

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์พลังงานและเอกซ์เซอจีสำหรับการอบแห้งแบบถาด

ENERGY AND EXERGY ANALYSES FOR TRAY DRYER



T140421



ร.พ.
พ 235 7
2557

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....140421.....
วัน,เดือน,ปี...2-0-ค.ค.-2559

b. 12 734986
i.....

ปฏิญานพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENERGY AND EXERGY ANALYSES FOR TRAY DRYER



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การวิเคราะห์พลังงานและเอกซ์เซอียสำหรับการอบแห้งแบบลาด
โดย พรณภัทร ทับกล่อม
วิชา วิชา ฤกษ์ฤทัย
อาจารย์ที่ปรึกษา อ. บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(อ. บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

กรรมการ

(รศ. ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒน์วงศ์)

กรรมการ

(อ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การวิเคราะห์พลังงานและเอกซ์เซอียสำหรับการอบแห้งแบบลาด
โดย	พรณภัทร ทับกลุ่ม วิษัญญาดา ฤกษ์ฤทัย
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. บุญชัย โชควิทยาวิชย์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิของอากาศ ความเร็วของอากาศและจำนวนลาดที่มีผลต่อการอบแห้งมันฝรั่งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลาด ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งและศึกษาการคำนวณการใช้พลังงานและเอกซ์เซอียของกระบวนการอบแห้ง ทำการทดลองอบแห้งมันฝรั่งครั้งละ 5 ลาด ที่อุณหภูมิของอากาศเท่ากับ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส และความเร็วของอากาศเท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิของอากาศสูงและความเร็วของอากาศสูง อัตราการอบแห้งมีค่าสูง และผลของตำแหน่งลาด พบว่าลาดแรกจะมีอัตราส่วนความชื้นน้อยกว่าลาดตำแหน่งถัดๆ ไป สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ได้แก่ แบบจำลองของ Page และ Modified page ในส่วนการวิเคราะห์พลังงานและเอกซ์เซอียในการอบแห้งพบว่าเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการอบแห้งจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ ในส่วนของการวิเคราะห์ปริมาณเอกซ์เซอียที่สูญเสียพบว่าแนวโน้มกราฟจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศกับอุณหภูมิที่ทำการทดลองให้สูงขึ้น ปริมาณเอกซ์เซอียที่สูญเสียก็จะเพิ่มมากขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งลาดจะพบว่าลาดที่หนึ่งอบแห้งได้ดีกว่าลาดถัดๆ ไป ในส่วนของประสิทธิภาพเอกซ์เซอียที่เวลาเพิ่มขึ้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพเอกซ์เซอียจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	ENERGY AND EXERGY ANALYSES FOR TRAY DRYER
By	Phonnaphat Tubklom Wichayada Rockruethai
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2014
Advisor	Boonchai Chotiviriyavanich

ABSTRACT

This research studies the effect of temperature and velocity of air and the number of trays that have the effect on drying of potato slices in a tray dryer. The mathematical model was investigated by using thin layer drying models and the energy and exergy analyses of drying process. The drying experiments employed 5 trays and were carried out using air at 50, 55 and 60 °C and a velocity of 0.5, 1.0 and 1.5 m/s. The conditions for mathematical model were performed by using drying models. The experimental results revealed that drying rate is high when high air temperature and high air velocity. The location of tray showed that the first tray has a moisture content less than the next tray. The suitable mathematical models were Page model and Modified page model. Exergy and energy analyses of drying process yielded the result that. The percent energy use during drying process is decreased as a function of time and percent energy using in drying process is decreased when increasing velocity of drying air. In exergy loss analysis, it was found that, exergy loss is decreased as a function of time. The value of exergy loss increased when increase velocity and temperature increased. The first tray has drying better than the next tray. Finally for tray location, exergy efficiency is increased as a function of time and the exergy efficiency will increase when velocity of drying air increases.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์และบุคลากรหลายฝ่ายด้วยกัน ทางผู้จัดทำขอขอบคุณ อ. บุญชัย โชติวิริยวาณิช เป็นอย่างสูง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ซึ่งท่าน ได้ให้ความรู้ความสามารถ และคำแนะนำต่างๆ รวมถึงคำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านงานวิจัยมาโดยตลอด

ขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิศวกรรมเคมีทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ในด้านวิชาการ รวมถึงให้คำปรึกษาในงานวิจัย และช่วยเหลือในด้านต่างๆ มาตลอดในระยะเวลาการทำงานวิจัย

และสุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณบุพการีและผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ช่วยอบรมสั่งสอนและให้การศึกษาแก่ข้าพเจ้า รวมทั้งขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้องทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาในด้านต่างๆ ตลอดจนเป็นกำลังใจในการเรียนและการทำงานวิจัยโดยตลอด

พรณภัทร ทับกล่อม

วิชาญดา ฤกษ์ฤทัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง.....	3
2.2 กลไกการอบแห้ง.....	3
2.3 คุณสมบัติของอากาศและแผนภูมิความชื้น (Humidity chart).....	3
2.4 คุณสมบัติของวัสดุชิ้น.....	5
2.5 กราฟการอบแห้ง (Drying curve) และกราฟอัตราการอบแห้ง (Drying rate curve).....	7
2.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง.....	9
2.7 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dryer).....	9
2.8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง.....	10
2.9 การวิเคราะห์พลังงานและเอกซ์เซอีย.....	12
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 วิธีการทดลองและการคำนวณ	
3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และวัสดุที่ใช้.....	18
3.2 วิธีการทดลอง.....	18
3.3 สภาพที่ใช้ในการทดลอง.....	19
3.4 การคำนวณ.....	19

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 ผลของอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง	21
4.2 ผลของความเร็วของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง	23
4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง	24
4.4 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ	27
4.5 การวิเคราะห์เอกซ์เซอซีของการอบแห้งแบบถาด	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
สรุปผลการทดลอง	34
เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก	38
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	39
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ	56

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งแบบแผ่นบาง (Thin layer)	10
2.2 แสดงข้อมูลการทดลองของงานวิจัยที่ทำการอบแห้งวัสดุต่างๆ	16
4.1 แสดงแบบจำลองที่เหมาะสมและค่าคงที่แบบจำลองของการทดลองที่สภาวะต่างๆ	25
ก.1 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิจ 50 องศาเซลเซียส	40
ก.2 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิจ 55 องศาเซลเซียส	41
ก.3 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิจ 60 องศาเซลเซียส	42
ก.4 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 1.0 เมตร/วินาที อุณหภูมิจ 50 องศาเซลเซียส	43
ก.5 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 1.0 เมตร/วินาที อุณหภูมิจ 55 องศาเซลเซียส	44
ก.6 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 1.0 เมตร/วินาที อุณหภูมิจ 60 องศาเซลเซียส	45
ก.7 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิจ 50 องศาเซลเซียส	45
ก.8 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิจ 55 องศาเซลเซียส	46
ก.9 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิจ 60 องศาเซลเซียส	47
ก.10 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้ง ที่สภาวะความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิจ 50 องศาเซลเซียส	48
ก.11 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้ง ที่สภาวะความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิจ 55 องศาเซลเซียส	49
ก.12 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้ง ที่สภาวะความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิจ 60 องศาเซลเซียส	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.13 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้ง ที่สภาวะความเร็วลม 1.0 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	51
ก.14 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้ง ที่สภาวะความเร็วลม 1.0 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส.....	51
ก.15 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้งที่ สภาวะความเร็วลม 1.0 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	52
ก.16 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้งที่ สภาวะความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	53
ก.17 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้งที่ สภาวะความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส.....	54
ก.18 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้งที่ สภาวะความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	55

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 Heat and mass transfer in constant-rate drying	3
2.2 แผนภูมิความชื้นของอากาศ drying	5
2.3 กราฟการอบแห้ง	7
2.4 กราฟอัตราการอบแห้ง	8
2.5 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบถาด	10
3.1 เครื่องอบแห้งแบบถาด	18
4.1 กราฟการอบแห้งมันฝรั่ง (Drying curve) ที่ความเร็ว 1.5 เมตร/วินาที	21
4.2 กราฟอัตราการอบแห้งมันฝรั่ง (Drying rate curve) ที่ความเร็ว 1.5 เมตร/วินาที	22
4.3 กราฟการอบแห้งมันฝรั่ง (Drying curve) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	23
4.4 กราฟอัตราการอบแห้งมันฝรั่ง (Drying rate curve) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	24
4.5 เฟอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกจากมันฝรั่ง โดยการอบแบบ 1 ถาด	27
4.6 เฟอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกจากมันฝรั่ง โดยการอบแบบ 3 ถาด	28
4.7 เฟอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกจากมันฝรั่ง โดยการอบแบบ 5 ถาด	28
4.8 เอกซ์เซอียี่ที่สูญเสียไปในกระบวนการอบแห้งที่ความเร็วอากาศ 0.5 เมตร/วินาที	29
4.9 เอกซ์เซอียี่ที่สูญเสียไปในกระบวนการอบแห้งที่ความเร็วอากาศ 1.0 เมตร/วินาที	30
4.10 เอกซ์เซอียี่ที่สูญเสียไปในกระบวนการอบแห้งที่ความเร็วอากาศ 1.5 เมตร/วินาที	30
4.11 ประสิทธิภาพเอกซ์เซอียี่สำหรับการอบแห้งมันฝรั่งที่ความเร็วอากาศ 0.5 เมตร/วินาที	31
4.12 ประสิทธิภาพเอกซ์เซอียี่สำหรับการอบแห้งมันฝรั่งที่ความเร็วอากาศ 0.5 เมตร/วินาที	32
4.13 ประสิทธิภาพเอกซ์เซอียี่สำหรับการอบแห้งมันฝรั่งที่ความเร็วอากาศ 1.5 เมตร/วินาที	32
ก1 แผนผังแสดงตำแหน่งของถาดต่างๆ	40
ข1 แสดงผังการไหลเข้าและไหลออกของอากาศแห้งที่ใช้ในการอบแห้ง	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก และผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้เก็บรักษาผลผลิตไว้ได้นาน การอบแห้งจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะทำให้สามารถเก็บรักษาผลผลิตให้มีระยะเวลาที่นานขึ้น ผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญและต้องทำการอบแห้ง ได้แก่ ธัญพืชชนิดต่างๆ เช่น ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว เป็นต้น [1] การอบแห้งเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการรักษาคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร อีกทั้งยังลดการเน่าเสียและยืดเวลาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยีของการอบแห้งนั้นเป็นสิ่งที่ไม่สลับซับซ้อนและถูกใช้อย่างแพร่หลาย เป็นกระบวนการที่มีค่าบำรุงรักษาที่ค่อนข้างต่ำ การอบแห้งเป็นการกำจัดความชื้นหรือน้ำออกจากวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีทางความร้อน โดยการใช้สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถยังคงคุณสมบัติต่างๆ และสามารถเก็บไว้ได้นาน การอบแห้งยังสามารถยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น รา (mold) แบคทีเรีย (bacteria) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme) อีกทั้งยังสามารถชะลอปฏิกิริยาต่างๆ ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ และยังสามารถทำให้อาหารมีน้ำหนักเบาจนถึงสามารถลดปริมาณลงได้อีกด้วย จึงทำให้สะดวกต่อการขนส่งและการบริโภค

นอกจากการศึกษาระบวนการหรือวิธีการอบแห้งแล้ว การศึกษาด้านการใช้พลังงานในการอบแห้งและศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง เช่น ผลของจำนวนชั้นและจำนวนแถวที่มีผลต่อการอบแห้ง เป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะนำมาศึกษาเพราะสามารถนำไปใช้ประกอบในการออกแบบและกำหนดสภาวะที่จะใช้สำหรับเครื่องอบแห้งเพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างเหมาะสมและลดต้นทุนในการอบแห้งในระดับอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากการอบแห้งเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ในการถนอมอาหารหลังการเก็บเกี่ยว

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง
2. ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง
3. ศึกษาการคำนวณการใช้พลังงานและเอกซ์โซยีของกระบวนการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตโครงการ

1. ศึกษาการอบแห้งมันฝรั่ง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดที่สภาวะต่างๆ ดังนี้
 - อุณหภูมิของอากาศร้อน เท่ากับ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส
 - ความเร็วของอากาศร้อน เท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที
 - จำนวนถาดของวัสดุที่อบ เท่ากับ 5 ถาด
2. หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ
3. ศึกษาการคำนวณการใช้พลังงานและเอ็กซ์เซอียในการอบแห้งแบบถาดที่สภาวะต่างๆ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้ความเข้าใจในกระบวนการอบแห้งและวิธีการดำเนิน โครงการ
2. มีความรู้ความเข้าใจในการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กซ์เซอียสำหรับกระบวนการอบแห้ง
3. สามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในการกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องอบแห้ง
4. สามารถนำผลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

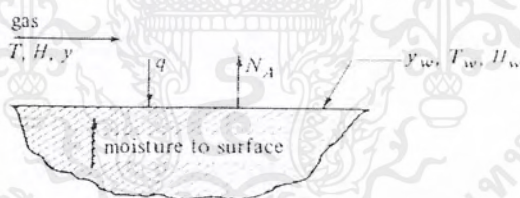
ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้งส่วนใหญ่จะใช้อากาศร้อนเป็นตัวให้ความร้อนแก่วัสดุชิ้นที่ต้องการอบแห้ง เพื่อให้ความชื้นในวัสดุระเหยออกมา ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ความร้อนจะทำให้ไอน้ำระเหยออกจากผิวของวัสดุและอัตราการระเหยของน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศร้อน ความเร็วของอากาศร้อน และความชื้นในอากาศ โดยทั่วไปอัตราการอบแห้งจะคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นอัตราการอบแห้งจะลดลงตามลำดับและมีค่าเป็นศูนย์เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล

2.2 กลไกการอบแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าวัสดุชิ้น ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากลมร้อนไปยังผิวของวัสดุชิ้นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและความร้อนส่วนนี้จะทำให้ความชื้นบางส่วนกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพาไปกับลมร้อนที่มีความดันไอน้ำต่ำกว่า กลไกการอบแห้งอาจแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Heat and mass transfer in constant-rate drying [2]

2.3 คุณสมบัติของอากาศและแผนภูมิความชื้น (Humidity chart) [2-4]

ในการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน อากาศที่ใช้ในการอบแห้งโดยทั่วไปจะเป็นอากาศในบรรยากาศ ซึ่งคุณสมบัติต่างๆที่เกี่ยวข้องกับอากาศมีดังนี้

1. ความชื้นในอากาศหรือความชื้นจำเพาะ (Humidity, H)

ความชื้นในอากาศ คือปริมาณไอน้ำในอากาศต่อปริมาณของอากาศแห้ง ถ้ากำหนดให้อากาศและไอน้ำเป็นแก๊สอุดมคติ (ideal gas)

$$H = \frac{Kg_{\text{ไอน้ำ}}}{Kg_{\text{อากาศแห้ง}}} = \frac{18.02}{28.97} \times \frac{P_A}{P - P_A} \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ P_A คือ ความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ

P คือ ความดันรวม

18.02 คือ มวลโมเลกุลของน้ำ

28.97 คือ มวลโมเลกุลของอากาศ

กรณีที่เป็นอากาศอิ่มตัว (Saturated air) ปริมาณความชื้นในอากาศจะเป็นความชื้นอิ่มตัว (H_s)

$$H_s = \frac{18.02}{28.97} \times \frac{P_{AS}}{P - P_{AS}} \quad (2)$$

เมื่อ P_{AS} คือ ความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิที่กำหนด สามารถหาค่าได้จากตารางไอน้ำ

