ง	W
h_{fg}	ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ	kJ/kg
$\dot{m}$	อัตราการไหลของอากาศ	kg/s
Mc	ปริมาณความชื้นของวัสดุ	%wb, %db
m_d	มวลแห้งหรือมวลของของแข็งภายในวัสดุ	kg
Mc_i	ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุที่นำมาอบ	d.b., ทศนิยม
Mc_o	ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ	d.b., ทศนิยม
m_w	มวลของน้ำภายในวัสดุ	kg
Q	อัตราการไหลของอากาศออกจากช่องระบายอากาศ	m^3/s
t	เวลาในการอบแห้ง	hr
T_{am}	อุณหภูมิแวดล้อม	°C
T_i	อุณหภูมิของอากาศก่อนถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุที่นำมาอบ	°C
T_o	อุณหภูมิขาออกจากตู้อบ	°C
v	ปริมาตรจำเพาะของอากาศ	m^3/kg

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

การอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรเป็นกระบวนการหนึ่งในงานด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาคุณภาพ ลดความสูญเสียและยืดเวลาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ การอบแห้งเมล็ดพันธุ์ที่ถูกหลักยังสามารถช่วยให้เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดสูง[1] และช่วยลดปริมาตรหรือลดน้ำหนักลง ทำให้ลดต้นทุนในการเก็บรักษาและการขนส่ง เนื่องจากการอบแห้งเป็นกรรมวิธีการลดความชื้นของวัสดุที่ใช้พลังงานสูง จัดเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานสูงที่สุดกระบวนการหนึ่งของการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร การใช้เครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพ จะช่วยลดต้นทุนด้านการใช้พลังงานลงได้ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งในรูปแบบต่างๆ อย่างแพร่หลายผู้ดำเนินโครงการเห็นถึงความสำคัญของความรู้พื้นฐานของการอบแห้ง จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างชุดสาธิตการอบแห้งขึ้นสำหรับใช้ในรายวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล เพื่อให้นิสิตวิศวกรรมเครื่องกลได้ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของการอบแห้ง และอาจจะสามารถนำความรู้ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการทำงานหรือวิจัยด้านการอบแห้งต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อทำการออกแบบและสร้างชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

1.2.2 เพื่อทำการทดสอบการทำงานของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ศึกษาหลักการอบแห้งและเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ ออกแบบและสร้างชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด สำหรับอบแห้งตัวอย่างผลผลิตทางการเกษตร ในการเรียนการสอนรายวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล สามารถปรับอุณหภูมิและความเร็วลมได้ ทำการทดสอบการทำงานของชุดสาธิตการอบแห้งภายใต้สภาวะไม่มีภาระ พารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบคือ อุณหภูมิและความเร็วลม และจัดทำคู่มือปฏิบัติการอบแห้งของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

14.1 ศึกษาวิธีการอบแห้งและหาข้อมูลของชุดสาธิตการอบแห้งแบบต่างๆ

14.2 ออกแบบชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

14.3 สร้างชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาดต้นแบบ

14.4 ทดสอบการใช้งานชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาดที่สร้างขึ้นและเก็บข้อมูล

14.5 ทำการประเมินผลและปรับปรุง

14.6 จัดทำคู่มือปฏิบัติการอบแห้ง

14.7 วิเคราะห์และสรุปผล จัดทำรายงาน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาดต้นแบบ

1.6.2 ข้อมูลการทดสอบชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

1.6.3 คู่มือปฏิบัติการอบแห้งของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

1.6 สถานที่ปฏิบัติงาน

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

1.8.1 งบประมาณด้านการค้นคว้า	500	บาท
1.8.2 งบประมาณด้านเอกสาร	1,500	บาท
1.8.3 งบประมาณในการสร้าง	21,000	บาท
รวมทั้งสิ้น	23,000	บาท

1.8 ระยะเวลาการปฏิบัติงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและระยะเวลาการปฏิบัติงาน

รายละเอียดการปฏิบัติงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน										
	2554						2554				
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาข้อมูลทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้อง											
2. ศึกษาหลักการทำงานของชุดสาธิตการอบแห้งแบบต่างๆ											
3. ออกแบบชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด											
4. สร้างชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาดต้นแบบ											
5. ทดสอบการทำงานและปรับปรุง											
6. วิเคราะห์และสรุปผล											
7. จัดทำรายงานและคู่มือปฏิบัติการอบแห้ง											

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการอบแห้ง

การอบแห้งผลิตภัณฑ์ หมายถึงการกำจัดความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ จนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาอื่นๆ การอบแห้งอาหารเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน มวลและโมเมนตัม สมบัติทางกายภาพของอาหาร ของผสมของอากาศ-ไอน้ำ และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ กลไกการอบแห้งมีอยู่หลายอย่าง แต่ที่ควบคุมการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ขึ้นกับโครงสร้างและพารามิเตอร์ของการอบแห้ง สภาวะการอบแห้ง ปริมาณความชื้น ขนาด อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผิวและปริมาณความชื้นสมดุล กลไกเหล่านี้แบ่งออกเป็น 3 จำพวก ดังต่อไปนี้ [2]

1) การระเหยจากผิวอิสระ

2) การไหลในท่อคาพิลลารีในลักษณะของเหลว

3) การแพร่ในลักษณะที่เป็นของเหลวหรือไอ

อาหารที่เป็นของแข็งทุกชนิดมีปริมาณความชื้นสมดุลอยู่ค่าหนึ่ง เมื่อสัมผัสกับอากาศที่อุณหภูมิและความชื้นค่าหนึ่ง อาหารนั้นจะมีแนวโน้มที่จะสูญเสียหรือรับความชื้นในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อให้ถึงจุดสมดุล ในการอบแห้งแบบการพา ตัวกลางที่ใช้ในการให้ความร้อน (โดยทั่วไปเป็นอากาศ) จะมาสัมผัสโดยตรงกับอาหารที่เป็นของแข็ง เครื่องอบแห้งที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ ตู้อบแห้งแบบถาด เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เป็นต้น ในการอบแห้งแบบการนำความร้อน ตัวกลางที่ใช้ในการให้ความร้อนจะแยกออกจากอาหารด้วยผิวการนำที่ร้อน เช่น เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง เป็นต้น เครื่องอบแห้งบางชนิดใช้พลังงานไมโครเวฟเพื่ออบแห้งอาหารที่ความดันบรรยากาศหรือภายใต้สุญญากาศ

2.1.1 การเลือกและออกแบบเครื่องอบแห้ง

ปัจจัยที่ใช้พิจารณาเพื่อเลือกและออกแบบเครื่องอบแห้ง คือ

1) สมบัติของอาหาร เช่น สมบัติทางด้านกายภาพ และด้านความร้อน

2) ลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง เช่น ปริมาณความชื้นเริ่มต้น - สุดท้าย เวลาของการอบแห้งที่ต้องการ และข้อจำกัดของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

3) ข้อกำหนดของอาหารแห้ง เช่น ลักษณะทางกายภาพ และข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางกายภาพ และเคมี

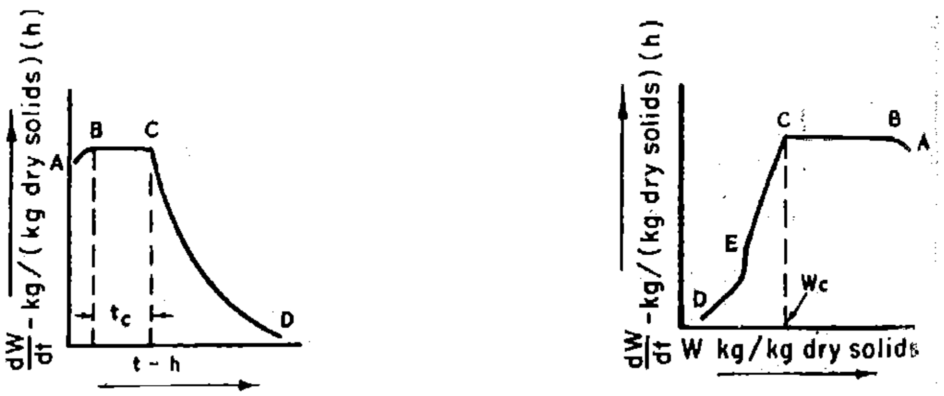
สภาวะที่แนะนำสำหรับอบแห้งผักและผลไม้บางชนิด แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สภาวะที่แนะนำให้ใช้ในการอบแห้งผักและผลไม้บางชนิด [3]

ชนิดของผัก-ผลไม้	kg/m^2 ของพื้นที่ถาด	อุณหภูมิ (^oC)
มันฝรั่ง	7.3	71
แครอท	6.1	71
ข้าวโพดหวาน	7.8	74
ลูกพรุน	14.7	66-74
หน่อไม้ฝรั่ง	7.3	57

2.1.2 อัตราการอบแห้ง

กราฟอัตราการอบแห้งได้จากข้อมูลปริมาณความชื้นของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทิ้งไว้สัมผัสกับกระแสอากาศ ตัวอย่างอาหารนี้จะอยู่ในตู้ (cabinet) หรือในท่อ กระแสอากาศที่ใช้ในการอบแห้งจะมีอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็ว และทิศการไหลผ่านผิวอบแห้งคงที่ น้ำหนักของตัวอย่างจะถูกบันทึก ณ เวลาต่างๆ แล้วนำไปคำนวณปริมาณความชื้นฐานแห้ง (dry basis moisture content) ได้กราฟรูปแบบทั่วไปของการอบแห้งแสดงดังรูปที่ 2.1 (ก) และ (ข) ในรูป (ก) แสดงค่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นฐานแห้งตามเวลา ในรูป (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นฐานแห้งและค่าความชื้นฐานแห้ง โดยในช่วงแรกความชื้นจะถูกกำจัดออกไปโดยการระเหยจากผิวที่อิ่มตัว ต่อมาพื้นที่ผิวอิ่มตัวจะลดน้อยลงเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดการระเหยน้ำขึ้นภายในตัวอย่าง โดยทั่วไปอัตราการอบแห้งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงปรับสภาวะเบื้องต้น ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง



(ก) อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นฐานแห้งตามเวลา (ข) ความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นฐานแห้งกับค่าความชื้นฐานแห้ง

รูปที่ 2.1 กราฟการอบแห้งของอาหารชื้นในอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิและความชื้นคงที่ [2]

1) ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial adjustment period AB) เป็นช่วงเริ่มต้นที่อาหารที่ใช้ในการอบแห้ง มีความชื้นเริ่มต้น (A) ของอาหารยังสูงอยู่ ผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหาร ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวอาหาร มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) ของกระแสลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลางอัตราการอบแห้งค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

2) ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period BC) เป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า พลังงานความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากของวัสดุอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง จุดสุดท้ายของช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่ อัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง ความชื้นของวัสดุ ณ เวลานี้เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content)

3) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period CE) หลังจากที่ความชื้นลดลงจนถึงปริมาณความชื้นวิกฤต พื้นที่ผิวอิ่มตัวจะลดลง เนื่องจากความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนเคลื่อนที่จากภายในไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งพื้นที่ผิวทั้งหมดถึงสภาวะไม่อิ่มตัว การเคลื่อนที่ของความชื้นภายในจะกลายเป็นปัจจัยหลัก กลไกที่ทำให้ความชื้นเคลื่อนที่ภายในผลิตภัณฑ์ได้แก่ การเคลื่อนที่ของของเหลวด้วยแรงคาพิลลารี่ การแพร่ของของเหลว และการแพร่ของไอที่ผิว

กระบวนการอบแห้งจะดำเนินไปในอัตราลดลง เนื่องจากการระเหยเกิดขึ้นด้วยอัตราลดลง อัตราการอบแห้งจะลดลงด้วย ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับปริมาณความชื้นที่ลดลงความชื้นจะลดลงเรื่อยๆจนถึงค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุด ภายใต้สภาวะที่ใช้อยู่ในขณะนั้น ที่ความชื้นนี้ อัตราการอบแห้งเป็นศูนย์ น้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีกในบางผลิตภัณฑ์อาจจะมีช่วงอัตราลดลงมากกว่าหนึ่ง (ช่วง ED) ซึ่งจะสังเกตเห็นอัตราการอบแห้งลดลงช่วงที่สองหรือสาม

2.1.3 ปริมาณความชื้น

น้ำที่อยู่ภายในอาหารมี 2 รูปแบบ คือ น้ำอิสระ (Free water) ซึ่งแทรกอยู่ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ และ น้ำที่เป็นพันธะกับสารอื่น (Bound water) ปริมาณน้ำในอาหารส่วนมากจะอยู่ในรูปของน้ำอิสระ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมคุณภาพของอาหาร การแสดงปริมาณความชื้น (Moisture content) หรือน้ำที่อยู่ภายในอาหาร สามารถบอกในรูปของอัตราส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ ฐานเปียก (Wet basis) และฐานแห้ง (Dry basis) ซึ่งนิยมใช้สำหรับบอกองค์ประกอบของน้ำในวัสดุ และใช้กับการคำนวณทางวิทยาศาสตร์ ตามลำดับ โดยคำนวณได้จากสมการ (2.1) และ (2.2) ดังนี้

ความชื้นฐานเปียก (Wet basis moisture content), Mc_{wb}

$$Mc_{wb} = \frac{m_w}{m_w + m_d} \times 100 \tag{2.1}$$

ความชื้นฐานแห้ง (Dry basis moisture content), Mc_{db}

$$Mc_{db} = \frac{m_w}{m_d} \times 100 \tag{2.2}$$

เมื่อ Mc = ปริมาณความชื้นของวัสดุ (%wb, %db)

m_w = มวลของน้ำภายในวัสดุ (kg)

m_d = มวลแห้งหรือมวลของของแข็งภายในวัสดุ (kg)

2.2 ระบบการอบแห้ง

การอบแห้งวัสดุสามารถจำแนกตามวิธีการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร ได้ดังต่อไปนี้ คือ

1) การใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปจากวัสดุ เป็นวิธีการอบแห้งด้วยการพาความร้อน (Convection) เครื่องอบแห้งส่วนมากจะใช้วิธีนี้ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง ใช้งานง่าย และค่าใช้จ่ายไม่สูงเกินไป

2) การแผ่กระจายวัสดุออกเป็นชั้นบางๆ บนพื้นผิวที่ให้ความร้อน เป็นวิธีการอบแห้งด้วยการนำความร้อน (Conduction) ไอน้ำจะกระจายตัวสู่บรรยากาศแวดล้อมได้ดี วัสดุจะแห้งภายในเวลาอันสั้น แต่การสัมผัสความร้อนโดยตรง อาจทำให้เกิดความเสียหายได้

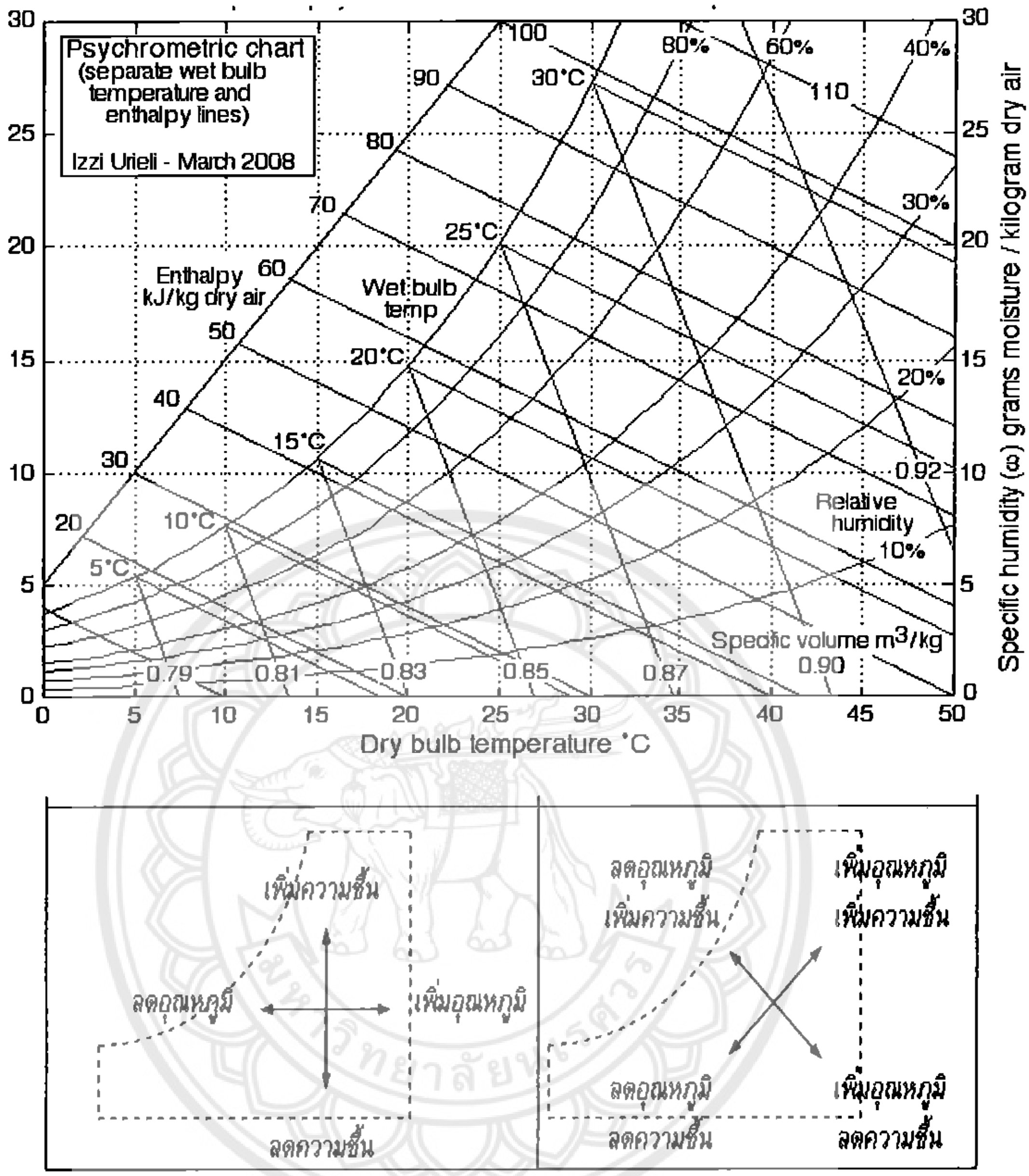
3) การให้ความร้อนบริเวณผนังรอบๆห้องอบ โดยวัสดุไม่สัมผัสกับแหล่งความร้อน เป็นวิธีการอบแห้งด้วยการแผ่รังสี (Radiation) บางครั้งอาจเพิ่มประสิทธิภาพด้วยระบบดูดไอน้ำออกหรือใช้สุญญากาศลดความดันช่วยประหยัดพลังงานความร้อนได้

4) การปรับสภาวะความดันและอุณหภูมิ เพื่อทำให้น้ำในวัสดุเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งที่ระดับต่ำกว่าจุดร่วมสามสถานะ (Triple point) แล้วให้พลังงานความร้อนหรือลดความดันลงจนกระทั่งเกิดการระเหิด น้ำจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอโดยตรง เรียกว่าการอบแห้งแบบเยือกแข็ง หรือการอบแห้งแบบระเหิด (Freeze drying หรือ Sublimation drying) วิธีการนี้จะช่วยรักษาคุณภาพ และการคืนตัวของวัสดุได้ดีมาก แต่ค่าใช้จ่ายจะสูงตามไปด้วย