2. เปอร์เซ็นต์ความชื้น (Percentage humidity, H_p)

เปอร์เซ็นต์ความชื้นเป็นปริมาณความชื้นในอากาศที่มีอยู่จริงเทียบกับความชื้นอิ่มตัวของอากาศ

$$H_p = 100 \times \frac{H}{H_s} \quad (3)$$

3. เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (Percentage relative humidity, H_R , %RH)

เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์เป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชิงเปรียบเทียบระหว่างความดันไอของอากาศกับความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน

$$H_R = 100 \times \frac{P_A}{P_{AS}} \quad (4)$$

4. ความจุความร้อนของอากาศชื้น (Humid heat, C_s)

เป็นค่าความจุความร้อนของอากาศชื้น มีค่าเท่ากับปริมาณความร้อน (J) ที่ทำให้อากาศแห้ง (1 kg) และไอน้ำที่อยู่ในอากาศแห้ง 1 kg นั้นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C

$$C_s \text{ (kJ/kg dry air} \cdot \text{K)} = 1.005 + 1.88H \quad (5)$$

เมื่อ H คือ ความชื้นในอากาศ

5. ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น (Humid volume, V_H)

เป็นค่าปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น มีค่าเท่ากับปริมาตรรวมของอากาศแห้ง (1 kg) กับไอน้ำที่อยู่ในอากาศแห้ง 1 kg นั้น ต่อน้ำหนักอากาศแห้ง

$$V_H \text{ (m}^3\text{/kg dry air)} = \frac{22.41}{273} T \left(\frac{1}{28.97} + \frac{1}{18.02} H \right) \quad (6)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิของอากาศ (K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เอนทัลปีรวม (Total enthalpy, H_y)

เป็นค่าเอนทัลปีรวมของอากาศแห้งกับไอน้ำที่อยู่ในอากาศแห้งนั้น

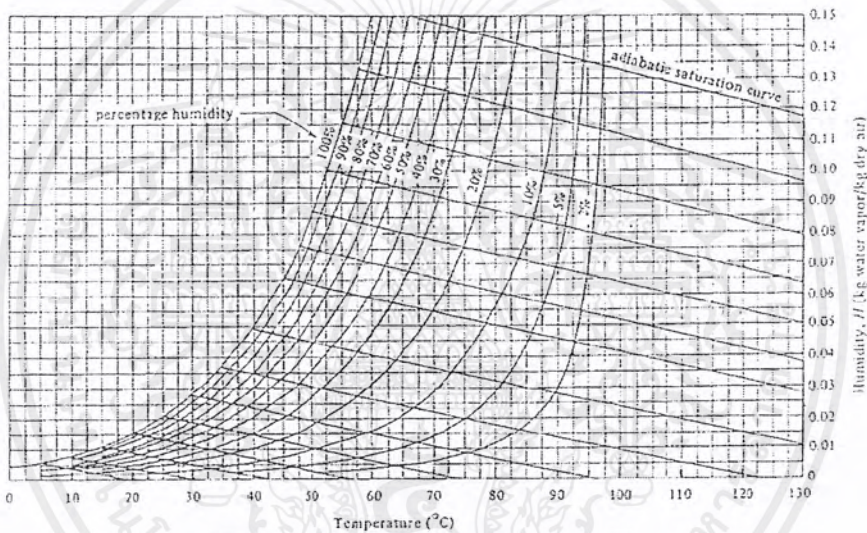
$$H_y \text{ (kJ/kg)} = C_s(T - T_0) + H\lambda_0 \quad (7)$$

เมื่อ T_0 คือ อุณหภูมิอ้างอิง

λ_0 คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่ T_0 (สามารถหาได้จากตารางไอน้ำ)

7. แผนภูมิความชื้นของอากาศ (Humidity chart)

เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศ ใช้ในการหาค่าคุณสมบัติของอากาศที่ต้องการทราบค่า ลักษณะของแผนภูมิความชื้นของอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนภูมิความชื้นของอากาศ [2]

2.4 คุณสมบัติของวัสดุชื้น

2.4.1 ความชื้นในวัสดุ (Moisture content)

ความชื้นในวัสดุอาจแสดงได้หลายแบบ ดังนี้

1. ปริมาณความชื้นฐานแห้ง (Dry basis) เป็นปริมาณความชื้นเทียบกับน้ำหนักวัสดุแห้ง สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$MC = \frac{\text{น้ำหนักวัสดุชื้น} - \text{น้ำหนักวัสดุแห้ง}}{\text{น้ำหนักวัสดุแห้ง}} \quad (8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปริมาณความชื้นฐานเปียก (Wet basis) เป็นปริมาณความชื้นเทียบกับน้ำหนักวัสดุชื้น สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$MC = \frac{\text{น้ำหนักวัสดุชื้น} - \text{น้ำหนักวัสดุแห้ง}}{\text{น้ำหนักวัสดุชื้น}} \quad (9)$$

3. Free moisture content เป็นปริมาณความชื้นในวัสดุเมื่อเทียบกับปริมาณความชื้นที่สภาวะสมดุล

$$\text{Free moisture content} = MC - MC_e \quad (10)$$

เมื่อ MC คือ ปริมาณความชื้นที่เวลาใดๆ
 MC_e คือ ปริมาณความชื้นที่สภาวะสมดุล

4. อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio) เป็นปริมาณความชื้นเชิงเปรียบเทียบ สามารถแสดงได้หลายรูปแบบ เช่น

$$MR = \frac{MC}{MC_e} \quad (11)$$

$$MR = \frac{MC}{MC_0} \quad (12)$$

$$MR = \frac{MC - MC_e}{MC_0 - MC_e} \quad (13)$$

เมื่อ MC คือ ปริมาณความชื้นที่เวลาใดๆ
 MC_e คือ ปริมาณความชื้นที่สมดุล
 MC_0 คือ ปริมาณความชื้นที่เวลาเริ่มต้น

2.4.2 ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content)

ความชื้นสมดุล หมายถึง ปริมาณความชื้นในวัสดุขณะที่วัสดุอยู่ในสภาวะสมดุลกับอากาศร้อนที่สัมผัสผ่าน ที่สมดุลอัตราการดูดและคายความชื้นของวัสดุมีค่าเท่ากัน จึงมีอัตราการอบแห้ง (drying rate) เป็นศูนย์ ค่าความชื้นสมดุลจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัสดุ และอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่สัมผัสผ่านวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 อัตราการอบแห้ง (Drying rate)

อัตราการอบแห้งอาจนิยามได้หลายแบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น

1. สำหรับการอบแห้งที่พื้นที่สัมผัสระหว่างวัสดุกับอากาศร้อนมีการเปลี่ยนแปลง อาจคำนวณโดยใช้สมการ

$$\text{Drying rate} = \frac{MC_{t+dt} - MC_t}{dt} \quad (14)$$

เมื่อ MC_{t+dt} คือ ปริมาณความชื้นเมื่อเวลาผ่านไป dt
 MC_t คือ ปริมาณความชื้น ณ เวลาเท่ากับ t
 dt คือ ช่วงเวลา

2. สำหรับการอบแห้งที่พื้นที่สัมผัสระหว่างวัสดุกับอากาศร้อนไม่เปลี่ยนแปลง อาจคำนวณโดยใช้สมการ

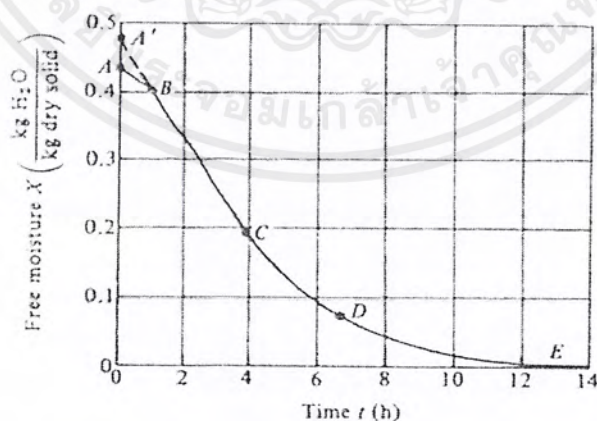
$$\text{Drying rate} = -\frac{L_s}{A} \cdot \frac{dMC}{dt} \quad (15)$$

เมื่อ L_s คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง
 A คือ พื้นที่ผิวของวัสดุที่นำมาอบ

2.5 กราฟการอบแห้ง (Drying curve) และกราฟอัตราการอบแห้ง (Drying rate curve) [5]

2.5.1 กราฟการอบแห้ง (Drying curve)

กราฟการอบแห้งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในวัสดุ (moisture content) กับเวลา (time) แสดงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งกราฟนี้จะสามารถหาค่าที่ใช้ในการอบแห้งได้

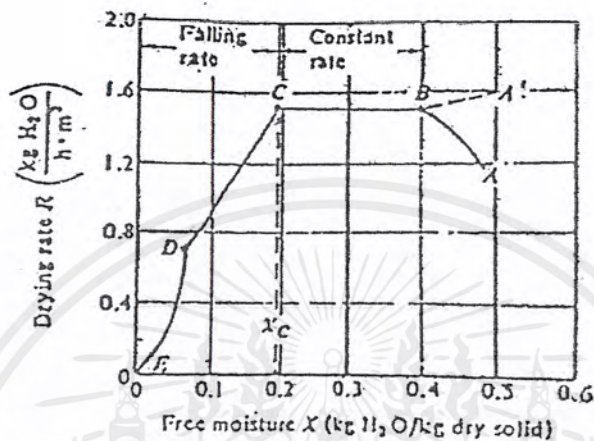


รูปที่ 2.3 กราฟการอบแห้ง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 กราฟอัตราการอบแห้ง (Drying rate curve)

กราฟอัตราการอบแห้งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้ง (drying rate) กับเวลาหรือระหว่างอัตราการอบแห้ง (drying rate) กับความชื้นในวัสดุ (moisture content) แสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งพิจารณาแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้



รูปที่ 2.4 กราฟอัตราการอบแห้ง (จุด E คือความชื้นสมดุล) [2]

1. ช่วงการปรับสถานะเริ่มต้น (Initial Adjustment Period) เป็นช่วงที่ความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุชื้นปรับตัวเมื่อเริ่มสัมผัสกับอากาศร้อน กรณีที่ผิวหน้าของแข็งมีอุณหภูมิต่ำ อัตราการอบแห้งจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่ จากรูปที่ 2.4 คือ ช่วง AB ส่วนช่วง $A'B$ เป็นกรณีที่บริเวณผิวหน้าของแข็งมีอุณหภูมิสูง อัตราการอบแห้งจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

2. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Period) เป็นช่วงที่น้ำในวัสดุชื้นระเหยเป็นไออย่างต่อเนื่องคล้ายกับการระเหยของน้ำโดยทั่วไป โดยจะพบมากในวัสดุที่มีความชื้นเริ่มต้นสูง การเคลื่อนที่ของไอน้ำจากผิวหน้าวัสดุไปยังอากาศจะเท่ากับการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในวัสดุมายังผิวหน้า ปรากฏการณ์คล้ายกับระเหยน้ำจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก ดังนั้นอุณหภูมิจึงผิวหน้าของวัสดุจะเท่ากับอุณหภูมิกะเปาะเปียกของอากาศ อัตราการอบแห้งช่วงนี้จะถูกควบคุมโดยสถานะอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง

3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) เป็นช่วงที่ความชื้นในวัสดุชื้นเหลือน้อย การแพร่ความชื้นไปยังผิวหน้าวัสดุชื้นจึงเกิดขึ้นไม่ต่อเนื่อง ทำให้ชั้นของเหลวที่ปกคลุมอยู่บนพื้นผิวไม่สม่ำเสมอ อัตราการอบแห้งจึงลดลง และเมื่อเวลาผ่านไป ผิวหน้าวัสดุชื้นจะแห้งทั้งหมด เนื้อวัสดุชื้นด้านในจะเริ่มแห้งเช่นกัน ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงจุดความชื้นสมดุล ซึ่งเป็นจุดที่ความชื้นในวัสดุชื้นมีค่าคงที่ อัตราการอบแห้งเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง [5]

1. ลักษณะธรรมชาติของวัสดุชั้น วัสดุชั้นที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความพรุน (porosity) มาก จะมีอัตราการอบแห้งเร็ว เนื่องจากน้ำในวัสดุชั้นสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้วัสดุชั้นที่มีพื้นที่ผิวมาก อัตราการอบแห้งสามารถเกิดได้เร็วเช่นกัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นนั่นเอง

2. ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของวัสดุชั้น เป็นสมบัติทางกายภาพของวัสดุชั้นที่มีผลต่อการอบแห้ง วัสดุชั้นที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากจะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก จะมีอัตราการอบแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นหากวัสดุชั้นที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าวัสดุชั้นที่มีความหนาน้อยกว่า เนื่องจากอัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของวัสดุชั้น

3. ปริมาณของวัสดุชั้นที่นำมาอบแห้ง วัสดุชั้นที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้า เนื่องจากอากาศร้อน ไม่สามารถสัมผัสกับวัสดุชั้นที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึง จึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับวัสดุชั้นได้ จึงทำให้อัตราการอบแห้งช้าลง

4. ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิจากความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (specific humidity) ของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศ อุณหภูมิของอากาศ และความเร็วลม

5. ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำเนื่องจากในที่ความดันต่ำๆ ลมมา น้ำจะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

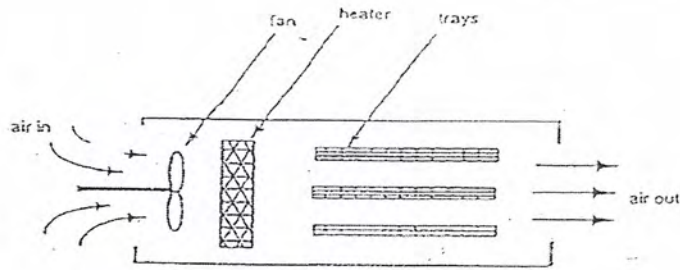
2.7 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบถาดมีส่วนประกอบแสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งประกอบด้วย

- พัดลม (fan) ทำหน้าที่ดูดอากาศเข้าไปในเครื่องอบ
- ฮีตเตอร์ (heater) ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่อากาศ
- ถาด (trays) ทำหน้าที่วางวัสดุชั้นที่จะอบ

เครื่องอบแห้งจะทำงานเป็นกะ เหมาะสำหรับโรงงานขนาดเล็กที่ไม่ต้องการกำลังการผลิต

สูงมาก



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบถาด

2.8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง [8-9]

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นรูปแบบสมการที่ใช้ในการอธิบายกราฟของการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นๆ ซึ่งรูปแบบของแบบจำลองนั้นมีผู้เสนอไว้อย่างมากมาย โดยจากงานวิจัยที่ได้ศึกษาค้นคว้าว่ามีแบบจำลองรูปแบบต่างๆ ที่แสดงในตารางที่ 2.1 ไว้บางส่วน ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งแบบแผ่นบาง (Thin layer)

ลำดับ แบบจำลอง	ชื่อแบบจำลอง	แบบจำลอง	อ้างอิง
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$	Mujumdar (1987)
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Diamante and Munro (1993)
3	Modified page	$MR = \exp[-(kt)^n]$	White, Bridge, Lower, and Cagatay (1978)
4	Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Zhang and Litchfield (1991)
5	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	Yagcioglu, Cagatay and Degirmencioglu (1999)
6	Two term	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Henderson (1974)
7	Wang and Singh	$MR = 1 + at + t^2$	Wang and Singh (1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ แบบจำลอง	ชื่อแบบจำลอง	แบบจำลอง	อ้างอิง
8	Approximation of diffusion	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	Yaldiz and Ertekin (2001)
9	Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	Verma, Bucklin, Endan, and Wratten (1985)
10	Modified Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt)$ $+ c \exp(-ht)$	Karathanos (1999)
11	Two - Term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	Shara-Eldeen, Hamdy and Blaisdell (1980)
12	Midili et al.	$MR = a \exp(-kt^m) + bt$	Midili et al (2002)

ในการทดลองจะสามารถพิจารณารูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการทดลองมากที่สุดได้โดยการนำข้อมูลที่ได้ออกจากการทดลองและจากแบบจำลองมาคำนวณเทอมต่างๆทางสถิติเช่น Root mean square error (RMSE), Reduce Chi-square (X^2) ซึ่งคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (16)$$

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N-n} \quad (17)$$

- เมื่อ $MR_{pre,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นตัวที่ i ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง
 $MR_{exp,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นตัวที่ i ที่คำนวณได้จากผลการทดลอง
 N คือ จำนวนข้อมูล
 n คือ จำนวนค่าคงที่ในสมการ

โดยการเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่า RMSE (Root mean square error) และ X^2 (Reduce Chi-square) ที่มีค่าน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การวิเคราะห์พลังงานและเอนทัลปี [6-7, 17]

กระบวนการอบแห้งในระบบเปิดจะทำการวิเคราะห์พลังงานจากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์หรือกฎการอนุรักษ์พลังงาน โดยวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการถ่ายโอนมวลและพลังงาน ซึ่งเป็นไปตามกฎอนุรักษ์มวลและกฎอนุรักษ์พลังงานตามลำดับ และวิเคราะห์คุณภาพของพลังงานด้วยเอนทัลปีตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ โดยพิจารณาระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State)

2.9.1 การวิเคราะห์พลังงาน [6-7]

การวิเคราะห์พลังงานสำหรับกระบวนการอบแห้งจะพิจารณาที่การไหลแบบสภาวะคงตัว และจากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบเปิด สมดุลพลังงานแสดงได้ดังนี้

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{ao} \left(h_o + \frac{v_o^2}{2} \right) - \sum \dot{m}_{ai} \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} \right) \quad (18)$$

เมื่อ	\dot{Q}	คือ	ความร้อนที่ป้อนเข้าไปในระบบ (kJ/s)
	\dot{W}	คือ	งานที่ได้จากระบบทำงาน (kJ/s)
	\dot{m}_a	คือ	อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง (kg/s)
	h	คือ	เอนทัลปีของอากาศระบบ (kJ/kg)
	v	คือ	ความเร็วของอากาศ (m/s)

โดยที่ i คือตำแหน่งทางเข้า o คือตำแหน่งทางออกของกระบวนการอบแห้งตามลำดับ

กระบวนการอบแห้งแบบถาดนี้ไม่มีงานกลเกี่ยวข้องกับระบบ ($\dot{W}=0$) และความเร็วของอากาศเข้าและขาออกมีค่าใกล้เคียงกัน สมการที่ 18 จึงแสดงได้ดังนี้

$$\dot{Q} = \sum \dot{m}_{ao} (h_o) - \sum \dot{m}_{ai} (h_i) \quad (19)$$

กำหนดให้ $\dot{m}_{ao} = \dot{m}_{ai} = \dot{m}_a$ เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศมีค่าเท่ากันทุกตำแหน่ง จากสมการที่ 19 สามารถลดรูปได้ดังนี้

$$\dot{Q} = \dot{m}_a (h_o - h_i) \quad (20)$$

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\dot{m}_a = \rho_a \dot{V}_a = \rho_a V_a A \quad (21)$$

เมื่อ \dot{m}_a คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง (kg/s)

ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศแห้ง (kg/m³)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\dot{V}_a คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง (m^3/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของเครื่องอบแห้ง (m^2)

เอนทัลปีของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิขาเข้าและขาออก สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$h = C_{pa}T_{da} + Hh_{sat} \quad (22)$$

เมื่อ	C_{pa}	คือ	ความร้อนจำเพาะของอากาศร้อน ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$)
	T_{da}	คือ	อุณหภูมิของลมร้อน ($^{\circ}\text{C}$)
	H	คือ	ความชื้นจำเพาะ ($\text{kg H}_2\text{O}/\text{kg dry air}$)
	h_{sat}	คือ	เอนทัลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิใดๆ (kJ/kg)

ความชื้นจำเพาะของอากาศสามารถหาได้จากแผนภูมิความชื้นของอากาศหรือคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\%RH = \frac{HP}{(0.622+H)P_{sat@T}} \quad (23)$$

เมื่อ	$\%RH$	คือ	ความชื้นสัมพัทธ์
	H	คือ	ความชื้นจำเพาะ
	P	คือ	ความดันบรรยากาศ
	$P_{sat@T}$	คือ	ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิใดๆ ของอากาศร้อน

สำหรับอัตราส่วนการใช้พลังงาน (Energy Utilization Ratio , EUR) ในกระบวนการอบแห้งสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ (พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง) ต่อพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งเมื่อเทียบกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$EUR = \frac{\dot{m}_a(h_{ai}-h_{ao})}{\dot{m}_a(h_{ai}-h_{a\infty})} \quad (24)$$

$$EUR = \frac{\dot{m}_a(h_{in}-h_{out})}{\dot{m}_{da}C_{pa}(T_{ho}-T_{hi})} \quad (25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy efficiency, η_{en}) ในกระบวนการอบแห้ง สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่อพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้ง สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\eta_{en} = \frac{m_a(h_{ai}-h_{ao})}{m_{ahai}} \times 100 \quad (26)$$

การใช้พลังงานในการอบแห้งอาจประมาณค่าได้จากอัตราการระเหยของน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

การใช้พลังงานในการอบแห้ง = (อัตราการระเหยของน้ำ \times ความร้อนแฝงในการกลายเปลี่ยนไอ) (27)

เมื่อทราบค่าการใช้พลังงานในการอบแห้ง จะสามารถคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานเมื่อเทียบกับพลังงานที่ทำให้อากาศที่อุณหภูมิห้องมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

$$\% \text{พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง} = \frac{\text{พลังงานส่วนที่ใช้ในการอบแห้ง}}{\text{พลังงานส่วนที่ป้อนให้กับเครื่องอบแห้ง}} \times 100 \quad (28)$$

2.9.2 การวิเคราะห์เอกซ์เซอจี [6,17]

เอกซ์เซอจี คือ งานใช้ประโยชน์สูงสุด (maximum useful work) ที่ระบบผลิตได้ในระหว่างกระบวนการ โดยระบบต้องดำเนินกระบวนการแบบผันกลับได้ (irreversibility = 0) จนกระทั่งสถานะของระบบเหมือน (หรืออยู่ในสมดุล) กับสถานะของสิ่งแวดล้อม ซึ่งที่สถานะดังกล่าวเรียกว่า สภาวะตาย (dead state)

เอกซ์เซอจีเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญมากกว่าพลังงานในแง่ของการประเมินความสามารถในการทำงานของระบบ และเอกซ์เซอจินั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับสถานะของระบบเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับสถานะของสิ่งแวดล้อมด้วย

การคำนวณเอกซ์เซอจีจะกำหนดสถานะ ขอบเขตทางเข้าและทางออกของกระบวนการอบแห้ง เพื่อนำไปคำนวณหาเอกซ์เซอจีที่ไหลเข้า (Exergy Inflow) เอกซ์เซอจีที่ไหลออก (Exergy Outflow) และเอกซ์เซอจีที่สูญเสีย (Exergy Loss) โดยพิจารณาให้อยู่ในสภาวะสมดุลและอาศัยสมดุลพลังงานจากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{Exergy} = & (u - u_x) - T_x(s - s_x) + \frac{P_x}{J}(v - v_x) + \frac{V^2}{2gJ} + (z - z_x) \frac{g}{g_c J} \\
 & \text{internal energy} \quad \text{entropy} \quad \text{work} \quad \text{momentum} \quad \text{gravity} \\
 & \text{energy} \\
 & + \sum_c (\mu_c - \mu_x) N_c + E_r A_r F_r (3T^4 - T_x^4 - 4T_x T^3) + \dots
 \end{aligned} \tag{28}$$

chemical radiation emission

โดย สัญลักษณ์ ∞ คือ สภาวะแวดล้อมที่ใช้อ้างอิง

โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเอกซ์เซอียของกระบวนการรอบแหว่งนั้น สามารถลดรูปของสมการลงได้ โดยการตัดเทอมที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยออก ซึ่งในการวิเคราะห์ เอกซ์เซอียจะพิจารณาในเทอมของพลังงานภายใน และในเทอมของ Pv ซึ่งใช้สำหรับระบบที่มีการไหลแบบคงตัว (Steady Flow) และในสมการที่ (28) จะตัดอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงและไม่พิจารณาเทอมของโมเมนตัม ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงความดันในระบบที่เพิ่มเข้ามาก็จะไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากปริมาตรไม่มีการเปลี่ยนแปลง ($V \cong V_\infty$) โดยสมมติฐานว่าอากาศเป็นแก๊สสมบูรณ์ดังนั้นสมการที่ (28) จึงลดรูปเหลือสมการดังนี้

$$\text{Exergy} = m_a C_p \left[(T - T_\infty) - T_\infty \ln \frac{T}{T_\infty} \right] \tag{29}$$

การประยุกต์ใช้สมการที่ (29) เพื่อวิเคราะห์เอกซ์เซอียที่ไหลเข้าและไหลออกจากกระบวนการรอบแหว่งนี้ สามารถหาได้จากอุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าและไหลออกจากเครื่องรอบแหว่ง

เอกซ์เซอียที่สูญเสีย (Exergy Loss) สำหรับกระบวนการรอบแหว่งเอกซ์เซอียที่สูญเสีย คือ เอกซ์เซอียที่ใช้ในการรอบแหว่ง สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Exergy loss} = \text{Exergy inflow} - \text{Exergy outflow} \tag{30}$$

$$\sum \text{Ex}_L = \sum \text{Ex}_i - \sum \text{Ex}_o$$

ประสิทธิภาพเอกซ์เซอีย (Exergy Efficiency, η_{EX}) ประสิทธิภาพเป็นเครื่องมือวัดระดับเอกซ์เซอียที่เหลือจากระบบเทียบกับเอกซ์เซอียที่ป้อนแก่ระบบ ซึ่งแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Exergy Efficiency} = \frac{\text{Exergy inflow} - \text{Exergy loss}}{\text{Exergy inflow}}$$

$$\eta_{EX} = 1 - \frac{\text{Ex}_L}{\text{Ex}_i} \tag{31}$$

เมื่อ	η_{EX}	คือ	ประสิทธิภาพของเครื่องรอบแหว่ง
	Ex_i	คือ	เอกซ์เซอียที่ไหลเข้ามาในเครื่องรอบแหว่ง
	Ex_L	คือ	เอกซ์เซอียที่สูญเสียไปในการรอบแหว่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากผลการศึกษางานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนและการวิเคราะห์พลังงานและเอ็กซ์เซอจี สำหรับการอบแห้งวัสดุบางชนิดที่สภาวะต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลการทดลองของงานวิจัยที่ทำการอบแห้งวัสดุต่างๆ

วัสดุที่ใช้ อบ	อุณหภูมิ ของอากาศ (°C)	ความเร็ว ของอากาศ (m/s)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%RH)	แบบจำลองที่ เหมาะสม	การวิเคราะห์ ข้อมูล	อ้างอิง
Organic apple	40, 50, 60	0.8	-	Midilli et al.		[8]
Red pepper	55, 60, 70	1.5	-	Approximation of diffusion	- EUR - Exergy - Exergy efficiency	[9,16]
Pumpkin	60, 70, 80	1.0, 1.5	-	Logarithmic	- EUR - Exergy - Exergy efficiency	[10,17]
Potato	60, 70, 80	1.0, 1.5	-	Midilli et al.	- EUR - Exergy - Exergy efficiency	[10,18]
Apple	60, 70, 80	1.0, 1.5	-	Midilli. et. al.	- Exergy - Exergy efficiency	[10,19]
Plums	60, 70, 80	1.0, 2.0, 3.0	-	Midilli. et. al.		[11]
Eggplant	30, 40, 50, 60, 70	0.5, 1.0, 2.0	-	Midilli. et. al.		[12]
Fig	55, 65, 75, 85	0.5, 1.0, 2.0, 3.0	-	Two terms		[13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุที่ใช้ อบ	อุณหภูมิ ของอากาศ (°C)	ความเร็ว ของอากาศ (m/s)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%RH)	แบบจำลองที่ เหมาะสม	การวิเคราะห์ ข้อมูล	อ้างอิง
Litchi	50, 60,70	0.5	10, 20, 25	Page		[14]
Nuts	25, 40, 55, 70	0.5, 1.0, 1.5	5, 20	Page		[15]



140421

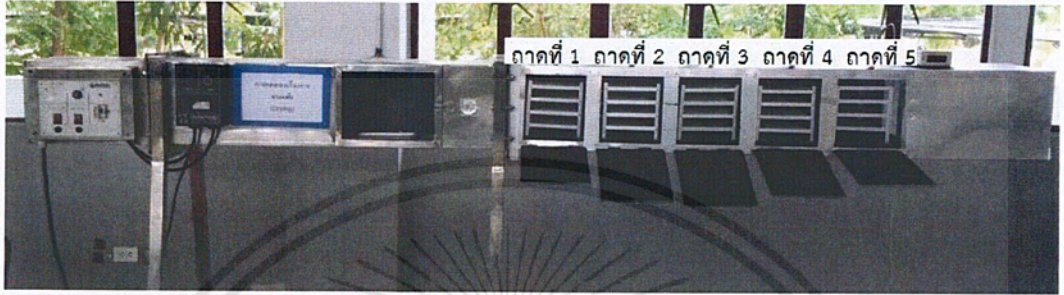
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลองและการคำนวณ

3.1 อุปกรณ์ เครื่องมือ และวัสดุที่ใช้

1. เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dryer)



รูปที่ 3.1 เครื่องอบแห้งแบบถาด

2. เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ (Digital Anemometer)
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก
4. เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง กระเปาะเปียก และเทอร์โมคัปเปิล
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เครื่องสไลด์ผลไม้
7. มันฝรั่ง
8. ตู้อบสุญญากาศ (Vacuum oven)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมสภาวะอากาศที่ใช้ออบแห้ง

1. ปรับปรุงปรับความเร็วของพัดลมดูดอากาศให้ได้ความเร็วของอากาศตามค่าที่ต้องการ โดยวัดความเร็วลมที่ปากทางออกของเครื่องอบแห้ง จากนั้นบันทึกค่าความเร็วของอากาศที่ใช้ในการทดลอง

2. ปรับปรุงปรับขดลวดให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิของอากาศมีค่าตามที่ต้องการ จากนั้นจึงบันทึกค่าอุณหภูมิ