5) การใช้ความดันออสโมติกกำจัดน้ำภายในวัสดุ (Osmotic dehydration) ด้วยการแช่วัสดุลงในสารละลายที่ มีความเข้มข้นสูงกว่า น้ำจะแพร่ผ่านผนัง Membrane ออกมาภายนอก และสารละลายจะแพร่สวนทางเข้าไปภายในวัสดุจนกระทั่งความเข้มข้นทั้งสองเท่ากัน

2.3 แผนภูมิอากาศชื้น

แผนภูมิอากาศชื้น (Psychrometric chart) เป็นแผนภูมิที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่สภาวะต่างๆ เช่น เอนทาลปี ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะ ของของผสมระหว่างอากาศกับไอน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งต่างๆ ที่ความดันบรรยากาศ สมบัติทั้งหมดสามารถหาได้จากแผนภูมิอากาศชื้น เมื่อทราบสมบัติใดๆ ในแผนภูมิอย่างน้อย 2 ค่า



รูปที่ 2.2 ปริมาณต่างๆ และเส้นกระบวนการบนแผนภูมิอากาศชื้น

ที่มา: http://www.ohio.edu/mechanical/thermo/Applied/Chapt.7_11/Chapter10b.html

ปริมาณที่แสดงค่าอยู่บนแผนภูมิอากาศชื้นในรูปที่ 2.2 มีดังนี้ คือ

1) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature, °C)

2) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature, °C)

3) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature, °C)

4) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, %)

5) ความชื้นจำเพาะ (Specific humidity, g/kg อากาศแห้ง)

6) เอนทาลปี (Enthalpy, kJ/kg อากาศแห้ง)

7) ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume, m^3/kg อากาศแห้ง)

กระบวนการปรับสภาวะอากาศบนแผนภูมิอากาศชื้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2 มีดังนี้ คือ

1) เพิ่มอุณหภูมิ (Heating)

2) ลดอุณหภูมิ (Cooling)

3) เพิ่มความชื้น (Humidifying)

4) ลดความชื้น (Dehumidifying)

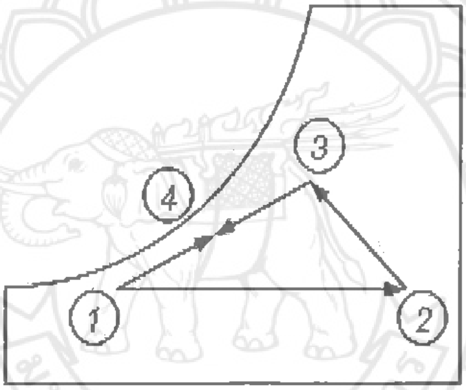
5) เพิ่มอุณหภูมิ และเพิ่มความชื้น (Heating & humidifying)

6) เพิ่มอุณหภูมิ และลดความชื้น (Heating & dehumidifying)

7) ลดอุณหภูมิ และเพิ่มความชื้น (Cooling & humidifying)

8) ลดอุณหภูมิ และลดความชื้น (Cooling & dehumidifying)

ในกระบวนการอบแห้ง (ลดความชื้น) แสดงในแผนภูมิอากาศชื้น ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กระบวนการอบแห้งบนแผนภูมิอากาศชื้น

รายละเอียดกระบวนการอบแห้งบนแผนภูมิอากาศชื้นในรูปที่ 2.3 มีดังต่อไปนี้

1) กระบวนการให้ความร้อน (1-2) เป็นกระบวนการที่อุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราส่วนความชื้นคงที่ ปริมาตรของอากาศขยายตัวขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง

2) กระบวนการอบแห้ง (2-3) เป็นกระบวนการที่อากาศมีความชื้นเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิลดลง เส้นกระบวนการคือ เส้นเอนทาลปีคงที่ อัตราส่วนความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น

3) กระบวนผสมอากาศ ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์บางครั้ง พบว่าอากาศที่ผ่านการอบแห้งแล้วยังมีอุณหภูมิสูงอยู่และความชื้นสัมพัทธ์อาจยังไม่สูงนัก จึงมีการนำอากาศบางส่วนที่ใช้แล้วมาผสมกับอากาศใหม่ แล้วจึงค่อยทำให้ร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ

2.4 การคำนวณอัตราการไหลของอากาศ

อัตราการไหลของอากาศสามารถหาค่าโดยประมาณจากสมการสมดุลพลังงานของลมร้อนกับความชื้นของวัสดุที่นำมาอบแห้ง โดยสมมติให้ sensible heat ที่ปลดปล่อยออกจากอากาศที่พัดผ่านวัสดุมีค่าเท่ากับความร้อนแฝงที่ใช้ในการทำให้น้ำในวัสดุกลายเป็นไอ เมื่อไม่คิดการนำความร้อนและการสูญเสียความร้อนออกจากตู้อบแห้งผ่านผนังตู้อบ และไม่คิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุ ในกรณีที่ลมร้อนมีอุณหภูมิสูงกว่าวัสดุในตอนเริ่มอบ อัตราการไหลของอากาศ Q ประมาณได้จากสมการที่ 2.3

$$Q = \frac{h_{fg} m_d v (Mc_i - Mc_o)}{C_a (T_i - T_o) t} \tag{2.3}$$

เมื่อ

Q = อัตราการไหลของอากาศออกจากช่องระบายอากาศ (m^3/s)

v = ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (m^3/kg ของอากาศแห้ง)

C_a = ความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg)

T_i = อุณหภูมิของอากาศก่อนถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุที่นำมาอบ (°C)

T_o = อุณหภูมิของอากาศขาออกจากตู้อบ (°C)

t = เวลาในการอบแห้ง (hr)

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ (kJ/kg ของน้ำ)

m_d = มวลแห้งของวัสดุที่นำมาอบ (kg)

Mc_i = ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุที่นำมาอบ (d.b., ทศนิยม)

Mc_o = ความชื้นสุดท้ายของวัสดุที่ต้องการ (d.b., ทศนิยม)

2.5 การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต้องการ

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต้องการเพื่ออุ่นอากาศแวดล้อม ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิการอบแห้ง คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$E = \dot{m}C_a\left(T_i - T_{am}\right) \tag{2.4}$$

เมื่อ

E = อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต้องการในการอบแห้ง (W)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)

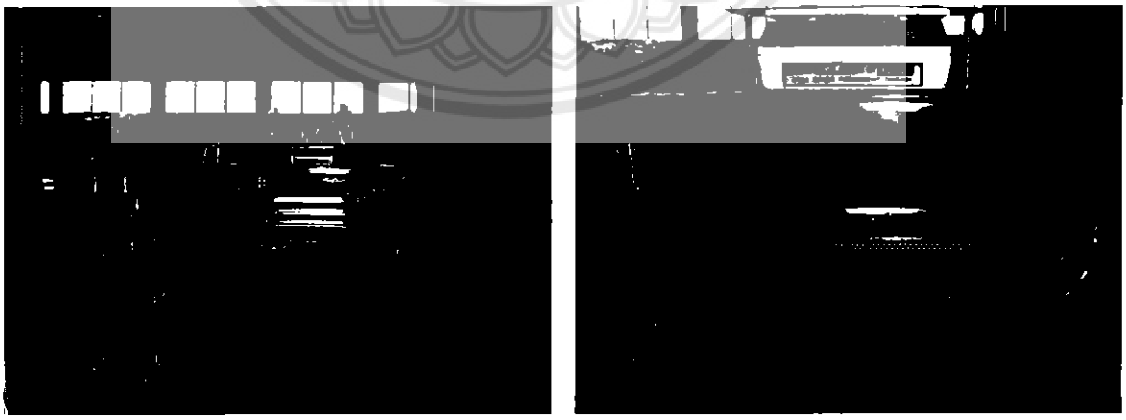
C_a = ความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg)

T_i = อุณหภูมิของอากาศก่อนถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุที่นำมาอบ (°C)

T_{am} = อุณหภูมิแวดล้อม (°C)

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการตรวจสอบข้อมูลพบว่าการอบแห้งแบบถาดโดยใช้ลมร้อนเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก ทั้งในระดับอุตสาหกรรม และระดับห้องปฏิบัติการศึกษา วิจัยการอบแห้งผักและผลไม้เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบนี้มีราคาไม่สูงและค่าบำรุงรักษาค่อนข้างต่ำ ระบบการอบแห้งนี้จะใช้ถาดหรือวัตถุอื่นที่สามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบสัมผัสกับอากาศร้อนในห้องที่ปิด อากาศร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านเหนือผิวผลิตภัณฑ์ด้วยความเร็วค่อนข้างสูง (ประมาณ 2.5-5.0 m/s)[2] ดังรูปที่ 2.4 (ก) แสดงชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาดที่ใช้ในวิชาปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ส่วนของตู้อบ (รูปที่ 2.4 (ข)) มีขนาด 300x300x400 mm ภายในมีถาดจำนวน 3 ถาดบรรจุผลิตภัณฑ์เปียกได้สูงสุดประมาณ 3 kg สามารถปรับระดับความเร็วกระแสอากาศร้อนได้ 0.3- 1.8 m/s และกำลังของฮีตเตอร์ปรับได้สูงสุด 3 kW

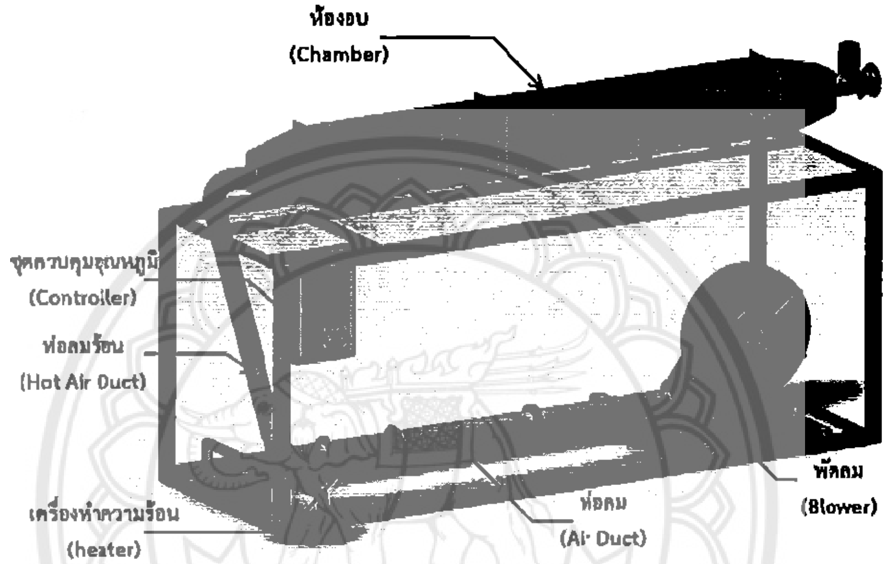


(ก) ชุดสาธิตการอบแห้ง (ข) ส่วนของตู้อบ

รูปที่ 2.4 ชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เชียงใหม่

ที่มา: www.agro.cmu.ac.th/e_books/604303/...ppt/drying.ppt [4]

สิริชัยและคณะ[4] วิจัยการทำแห้งกระเทียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดที่มีการไหลเวียนของอากาศร้อนที่เป็นตัวกลางทำแห้งแบบปิด เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการทำกระเทียมให้แห้งทั้งในลักษณะที่เป็นแว่นบางและเป็นผง ภายใต้ภาวะอุณหภูมิคงที่ที่ 45, 55, 70 และ 80°C โดยวัฒนาและคณะ[5] วิจัยการทำแห้งชาสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (รูปที่ 2.5) ชุดทดลองประกอบไปด้วย ห้องอบ ฮีตเตอร์ไฟฟ้า ท่อลมร้อนพัดลมและชุดควบคุมอุณหภูมิใช้ทำการทดลองอบตะไคร้ใบเตยและอัญชัน ในช่วงอุณหภูมิ 40-60°C และความเร็วของลมร้อนในห้องอบ 1.5 m/s



รูปที่ 2.5 ชุดทดลองการทำแห้งชาสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด [5]

ในโครงงานนี้ ผู้จัดดำเนินโครงงานจึงเลือกใช้การอบแห้งแบบถาดโดยอาศัยลมร้อน ที่สามารถปรับค่า อุณหภูมิและค่าความเร็วลมได้ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในห้องปฏิบัติการศึกษาและวิจัยการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรต่อไป

จากการศึกษาถึงข้อดี ข้อเสียของชุดทดลองอบแห้งข้างต้น คณะผู้ดำเนินโครงงานได้เลือกชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด ที่ใช้งานอยู่ที่คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นต้นแบบในการออกแบบชุดสาธิตการอบแห้งต่อไป

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินโครงงานเพื่อพัฒนาชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด แบ่งออกเป็น 3 กิจกรรมหลักๆ ได้แก่ การออกแบบ การสร้าง และการทดสอบชุดสาธิต

3.1 กระบวนการออกแบบชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การพัฒนาข้อมูลจำเพาะและเงื่อนไขเบื้องต้น การพัฒนารายละเอียดข้อมูลจำเพาะและแนวคิด และการออกแบบรายละเอียด รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

3.1.1 การพัฒนาข้อมูลจำเพาะและเงื่อนไขเบื้องต้น

สืบเนื่องจากความต้องการให้นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลมีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับการอบแห้ง ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งซึ่งใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมอาหาร โดยให้นิสิตได้มีโอกาสศึกษาหลักการอบแห้งผ่านการทำปฏิบัติการ ทดลองและวิจัยในเบื้องต้นสามารถสรุปข้อมูลจำเพาะและเงื่อนไขที่ต้องการสำหรับการออกแบบชุดสาธิตการอบแห้งเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะและเงื่อนไขเบื้องต้นสำหรับการออกแบบชุดสาธิตการอบแห้ง

ลำดับที่	ข้อมูลจำเพาะและเงื่อนไขเบื้องต้น
1	สำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร
2	เคลื่อนย้ายได้, กะทัดรัดและปลอดภัยเหมาะกับการใช้งานใช้งานในห้องปฏิบัติการ
3	ราคาไม่สูงงบประมาณไม่เกิน 20,000 บาท
4	สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อการศึกษาทดลองได้หลายๆ สภาวะ
5	สามารถสังเกตและตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ระหว่างการทดลองได้สะดวก
6	สามารถสร้างเองได้

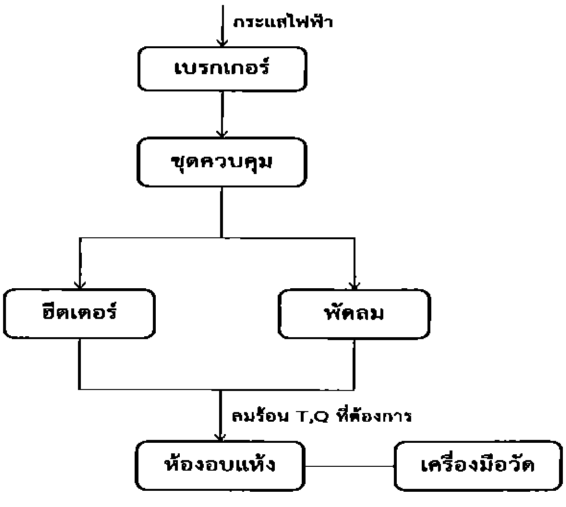
3.1.2 การพัฒนารายละเอียดข้อมูลจำเพาะและแนวคิด

จากข้อมูลจำเพาะและเงื่อนไขเบื้องต้นเมื่อคำนึงถึงความง่ายและความสะดวก ทั้งในการสร้างและการใช้งานเป็นหลัก ภายใต้งบประมาณที่ได้รับ ทำให้ตัดสินใจเลือกระบบการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบถาดแบบเป็นกะ โดยใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งให้ความร้อน สามารถกำหนดรายละเอียดของข้อมูลจำเพาะและแนวคิด สำหรับการออกแบบชุดสาธิตการอบแห้ง ได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดข้อมูลจำเพาะและแนวคิดสำหรับการออกแบบชุดสาธิตการอบแห้ง

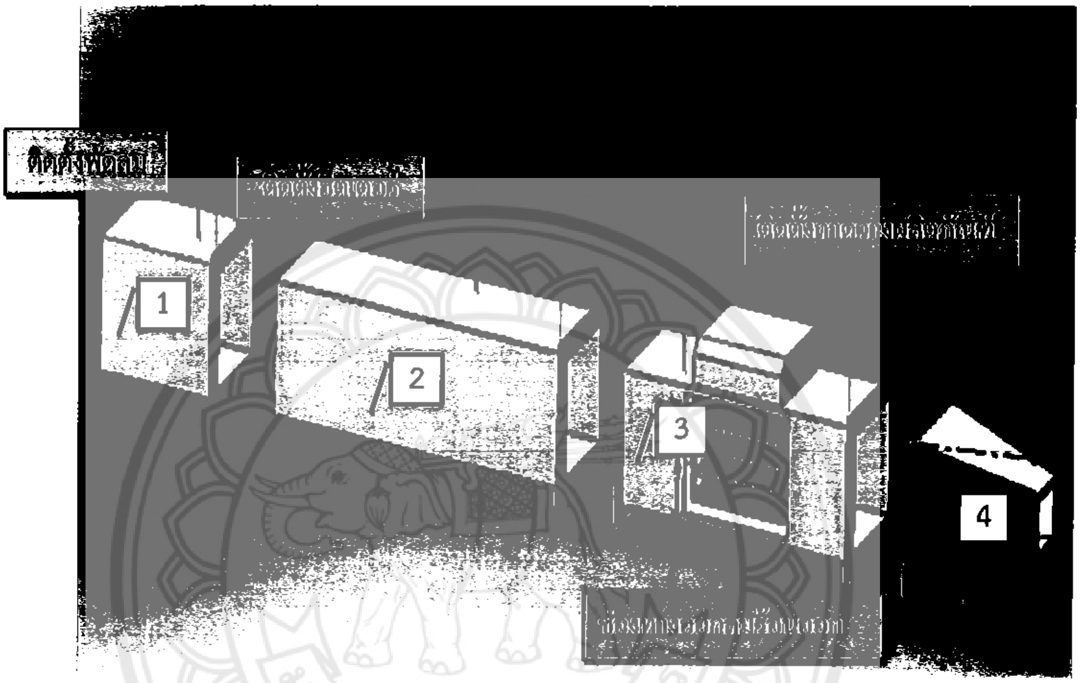
ลำดับที่	ข้อมูลจำเพาะ
1	การอบแห้งโดยอาศัยลมร้อนไหลผ่านวัสดุที่ต้องการอบซึ่งบรรจุในถาด
2	อุณหภูมิลมร้อนภายในห้องอบแห้ง ปรับได้สูงสุด 100°C
3	อัตราเร็วลมที่ไหลผ่านวัสดุที่ต้องการอบปรับได้ในช่วง 0.5-2.5 m/s
4	อบแห้งได้สูงสุดครั้งละ 2 kg
5	สามารถลดความชื้นลงได้ 50-65% ในเวลาไม่เกิน 3 ชั่วโมง
6	ด้านหน้าห้องอบแห้งติดกระจกใส ด้านบนมีช่องสำหรับเสียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิและอัตราเร็วลม
7	ชุดถาดแขวนบนเครื่องชั่งดิจิตอล
8	ฮีตเตอร์ไฟฟ้า 220 V 1 เฟส และมี thermostat
9	ส่วนที่เคลื่อนที่ต้องมีที่ครอบ
10	โครงสร้างยกสูงจากพื้นในระดับที่สะดวกต่อปฏิบัติการ ติดล้อช่วยให้เคลื่อนย้ายง่าย
11	โครงสร้างแต่ละส่วนแยกเป็นอิสระจากกันได้ สะดวกในการปรับเปลี่ยนและซ่อมบำรุง

กลไกการทำงานของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาดที่ออกแบบ แสดงดังแผนภาพในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงกลไกการทำงานของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

จากรูปที่ 3.1 ชุดควบคุมฮีตเตอร์และพัดลมจะช่วยให้สามารถตั้งค่าอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศร้อนที่ต้องการ โดยสามารถตรวจสอบค่าอุณหภูมิและอัตราเร็วของอากาศภายในห้องอบแห้ง ตลอดจนมวลของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ณ เวลาใดๆ ระหว่างการอบแห้งได้ จากกลไกการทำงานของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด สามารถแสดงเป็นแบบร่างของส่วนประกอบหลัก ได้ดังรูปที่ 3.2

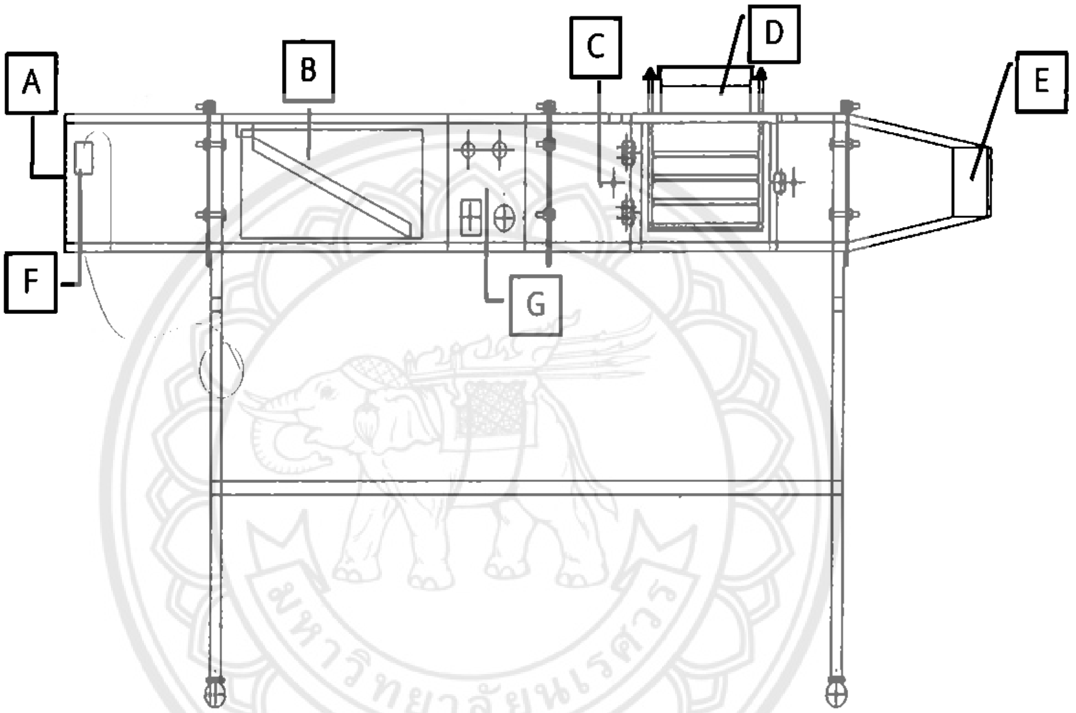


รูปที่ 3.2 แบบร่างของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

จากรูปที่ 3.2 โครงสร้างของชุดสาธิตประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 บริเวณทางเข้าของอากาศ ส่วนที่ 2 บริเวณเพิ่มอุณหภูมิอากาศ ส่วนที่ 3 บริเวณอบแห้ง และส่วนที่ 4 บริเวณทางออกของอากาศแต่ละส่วนถูกออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้อย่างอิสระ เพื่อความสะดวกในการซ่อมบำรุงหรือปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ต่างๆโดยชุดสาธิตจะถูกติดตั้งบนโครงเหล็กสูงจากพื้น ในระดับที่ผู้ใช้ทำงานได้สะดวก

3.1.3 การออกแบบรายละเอียด

ในขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆทั้งหมด โครงสร้างและองค์ประกอบของชุดสาธิตการอบแห้งที่ออกแบบแสดงในรูปที่ 3.3 โดยต้องทำการคำนวณค่าเชิงเทคนิคที่สำคัญ ได้แก่ อัตราการไหลของอากาศร้อนและกำลังของฮีตเตอร์ที่จำเป็นเพื่อให้เกิดการอบแห้งตามต้องการรายละเอียดของการคำนวณและรายละเอียดขนาดของส่วนประกอบแสดงในแบบ drawing ของชุดสาธิตการอบแห้งในภาคผนวก ก



รูปที่ 3.3 โครงสร้างและองค์ประกอบของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

จากรูปที่ 3.3 จุด A คือบริเวณที่ติดตั้งพัดลม ซึ่งจะทำหน้าที่ดูดอากาศภายนอกเข้าสู่บริเวณ B ซึ่งติดตั้งฮีตเตอร์ไว้สำหรับเพิ่มอุณหภูมิอากาศ อากาศร้อนจะไหลผ่านเข้าสู่ห้องอบแห้ง C ภายในบรรจุชุดถาดวางตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้งจำนวน 4 ถาด โดยชุดถาดจะแขวนไว้กับเครื่องชั่ง D ซึ่งวางอยู่บนห้องอบแห้งจากนั้นอากาศร้อนจะไหลออกสู่ภายนอกที่หน้าตัดทางออก E เบรกเกอร์จะติดตั้งที่จุด F ขณะที่บริเวณ G จะติดตั้งชุดควบคุมฮีตเตอร์และพัดลม รายละเอียดของส่วนประกอบที่สำคัญ มีดังต่อไปนี้

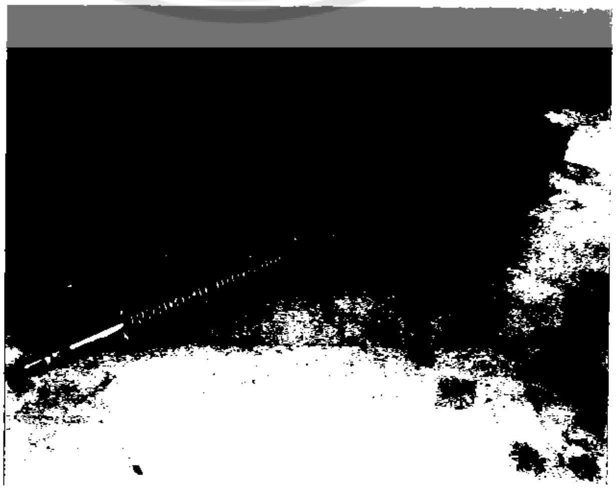
1. พัดลม

ในโครงงานนี้เลือกใช้พัดลมไฟฟ้าแบบไหลตามแกน มีใบพัดเหล็กจำนวน 4 ใบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 in (รูปที่ 3.4) ซึ่งหาซื้อได้สะดวกและราคาไม่สูง โดยเลือกพัดลมขนาดที่ให้อัตราการไหลสูงสุด 780 m^3/hr ที่ความเร็วรอบ 1400 rpm ซึ่งสามารถติดตั้งได้กับขนาดโครงสร้างที่ออกแบบไว้ ด้านหนึ่งของพัดลมมีตะแกรงครอบเพื่อความปลอดภัย

รูปที่ 3.4 พัดลม

2. ฮีตเตอร์

ในโครงงานนี้เลือกใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้ารูปตัวไอแบบมีครีบ เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศ ฮีตเตอร์ทำจากสแตนเลส ความยาว 80 cm โดยฮีตเตอร์นี้ให้กำลังได้สูงสุด 2000 W



รูปที่ 3.5 ฮีตเตอร์

3. ห้องอบแห้ง

ห้องอบแห้งมีขนาด 30×80×30 cmโครงสร้างทำจากเหล็กกล่องขนาด 2.5X2.5 cm หุ้มด้วยสังกะสี เบอร์ 28 สองชั้นภายในบุด้วยฉนวนใยหินหนา 2.5 cmด้านหน้ามีประตูเป็นกระจกใสสามารถมองเห็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งที่อยู่ภายในได้ ภายในห้องอบแห้งมีชุดถาดวางผลิตภัณฑ์จำนวน 4 ถาด แต่ละถาดมีขนาด 24X32X2 cm ทำจากสแตนเลสเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm แต่ละถาดห่างกัน 5 cm ชุดโครงถาดขนาด 24X32X22 cm ทำจากสแตนเลสเส้นแบนหนา 0.3 cm โดยตัวชุดโครงถาดแขวนอยู่กับเครื่องชั่งดิจิตอลซึ่งวางด้านบนของห้องอบแห้ง

(ก) ห้องอบแห้งและเครื่องชั่ง (ข) ชุดถาดวางผลิตภัณฑ์

รูปที่ 3.6 ห้องอบแห้ง

3.2 การสร้างชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

รายละเอียดของขั้นตอนการสร้างมีดังต่อไปนี้

เริ่มจากการสร้างส่วนของโครงสร้างแต่ละส่วนทั้งหมด 4 ส่วน คือ ส่วนทางเข้าของอากาศ ส่วนที่ติดตั้งฮีตเตอร์ส่วนห้องอบแห้ง และส่วนทางออกของอากาศ แต่ละส่วนประกอบด้วยตัวโครงกรอบและผนัง ตัวโครงกรอบทำจากเหล็กกล่องขนาด 2.5x2.5 cm นำมาตัดเป็นท่อน แล้วทำการเชื่อมขึ้นเป็นโครงกรอบสี่เหลี่ยม ตามขนาดที่ออกแบบไว้จำนวน4 ชุดผนังทำจากสังกะสีซึ่งนำมาตัดเป็นแผ่น ตามขนาดที่ออกแบบไว้ของแต่ละส่วนและพับขึ้นรูป ดังรูปที่ 3.7แต่ละส่วนทำการพับสังกะสีไว้ 2 แผ่น เนื่องจากทำเป็นผนัง 2 ชั้น โดยระหว่างชั้นผนังบรรจุฉนวนใยหินหนา 2.5 cm เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนผ่านผนังเครื่อง ดังรูปที่ 3.8จากนั้นนำแต่ส่วนประกอบเข้าด้วยกันด้วยน๊อตยึด ดังรูปที่ 3.9

(ก) (ข)

รูปที่ 3.7 ประกอบโครงกรอบเหล็กเข้ากับสังกะสี

(ก) ฉนวนใยหิน (ข) ผนังชั้นนอก

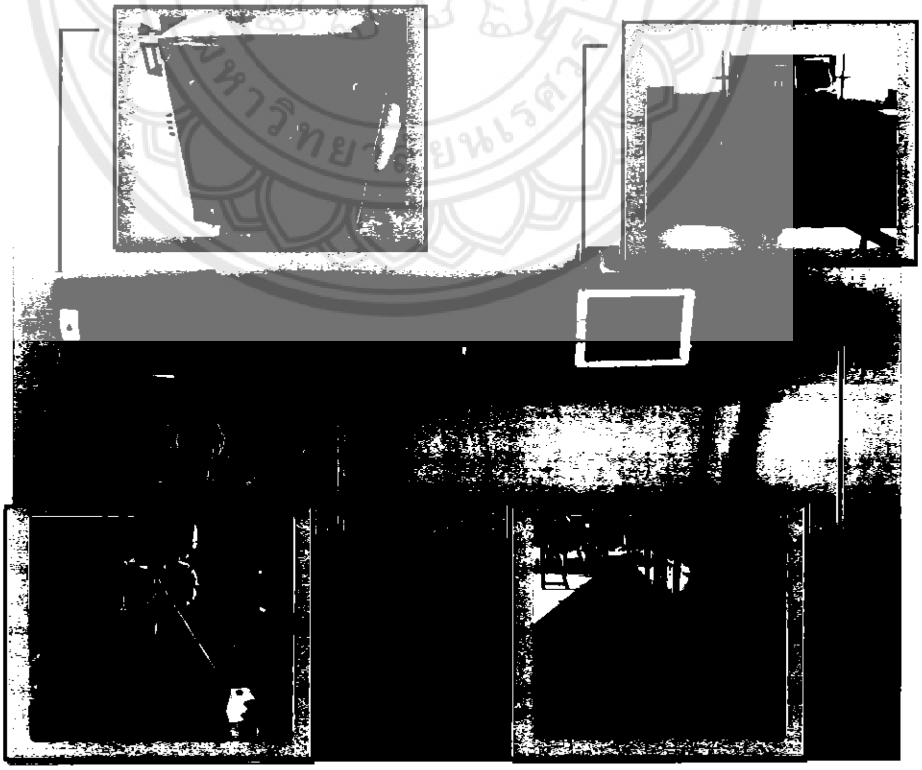
รูปที่ 3.8 ผนังสองชั้น ภายในบรรจุฉนวนใยหิน

รูปที่ 3.9 หลังประกอบโครงสร้างแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน

ขั้นตอนต่อมา ทำการติดตั้งชุดควบคุมอัตราเร็วอากาศและชุดควบคุมอุณหภูมิ โดยได้ติดตั้งหลอดไฟเพื่อแสดงสภาวะการทำงาน และทำการติดตั้งชุดถาดวางผลิตภัณฑ์เข้ากับเครื่องชั่งดิจิตอลผ่านรูที่เจาะไว้ด้านบนของห้องอบแห้ง ดังรูปที่ 3.10 เมื่อติดตั้งชุดฮีตเตอร์และพัดลม ต่อวงจรและเดินสายไฟเสร็จ จะได้ชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด ดังรูปที่ 3.11

(ก) ชุดควบคุม (ข) ชุดถาด

รูปที่ 3.10 หลังการติดตั้งชุดควบคุมและถาดวางผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.11 ชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาดที่สร้างเสร็จ

3.3 การทดสอบชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการทำงานของชุดสาธิตการอบแห้งที่สร้างขึ้น โดยในขั้นต้นนี้จะทำการทดสอบเฉพาะสภาวะที่ไม่มีภาระ คือยังไม่ใส่ผลิตภัณฑ์ในห้องอบ โดยจะศึกษาอัตราเร็วของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่บริเวณก่อนและหลังออกจากห้องอบแห้งและตรวจสอบว่าอุปกรณ์ต่างๆ มีปัญหาในการทำงานหรือไม่

3.1 การทดสอบการกระจายอุณหภูมิ

การทดสอบมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในชุดสาธิตการอบแห้ง

อุปกรณ์ที่ใช้

1) เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบหัววัด ยี่ห้อ LUTRON รุ่น AM-4204
2) เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอินฟาเรด ยี่ห้อ OEM รุ่น DT530
3) ชุดเก็บข้อมูลคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนการเตรียมชุดวัดอุณหภูมิ

1) เตรียมชุดเก็บข้อมูลคอมพิวเตอร์(รูปที่ 3.12)เครื่องวัดอุณหภูมิเครื่องวัดความเร็วลม
2) ต่อหัววัดอุณหภูมิจากเครื่องบันทึกข้อมูล เข้าสู่ชุดสาธิตการอบแห้ง 3 จุด ตามตำแหน่งในรูปที่ 3.13
3) เปิดโปรแกรมบันทึกค่าอุณหภูมิจากคอมพิวเตอร์ตรวจสอบอุณหภูมิเริ่มต้นของหัววัดอุณหภูมิจากโปรแกรมที่แสดงผลทั้ง 3 จุด
4) ตั้งค่าการบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็น 1 นาที

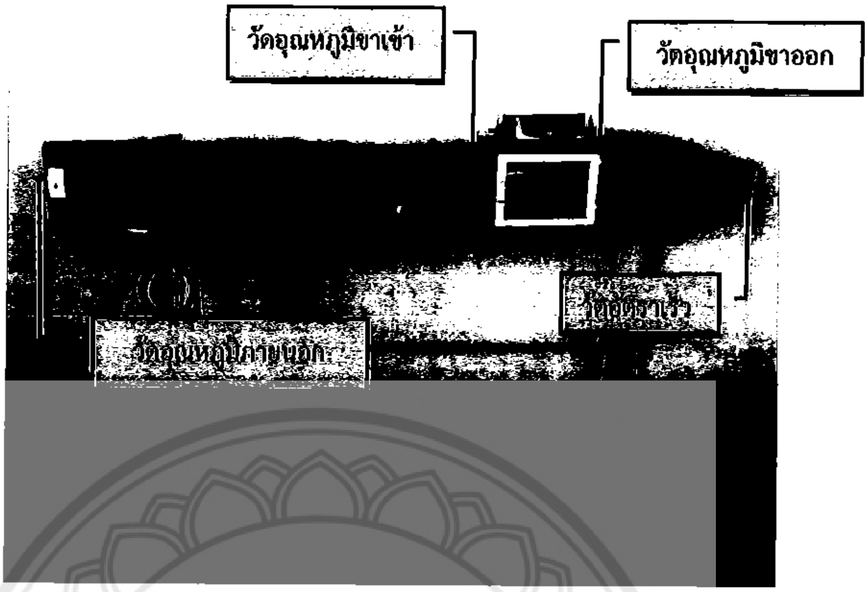
ขั้นตอนการเตรียมชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

1) เสียบปลั๊กชุดสาธิตการอบแห้งแล้วยกเบรกเกอร์ไปที่ตำแหน่ง ON
2) เปิดสวิทช์พัดลมโดยหมุนตามเข็มนาฬิกา หลอดไฟจะสว่างขึ้น พัดลมจะเริ่มทำงาน ทำการปรับค่าความเร็วอากาศตามที่ต้องการ
3) เปิดสวิทช์ฮีตเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา หลอดไฟจะสว่างขึ้น ฮีตเตอร์จะเริ่มทำงาน ทำการปรับค่าอุณหภูมิตามที่ต้องการโดยเมื่อทำการทดลองเสร็จ ให้ปิดสวิทช์ฮีตเตอร์ รอให้ฮีตเตอร์เย็นตัวลงประมาณ 2-3 นาทีแล้วจึงปิดสวิทช์พัดลม

ขั้นตอนการทดสอบการกระจายอุณหภูมิ

1) ตั้งค่าอุณหภูมิและอัตราเร็วอากาศตามต้องการ สำหรับฮีตเตอร์จะทำการทดลองที่ค่าสเกล 60, 80, 100°C และ 220°C(ตำแหน่งสูงสุดของสเกลของปุ่มตั้งค่าอุณหภูมิ) และที่อัตราเร็ว
   อากาศ ณ ระนาบทางออก0, 1.5, 3.0 และ 4.5 m/s
2) ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิเป็นเวลา 20-60 นาทีโดยต้องรอจนอุณหภูมิมีค่าคงที่
3) เมื่อเสร็จการบันทึกผลในแต่ละครั้ง จะทำการปิดฮีตเตอร์ แล้วเปิดพัดลมสูงสุดประมาณ 3-5 นาทีแล้วจึงเริ่มทำการทดลองที่สภาวะต่อไป
4) การทดลองการกระจายอุณหภูมิสูงสุด จะตั้งค่าอุณหภูมิของฮีตเตอร์ไว้ที่ค่าสูงสุดของสเกลของปุ่มปรับค่าที่ 220°Cบันทึกค่าอุณหภูมิที่อัตราเร็วกระแสอากาศร้อน ณ ระนาบทางออก เท่ากับ 0, 1.5, 3.0 และ 4.5 m/s ตามลำดับ
5) การทดสอบการกระจายอุณหภูมิที่อัตราเร็วต่างๆ จะเริ่มตั้งค่าอัตราเร็วลมไว้ที่ 1.5 m/s แล้วปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 60, 80 และ 100°C โดยกำหนดเวลาปรับอุณหภูมิขึ้นทุก 20 นาที หรือจนกว่าอุณหภูมิจะมีค่าคงที่ จากนั้นทำการทดลองที่อัตราเร็ว 3.0 และ 4.5 m/s ตามลำดับต่อไป