3.2.2 การเตรียมวัสดุ

1. สไลด์วัสดุเป็นแผ่นบางๆ ด้วยเครื่องสไลด์ผลไม้
2. วัดความหนาของวัสดุทุกชิ้นที่ใช้ทำการทดลอง
3. จัดวางแผ่นวัสดุบนถาดตะแกรงให้เต็มถาดโดยกระจายวัสดุที่ต้องการอบให้ทั่ว

ทั้งถาด

3.2.3 ขั้นตอนการอบแห้ง

1. นำถาดที่มีวัสดุที่ต้องการอบแห้งไปชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกน้ำหนักที่เวลาเริ่มต้น
2. นำถาดที่มีวัสดุที่ต้องการอบแห้งใส่เครื่องอบแห้ง โดยวางบนโครงรองรับ จากนั้นเริ่มจับเวลา
3. นำถาดที่มีวัสดุอบแห้งมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 10 นาที บันทึกค่าน้ำหนัก อุณหภูมิอากาศเข้าและอุณหภูมิอากาศออก ทำการทดลองจนกระทั่งน้ำหนักคงที่
4. ระหว่างทำการทดลองวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศในห้องทุกๆ 30 นาที
5. เมื่อน้ำหนักถาดวัสดุคงที่ นำถาดเปล่าไปชั่งพร้อมบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ ส่วนวัสดุนำไปอบในตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 67 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำวัสดุมาชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกค่าที่ได้

3.3 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองจะทำการควบคุมอุณหภูมิของอากาศเข้าและความเร็วของอากาศให้คงที่ตลอดการทดลอง โดยทำการทดลองที่สภาวะต่างๆ ดังนี้

- อุณหภูมิของอากาศเข้า เท่ากับ 50 55 และ 60 องศาเซลเซียส
- ความเร็วของอากาศ เท่ากับ 0.5 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที

3.4 การคำนวณ

3.4.1 การอบแห้ง

1. คำนวณค่าความชื้นในวัสดุที่เวลาต่างๆ จากสมการที่ (8)
2. คำนวณค่าอัตราส่วนความชื้น จากสมการที่ (13)
3. คำนวณค่าอัตราการอบแห้ง จากสมการที่ (14)

3.4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1. นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คำนวณร่วมกับข้อมูลจากการทดลอง เพื่อหาค่าคงที่ของแบบจำลอง
2. คำนวณค่า Root mean square error (RMSE) จากสมการที่ (16)
3. คำนวณค่า Reduce Chi-square (X^2) จากสมการที่ (17)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การวิเคราะห์พลังงาน

1. จำนวนเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงาน จากสมการที่ (27) และ (28)

3.4.4 การวิเคราะห์เอ็กซ์เซอีย

1. จำนวนเอ็กซ์เซอีย จากสมการที่ (29)
2. จำนวนเอ็กซ์เซอียที่สูญเสีย จากสมการที่ (30)
3. จำนวนประสิทธิภาพเอ็กซ์เซอีย จากสมการที่ (31)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

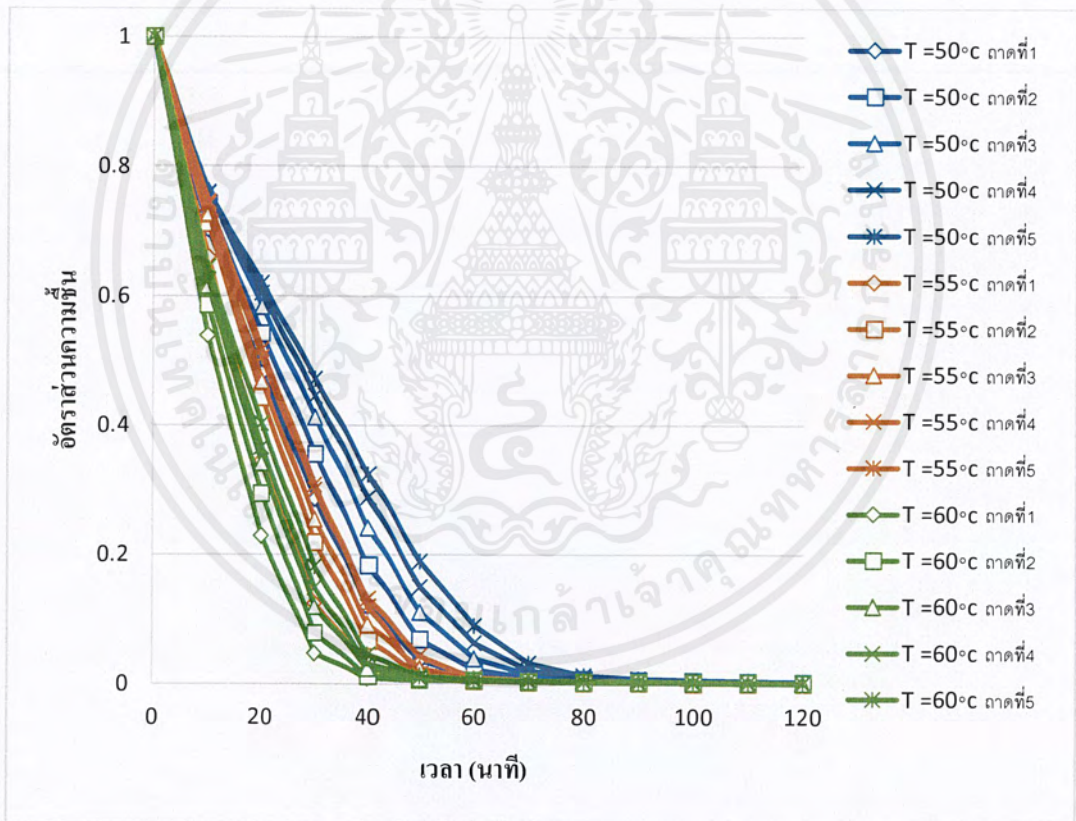
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองทำการอบแห้งมันฝรั่งที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที และอุณหภูมิของอากาศเท่ากับ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส โดยอบแห้งมันฝรั่งจำนวน 5 ถาดพร้อมกัน แต่ละถาดมีจำนวน 4 ชั้น นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณและสร้างกราฟความสัมพันธ์ต่างๆ โดยแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

4.1 ผลของอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง

ผลของอุณหภูมิของอากาศที่มีผลต่อการอบแห้งที่ความเร็วอากาศ เท่ากับ 1.5 เมตร/วินาที สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



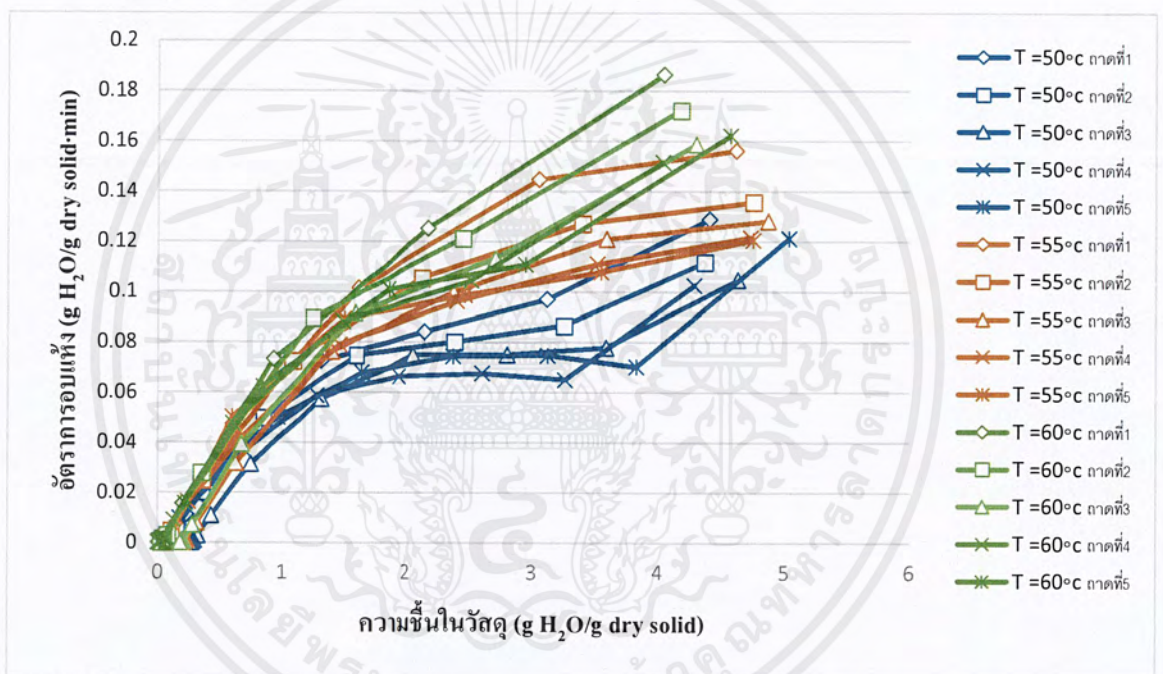
รูปที่ 4.1 กราฟการอบแห้งมันฝรั่ง (Drying curve) ที่ความเร็ว 1.5 เมตร/วินาที

จากรูปที่ 4.1 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา เห็นได้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และที่เวลาเดียวกันการอบแห้งที่

อุณหภูมิสูงจะมีอัตราส่วนความชื้นน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงการถ่ายเทความร้อนดีกว่า ทำให้ระเหยน้ำได้มากกว่า

พิจารณาที่ตำแหน่งของถาด ที่เวลาเดียวกันอัตราส่วนความชื้นของถาดที่ 1 จะมีน้อยกว่าอัตราส่วนความชื้นของถาดอื่นๆ เนื่องจากถาดที่ 1 สัมผัสกับอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าและความชื้นต่ำกว่าถาดตำแหน่งถัดๆ ไป ทำให้ถาดที่ 1 มีค่าการระเหยของน้ำมากกว่า อัตราส่วนความชื้นจึงมีค่าน้อยกว่าถาดตำแหน่งถัดๆ ไป

สำหรับการอบแห้งที่ความเร็วของอากาศ 0.5 และ 1.0 เมตร/วินาที มีแนวโน้มของกราฟเช่นเดียวกับการอบแห้งที่ความเร็ว 1.5 เมตร/วินาที โดยเมื่อความเร็วอากาศลดลงผลของอุณหภูมิของอากาศและตำแหน่งถาดน้อยลง



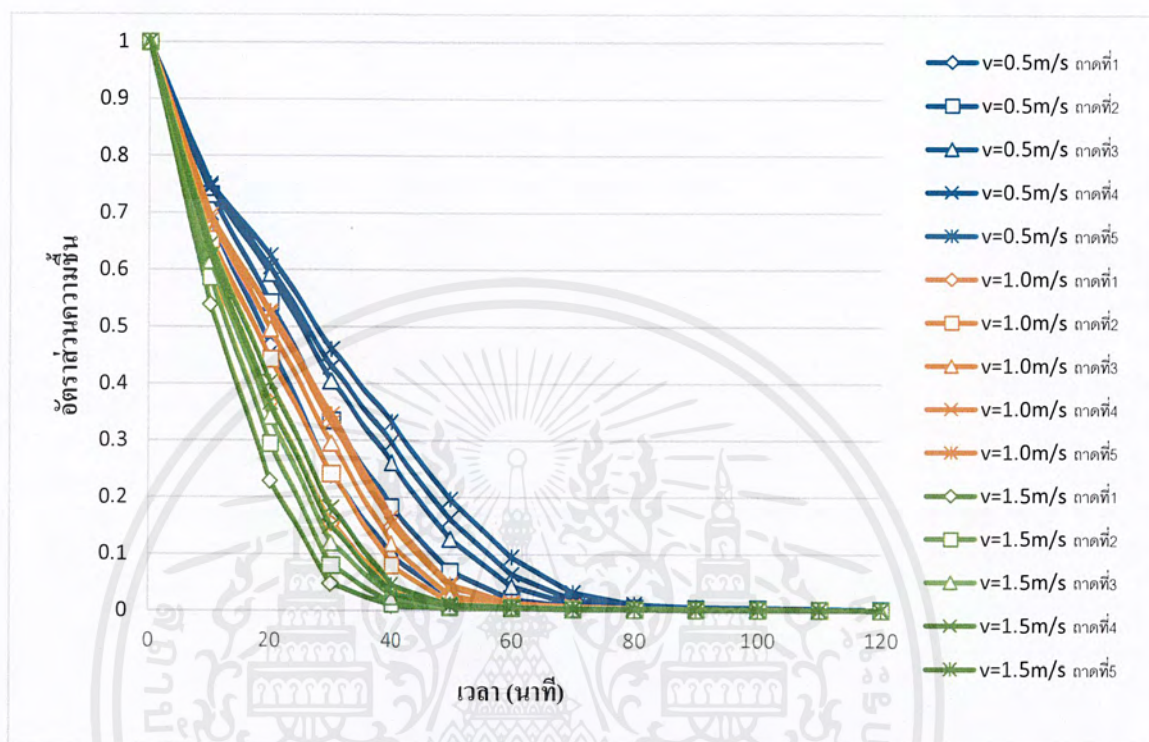
รูปที่ 4.2 กราฟอัตราการอบแห้งมันฝรั่ง (Drying rate curve) ที่ความเร็ว 1.5 เมตร/วินาที

จากรูปที่ 4.2 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในวัสดุ เห็นได้ว่าที่อุณหภูมิสูงมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ และถาดที่ 1 จะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าถาดถัดๆ ไปตามลำดับ

สำหรับอัตราการอบแห้งที่ความเร็วของอากาศ 0.5 และ 1.0 เมตร/วินาที มีอัตราการอบแห้งเช่นเดียวกับการอบแห้งที่ความเร็ว 1.5 เมตร/วินาที โดยที่ความแตกต่างของอัตราการอบแห้งน้อยลงเมื่อความเร็วลดลง

4.2 ผลของความเร็วของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง

ผลของความเร็วของอากาศที่มีผลต่อการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศ เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



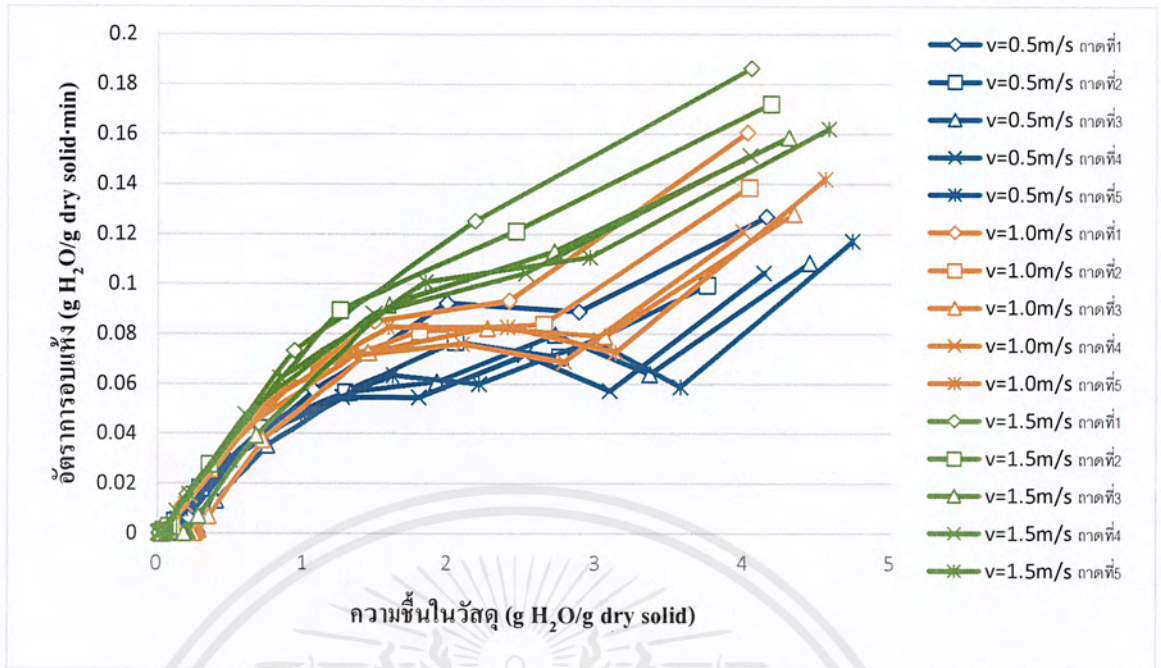
รูปที่ 4.3 กราฟการอบแห้งมันฝรั่ง (Drying curve) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา เห็นได้ว่าการอบแห้งที่ความเร็วสูงใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งที่ความเร็วต่ำ และที่เวลาเดียวกันการอบแห้งที่ความเร็วสูงจะมีอัตราส่วนความชื้นน้อยกว่าการอบแห้งที่ความเร็วต่ำ เนื่องจากความเร็วที่สูงขึ้นจะทำให้การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลเกิดได้ดีกว่า

พิจารณาที่ตำแหน่งของถาด ที่เวลาเดียวกันอัตราความชื้นของถาดที่ 1 จะมีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนความชื้นของถาดอื่นๆ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนของถาดที่ 1 เกิดได้ดีกว่าถาดอื่นๆ การระเหยน้ำจึงเกิดได้มากกว่า

สำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มของกราฟเช่นเดียวกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยเมื่ออุณหภูมิจากอากาศลดลงผลของความเร็วของอากาศและตำแหน่งถาดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟอัตราการอบแห้งมันฝรั่ง (Drying rate curve) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในวัสดุ เห็นได้ว่าที่ความเร็วอากาศสูงมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าที่ความเร็วอากาศต่ำ และถาดที่ 1 มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าถาดถัดๆ ไปตามลำดับ

สำหรับอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 55 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งเช่นเดียวกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยอัตราการอบแห้งจะแตกต่างกันน้อยลงเมื่ออุณหภูมิลดลง

4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

จากข้อมูลที่ได้ทำการทดลองอบแห้งมันฝรั่งที่สภาวะต่างๆ เมื่อนำข้อมูลไปคำนวณหาแบบจำลองที่เหมาะสม โดยใช้แบบจำลองทั้ง 12 แบบ ที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 สรุปได้ว่ามี 2 แบบจำลองที่มีความใกล้เคียงเหมาะสม ได้แก่ แบบจำลองของ Page และ Modified page รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงแบบจำลองที่เหมาะสมและค่าคงที่แบบจำลองของการทดลองที่สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิ ของอากาศ (°C)	ความเร็ว ของอากาศ (m/s)	ตำแหน่ง ภาค	แบบจำลองที่เหมาะสม	ค่าคงที่สำหรับแบบจำลอง
50	0.5	1	Page *	$k = 0.026061, n = 1.477678$
		2	Modified page	$k = 0.023398, n = 1.478558$
		3	Page *	$k = 0.021122, n = 1.504822$
		4	Modified page	$k = 0.019533, n = 1.524254$
		5	Modified page	$k = 0.017800, n = 1.542029$
	1.0	1	Page	$k = 0.009495, n = 1.400736$
		2	Page	$k = 0.006721, n = 1.413569$
		3	Page	$k = 0.005558, n = 1.424624$
		4	Page	$k = 0.004990, n = 1.427192$
		5	Page	$k = 0.005537, n = 1.410153$
	1.5	1	Page *	$k = 0.013053, n = 1.366808$
		2	Page *	$k = 0.009438, n = 1.409926$
		3	Page *	$k = 0.007831, n = 1.422671$
		4	Page *	$k = 0.008091, n = 1.387425$
		5	Page *	$k = 0.008089, n = 1.365304$
55	0.5	1	Page *	$k = 0.029476, n = 1.448220$
		2	Modified page	$k = 0.024163, n = 1.525305$
		3	Modified page	$k = 0.021545, n = 1.548674$
		4	Modified page	$k = 0.020343, n = 1.540391$
		5	Modified page	$k = 0.018798, n = 1.602833$
	1.0	1	Page *	$k = 0.012612, n = 1.497891$
		2	Modified page	$k = 0.009783, n = 1.495759$
		3	Modified page	$k = 0.009536, n = 1.477760$
		4	Modified page	$k = 0.008948, n = 1.462688$
		5	Modified page	$k = 0.007041, n = 1.535037$
1.5	1	Page *	$k = 0.009495, n = 1.400736$	
	2	Page *	$k = 0.006721, n = 1.413569$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ ของอากาศ (°C)	ความเร็ว ของอากาศ (m/s)	ตำแหน่ง ลาด	แบบจำลองที่เหมาะสม	ค่าคงที่สำหรับแบบจำลอง
60		3	Page *	$k = 0.005558, n = 1.424624$
		4	Page *	$k = 0.004990, n = 1.427192$
		5	Page *	$k = 0.005537, n = 1.410153$
	0.5	1	Page *	$k = 0.029476, n = 1.448220$
		2	Page *	$k = 0.024163, n = 1.525305$
		3	Page *	$k = 0.021545, n = 1.548674$
		4	Page *	$k = 0.020343, n = 1.540391$
		5	Modified page	$k = 0.018798, n = 1.602833$
	1.0	1	Page *	$k = 0.025401, n = 1.265594$
		2	Page *	$k = 0.018046, n = 1.307109$
		3	Page *	$k = 0.013275, n = 1.359937$
		4	Page *	$k = 0.012606, n = 1.351311$
		5	Page *	$k = 0.013409, n = 1.326625$
	1.5	1	Page *	$k = 0.025801, n = 1.370163$
		2	Page *	$k = 0.021085, n = 1.383591$
3		Page *	$k = 0.019364, n = 1.371267$	
4		Page *	$k = 0.019340, n = 1.350200$	
5		Page *	$k = 0.017432, n = 1.354709$	

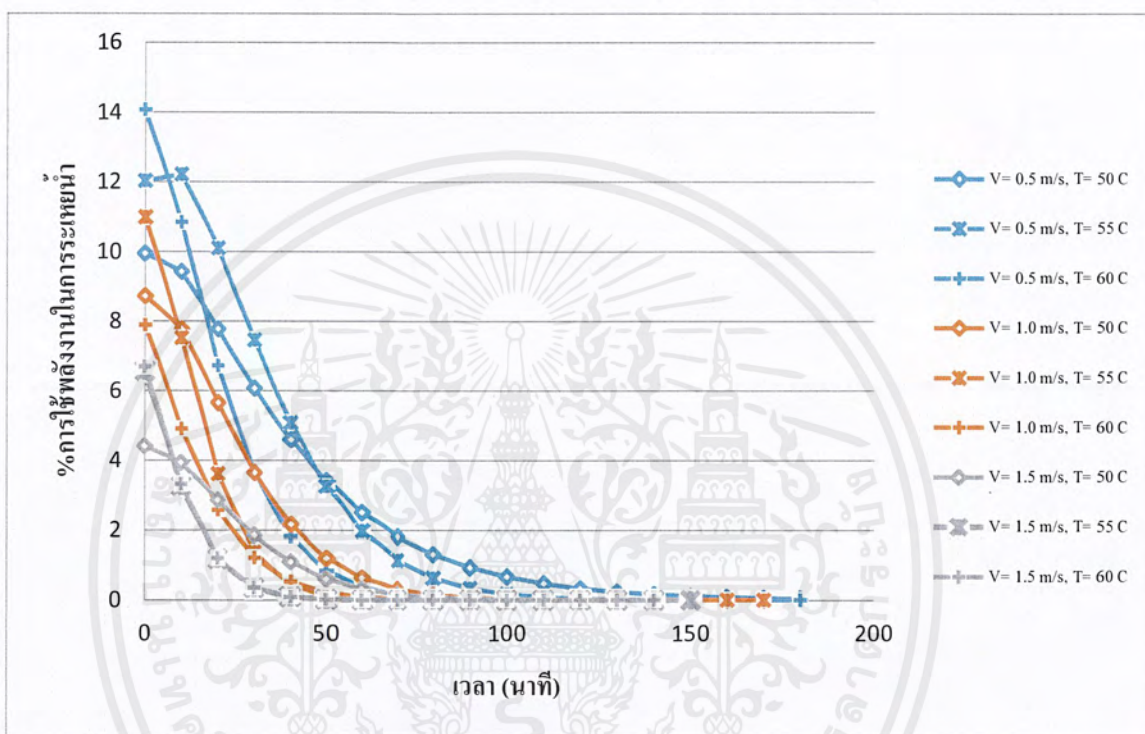
* หมายถึง นอกจากแบบจำลองของ Page แล้ว สามารถใช้แบบจำลองของ Modified page ได้ด้วย

จากงานวิจัยของ Kashaninejad, M. [15] ได้สรุปว่า แบบจำลองของ Page เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งอาหารและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ลอบ ถั่วพิสตาชิโอ เป็นต้น และแบบจำลองของ Modified page เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งของ ถั่วเหลือง ข้าวโพด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ

จากผลการวิเคราะห์พลังงานของการอบแห้งแบบถาดของมันฝรั่ง สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการระเหยน้ำเทียบกับเวลา ดังรูปที่ 4.5 - 4.7 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส และใช้ความเร็ว 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที โดยการอบแบบครั้งละ 1 ถาด 3 ถาด และ 5 ถาด

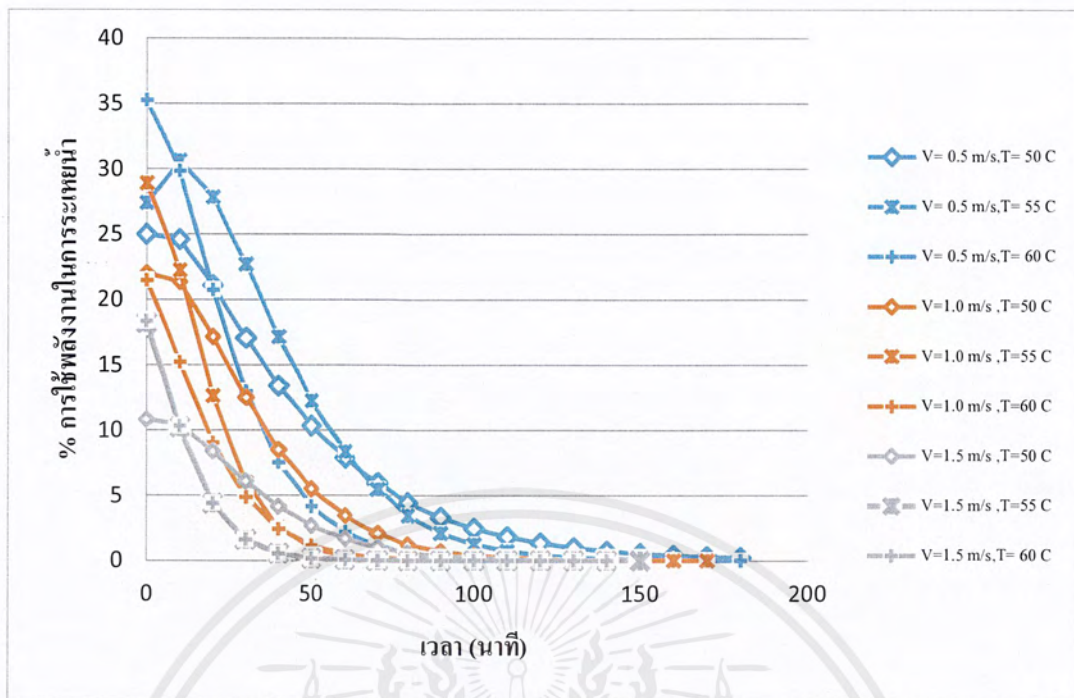


รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกจากมันฝรั่ง โดยการอบแบบ 1 ถาด

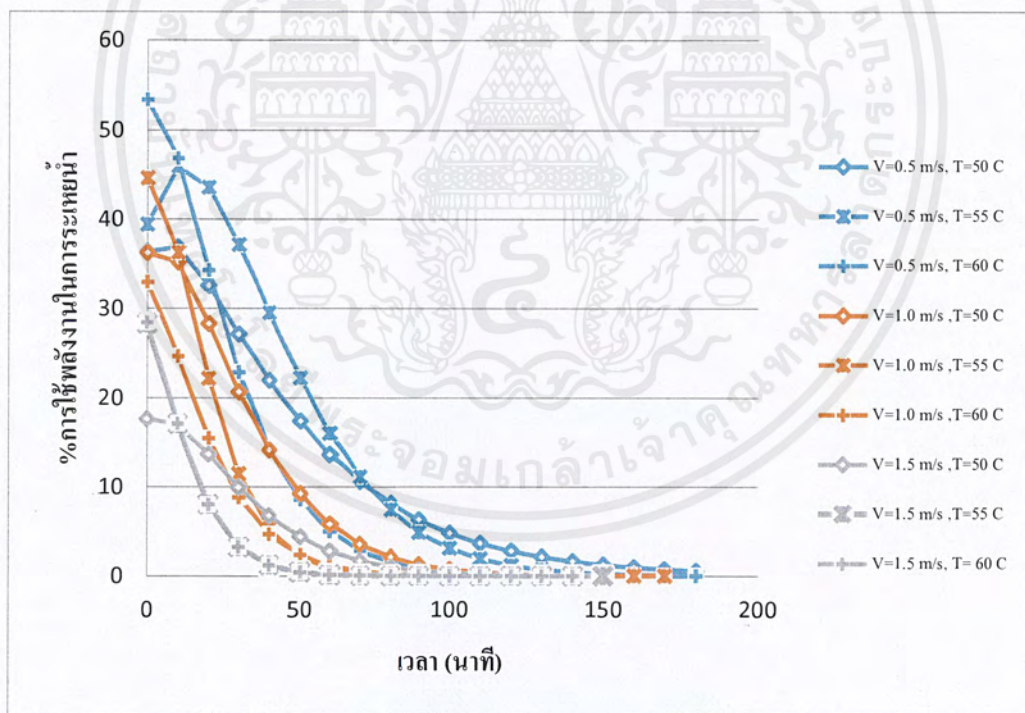
จากรูปที่ 4.5 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์พลังงานของการอบแห้งแบบ 1 ถาด จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานมีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากในช่วงแรกอัตราการอบแห้งมีค่ามาก จึงทำให้ต้องใช้พลังงานมากในการระเหยน้ำออกจากมันฝรั่ง แต่เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการอบแห้งมีค่าต่ำลง จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาผลของความเร็วจะเห็นได้ว่า เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานจะมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเร็วให้สูงขึ้น สัดส่วนของพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อพลังงานที่ฮีตเตอร์ป้อนเข้าสู่ระบบอบแห้งมีค่าน้อยลง เนื่องจากพลังงานที่ฮีตเตอร์ป้อนเข้าสู่ระบบการอบแห้งมีค่าสูงขึ้น ในขนาดเดียวกันสัดส่วนการใช้พลังงานในการอบแห้งมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน แต่เป็นการสูงขึ้นที่น้อยกว่าพลังงานที่ฮีตเตอร์ป้อนเข้าสู่ระบบการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 เเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกจากมันฝรั่งโดยการอบแบบ 3 ถาด