รูปที่ 3.12 ชุดเก็บข้อมูลอุณหภูมิ



รูปที่ 3.13 ตำแหน่งการเก็บข้อมูล

มหาวิทยาลัยนเรศวร

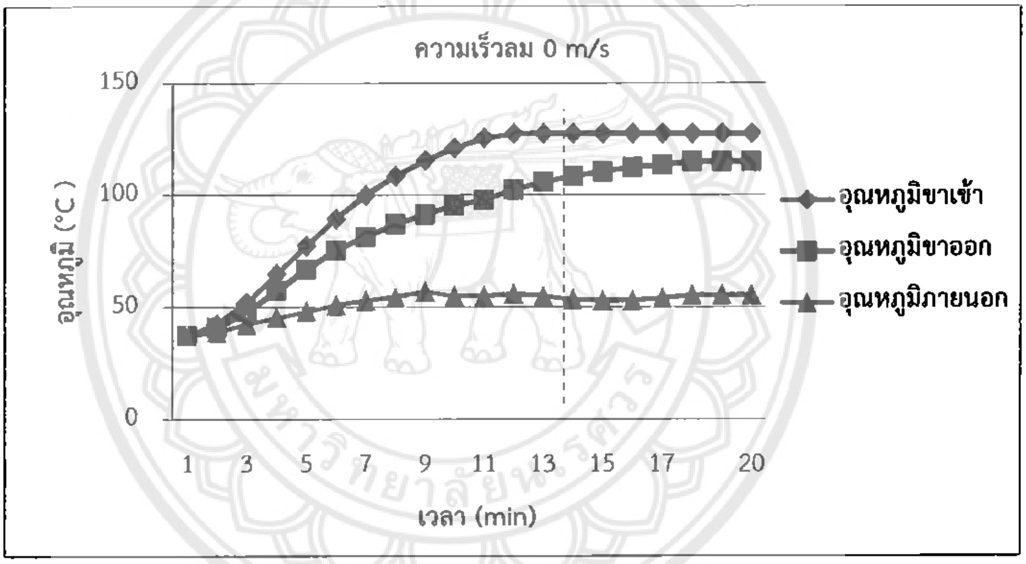
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 ผลการกระจายอุณหภูมิสูงสุด

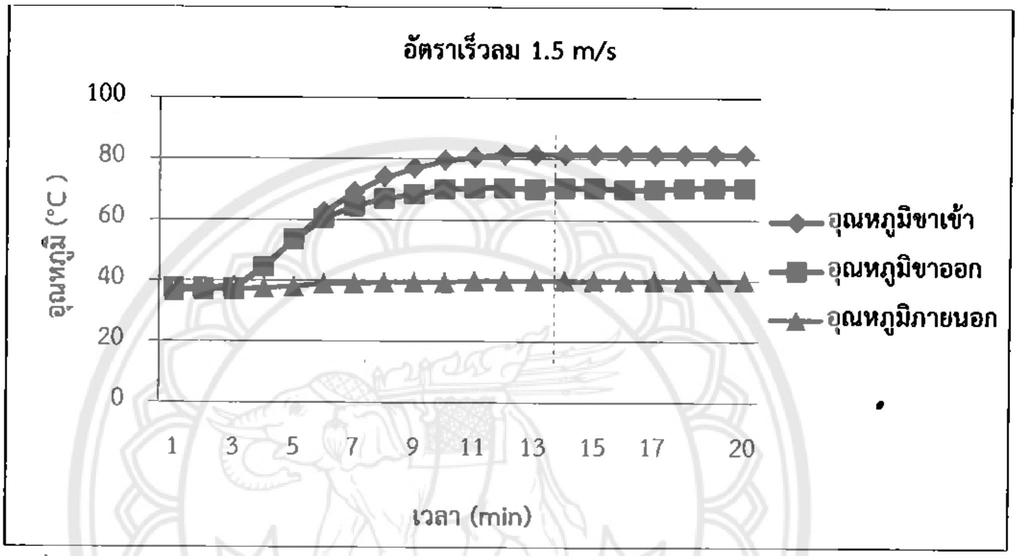
เมื่อปรับค่าอุณหภูมิของฮีตเตอร์ไว้ที่ค่าสูงสุดของสเกลของปุ่มปรับค่าที่ 220°C บันทึกค่าอุณหภูมิที่อัตราเร็วกระแสอากาศร้อน ณ ระนาบทางออกเท่ากับ 0, 1.5, 3.0 และ 4.5 m/s ตามลำดับ ผลที่ได้จะเป็นค่าการกระจายอุณหภูมิอากาศสูงสุดที่ได้ภายในชุดสาธิตการอบแห้งที่สร้างขึ้น แสดงดังกราฟในรูปที่ 4.1 – 4.4



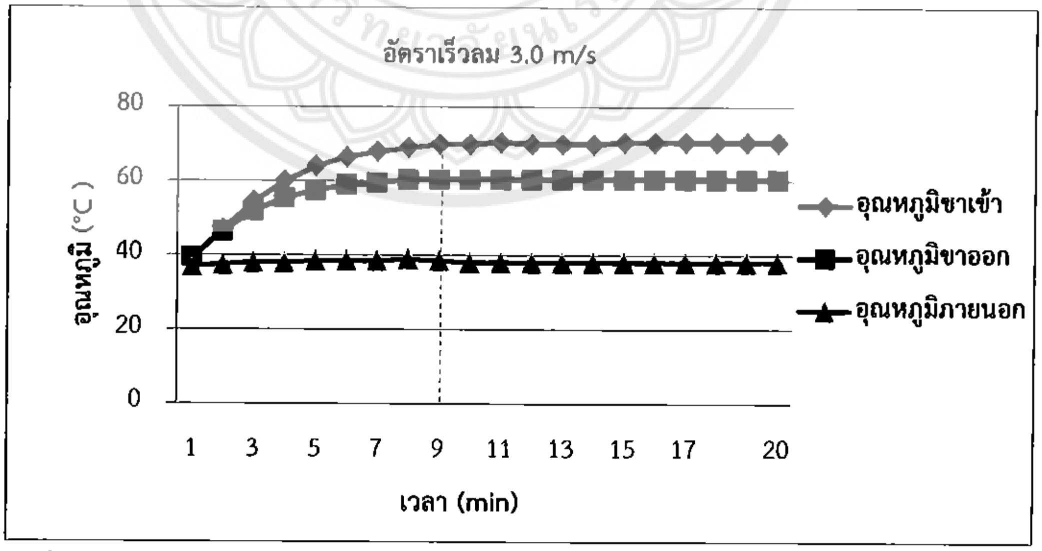
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่บริเวณต่างๆ ของชุดสาธิตการอบแห้งเมื่อปิดพัดลม

จากรูปที่4.1 พบว่าอุณหภูมิขาเข้าห้องอบแห้งจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ12 นาที โดยอุณหภูมิขาเข้าสูงสุดที่ได้เท่ากับ127.5°Cซึ่งจะเป็นอุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้ เนื่องจากเป็นสภาวะที่ปรับสเกลอุณหภูมิไว้ที่ค่าสูงสุดและไม่มีอากาศไหลผ่าน อุณหภูมิขาออกจากห้องอบแห้งเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ110.9°Cอุณหภูมิที่ลดลงนี้คาดว่าเป็นผลจากการสูญเสียความร้อนผ่านผนังของชุดสาธิต

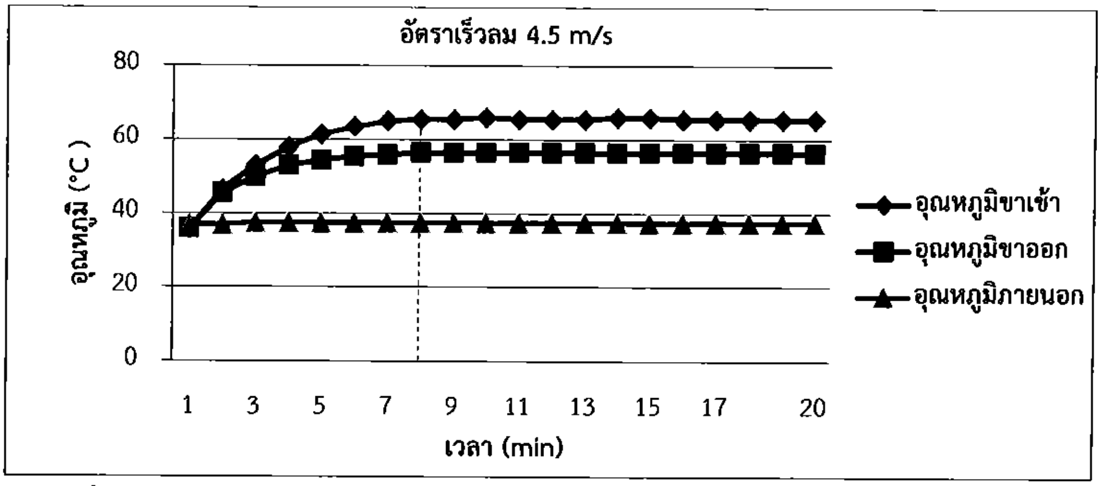
ผลการทดลองเมื่อปรับอัตราเร็วกระแสอากาศร้อนเป็น 1.5 m/s, 3.0 m/s และ 4.5 m/s แสดงในรูปที่รูป 4.2-4.4พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของการกระจายอุณหภูมิที่จุดต่างๆ คล้ายคลึงกัน โดยจะต้องใช้เวลา 8-12 นาที เพื่อรอให้อุณหภูมิภายในชุดสาธิตมีค่าคงที่ โดยอุณหภูมิขาออกจากห้องอบจะลดลงจากอุณหภูมิขาเข้าเฉลี่ย 9-17°C ผลการกระจายอุณหภูมิสูงสุดภายในชุดสาธิตสรุปแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่บริเวณต่างๆ ของชุดสาธิตการอบแห้งที่อัตราเร็วลม 1.5 m/s



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่บริเวณต่างๆ ของชุดสาธิตการอบแห้งที่อัตราเร็วลม 3.0 m/s



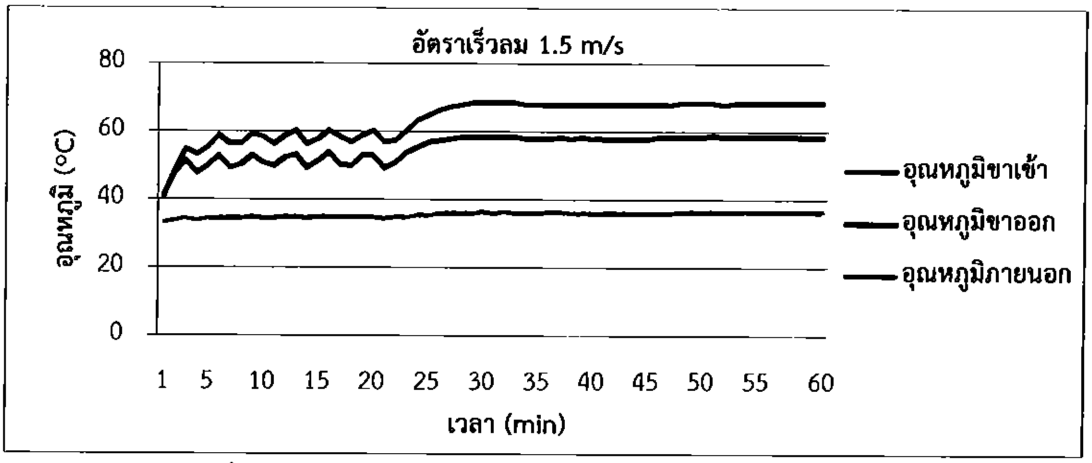
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงอุณหภูมิที่บริเวณต่างๆ ของชุดสาธิตการอบแห้งที่อัตราเร็วลม 4.5 m/s

ตารางที่ 4.1 ค่าการกระจายอุณหภูมิสูงสุดภายในชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

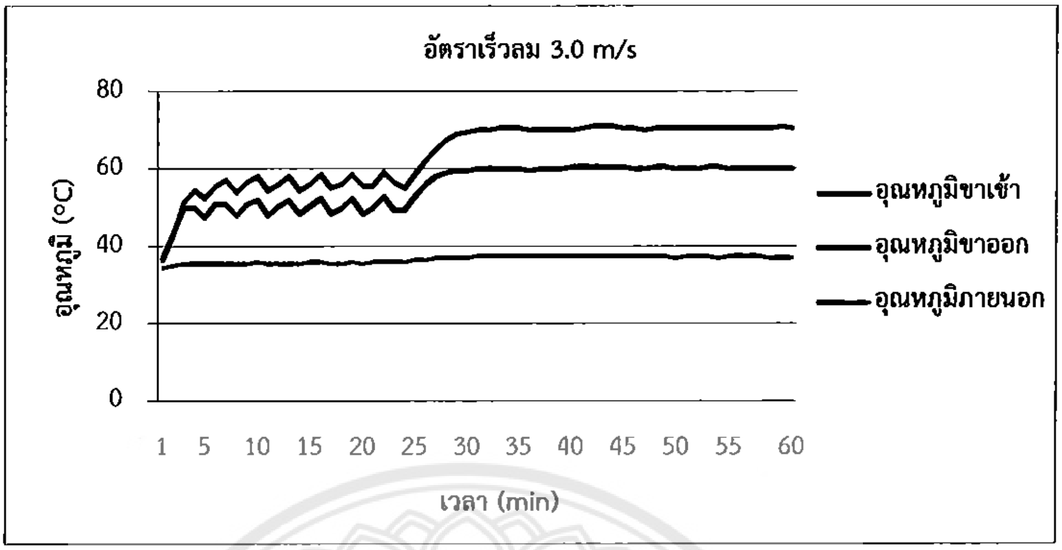
อัตราเร็วลม	เวลาที่รอให้อุณหภูมิคงที่, นาที	อุณหภูมิขาเข้า, °C	อุณหภูมิขาออก, °C	อุณหภูมิที่ลดลง, °C
0 m/s	12	127.5	110.9	16.6
1.5 m/s	12	81.5	70.3	11.2
3.0 m/s	9	70.3	60.5	9.8
4.5 m/s	8	65.6	56.5	9.1

4.2 ผลการกระจายอุณหภูมิที่อัตราเร็วอากาศต่างๆ

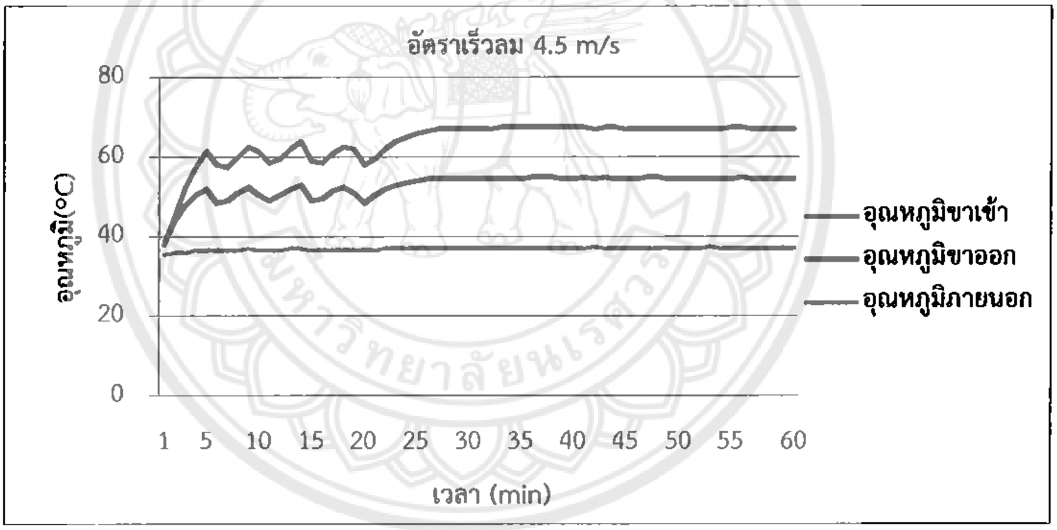
ผลการทดสอบหาการกระจายอุณหภูมิภายในชุดสาธิตการอบแห้งภายใต้สภาวะไม่มีภาระที่อัตราเร็วอากาศค่าหนึ่งๆ เมื่อปรับค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 60, 80 และ 100°Cอย่างต่อเนื่องตามลำดับ แสดงดังกราฟในรูปที่ 4.5-4.7



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิ ที่อัตราเร็วลม 1.5 m/s



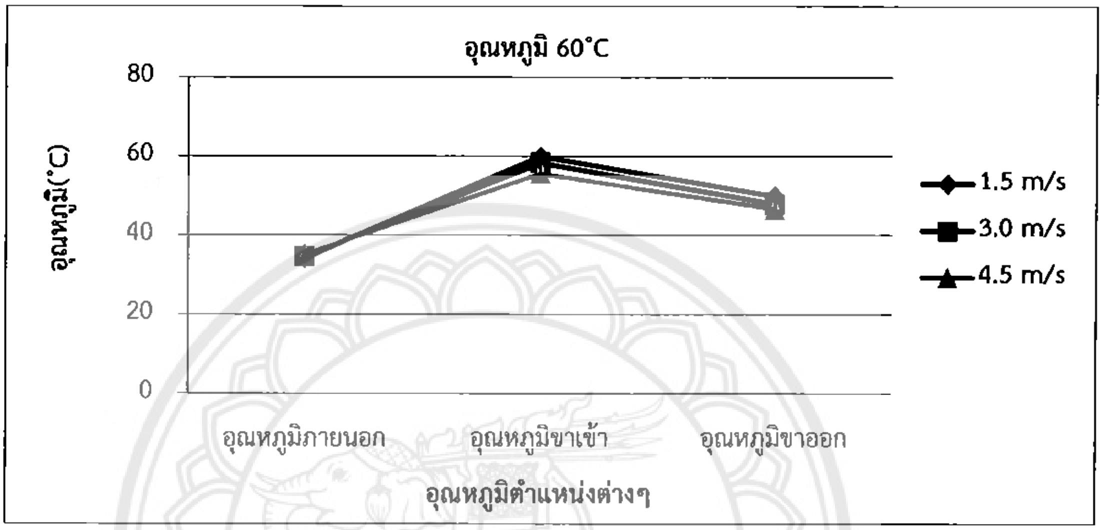
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิ ที่อัตราเร็วลม 3.0 m/s



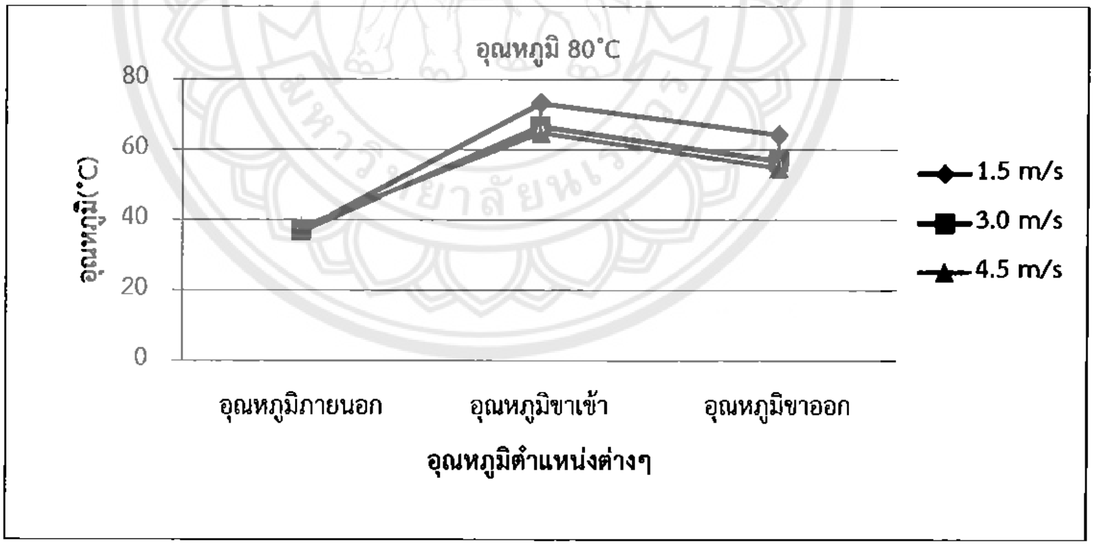
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิ ที่อัตราเร็วลม 4.5 m/s