รูปที่ 4.7 เเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกจากมันฝรั่งโดยการอบแบบ 5 ถาด

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ที่พลังงานของการอบแห้งแบบ 3 ถาด และ 5 ถาด จะมีแนวโน้มของกราฟเช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์พลังงานของการอบแห้งแบบ 1 ถาด แต่ เเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการระเหยน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนถาดที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

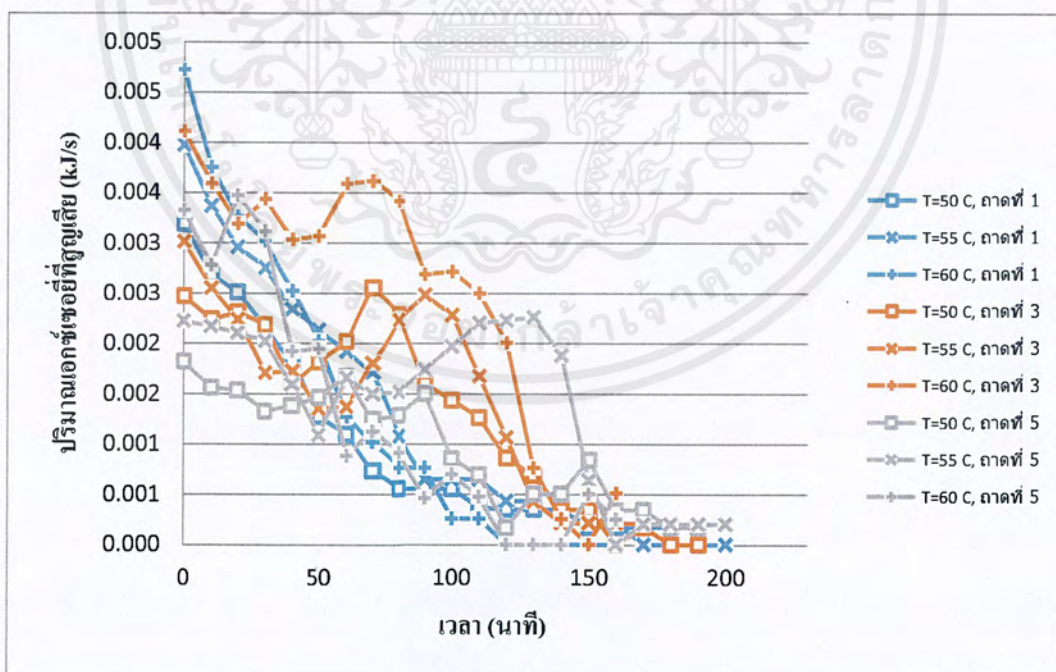
4.5 การวิเคราะห์เอ็กซ์เซอจีของการอบแห้งแบบลาด

จากการวิเคราะห์เอ็กซ์เซอจีของการอบแห้งแบบลาดของมันฝรั่ง ผลการวิเคราะห์เป็นการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วอากาศ 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที โดยสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอ็กซ์เซอจีที่สูญเสียไปในกระบวนการอบแห้งเทียบกับเวลา และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเอ็กซ์เซอจีเทียบกับเวลา

ในการแสดงผลการวิเคราะห์เอ็กซ์เซอจีจะแสดงผลเฉพาะตำแหน่งที่ 1, 3 และ 5 ตามรูปในภาคผนวก ก. รูปที่ ก1 เนื่องจากแนวโน้มของกราฟที่ได้ในแต่ละตำแหน่งถาดมีค่าต่างกันเล็กน้อย และเพื่อทำให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบในการดูความแตกต่างจึงได้เลือก พล็อตกราฟเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิ ตำแหน่งถาด ที่ความเร็ว 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที เนื่องจากความเร็วค่อนข้างที่จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้อย

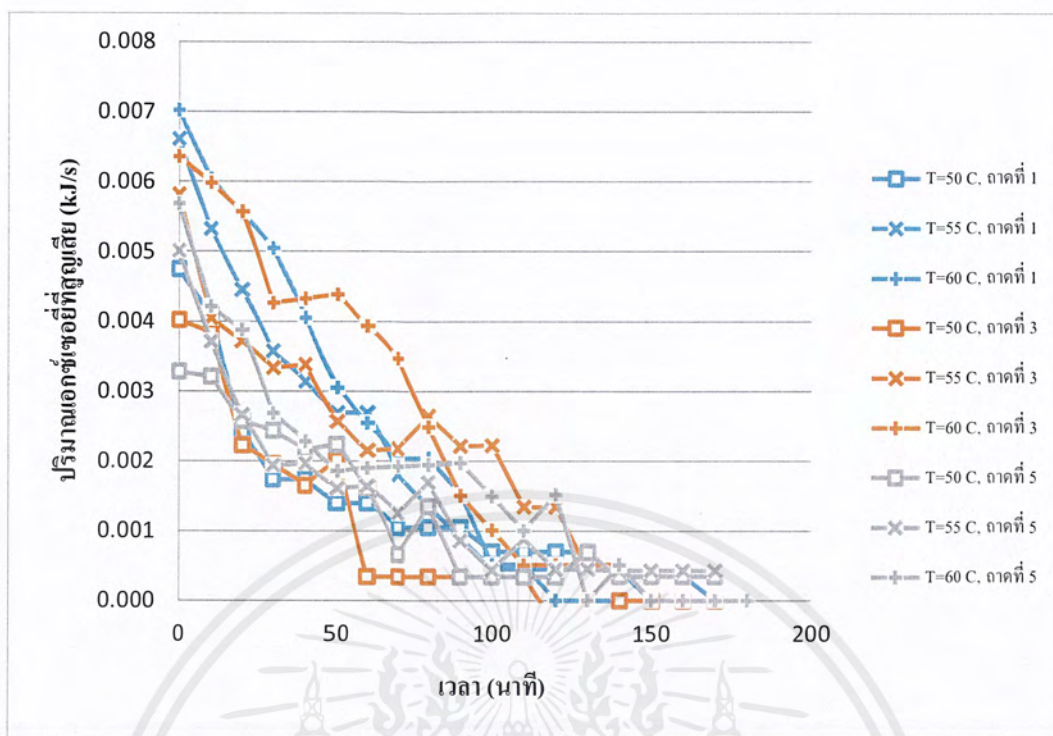
4.5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเอ็กซ์เซอจีที่สูญเสียไปในกระบวนการอบแห้งที่เวลาต่างๆ ของการอบแห้ง (Exergy loss)

ผลของเอ็กซ์เซอจีที่สูญเสียไปในการอบแห้ง โดยการปรับเปลี่ยนสภาวะการอบแห้งที่ความเร็วอากาศและอุณหภูมิต่างๆ ของแต่ละสภาวะแสดงได้ดังรูปที่ 4.8 – 4.10

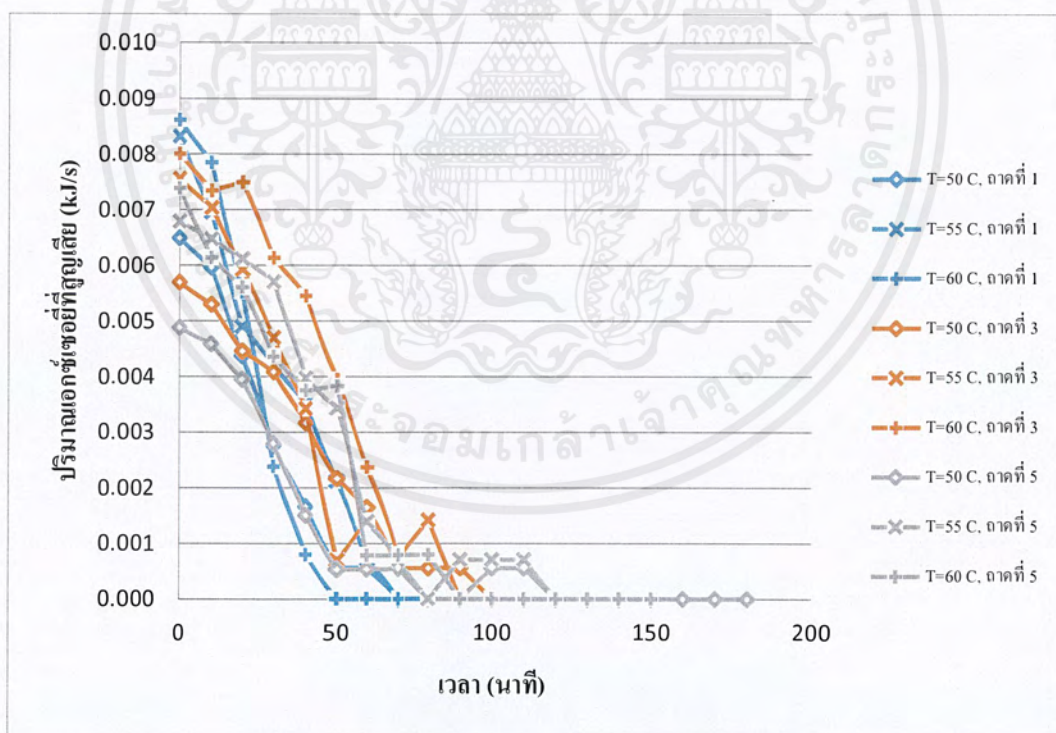


รูปที่ 4.8 เอ็กซ์เซอจีที่สูญเสียไปในกระบวนการอบแห้งที่ความเร็วอากาศ 0.5 เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 เอกซ์เซอียที่สูญเสียไปในกระบวนการอบแห้งที่ความเร็วอากาศ 1.0 เมตร/วินาที



รูปที่ 4.10 เอกซ์เซอียที่สูญเสียไปในกระบวนการอบแห้งที่ความเร็วอากาศ 1.5 เมตร/วินาที

จากรูปที่ 4.8 เป็นกราฟเอกซ์เซอียที่สูญเสียไปในกระบวนการอบแห้ง พบว่า เอกซ์เซอียที่สูญเสียไปในกระบวนการอบแห้งจะมีแนวโน้มลดลงตามเวลา เอกซ์เซอียที่สูญเสียจะสูญเสียให้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งแวดล้อมและมันฝรั่ง ซึ่งเอกซ์เซอียที่สูญเสียจะมีค่ามากในช่วงแรกและลดลงในช่วงท้าย เนื่องจากการอบแห้งในช่วงแรกมันฝรั่งจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมาก และเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ลดลง เมื่อเวลาผ่านไป จึงทำให้เอกซ์เซอียที่สูญเสียในช่วงแรกมีค่ามากและลดลงในช่วงท้ายของการอบแห้ง

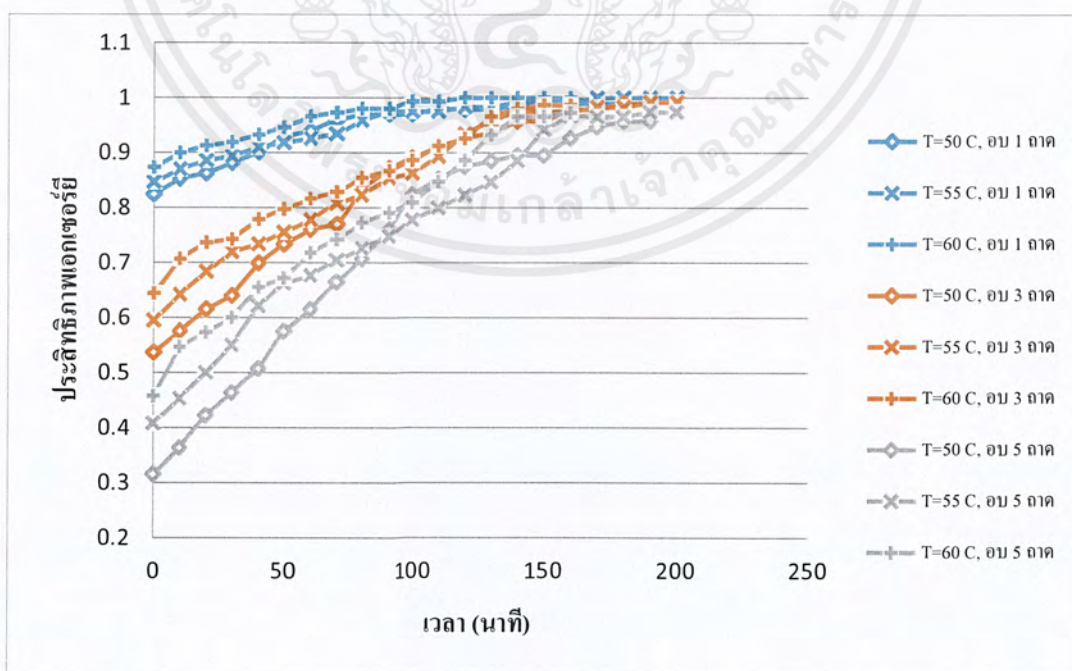
เมื่อพิจารณาที่ผลของอุณหภูมิและความเร็ว หากใช้อุณหภูมิและความเร็วในการอบแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิของมันฝรั่งจะมีค่าสูงขึ้น ปริมาณเอกซ์เซอียที่สูญเสียในการทำให้อุณหภูมิของมันฝรั่งมีค่าสูงขึ้น จึงทำให้เอกซ์เซอียเกิดการสูญเสียมากขึ้น

เมื่อพิจารณาผลของตำแหน่งถาดพบว่า เอกซ์เซอียจะสูญเสียมากในถาดที่หนึ่งและจะสูญเสียน้อยลงในถาดถัดๆ ไป ตามลำดับ

สำหรับการอบแห้งที่ความเร็วอากาศ 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที ดังรูปที่ 4.9-4.10 จะมีแนวโน้มของกราฟเช่นเดียวกับที่ความเร็วอากาศ 0.5 เมตร/วินาที โดยเมื่อความเร็วมากขึ้นผลของเอกซ์เซอียที่สูญเสียไปในกระบวนการอบแห้งมากขึ้น

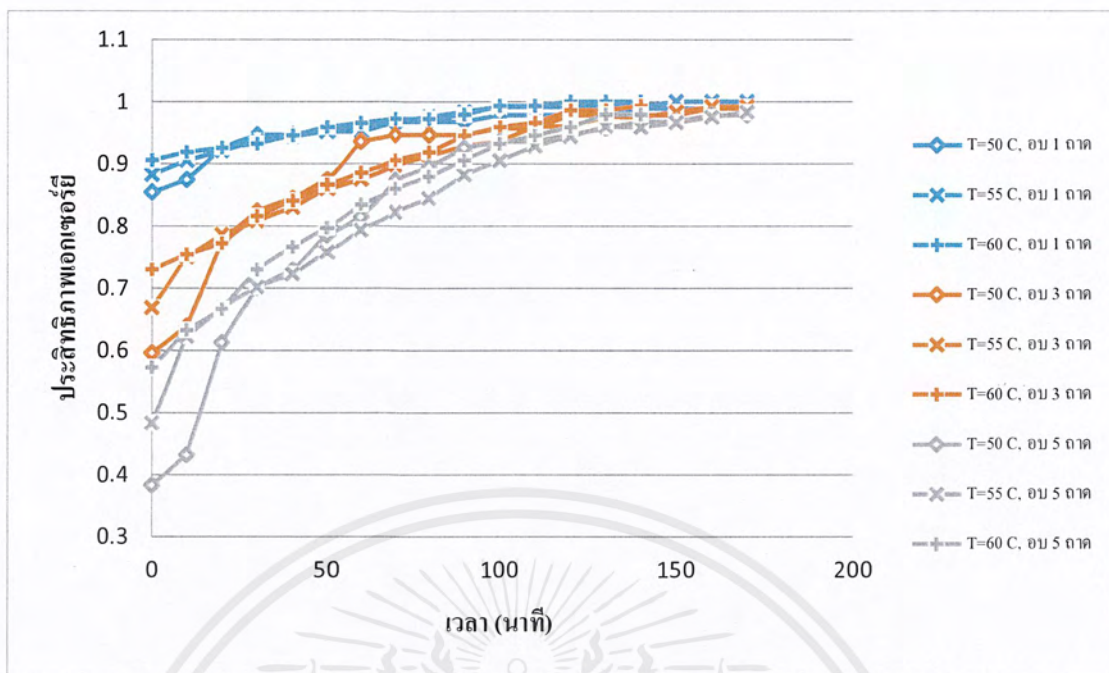
4.5.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพเอกซ์เซอียที่เวลาต่างๆ ของการอบแห้ง