จากรูปที่ 4.5-4.6 พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ในช่วง 20 นาทีแรก ค่าของอุณหภูมิจะแกว่งขึ้นลงทุก 5 นาที คาดว่าจะเกิดจากการทำงานของเทอร์โมสตัทและเมื่อปรับตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ค่าๆ หนึ่ง อัตราเร็วลมที่สูงขึ้น จะส่งผลให้อุณหภูมิขาเข้าห้องอบแห้งมีค่าลดลง อิทธิพลของอัตราเร็วนี้ จะยิ่งมากขึ้นเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิใช้งานสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่าที่อัตราเร็วลมคงที่ค่าหนึ่ง การปรับปุ่มตั้งค่าอุณหภูมิให้เพิ่มจาก 100°C เป็น 220°C นั้น แทบไม่ทำให้อุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น (เพิ่มขึ้นประมาณ 2-3°C)

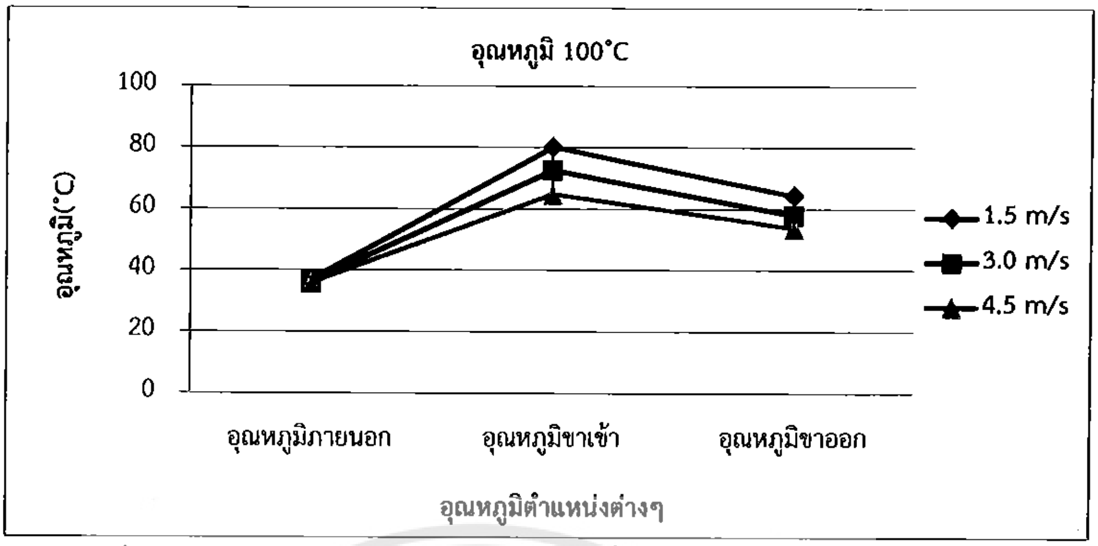
โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราเร็ว 4.5 m/s พบว่าเมื่อปรับตั้งค่าอุณหภูมิสูงเกิน 80°C ขึ้นไป อุณหภูมิภายในชุดสาธิตจะไม่เพิ่มขึ้นอีกต่อไป ผลการทดลองค่าอุณหภูมิขาเข้าห้องอบแห้งที่สภาวะต่างๆ สรุปแสดงในตารางที่ 5.2 กราฟในรูปที่ 4.8-4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศเมื่อเข้าสู่ชุดสาธิตการอบแห้ง



รูปที่ 4.8 กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ เมื่อตั้งค่าไว้ที่ 60°C ที่อัตราเร็วลมต่างๆ



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ เมื่อตั้งค่าไว้ที่ 80°C ที่อัตราเร็วลมต่างๆ

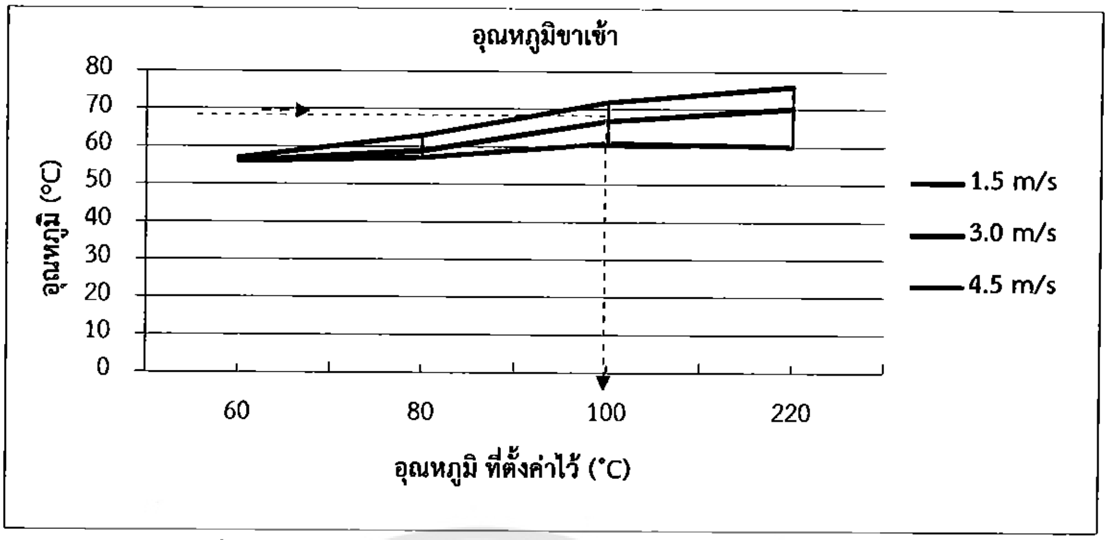


รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ เมื่อตั้งค่าไว้ที่ 100°C ที่อัตราเร็วลมต่างๆ

จากรูปที่ 4.8-4.10 พบว่าเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิใช้งานสูงขึ้น อัตราเร็วลมที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ผลต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกจากห้องอบแห้งมีค่าสูงขึ้น โดยเมื่ออากาศไหลออกจากห้องอบแห้งจะมีอุณหภูมิลดลง 9 -17°C คาดว่าเกิดการสูญเสียความร้อนผ่านผนังและช่องว่างบริเวณรอบบานประตูกระจกของห้องอบแห้ง

4.3 การประมาณอุณหภูมิของชุดสาธิตการอบแห้ง

จากผลการทดสอบข้างต้น สามารถนำมาใช้ประมาณค่าอุณหภูมิอากาศที่จะเข้าสู่ห้องอบแห้ง ได้ตัวอย่างเช่น นำผลอุณหภูมิอากาศขาเข้าห้องอบมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ กับค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ โดยปุ่มปรับอุณหภูมิและอัตราเร็วอากาศค่าต่างๆ เมื่อคิดว่าการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิเป็นเส้นตรง จะได้กราฟดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงอุณหภูมิขาเข้าห้องอบแห้ง ที่อัตราเร็วลมต่างๆ

จากรูปที่ 4.11ถ้าต้องการอุณหภูมิขาเข้าห้องอบแห้งประมาณ 70°C ที่อัตราเร็วลม ณ ระนาบทางออกของชุดสาธิตเท่ากับ 1.5 m/s ให้ทำการลากเส้นจากแกนอุณหภูมิ (แกนแนวตั้งด้านซ้าย) ที่ตำแหน่งค่าอุณหภูมิที่ต้องการ(ในที่นี้คือ 70°C) ลากในแนวนอนไปตัดกับเส้นอัตราเร็วลม 1.5 m/s ที่จุดตัดให้ลากเส้นลงในแนวดิ่ง ไปตัดค่าแกนอุณหภูมิที่ต้องปรับตั้งไว้ได้ประมาณ 95°C นั่นคือที่อัตราเร็ว 1.5 m/s จะต้องตั้งค่าปุ่มควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 95°C จึงจะได้อุณหภูมิขาเข้าห้องอบแห้งประมาณ 70°C

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดสาธิตการอบแห้ง เพื่อใช้ในการเรียนปฏิบัติการ วิศวกรรมเครื่องกล โดยใช้กระแสอากาศร้อนไหลผ่านถาดบรรจุวัสดุเปียกเพื่อทำให้เกิดการอบแห้ง ชุดสาธิตการอบแห้งที่สร้างขึ้นมีส่วนประกอบหลัก คือ ห้องอบแห้ง ฮีตเตอร์ไฟฟ้า พัดลมและชุดควบคุม ซึ่งใช้ปรับค่าอุณหภูมิและอัตราเร็วของกระแสอากาศร้อน มีหลักการทำงานดังนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้งจะถูกบรรจุลงในถาดซึ่งอยู่ภายในส่วนห้องอบ ชุดถาดผลิตภัณฑ์นี้จะแขวนอยู่กับเครื่องชั่งดิจิตอลทำให้สามารถทราบค่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้ตลอดช่วงการอบแห้ง ชุดควบคุมใช้ตั้งค่าอุณหภูมิและอัตราเร็วกระแสอากาศร้อนที่ต้องการ พัดลมที่ติดตั้งบริเวณปลายด้านหนึ่งของชุดสาธิต จะดูดอากาศแวดล้อมเข้าสู่ส่วนของฮีตเตอร์ จากนั้นอากาศที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะไหลเข้าสู่ชุดถาดบรรจุผลิตภัณฑ์ในส่วนของห้องอบ และถูกระบายออกสู่ภายนอกที่บริเวณปลายอีกด้านหนึ่ง คุณลักษณะของชุดสาธิตการอบแห้งนี้ สรุปแสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลจำเพาะของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

ส่วนประกอบ	ข้อมูลจำเพาะ
1. โครงสร้างหลัก	- โครงสร้างขนาด 30×260×30 cm ทำจากสังกะสี บุฉนวน
2. ห้องอบแห้ง	- ขนาด 30×80×30 cm
	- ด้านหน้าเป็นกระจกสามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ได้
	- ด้านบนเจาะรูเพื่อยึดตัวโครงถาดกับเครื่องชั่งดิจิตอล
3. ถาดวางผลิตภัณฑ์	- ขนาด 24×32×2 cm ทำจากสแตนเลส
	- ขนาดรูตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm มีจำนวน 4 ถาด
4. เครื่องชั่งดิจิตอลยี่ห้อ UWE รุ่น DW-30 K1	- ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 30 kg ค่าความละเอียด 0.005 kg
	- วัดค่าได้ 3 หน่วย คือ กรัม(g) กิโลกรัม(kg) ปอนด์(lb)
5. ฮีตเตอร์ยี่ห้อ HIF รุ่น 8x800/220-2000W	- ขนาดกำลังไฟฟ้า 2000 W
	- รูปตัวไอความยาว 80 cm ครีบสูง 1 cm
	- ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V
6. พัดลมยี่ห้อ DETON รุ่น FAD20-4	- ใบพัดเหล็กขนาด 8 in. ความเร็วรอบ 1400 rpm
	- ระบายอากาศได้ 780 m^3/hr
	- ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 Hz
7. ชุดควบคุม	- หลอดไฟแสดงสภาวะการทำงาน
	- ควบคุมความเร็วลม, ควบคุมอุณหภูมิ

จากการทดสอบภายใต้สภาวะไม่มีภาระ พบว่าโดยเฉลี่ยใช้เวลาในการอุ่นเครื่องเพื่อให้ได้อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบตามต้องการประมาณ 12 นาที ค่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าห้องอบสูงสุดเฉลี่ย ที่อัตราเร็วเฉลี่ยกระแสอากาศร้อน (ที่ระนาบทางออก) 1.5, 3.0 และ 4.5 m/s เท่ากับ 82, 75 และ 67°C ตามลำดับ ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าห้องอบที่สภาวะต่างๆ สรุปได้ดังตารางที่ 5.2

V \ T_{set}	60°C	80°C	100°C	220°C
1.5 m/s	60	73	80	82
3.0 m/s	59	67	73	75
4.5 m/s	58	65	65	67

ตารางที่ 5.2 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของกระแสอากาศร้อนที่เข้าสู่ห้องอบแห้ง ที่สภาวะต่างๆ

เมื่อ T_{set} คือ ค่าอุณหภูมิตามสเกลของปุ่มปรับระดับอุณหภูมิของชุดสาธิตและ V คือ อัตราเร็วกระแสอากาศร้อนที่วัดบริเวณระนาบทางออกของช่องระบายอากาศของชุดสาธิตการอบแห้ง

ผลิตผลทางการเกษตรที่เหมาะสมสำหรับทำการทดลองด้วยชุดสาธิตการอบแห้งที่สร้างขึ้นนี้ คือ ผลิตผลประเภทผัก ผลไม้ ซึ่งมีอุณหภูมิที่ใช้ทำการอบแห้งอยู่ในช่วง58 - 82°Cดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลิตผลทางการเกษตร ที่สามารถนำมาทำการอบแห้งได้ [3][6]

ชนิดผัก-ผลไม้	อุณหภูมิอบแห้ง(°C)
ข้าว	80
ข้าวโพดหวาน	74
มันฝรั่ง	71
แครอท	71
มะละกอแช่อิ่ม	65
สับปะรด	66
ลูกพรุน	74

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การทดสอบภายใต้สภาวะไม่มีภาระ ควรเพิ่มจุดวัดค่าอุณหภูมิและอัตราเร็วอากาศ เพื่อให้ได้ข้อมูล ที่ละเอียดยิ่งขึ้น

2) ควรทำการทดสอบแบบมีภาระ

3) ควรปรับปรุงชุดควบคุมอุณหภูมิและอัตราเร็วอากาศให้ใช้งานง่ายขึ้น

4) ควรแก้ไขการสูญเสียความร้อนผ่านผนังและรอยต่อต่างๆ โดยการเปลี่ยนฉนวนที่บุผนังและอัดปะเก็นอุดตามรอยต่อต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2554. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน.

[2] รุ่งนภา พงษ์สวัสดิ์มานิต วิศวกรรมแปรรูปอาหาร: การถนอมอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2535

[3] รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ วิธีการทดลองทางวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2539

[4] สิริชัย ส่งเสริมพงษ์ อนุสรณ์ พินศิริกุล กฤษณะ ขันธวิสูตร มนตรี ศิริสูตร 2539

[5] วัฒนา ดำรงรัตน์กุล และอนุวัตร แจ้งชัด. 2549. "แบบจำลองของการดูดซับความชื้นและการอบแห้งของผักแผ่นปรุงรส." หน้า534-540. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่44.กรุงเทพฯ :คณะอุตสาหกรรมเกษตร.

[6] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2540

มหาวิทยาลัยนเรศวร

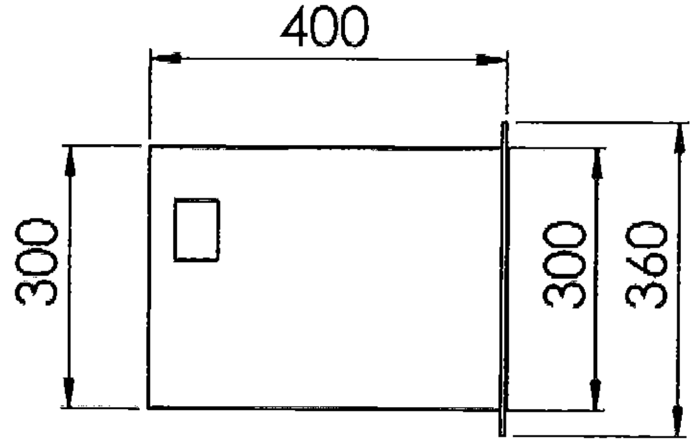
ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาคผนวก ก

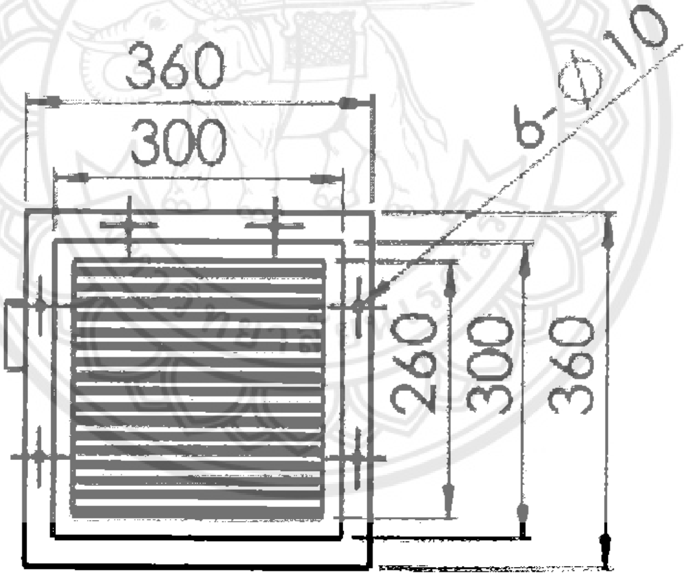
แบบชุดสาธิตการอบแห้งและการคำนวณ

มหาวิทยาลัยนเรศวร



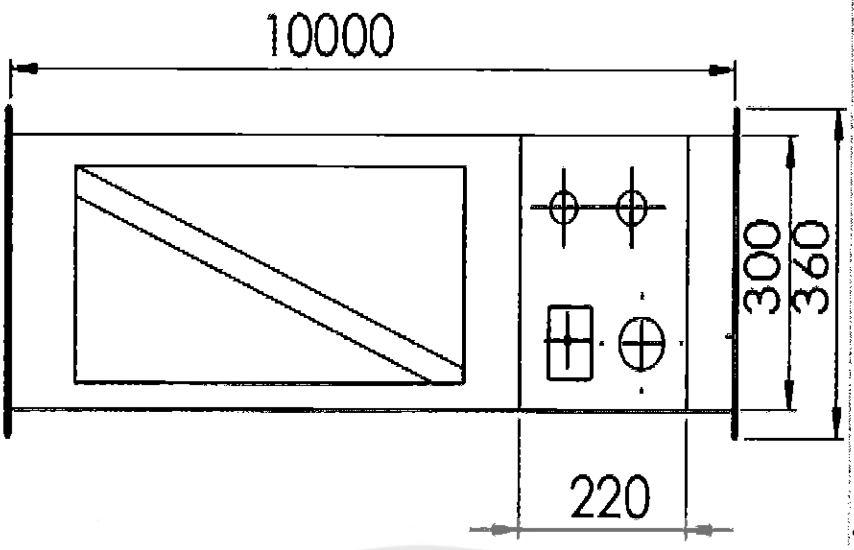
หน่วย มิลลิเมตร

รูปภาคผนวก ก-1 ชุดสาธิตการอบแห้งส่วนติดตั้งพัดลมมองจากด้านหน้า

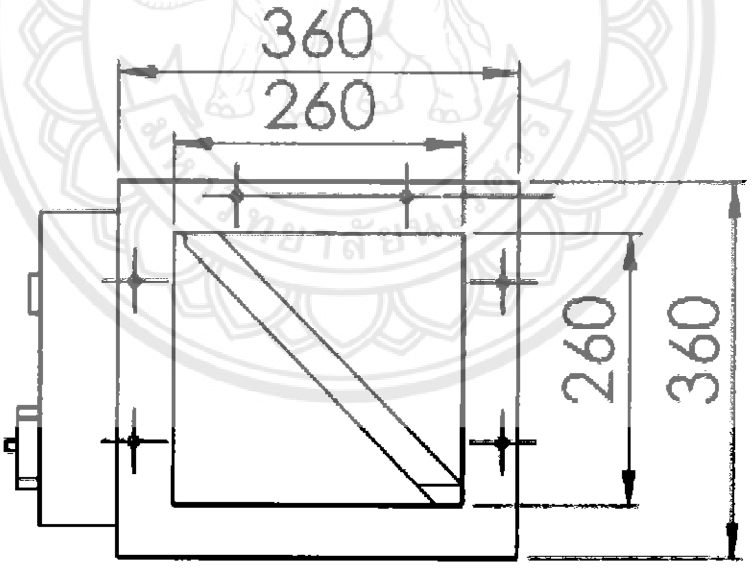


หน่วย มิลลิเมตร

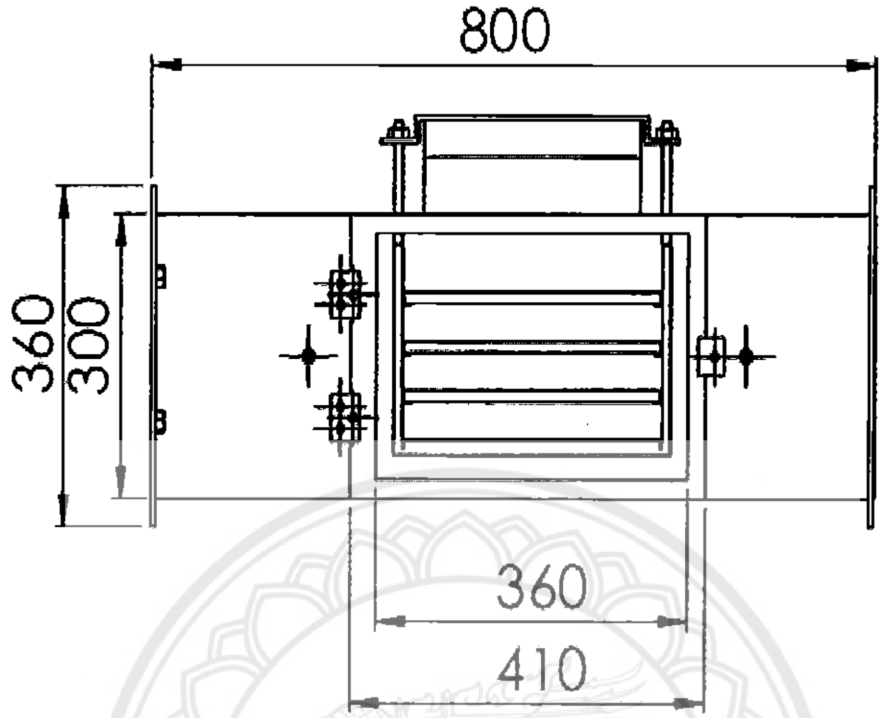
รูปภาคผนวก ก-2 ชุดสาธิตการอบแห้งส่วนติดตั้งพัดลมมองจากด้านข้าง



รูปภาคผนวก ก-3 ชุดสาธิตการอบแห้งส่วนติดตั้งฮีตเตอร์มองจากด้าน**หน้า**

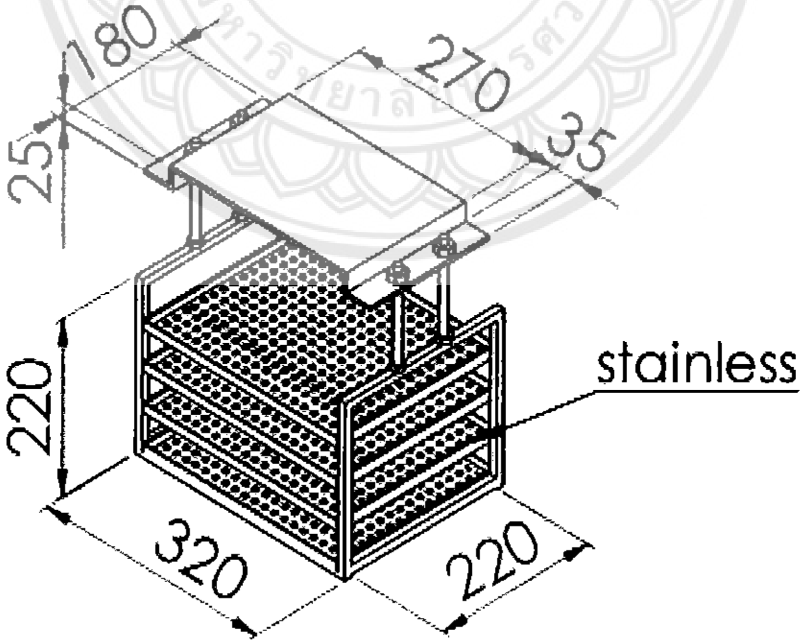


รูปภาคผนวก ก-4 ชุดสาธิตการอบแห้งส่วนติดตั้งฮีตเตอร์มองจากด้านข้าง



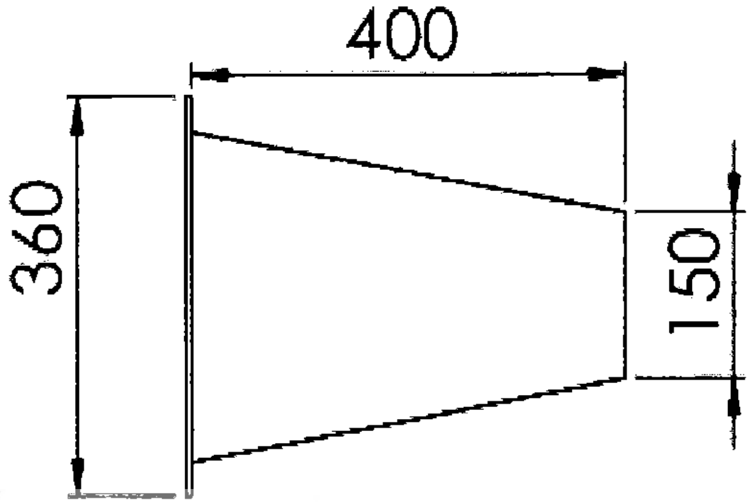
หน่วย มิลลิเมตร

รูปภาคผนวก ก-5 ชุดสาธิตการอบแห้งส่วนห้องอบแห้ง



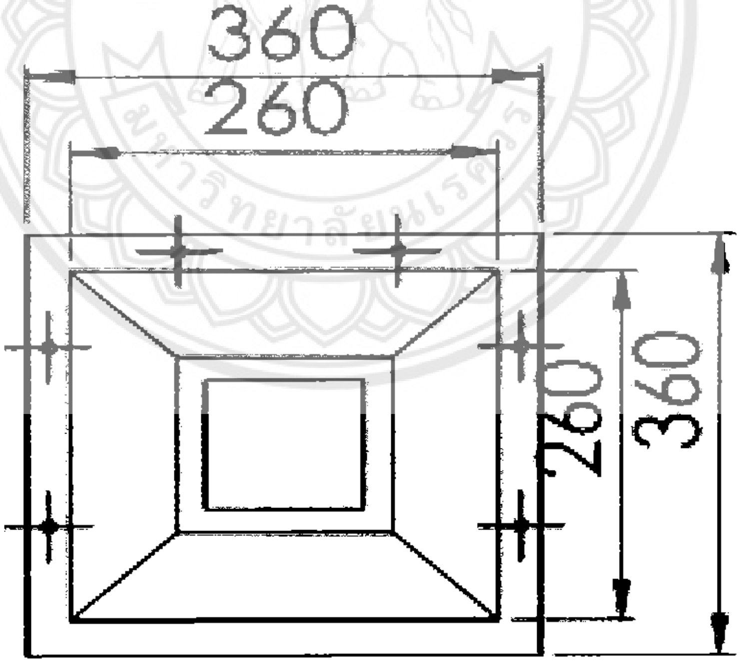
หน่วย มิลลิเมตร

รูปภาคผนวก ก-6 ถาดวางผลิตภัณฑ์



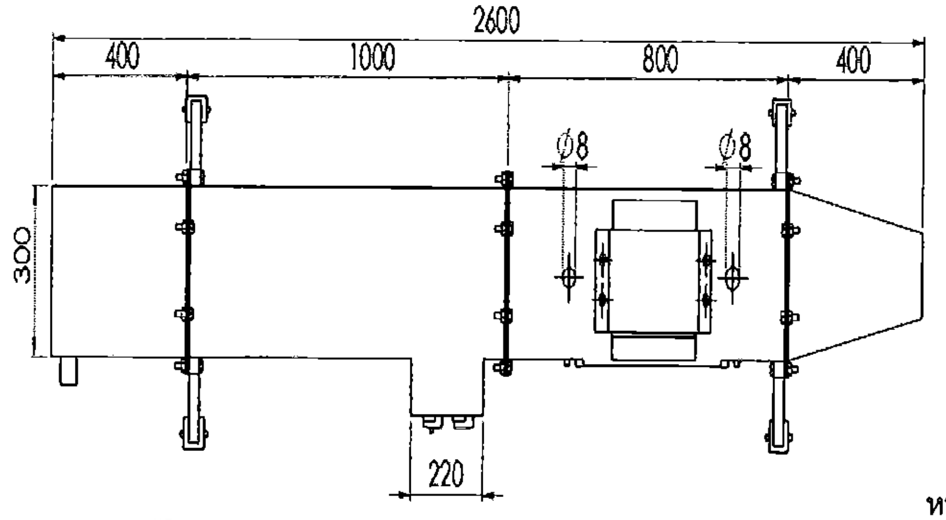
หน่วย มิลลิเมตร

รูปภาคผนวก ก-7 ชุดสาธิตการอบแห้งส่วนทางออกลมร้อนมองจากด้านหน้า



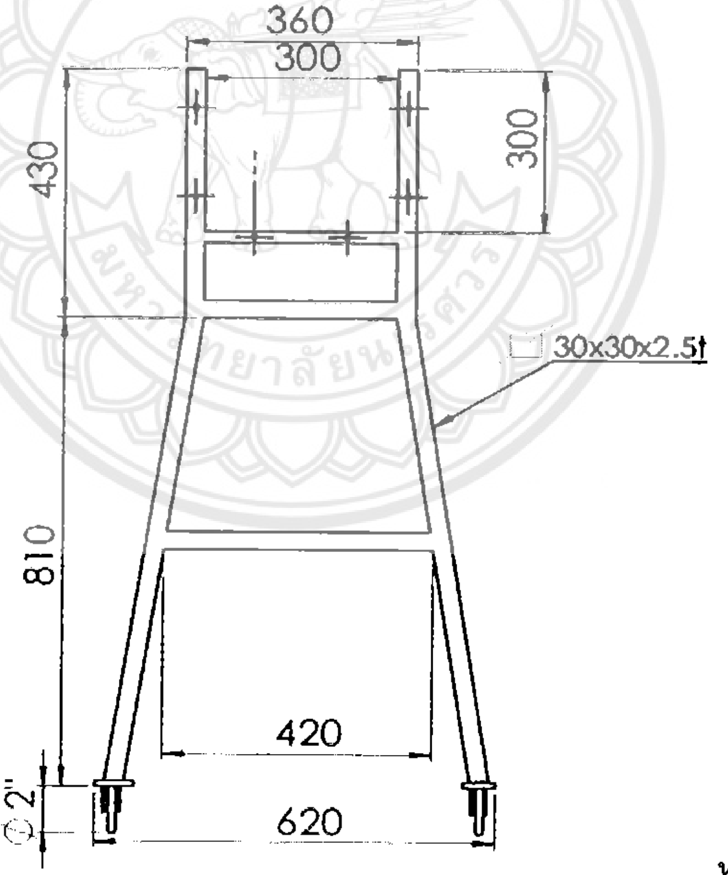
หน่วย มิลลิเมตร

รูปภาคผนวก ก-8 ชุดสาธิตการอบแห้งส่วนทางออกลมร้อนมองจากด้านข้าง



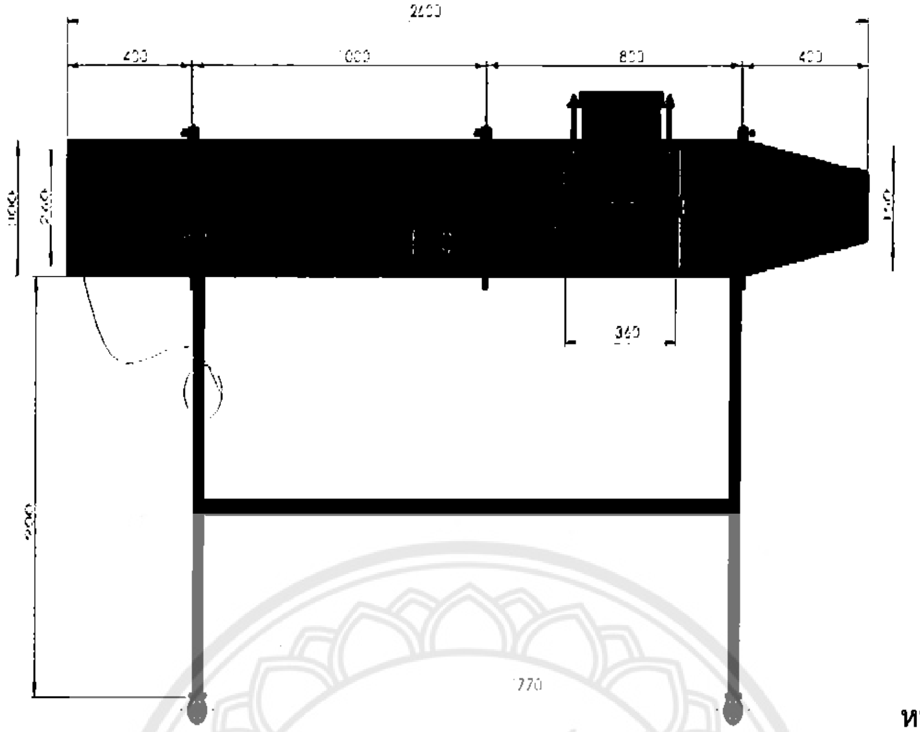
หน่วย มิลลิเมตร

รูปภาคผนวก ก-9 นำแต่ละส่วนประกอบเข้าด้วยกัน



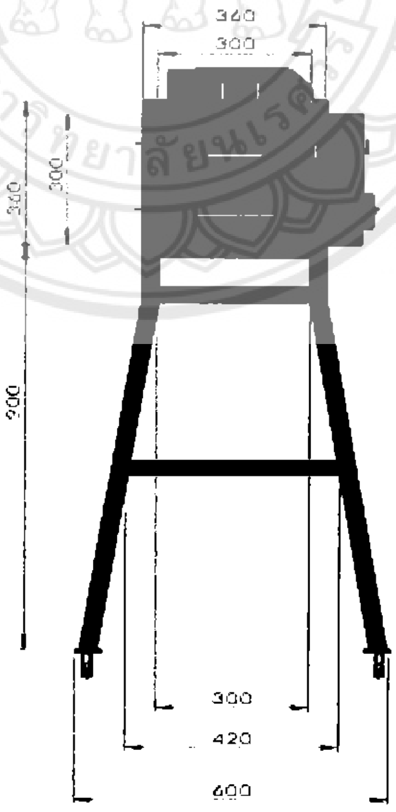
หน่วย มิลลิเมตร

รูปภาคผนวก ก-10 ฐานโครงเหล็ก



หน่วย มิลลิเมตร

รูปภาคผนวก ก-11 ชุดสาธิตการอบแห้งมองจากด้านหน้า



หน่วย มิลลิเมตร

รูปภาคผนวก ก-12 ชุดสาธิตการอบแห้งมองจากด้านข้าง

การคำนวณอัตราการไหลของอากาศและกำลังของฮีตเตอร์สำหรับชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

ในกรณีที่ต้องการอบแห้งตัวอย่างจำนวน 2 kg ที่มีความชื้นเริ่มต้น 75% w.b. ให้มีความชื้นเหลือ 10% w.b. ในเวลา 3 ชั่วโมง สามารถคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ, *Q*และกำลังของฮีตเตอร์ที่จำเป็น, *E*ได้จากสมการที่ 2.3 และ 2.4ดังนี้

$$Q = \frac{h_{fg} m_d v (Mc_i - Mc_o)}{C_a (T_i - T_o) t}$$

$$E = \dot{m} C_a (T_i - T_{am})$$

เพื่อความสะดวกในการคำนวณ สามารถใช้ spread sheet ของ Excel เพื่อช่วยในการคำนวณดังแสดงในแผนภาพต่อไปนี้

P22 fx

	A	B	C	D
1	1. Calculation of Air Flow Rate			
2	Sample initial total mass, m_t	2	kg	
3	Sample initial moisture content, Mc_i	0.75	wb,decimal	
4		3	db,decimal	
5	Sample final moisture content, Mc_o	0.1	wb,decimal	
6		0.11	db,decimal	
7	Sample dry mass, m_d	0.5	kg	
8	Inlet air temp., T_i	60	°C	
9	Outlet air temp., T_o	55	°C	
10	Drying time, t	3	hr	
11	h_{fg} of water	2358.5	kJ/kg	
12	C_a of air	1.0081	kJ/kg.°C	
13	Specific volume of air, v	0.944	m^3/kg	
14	Ambient air temp., T_{am}	30	°C	
15	Air flow rate, Q	0.059	m^3/s	
16		213	m^3/hr	
17	2. Calculation of Requied Power			
18	Air mass flow rate, $\dot{m}$	0.063	kg/s	
19	Requied heater power, E	1893	W	
20				

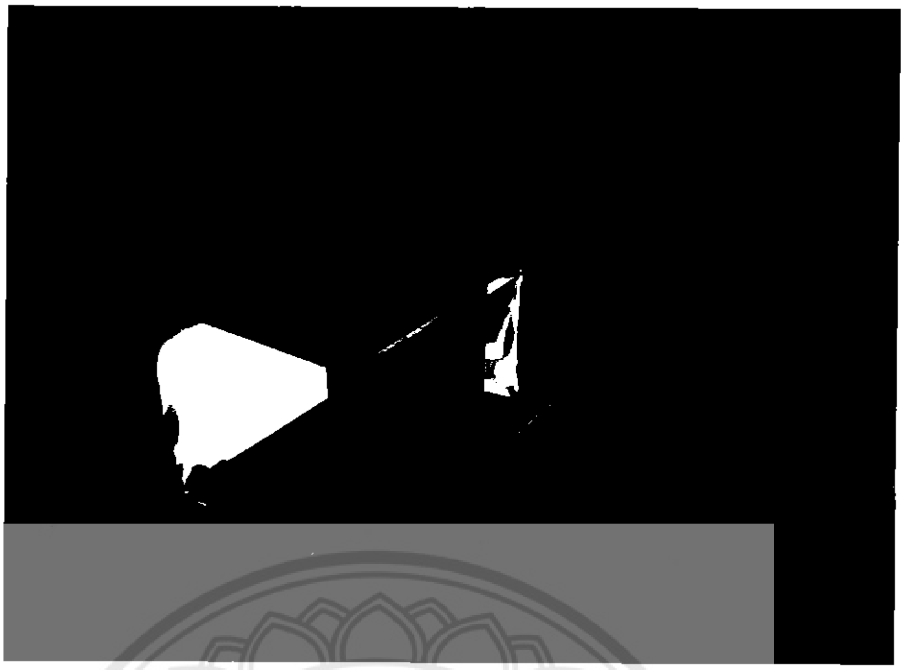
=B11*B7*B13*(B4-B6)/(B12*(B8-B9)*(B10*3600))