ผลการคำนวณประสิทธิภาพเอกซ์เซอียที่ได้จากการอบแห้งมันฝรั่ง ที่ความเร็วอากาศ 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที โดยทำการอบแห้งครั้งละ 1 ถาด 3 ถาด และ 5 ถาด สามารถแสดงดังรูปที่ 4.11-4.13

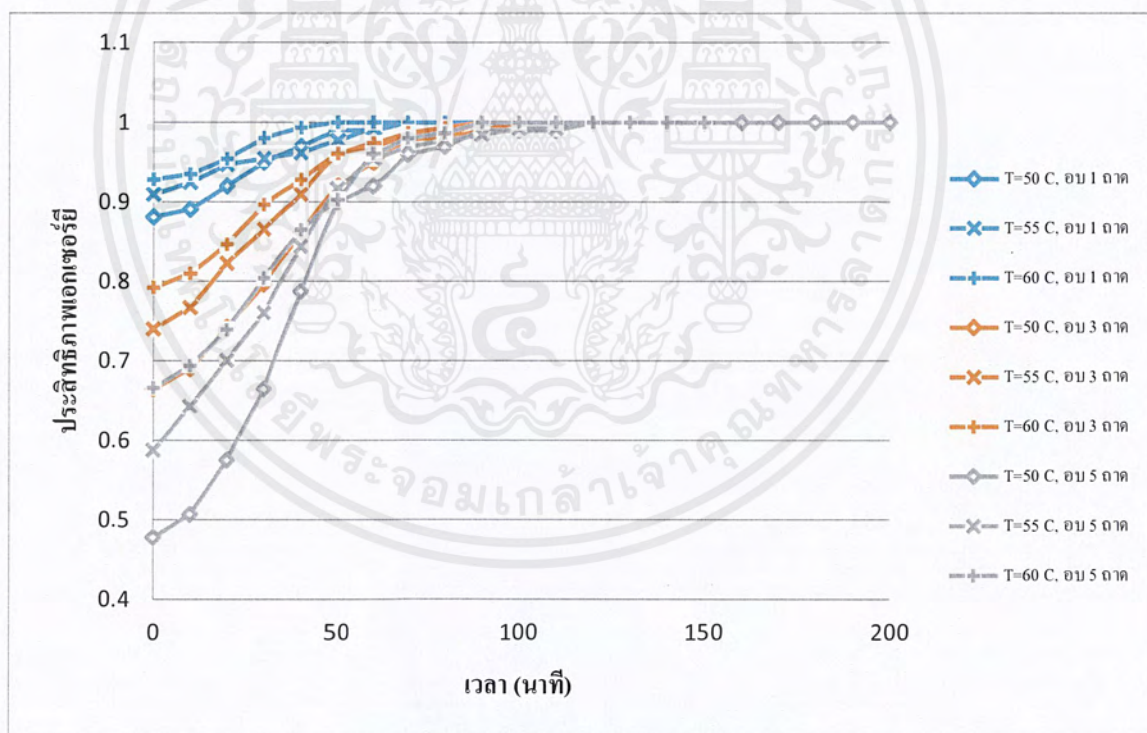


รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพเอกซ์เซอียสำหรับการอบแห้งมันฝรั่งที่ความเร็วอากาศ 0.5 เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพเอกซ์เซอริย์สำหรับการอบแห้งมันฝรั่งที่ความเร็วอากาศ 1.0 เมตร/วินาที



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพเอกซ์เซอริย์สำหรับการอบแห้งมันฝรั่งที่ความเร็วอากาศ 1.5 เมตร/วินาที

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่า กราฟประสิทธิภาพของเอกซ์เซอริย์สำหรับการอบแห้งมีแนวโน้มที่คู่เข้าหนึ่ง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ในช่วงเวลาก่อนอบแห้ง ประสิทธิภาพของเอกซ์เซอริย์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จะมีค่าเท่ากับ 1 หรือกล่าวได้ว่ามีเอกซ์เซอริย์ที่เป็นประโยชน์อยู่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทำการอบแห้ง ประสิทธิภาพเอกซ์เซอซีในระบบจะมีค่าลดลง เนื่องจากได้มีการสูญเสียพลังงานเอกซ์เซอซีในการอบแห้ง และเมื่อเวลาผ่านไปเรื่อยๆ ประสิทธิภาพของเอกซ์เซอซีก็จะมากขึ้นเรื่อยๆ และการสูญเสียเอกซ์เซอซีจะมีค่าน้อยลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพเอกซ์เซอซีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาจากจำนวนถาด หากจำนวนถาดที่ใช้อบแห้งมีมากขึ้น เอกซ์เซอซีที่สูญเสียในกระบวนการอบแห้งมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพเอกซ์เซอซีมีค่าน้อยลง

เมื่ออุณหภูมิและความเร็วเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของเอกซ์เซอซีจะมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วจะเป็นการเพิ่มพลังงานให้กับการอบแห้ง แต่ปริมาณพลังงานที่ใช้จริงนั้นมีค่าเท่าเดิม จึงทำให้มีเอกซ์เซอซีเหลือที่จะนำไปใช้ประโยชน์อีกมากขึ้น

และสำหรับการอบแห้งที่ความเร็วอากาศ 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที ดังรูปที่ 4.12-4.13 จะมีแนวโน้มของกราฟเช่นเดียวกับที่ความเร็วอากาศ 0.5 เมตร/วินาที แต่แตกต่างกันตรงค่าประสิทธิภาพเอกซ์เซอซีจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการอบแห้งมันฝรั่ง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดจำนวน 5 ถาด ที่อุณหภูมิของอากาศร้อน เท่ากับ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส และความเร็วของอากาศร้อน เท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตร/วินาที ผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น อัตราการอบแห้งจะสูงขึ้น การอบแห้งจะใช้เวลาน้อยลง การถ่ายเทความร้อนเกิดได้ดีกว่า
2. เมื่อความเร็วของอากาศสูงขึ้น อัตราการอบแห้งจะสูงขึ้น การอบแห้งจะใช้เวลาน้อยลง การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลเกิดได้ดีกว่า
3. ตำแหน่งของถาดมีผลต่อการอบแห้ง ที่อุณหภูมิและความเร็วใดๆ ถาดที่ 1 มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าถาดถัดๆ ไป

จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งมันฝรั่งที่สภาวะต่างๆ ที่ได้ทำการทดลอง มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม 2 แบบ ได้แก่ แบบจำลองของ Page และ Modified page

จากการศึกษาการวิเคราะห์พลังงานและเอนทัลปีของกระบวนการอบแห้งมันฝรั่งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานความร้อนในการระเหยน้ำออกจากมันฝรั่ง
เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกจากมันฝรั่งจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามเวลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานจะมีค่าลดลง ผลของจำนวนถาดพบว่าเมื่อใช้จำนวนถาดมากขึ้น สัดส่วนการใช้พลังงานในการอบแห้งมีค่าสูงขึ้น

2. การวิเคราะห์เอนทัลปีที่สูญเสียไปในกระบวนการอบแห้ง

เอนทัลปีที่สูญเสียไปในกระบวนการอบแห้งจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วมากขึ้นผลของเอนทัลปีที่สูญเสียไปในกระบวนการอบแห้งมากขึ้น หากใช้อุณหภูมิและความเร็วในการอบแห้งเพิ่มขึ้น เอนทัลปีเกิดการสูญเสียมากขึ้น และเอนทัลปีจะสูญเสียมากในถาดที่หนึ่งและจะสูญเสียน้อยลงในถาดถัดๆ ไป ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเอกซ์เซอีย

ประสิทธิภาพเอกซ์เซอียจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพเอกซ์เซอียที่ใช้ในการอบแห้งจะเพิ่มมากขึ้นตามความเร็วอากาศและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของเอกซ์เซอียก็จะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนถาดในการอบเพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. กรุงเทพฯ : โครงการส่งเสริมการสร้างตำรา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.2540.
- [2] Geankoplis,C.J.**Transport Processes and Separation Process Principles**. 4th ed. New Jersey : Pearson Education.2003.
- [3] McCabe, W.L., Smith, J.C. and Harriott, P. **Unit Operations of Chemical Engineering**. 7thed., Singapore McGraw-Hill.2005.
- [4] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.การปรับความชื้นและการระบายความร้อน. [ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก :
<http://www.ic.kmutnb.ac.th/webpage/subject/handout/Unit>
- [5] นิธิยา รัตนาปนนท์ และ ทีมพี่เลี้ยง พระเจดิมงคล. อัตราการแห้ง. [ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0663/drying-rate>
- [6] Cengel, Y.A., Boles, M.A. 2552. เทอร์โมไดนามิกส์. แปลโดย สมชัย อัครทิวา และ ขวัญจิต วงษ์ชาวี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล.
- [7] Aviara, N.A., Onuoha,L.N., Falola, O.E., and Igbeka, J.C. **Energy and exergy analyses of native cassava starch drying in a tray dryer**. Journal of Energy. 2014(73) : 809-817.
- [8] Sacilik, K. and Elicin, A.K. **The thin layer drying characteristics of organic apple slices**. Journal of Food Engineering. 2006(73) : 281-289.
- [9] Akpinar, E.K., Bicer,Y. and Yildiz, C. **Thin layer drying of red pepper**. Journal of Food Engineering. 2002(59) : 99-104.
- [10] Akpinar, E.K. **Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetable and fruits**. Journal of Food Engineering. 2006(73) : 75-84.
- [11] Menges, H.O. and Ertekin, C. **Thin layer drying model for treated and untreated Standley plums**. Energy Conversion and Management. 2006(47) : 2337-2348.
- [12] Ertekin, C. and Yaldig, O. **Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model**. Journal of Food Engineering. 2004(63) : 349-359
- [13] Babalis, S.J., Papanicolaou, E., Kyriakis, N. and Belessiotis, V.G. **Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (Ficus carica)**. Journal of food Engineering. 2006(75) : 250-214.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [14] Janjai, S., Precoppe, M., Lamlert, N., Mahayothee, B., Bala, B.K., Nagle, M. and Muller, J. **Thin-layer drying of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.)**. Food and Bioproducts Processing. 2011(89): 194-201.
- [15] Kashaninejad, M., Mortagavi, A., Safekordi, A. and Tabil, L.G. **Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts**. Journal of Food Engineering. 2007(78): 98-108.
- [16] Akpınar, E.K. **Energy and exergy analyses of drying of red pepper slices in a convective type dryer**. International Communications in Heat and Mass Transfer. 2004(31): 1165-1176.
- [17] Akpınar, E.K., Midilli, A. and Bicer, Y. **Energy and exergy of potato drying process via cyclone type dryer**. Energy Conversion and Management. 2005(46): 2530-2552.
- [18] Akpınar, E.K., Midilli, A. and Bicer, Y. **The first and second law analyses of thermodynamic of pumpkin drying process**. Journal of Food Engineering. 2006(72): 320-331.
- [19] Akpınar, E.K. **Exergy analysis associated with the heat transfer during heating of slab products**. International Journal of Exergy. 2010(7): 65-75.
- [20] Dincer, I. and Rosen, M.A. **Exergy Energy, Environment and Sustainable Development**. Oxford : Elsevier. 2007.



ภาคผนวก

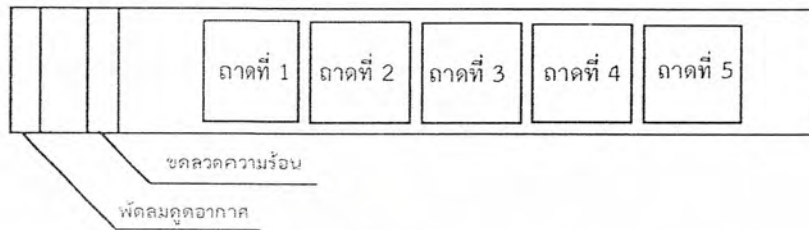
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิและความเร็วอากาศต่างๆ แสดงในตารางที่ ก.1 - ก.18 โดยตำแหน่งถาดที่ใช้ในการอบสามารถอธิบายได้จากรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 แผนผังแสดงตำแหน่งของถาดต่างๆ

ก.1 ตารางแสดงผลการอบแห้งของตำแหน่งถาดต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้ง

จากการอบแห้งที่สภาวะอุณหภูมิและความเร็วต่างๆ สามารถแสดงน้ำหนักที่ลดลงในการอบแห้งได้ดังนี้

ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระเปาะเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
0	605.36	579.90	594.86	567.78	573.96		
10	585.84	563.20	579.03	553.82	559.92	31	28
20	566.81	548.30	565.74	542.61	549.32		
30	548.78	533.92	552.16	531.19	538.04		
40	531.31	519.66	538.75	519.95	527.26	31	28
50	515.98	506.34	525.56	508.34	515.58		
60	503.92	494.75	513.58	497.39	504.71		
70	496.00	485.66	503.29	487.60	494.41	31	28
80	491.68	479.68	495.56	479.24	484.95		
90	489.77	476.43	490.40	473.13	477.08		
100	488.89	474.95	487.45	469.06	470.66	31	29
110	488.56	474.54	486.47	467.69	467.58		
120	488.42	474.34	486.11	467.13	466.19		
130	488.23	474.22	485.92	466.85	465.70	31	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระเปาะเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
140	488.16	474.08	485.77	466.69	465.43		
150	488.10	473.99	485.75	466.61	465.39		
160	488.10	473.99	485.66	466.51	465.23	31	28
170	488.03	473.93	485.60	466.49	465.22		
180	487.95	473.88	485.60	466.39	465.10		
190	487.95	473.81	485.47	466.39	465.10	31	28
200	487.95	473.81	485.47	466.32	465.00		

ตารางที่ ก.2 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชั้นที่ความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระเปาะเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
0	598.94	576.51	594.68	565.75	573.52		
10	577.00	560.40	579.70	552.42	560.26	32	28
20	556.77	545.32	565.93	540.33	548.43		
30	536.84	529.48	551.64	527.95	535.63		
40	520.19	515.51	538.29	516.49	524.40	32	28
50	506.02	502.11	525.33	505.03	512.29		
60	495.51	490.13	512.96	493.76	500.10		
70	489.34	480.70	502.09	483.76	488.71	32	28
80	487.13	475.39	493.90	475.71	478.81		
90	486.57	473.25	489.07	470.29	470.53		
100	486.26	472.47	487.77	467.21	466.06	32	28
110	486.23	472.32	487.32	466.61	465.12		
120	486.10	472.14	487.08	466.32	464.48		
130	485.95	472.03	486.85	465.96	464.13	32	28
140	485.95	471.97	486.75	465.88	464.02		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระเปาะเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
150	485.95	471.97	486.64	465.86	464.00	32	29
160	485.95	471.95	486.64	465.81	463.97		
170	485.95	471.87	486.60	465.66	463.83		
180	485.85	471.84	486.60	465.66	463.83	32	29
190	485.81	471.82	486.48	465.62	463.76		
200	485.80	471.82	486.48	465.62	463.70		
210	485.79	471.80	486.39	465.57	463.70		

ตารางที่ ก.3 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระเปาะเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
0	594.33	572.13	589.88	564.94	567.88	31	28
10	560.26	545.54	562.21	539.20	541.60		
20	536.40	526.66	545.93	525.12	528.43		
30	511.62	506.09	525.61	507.47	511.08	31	28
40	496.26	490.95	510.11	494.02	497.62		
50	488.56	479.68	495.68	480.56	483.40		
60	486.85	474.82	486.68	470.76	472.65		
70	486.35	473.57	483.33	466.28	466.11	31	28
80	486.25	473.25	482.55	464.92	463.95	32	28
90	486.12	473.22	482.43	464.76	463.40		
100	485.95	473.15	482.32	464.65	463.28		
110	485.95	473.02	482.25	464.57	463.14	32	28
120	485.95	472.97	482.19	464.53	462.84		
130	485.88	472.93	482.16	464.42	462.79		
140	485.81	472.89	482.12	464.37	462.79		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระป๋องเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระป๋องแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
150	485.75	472.84	482.07	464.30	462.78	32	28
160	485.72	472.77	482.04	464.30	462.76		
170	485.72	472.77	482.03	464.30	462.74		

ตารางที่ ก.4 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 1.0 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระป๋องเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระป๋องแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
0	583.25	571.86	586.83	567.04	559.00	32	28
10	557.91	550.41	566.74	547.71	539.71		
20	537.50	532.55	549.44	532.43	524.78		
30	517.07	516.26	535.33	519.36	512.20	32	28
40	502.33	502.50	522.12	507.22	500.20		
50	489.85	487.45	506.60	492.77	486.19		
60	484.63	477.78	495.62	481.64	475.81	32	28
70	482.97	471.52	486.89	471.90	466.74		
80	482.41	469.31	482.68	466.02	461.56		
90	482.20	468.71	481.20	463.37	459.61	32	28
100	482.08	468.56	480.85	462.88	459.20		
110	482.04	468.41	480.64	462.50	459.04		
120	481.96	468.41	480.56	462.47	458.84	32	28
130	481.91	468.25	480.39	462.35	458.81		
140	481.81	468.21	480.38	462.29	458.70		
150	481.77	468.15	480.26	462.16	458.57	32	28
160	481.72	468.15	480.22	462.15	458.52		
170	481.70	468.14	480.22	462.14	458.52		
180	481.70	468.14	480.22	462.14	458.52	32	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชั้นที่ความเร็วลม 1.0 เมตร/วินาที อุณหภูมิ

55 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระเปาะเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
0	595.34	581.59	595.10	574.25	577.01		
10	557.54	551.87	565.36	545.92	548.63	31	28
20	532.56	531.31	545.22	528.21	531.59		
30	507.72	510.04	524.13	509.44	513.62		
40	491.62	492.65	506.45	491.55	495.82	31	28
50	484.52	479.28	493.38	477.40	480.38		
60	483.25	473.45	485.34	469.61	472.43		
70	483.04	471.82	482.26	465.66	467.86	31	28
80	482.79	471.38	481.51	464.96	467.04		
90	482.74	471.25	481.38	464.66	466.76		
100	482.68	471.12	481.29	464.52	466.75	31	28
110	482.64	471.09	481.25	464.46	466.70		
120	482.62	471.04	481.13	464.33	466.64		
130	482.59	471.01	481.13	464.31	466.55	31	28
140	482.58	470.95	481.08	464.29	466.52		
150	482.47	470.93	481.07	464.27	466.48		
160	482.47	470.93	481.06	464.24	466.47	32	28
170	482.44	470.91	480.99	464.19	466.45		
180	482.44	470.91	480.96	464.11	466.38	32	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 1.0 เมตร/วินาที อุณหภูมิ

60 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระเปาะเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
0	583.95	572.38	585.74	558.82	557.95		
10	543.02	537.28	553.41	529.64	527.53	32	29
20	519.24	516.09	533.48	513.06	511.98		
30	497.59	495.58	512.70	494.73	494.27		
40	485.66	479.32	494.40	477.55	476.56	32	29
50	482.85	472.77	484.94	467.11	465.23		
60	482.49	472.04	483.23	464.40	462.02		
70	482.33	471.66	482.90	463.90	461.45	32	29
80	482.25	471.45	482.65	463.56	461.08		
90	482.11	471.42	482.47	463.41	461.00		
100	482.09	471.38	482.42	463.38	460.95	32	29
110	482.02	471.34	482.42	463.34	460.91		
120	481.98	471.30	482.33	463.32	460.87		
130	481.97	471.25	482.30	463.24	460.87	32	29
140	481.91	471.22	482.27	463.22	460.76		
150	481.91	471.21	482.23	463.15	460.71	32	29

ตารางที่ ก.7 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ

50 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระเปาะเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
0	600.19	582.11	592.5	576.13	571.45		
10	565.88	553.65	566.23	549.44	544.91	31	28
20	540.07	531.60	546.69	532.52	529.55		
30	517.64	511.19	527.87	514.95	513.19	31	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระเปาะเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
40	498.32	492.15	509.08	497.68	496.90		
50	488.74	479.51	494.68	482.39	482.06		
60	485.80	474.38	486.80	472.82	471.11		
70	485.40	473.00	484.09	468.14	464.70	31	28
80	485.29	472.75	483.38	466.90	462.58		
90	485.06	472.59	483.16	466.60	462.02		
100	484.9	472.45	482.98	466.49	461.82	31	28
110	484.89	472.37	482.95	466.29	461.62		
120	484.87	472.29	482.85	466.26	461.54		
130	484.86	472.20	482.79	466.12	461.52	31	28
140	484.74	472.16	482.76	466.11	461.52		
150	484.74	472.13	482.72	466.08	461.44		
160	484.72	472.09	482.71	466.07	461.39	32	28
170	484.71	472.07	482.56	466.07	461.37		
180	484.65	472.07	482.56	466.01	461.35		
190	484.61	472.07	482.54	465.94	461.32	32	28
200	484.58	472.03	482.54	465.93	461.23		
210	484.58	472.01	482.54	465.92	461.23	32	28

ตารางที่ ๓.8 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชิ้นที่ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระเปาะเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
0	588.40	573.86	583.51	562.25	564.93		
10	551.63	543.54	554.62	536.01	538.60	30	26
20	517.57	515.14	527.36	512.05	515.06		
30	493.70	491.58	504.87	491.28	493.50	30	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระเปาะเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
40	482.80	475.42	487.66	474.23	474.00		
50	481.06	469.86	480.50	465.24	463.05		
60	480.61	468.89	478.73	461.73	462.61		
70	480.55	468.69	478.48	461.29	462.20	30	27
80	480.49	468.61	478.28	461.11	461.94		
90	480.41	468.53	478.25	461.05	461.77		
100	480.40	468.47	478.18	461.05	461.77	30	27
110	480.40	468.47	478.18	460.95	461.77		
120	480.32	468.47	478.03	460.92	461.73		
130	480.28	468.44	478.03	460.92	461.73	30	27
140	480.26	468.44	478.02	460.92	461.71		

ตารางที่ ก.9 ตารางแสดงผลของน้ำหนักที่ลดลงของวัสดุชั้นที่ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระเปาะเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระเปาะแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
0	593.70	574.87	589.47	560.41	567.70		
10	542.85	531.74	548.02	523.73	530.30	31	27
20	508.69	501.38	518.49	498.47	504.78		
30	488.70	478.96	494.59	477.14	481.51		
40	484.46	472.00	484.36	465.62	467.16	31	27
50	484.05	471.33	482.54	463.46	463.57		
60	483.96	471.22	482.41	463.08	463.15		
70	483.73	471.03	482.12	462.94	462.84	31	27
80	483.66	470.96	481.94	462.86	462.81		
90	483.62	470.93	481.92	462.74	462.77		
100	483.57	470.93	481.88	462.73	462.66	31	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	น้ำหนักถาด (กรัม)					อุณหภูมิ กระป๋องเปียก (°C)	อุณหภูมิ กระป๋องแห้ง (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5		
110	483.54	470.93	481.86	462.71	462.55		
120	483.52	470.80	481.83	462.68	462.51		
130	483.51	470.80	481.81	462.66	462.47	31	27
140	483.50	470.72	481.78	462.65	462.44		
150	483.50	470.72	481.78	462.64	462.44		
160	483.50	470.71	481.78	462.64	462.42	31	27

ก.2 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้ง

จากการอบแห้งที่สภาวะอุณหภูมิและความเร็วต่างๆ สามารถแสดงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งในแต่ละตำแหน่งถาดได้ดังนี้

ตารางที่ ก.10 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้งที่สภาวะความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)					อุณหภูมิขาออก ถาดที่ 5 (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5	
0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
10	50.0	48.2	46.5	44.8	43.1	41.5
20	50.0	48.5	46.8	45.3	43.6	42.3
30	50.0	48.6	47.3	45.8	44.4	43.2
40	50.0	48.8	47.5	46.1	44.8	43.8
50	50.0	49.0	47.8	46.8	45.4	44.4
60	50.0	49.3	48.3	47.2	46.3	45.3
70	50.0	49.4	48.7	47.5	46.9	45.8
80	50.0	49.6	49.1	47.6	47.2	46.4
90	50.0	49.7	49.6	48.3	47.7	46.9
100	50.0	49.7	49.6	48.7	48.4	47.5
110	50.0	49.7	49.7	48.9	48.7	48.2
120	50.0	49.8	49.8	49.1	48.9	48.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)					อุณหภูมิขาออก ถาดที่ 5 (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5	
130	50.0	49.8	49.8	49.3	48.9	48.8
140	50.0	49.8	49.8	49.4	49.2	48.9
150	50.0	49.8	49.8	49.6	49.3	49.0
160	50.0	49.9	49.8	49.6	49.5	49.0
170	50.0	49.9	49.8	49.8	49.5	49.3
180	50.0	49.9	49.9	49.8	49.7	49.5
190	50.0	49.9	49.9	49.9	49.7	49.6
200	50.0	49.9	49.9	49.9	49.7	49.6

ตารางที่ ก.11 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้งที่สภาวะความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)					อุณหภูมิขาออก ถาดที่ 5 (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5	
0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0
10	55.0	53.1	51.3	49.6	48.0	46.5
20	55.0	53.4	51.7	50.3	48.7	47.3
30	55.0	53.6	52.1	50.9	49.4	48.1
40	55.0	53.7	52.3	51.4	50.1	48.9
50	55.0	53.9	52.5	51.6	50.9	50.0
60	55.0	54.0	52.6	51.9	51.2	50.6
70	55.0	54.1	52.9	52.2	51.7	50.8
80	55.0	54.2	53.5	52.6	52.0	51.2
90	55.0	54.5	53.9	52.8	52.3	51.5
100	55.0	54.7	54.4	53.2	52.7	51.8
110	55.0	54.7	54.4	53.3	53.2	52.2
120	55.0	54.7	54.5	53.7	53.6	52.5
130	55.0	54.8	54.7	54.2	53.9	52.8
140	55.0	54.8	54.7	54.5	54.2	53.1
150	55.0	54.9	54.8	54.7	54.5	53.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)					อุณหภูมิขาออก ภาคที่ 5 (°C)
	ภาคที่ 1	ภาคที่ 2	ภาคที่ 3	ภาคที่ 4	ภาคที่ 5	
160	55.0	54.9	54.8	54.7	54.6	54.3
170	55.0	54.9	54.8	54.7	54.6	54.6
180	55.0	55.0	54.9	54.8	54.7	54.6
190	55.0	55.0	54.9	54.8	54.7	54.6
200	55.0	55.0	55.0	54.9	54.8	54.7
210	55.0	55.0	55.0	54.9	54.8	54.7

ตารางที่ ก.12 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้งที่สภาวะความเร็วม 0.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)					อุณหภูมิขาออก ภาคที่ 5 (°C)
	ภาคที่ 1	ภาคที่ 2	ภาคที่ 3	ภาคที่ 4	ภาคที่ 5	
0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
10	60.0	58.1	56.2	54.3	52.5	50.7
20	60.0	58.5	57.0	55.4	53.9	52.5
30	60.0	58.7	57.3	55.9	54.7	53.0
40	60.0	58.8	57.5	56.0	55.0	53.5
50	60.0	59.0	57.9	56.6	55.4	54.5
60	60.0	59.2	58.2	56.9	55.7	54.8
70	60.0	59.5	58.7	57.2	56.0	55.6
80	60.0	59.6	58.9	57.4	56.5	56.0
90	60.0	59.7	59.2	57.8	56.9	56.5
100	60.0	59.7	59.1	58.0	57.0	56.8
110	60.0	59.9	59.4	58.3	57.4	57.1
120	60.0	59.9	59.7	58.7	57.9	57.7
130	60.0	60.0	59.7	58.9	58.3	58.3
140	60.0	60.0	59.8	59.5	59.0	59.0
150	60.0	60.0	59.8	59.7	59.5	59.5
160	60.0	60.0	59.8	59.8	59.7	59.5
170	60.0	60.0	60.0	59.8	59.7	59.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้งที่สภาวะความเร็วม 1.0 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)					อุณหภูมิขาออก ภาคที่ 5 (°C)
	ภาคที่ 1	ภาคที่ 2	ภาคที่ 3	ภาคที่ 4	ภาคที่ 5	
0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
10	50.0	48.6	47.2	45.8	44.4	43.0
20	50.0	48.8	47.6	46.3	45.0	43.7
30	50.0	49.3	48.5	47.8	46.9	46.0
40	50.0	49.5	48.9	48.3	47.8	47.0
50	50.0	49.5	49.0	48.5	48.0	47.3
60	50.0	49.6	49.4	48.8	48.6	47.9
70	50.0	49.6	49.5	49.4	48.7	48.2
80	50.0	49.7	49.6	49.5	49.0	48.8
90	50.0	49.7	49.6	49.5	49.4	49.0
100	50.0	49.7	49.6	49.5	49.4	49.3
110	50.0	49.8	49.7	49.6	49.5	49.4
120	50.0	49.8	49.7	49.6	49.5	49.4
130	50.0	49.8	49.7	49.8	49.6	49.5
140	50.0	49.8	49.7	49.8	49.8	49.6
150	50.0	49.9	49.8	49.8	49.8	49.7
160	50.0	49.9	49.8	49.8	49.8	49.7
170	50.0	49.9	49.9	49.9	49.9	49.8
180	50.0	50.0	49.9	49.9	49.9	49.8

ตารางที่ ก.14 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้งที่สภาวะความเร็วม 1.0 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)					อุณหภูมิขาออก ภาคที่ 5 (°C)
	ภาคที่ 1	ภาคที่ 2	ภาคที่ 3	ภาคที่ 4	ภาคที่ 5	
0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0
10	55.0	53.5	52.0	50.5	49.0	47.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20	55.0	53.8	52.7	51.7	50.8	49.8
30	55.0	54.0	53.1	52.2	51.2	50.5
40	55.0	54.2	53.3	52.5	51.5	51.0
50	55.0	54.3	53.6	52.8	51.8	51.3
60	55.0	54.4	53.8	53