=B18*B12*1000*(B8-B14)

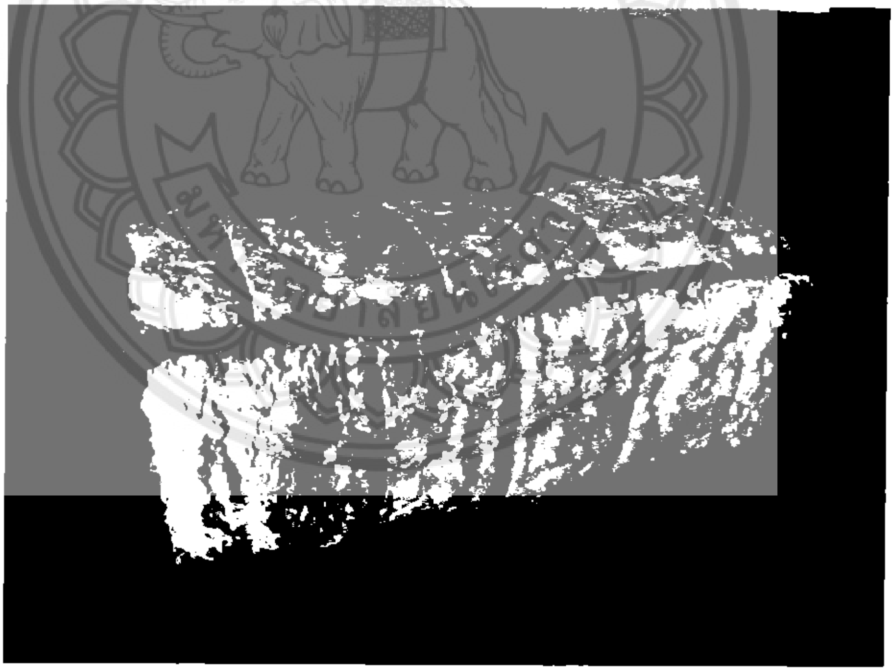
จากผลการคำนวณ สำหรับสภาวะการอบแห้งที่กำหนด พบว่าอัตราการไหลของอากาศร้อนที่ต้องการเท่ากับ 0.059 m^3/s หรือ 213 m^3/hrและกำลังของฮีตเตอร์ที่ต้องการเท่ากับ 1893 W

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการดำเนินงาน
และเครื่องมือการทดสอบ



รูปภาคผนวก ข-1 เชื่อมโครงสร้างเหล็กแล้วใส่สังกะสีด้านในโครงเหล็ก



รูปภาคผนวก ข-2 หุ้มด้วยฉนวนใยหิน

รูปภาคผนวก ข-3 นำสังกะสีมาปิดทับชั้นนอก

รูปภาคผนวก ข-4 เจาะรูเพื่อยิงรีเวท

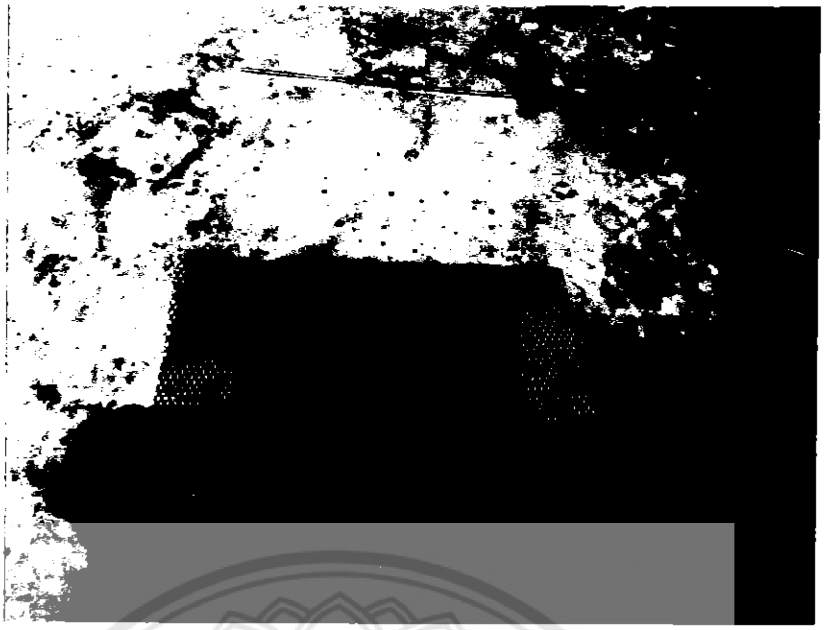
รูปภาคผนวก ข-5 ยึดโครงสร้างด้วยรีเวท

รูปภาคผนวก ข-6 เจาะยึดน๊อตแต่ละช่วงเข้าด้วยกัน

มหาวิทยาลัยนเรศวร

รูปภาคผนวก ข-7 ยึดแต่ละช่วงเข้าด้วยกัน

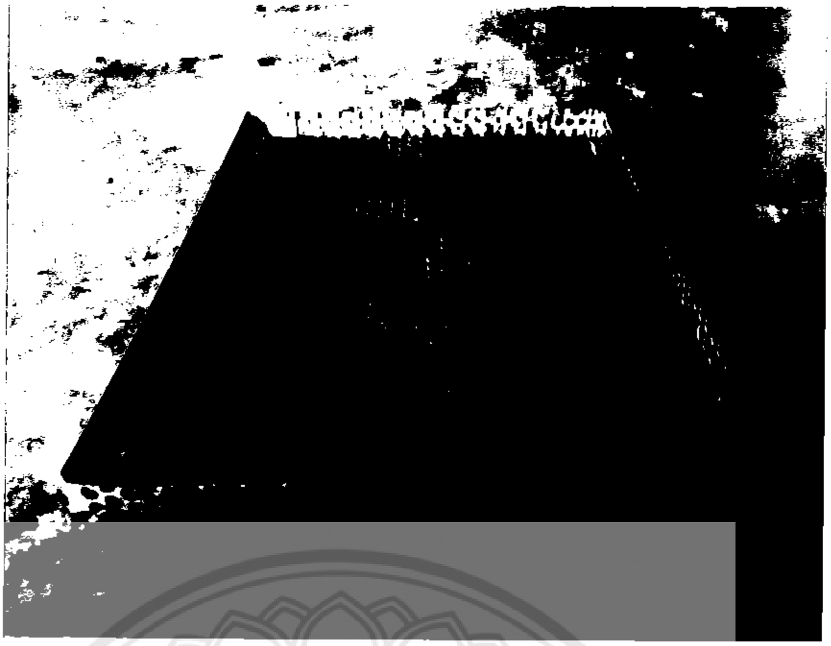
รูปภาคผนวก ข-8 ขึ้นโครงสร้างที่วางถาดผลิตภัณฑ์



รูปภาคผนวก ข-9 แผ่นสเตนเลสที่ใช้ทำถาดวางผลิตภัณฑ์

รูปภาคผนวก ข-10 ขึ้นโครงสร้างถาดวางผลิตภัณฑ์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

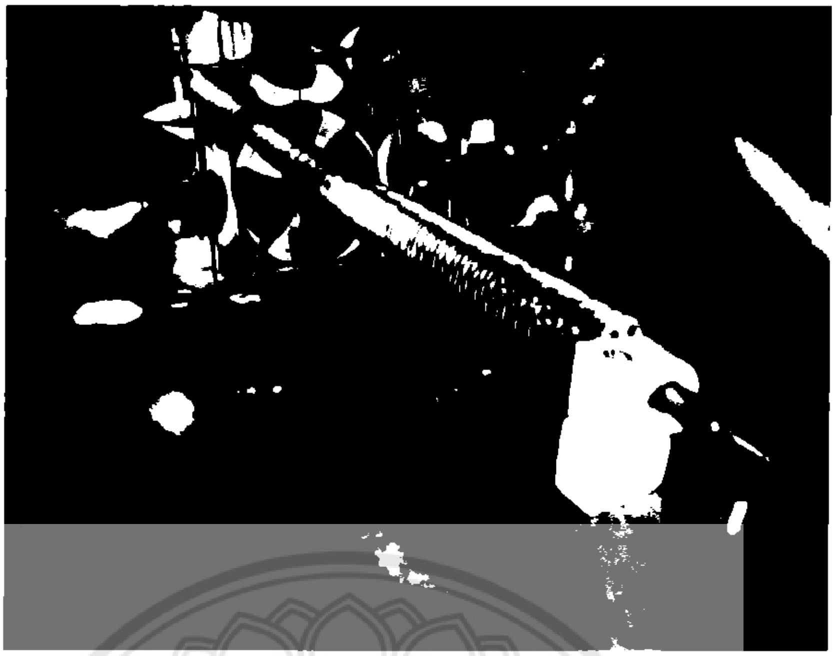


รูปภาคผนวก ข-11 ถาดวางผลิตภัณฑ์

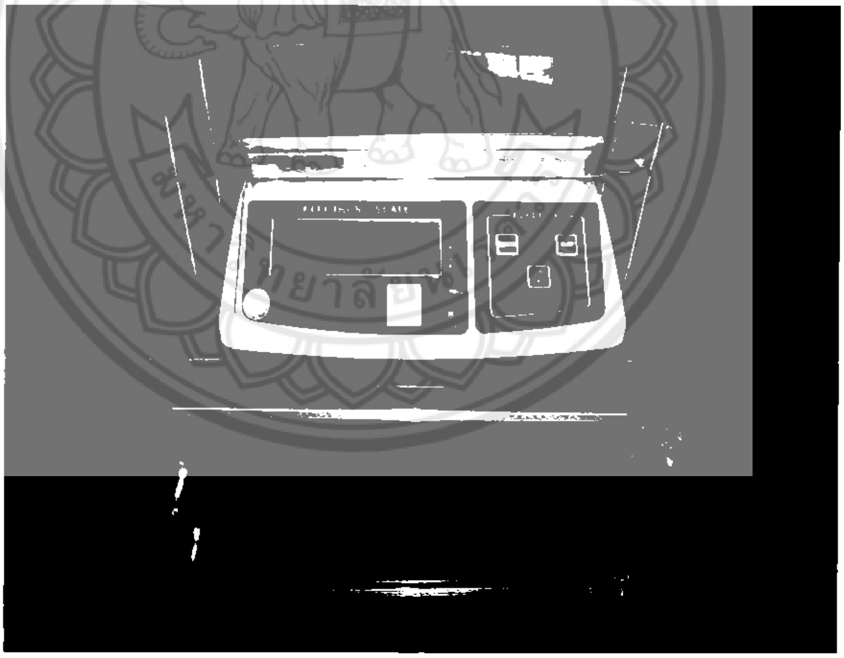
รูปภาคผนวก ข-12 ชุดวางผลิตภัณฑ์

รูปภาคผนวก ข-13 ชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาดก่อนติดตั้งชุดควบคุม

รูปภาคผนวก ข-14 ติดตั้งพัดลม



รูปภาคผนวก ข-15 ติดตั้งฮีตเตอร์

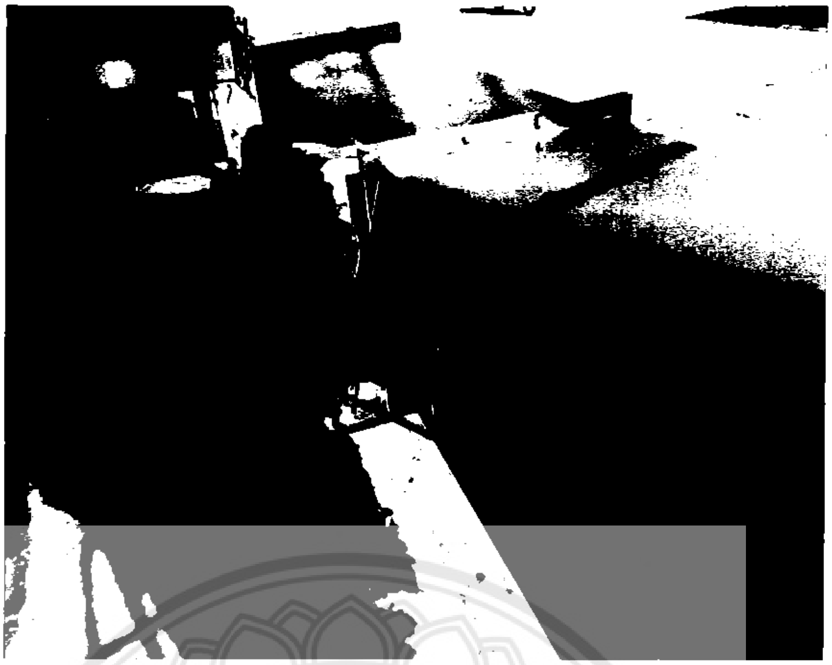


รูปภาคผนวก ข-16 ติดตั้งเครื่องชั่งดิจิตอล

รูปภาคผนวก ข-17 ติดตั้งกล่องควบคุม

รูปภาคผนวก ข-18 ติดตั้งวงจรไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยนเรศวร



รูปภาคผนวก ข-19 พ่นสีภายนอก

ภาคผนวก ข-20 ชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

รูปภาพผนวก ข-21 ชุดเก็บข้อมูลคอมพิวเตอร์

รูปภาพผนวก ข-22 เครื่องวัดความเร็วลม

ภาคผนวก ค

ตารางผลการทดลอง

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตารางที่ ค.1 บันทึกผลอุณหภูมิสูงสุด ความเร็วลม 0 m/s

อุณหภูมิสูงสุด ความเร็วลม 0 m/s			
เวลา (min)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิภายนอก (°C)
1	37.5	37.5	37.5
2	42.5	41	39
3	52	48	42.5
4	65	57.5	45.5
5	77.5	67	48
6	89.5	75.5	51
7	100	81.5	53
8	108.5	87	54.5
9	115.5	91.5	57
10	121	95.5	55
11	125.5	98	55
12	127.5	102.5	56
13	127.5	106	55
14	127.5	108.5	53.5
15	127.5	110.5	53
16	127.5	112.5	53
17	127.5	113.5	54
18	127.5	115	55.5
19	127.5	115	55.5
20	127.5	115	55.5

ตารางที่ ค.2 บันทึกผลอุณหภูมิสูงสุด ความเร็วลม 1.5 m/s

อุณหภูมิสูงสุด ความเร็วลม 1.5 m/s			
เวลา (min)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิภายนอก (°C)
1	37.5	37.5	36.5
2	37.5	37.5	37
3	38	37.5	37
4	44	44.5	37.5
5	53.5	53.5	38
6	62.5	60.5	39
7	69	64.5	39
8	74	67	39.5
9	77	68.5	39.5
10	79.5	70	39.5
11	80.5	70.5	40
12	81.5	70.5	40
13	81.5	70	40
14	81.5	70.5	40
15	81.5	70.5	40
16	81.5	70	40
17	81.5	70	40
18	81.5	70.5	40
19	81.5	70.5	40
20	81.5	70.5	40

ตารางที่ ค.3 บันทึกผลอุณหภูมิสูงสุด ความเร็วลม 3 m/s

อุณหภูมิสูงสุด ความเร็วลม 3 m/s			
เวลา (min)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิภายนอก (°C)
1	39.5	39.5	37
2	47	46.5	37.5
3	54.5	52	38
4	60	55.5	38
5	64	57.5	38.5
6	66.5	59	38.5
7	68	59.5	38.5
8	69	60.5	39
9	70	60.5	38.5
10	70	60.5	38
11	70.5	60.5	38
12	70	60.5	38
13	70	60.5	38
14	70	60.5	38
15	70.5	60.5	38
16	70.5	60.5	38
17	70.5	60.5	38
18	70.5	60.5	38
19	70.5	60.5	38
20	70.5	60.5	38

ตารางที่ ค.4 บันทึกผลอุณหภูมิสูงสุด ความเร็วลม 4.5 m/s

อุณหภูมิสูงสุด ความเร็วลม 4.5 m/s			
เวลา (min)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิภายนอก (°C)
1	36	36	37
2	46.5	45.5	37
3	53	50	37.5
4	58	53	37.5
5	61.5	54.5	37.5
6	63.5	55.5	37.5
7	65	56	37.5
8	65.5	56.5	37.5
9	65.5	56.5	37.5
10	66	56.5	37.5
11	65.5	56.5	37.5
12	65.5	56.5	37.5
13	65.5	56.5	37.5
14	66	56.5	37.5
15	66	56.5	37.5
16	65.5	56.5	37.5
17	65.5	56.5	37.5
18	65.5	56.5	37.5
19	65.5	56.5	37.5
20	65.5	56.5	37.5

ตารางที่ ค.5 บันทึกผลอุณหภูมิ 60°C ความเร็วลม 0 m/s

อุณหภูมิ 60°C ความเร็วลม 0 m/s			
เวลา (min)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิภายนอก (°C)
1	38.5	38	36.5
2	43	42	37.5
3	52.5	49	39
4	63	56.5	41
5	67	60.5	41
6	67	60	40.5
7	65	58	40
8	62	56	39
9	59.5	53.5	38.5
10	57	52	38.5
11	55	51	38
12	57	52.5	39
13	64	58	40.5
14	67.5	60	40.5
15	67	59.5	40
16	65	58	40
17	62	56.5	40
18	60	55	40
19	59.5	54.5	39.5
20	64.5	58	40

ตารางที่ ค.6 บันทึกผลความเร็วลม 1.5 m/s เพิ่มอุณหภูมิ 60, 80 และ 100°C

เวลา (min)	ความเร็วลม 1.5 m/s เพิ่มอุณหภูมิ 60, 80, 100°C		
	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิภายนอก (°C)
1	41	41.5	33.5
2	49	48	34
3	55	51.5	34.5
4	53.5	48	34
5	55.5	50	34.5
6	59	53	34.5
7	56.5	49.5	34.5
8	56.5	50.5	34.5
9	59.5	53	35
10	58.5	51	34.5
11	56.5	50	34.5
12	59	52.5	35
13	60.5	53.5	35
14	56.5	49.5	34.5
15	58	51.5	35
16	60.5	54	35
17	58.5	50.5	35
18	57	50	35
19	59	53	35
20	60.5	53	35
21	57	49.5	34.5
22	57.5	51	35
23	60.5	54	35
24	63.5	55.5	35.5
25	65	57	35.5
26	66.5	57.5	36
27	67.5	58	36
28	68	58.5	36
29	68.5	58.5	36
30	68.5	58.5	36.5

ตารางที่ ค.7 บันทึกผลความเร็วลม 1.5 m/s เพิ่มอุณหภูมิ 60, 80 และ 100°C (ต่อ)

เวลา (min)	ความเร็วลม 1.5 m/s เพิ่มอุณหภูมิ 60, 80 และ100°C		
	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิภายนอก (°C)
31	68.5	58.5	36
32	68.5	58.5	36.5
33	68.5	58.5	36
34	68	58	36
35	68	58	36
36	68	58	36.5
37	68	58.5	36.5
38	68	58	36
39	68	58.5	36
40	68	58	36
41	68	58	36
42	68	58	36
43	68	58	36
44	68	58	36
45	68	58	36
46	68	58.5	36
47	68	58.5	36
48	68.5	58.5	36.5
49	68.5	58.5	36.5
50	68.5	58.5	36.5
51	68.5	59	36.5
52	68	58.5	36.5
53	68.5	58.5	36.5
54	68.5	58.5	36.5
55	68.5	58.5	36.5
56	68.5	58.5	36.5
57	68.5	58.5	36.5
58	68.5	58.5	36.5
59	68.5	58.5	36.5
60	68.5	58.5	36.5

ตารางที่ ค.8 บันทึกผลความเร็วลม 3 m/s เพิ่มอุณหภูมิ 60, 80 และ 100°C

เวลา (min)	ความเร็วลม 3 m/s เพิ่มอุณหภูมิ 60, 80 และ 100°C		
	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิภายนอก (°C)
1	36.5	37	34.5
2	43	43.5	35
3	51.5	50	35.5
4	54.5	50	35.5
5	52.5	47.5	35.5
6	55.5	51	35.5
7	57	51	35.5
8	54	48	35.5
9	56.5	51	35.5
10	58	52	36
11	54.5	48	35.5
12	56	50.5	35.5
13	58	52	35.5
14	54.5	48.5	35.5
15	56	50.5	36
16	58.5	52.5	36
17	55	48.5	35.5
18	56	50	35.5
19	58.5	52.5	36
20	55.5	48.5	35.5
21	55.5	50	36
22	59	53	36
23	56.5	49.5	36
24	55	49.5	36
25	58.5	53	36.5
26	62	56	36.5
27	65	58	37
28	67.5	59	37
29	69	59.5	37
30	69.5	59.5	37

ตารางที่ ค.9 บันทึกผลความเร็วลม 3 m/s เพิ่มอุณหภูมิ 60, 80 และ 100°C (ต่อ)

เวลา (min)	ความเร็วลม 3 m/s เพิ่มอุณหภูมิ 60, 80 และ 100°C		
	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิภายนอก (°C)
31	70	60	37.5
32	70	60	37.5
33	70.5	60	37.5
34	70.5	60	37.5
35	70.5	60	37.5
36	70	59.5	37.5
37	70	60	37.5
38	70	60	37.5
39	70	60	37.5
40	70	60.5	37.5
41	70.5	60.5	37.5
42	71	60.5	37.5
43	71	60.5	37.5
44	71	60.5	37.5
45	70.5	60.5	37.5
46	70.5	60	37.5
47	70	60	37.5
48	70.5	60.5	37.5
49	70.5	60.5	37.5
50	70.5	60	37
51	70.5	60	37.5
52	70.5	60	37.5
53	70.5	60.5	37.5
54	70.5	60.5	37
55	70.5	60	37.5
56	70.5	60	37.5
57	70.5	60	37.5
58	70.5	60	37.5
59	70.5	60	37
60	71	60	37

ตารางที่ ค.10 บันทึกผลความเร็วลม 4.5 m/s เพิ่มอุณหภูมิ 60, 80 และ 100°C

เวลา (min)	ความเร็วลม 4.5 m/s เพิ่มอุณหภูมิ 60, 80 และ 100°C		
	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิภายนอก (°C)
1	38	38	36
2	45	44	36.5
3	52.5	48	36.5
4	57.5	50.5	36.5
5	61.5	52	36.5
6	58	48.5	36.5
7	57.5	49	37
8	60	51	36.5
9	62.5	52.5	36.5
10	61.5	50.5	36.5
11	58.5	49	37
12	59.5	50.5	37
13	62	52	36.5
14	64	53	36.5
15	59	49	36.5
16	58.5	49.5	36.5
17	61	51.5	36.5
18	62.5	52.5	36.5
19	62	51	36.5
20	58	48.5	37
21	59.5	50.5	37
22	62	52	37
23	64	53	37
24	65	53.5	37
25	66	54	37
26	66.5	54.5	37
27	67	54.5	37
28	67	54.5	37
29	67	54.5	37
30	67	54.5	37

ตารางที่ ค.11 บันทึกผลความเร็วลม 4.5 m/s เพิ่มอุณหภูมิ 60, 80 และ 100°C (ต่อ)

เวลา (min)	ความเร็วลม 4.5 m/s เพิ่มอุณหภูมิ 60, 80 และ 100°C		
	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)	อุณหภูมิภายนอก (°C)
31	67	54.5	37
32	67	54.5	37
33	67.5	54.5	37
34	67.5	54.5	37
35	67.5	54.5	37
36	67.5	55	37
37	67.5	55	37
38	67.5	55	37
39	67.5	54.5	37
40	67.5	54.5	37.5
41	67.5	55	37
42	67	54.5	37
43	67.5	55	37
44	67.5	54.5	37
45	67	54.5	37
46	67	54.5	37
47	67	55	37
48	67	55	37
49	67	54.5	37
50	67	54.5	37
51	67	54.5	37.5
52	67	54.5	37
53	67	54.5	37
54	67	54.5	37
55	67.5	54.5	37
56	67.5	55	37
57	67	54.5	37
58	67	54.5	37
59	67	54.5	37
60	67	54.5	37

ตารางที่ ค.12 กราฟอุณหภูมิเฉลี่ย 60°C

ความเร็วลม (m/s)	อุณหภูมิภายนอก (°C)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)
1.5	34.3	60	50
3	34.7	58.4	48
4.5	35.2	55.7	46.7

$$T = T_i - T_o$$

$$= \frac{(60-50)+(58.4-48)+(55.7-46.7)}{3}$$

$$= 9.8\,°C$$

ตารางที่ ค.13 กราฟอุณหภูมิเฉลี่ย 80°C

ความเร็วลม (m/s)	อุณหภูมิภายนอก (°C)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)
1.5	37	73.4	64.4
3	37	66.7	56.9
4.5	38	65	55

$$T = T_i - T_o$$

$$= \frac{(73.4-64.4)+(66.7-56.9)+(65-55)}{3}$$

$$= 9.6\,°C$$

ตารางที่ ค.14 กราฟอุณหภูมิเฉลี่ย 100℃

ความเร็วลม (m/s)	อุณหภูมิภายนอก (°C)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)	อุณหภูมิขาออก (°C)
1.5	37.1	80.2	64.4
3	36.5	72.7	58
4.5	36	65	53.8

$$T = T_i - T_o$$

$$= \frac{(80.2 - 64.4) + (72.7 - 58) + (65 - 53.8)}{3}$$

$$= 13.9°C$$

ภาคผนวก ง

คู่มือปฏิบัติการอบแห้งแบบถาด

คู่มือปฏิบัติการของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด
(Tray Drying Demonstration unit)
การทดสอบเมื่อมีผลิตภัณฑ์สำหรับอบแห้ง

- **จุดประสงค์**
  1) เพื่อศึกษาการทำงานของการชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด
  2) เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเร็วลม
  3) เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ของลมร้อน
  4) เพื่อศึกษาการทำงานของชุดควบคุมความเร็วลมร่วมกับชุดควบคุมอุณหภูมิ
  5) เพื่อศึกษาและอธิบายหลักการทำงานและส่วนประกอบของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาดได้

- **เป้าหมาย**
  1) ผู้ทดสอบสามารถอธิบายการทำงานของการชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาดได้
  2) ผู้ทดสอบสามารถอธิบายกลไกการอบแห้งด้วยลมร้อนได้
  3) ผู้ทดสอบสามารถอธิบายอิทธิพลของความเร็วลมได้
  4) ผู้ทดสอบสามารถอธิบายอิทธิพลของอุณหภูมิได้

- **จำนวนนิสิตที่ทำการทดลอง**

  ระดับปริญญาตรี กลุ่มละ 5-7 คน

- **เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์**
  1) ชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด พร้อมถาดวางผลิตภัณฑ์จำนวน 3 ถาด
  2) เครื่องวัดความเร็วลม
  3) เครื่องวัดอุณหภูมิ
  4) ชุดเก็บข้อมูลคอมพิวเตอร์
  5) ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง
  6) นาฬิกาจับเวลา

■ ทฤษฎีพื้นฐาน

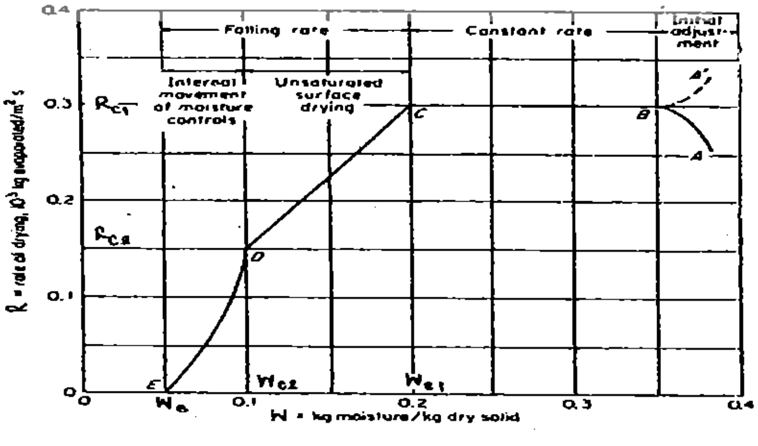
1. ทฤษฎีพื้นฐานของการอบแห้ง

การอบแห้งผลิตภัณฑ์ หมายถึงการกำจัดความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ จนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาอื่นๆ การอบแห้งอาหารเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน มวลและโมเมนตัม สมบัติทางกายภาพของอาหาร ของผสมของอากาศ-ไอน้ำ และโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ กลไกการอบแห้งมีอยู่หลายอย่าง แต่ที่ควบคุมการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ขึ้นกับโครงสร้างและพารามิเตอร์ของการอบแห้ง สภาวะการอบแห้ง ปริมาณความชื้นขนาด อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผิวและปริมาณความชื้นสมดุล กลไกเหล่านี้แบ่งออกเป็น 3 จำพวกดังต่อไปนี้

- การระเหยจากผิวอิสระ
- การไหลในท่อคาพิลลารีในลักษณะของเหลว
- การแพร่ในลักษณะที่เป็นของเหลวหรือไอ

2. กลไกการทำแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำ อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อยๆ ลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร



รูปที่ 1 กราฟอัตราการแห้ง (จุด E คือความชื้นสมดุล, W_e)

ที่มา: Geankoplis C.J. (2003)

รูปที่ 2 แสดงกราฟอัตราแห้งซึ่งเป็นกราฟระหว่างอัตราการแห้ง (drying rate) และความชื้นในสารนั้น (moisture content,W) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

1. ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial Adjustment Period) เป็นช่วงที่ความชื้นที่มีอยู่ในอาหารปรับตัวเพื่อมีอุณหภูมิเท่ากับลมร้อน อัตราการแห้งจะต่ำและจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่ จากรูปที่1 คือ ช่วง AB ซึ่งถือว่าเป็นช่วงสั้นๆ สามารถตัดทิ้งได้เมื่อคำนวณเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (drying time) ส่วนช่วง A'B เป็นกรณีที่บริเวณผิวหน้าของแข็งมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่จะเริ่มเกิดการระเหยในตอนแรกจะสูงและค่อยๆลดลงจนคงที่
2. ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (Constant Rate Period) เป็นช่วงที่น้ำในอาหารระเหยเป็นไออย่างต่อเนื่อง คล้ายกับการระเหยของน้ำโดยทั่วไป
3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่องทำให้ชั้นของเหลวที่ปกคลุมอยู่ไม่สม่ำเสมอ อัตราการแห้งจึงลดลง และเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงความชื้นสมดุลซึ่งน้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก

3. ปริมาณความชื้น

น้ำที่อยู่ภายในอาหารมี 2 รูปแบบ คือ น้ำอิสระ (Free water) ซึ่งแทรกอยู่ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ และ น้ำที่เป็นพันธะกับสารอื่น (Bound water) ปริมาณน้ำในอาหารส่วนมากจะอยู่ในรูปของน้ำอิสระ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมคุณภาพของอาหาร การแสดงปริมาณความชื้น (Moisture content) หรือน้ำที่อยู่ภายในอาหาร สามารถบอกในรูปของอัตราส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานเปียก (Wet basis) และมาตรฐานแห้ง (Dry basis) ซึ่งนิยมใช้สำหรับบอกองค์ประกอบของน้ำในวัสดุ และใช้กับการคำนวณทางวิทยาศาสตร์ ตามลำดับ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (1) และ (2) ดังนี้ คือ

ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$Mc_{wb} = \frac{m_w}{m_w + m_d} \times 100 \qquad (1)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$Mc_{db} = \frac{m_w}{m_d} \times 100 \qquad (2)$$

เมื่อ mc = ปริมาณความชื้นของวัสดุ (%wb, %db)

m_w = มวลของน้ำภายในวัสดุ (kg)

m_d = มวลแห้งหรือมวลของของแข็งภายในวัสดุ (kg)

- ชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

รูปที่ 2 ส่วนประกอบของชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด

A : พัดลม

B : ฮีตเตอร์

C : เครื่องชั่งดิจิตอล

D : ถาดวางผลิตภัณฑ์

E : แผ่นกดเครื่องชั่งยึดกับถาดผลิตภัณฑ์

F : ช่องวัดความเร็วลม

G : กล่องควบคุม

H : เบรกเกอร์

I : ช่องวัดอุณหภูมิ

J : ชุดควบคุมพัดลม

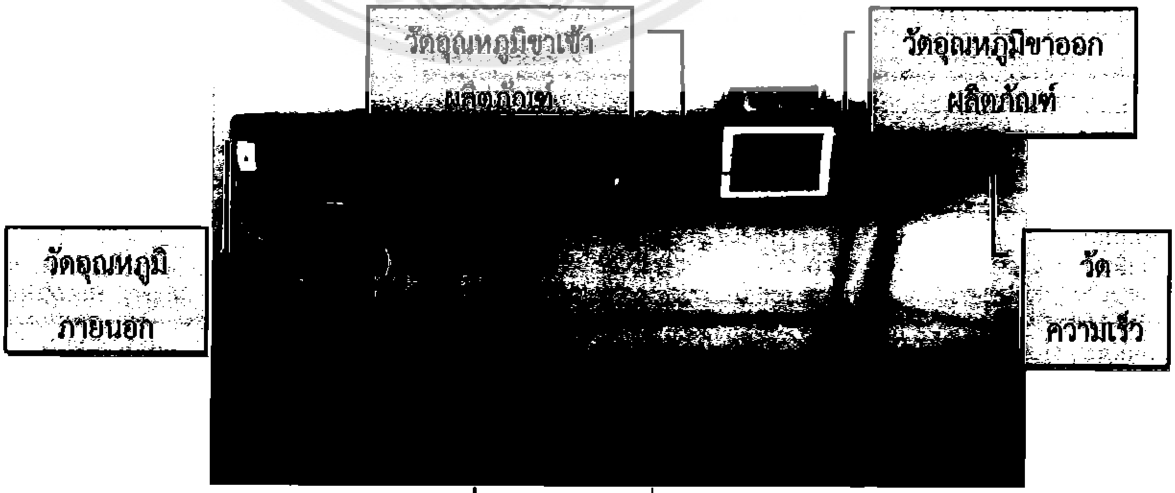
K : ชุดควบคุมฮีตเตอร์

ชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาดประกอบไปด้วย พัดลม (Blower) ตัวทำความร้อน (Heater) ห้องอบ (drying chamber) และชุดควบคุม (Controller) โดยมีหลักการควบคุมความเร็วลมและอุณหภูมิ โดยลมภายนอกจะถูกดูดด้วยพัดลมที่อยู่ทางด้านข้างหรือด้านทางเข้า เคลื่อนที่เข้าสู่ตู้ โดยเมื่อผ่านตัวทำความร้อน เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของพัดลม (Blower) ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศภายในตู้ก่อนผ่านตัวทำความร้อน (Heater) เพิ่มขึ้น อุปกรณ์ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Controller) โดยตั้งค่าอุณหภูมิสุดท้าย (Temper-

ature Set Point) ที่ตัวชุดควบคุม โดยมีเทอร์โมสตัท อยู่ที่ตัวห้องอบ เมื่ออุณหภูมิห้องอบน้อยกว่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ ชุดควบคุมอุณหภูมิจะสั่งให้กระแสไฟเข้าขดลวดในชุดทำความร้อนทำงาน และในทางกลับกันเมื่อ

อุณหภูมิในห้องอบถึงจุดที่ตั้งค่าไว้ ระบบจะตัดการทำงาน เป็นไปอย่างนี้เรื่อยๆ ตลอดระยะเวลาในการอบ และลมร้อนจะเคลื่อนที่ไปยังพื้นที่การทำแห้งหรือห้องอบ เพื่อลดความชื้นและทำแห้งวัตถุดิบ

- การเตรียมอุปกรณ์
    1) เตรียมชุดเก็บข้อมูลคอมพิวเตอร์ เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความเร็วลม
    2) ต่อหัววัดอุณหภูมิจากเครื่องบันทึกข้อมูล เข้าสู่ชุดสาธิตการอบแห้งแบบถาด 3 จุด (อุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิขาเข้า อุณหภูมิขาออก)
    3) เปิดโปรแกรมบันทึกค่าอุณหภูมิจากคอมพิวเตอร์ ตรวจสอบอุณหภูมิเริ่มต้นของหัววัดอุณหภูมิจากโปรแกรมที่แสดงผลทั้ง 3 จุด
    4) ตั้งค่าการบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็น 1 นาที
    5) ตั้งชื่อไฟล์ข้อมูลและบันทึกผล



รูปที่ 3 แสดงจุดวัดที่ตำแหน่งต่างๆ

■ **ก่อนการทดลอง**

1) ติดตั้งชุดวางถาดผลิตภัณฑ์ให้เข้ากับเครื่องชั่งดิจิตอลแล้วเซ็ตค่าให้เป็นศูนย์
2) เปิดสวิทซ์ ให้เครื่องทำงาน (อุ่นเครื่องเปล่า) ประมาณ 12 นาที
3) ชั่งน้ำหนักถาดเปล่าและบันทึกค่า

■ **วิธีการทดลอง**

1) เตรียมกล้วย โดยหั่นให้มีขนาดเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดสม่ำเสมอ ความหนาประมาณ 2 mm แล้วเรียงชิ้นตัวอย่างลงบนถาดสำหรับใส่ตัวอย่างให้เต็มพื้นที่ถาด (การเรียงชิ้นตัวอย่าง ให้เรียงชิดกัน แต่อย่าให้ชิ้นตัวอย่างซ้อนทับกัน)
2) ใส่ถาดตัวอย่างผลิตภัณฑ์เข้าตู้อบบันทึกน้ำหนักตอนเริ่มต้น
3) ปรับอุณหภูมิขาเข้าผลิตภัณฑ์ 60°C และปรับความเร็วลมความเร็วลม 1.5 m/s
4) เริ่มทำการทดลองโดยบันทึกค่าน้ำหนักทุก 5 นาที จนน้ำหนักคงที่แสดงว่าเสร็จสิ้นการทดลอง

หมายเหตุ 1. กรณีต้องการศึกษาความเร็วลมสามารถปรับความเร็วลมได้ตั้งแต่ 1.5-4.5 m/s
2. กรณีต้องการศึกษาอุณหภูมิสามารถปรับอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 60-120°C

■ **หลังการทดลอง**

เมื่อทำการทดลองเสร็จเรียบร้อยแล้วทำการปิดฮีตเตอร์ก่อน (ให้ฮีตเตอร์เย็นตัวลง) รอประมาณ 3-5 นาที ค่อยปิดพัดลม

■ **ตารางบันทึกผล**

ให้นิสิตเป็นผู้ออกแบบเอง ในลักษณะของตารางหรือบันทึก ตามความเหมาะสม

■ **การวิเคราะห์ผล**

1) คำนวณค่าความชื้นมาตรฐานเปียกความชื้นมาตรฐานแห้ง จากสมการ (1) และ (2)
2) วิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออกผลิตภัณฑ์

■ **คำถามหลังการทดลอง**

1) การอบแห้งคืออะไรและมีความสำคัญอย่างไร?
2) อธิบายกลไกของการอบแห้งจากทำการทดลองโดยใช้พื้นฐานของการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวล?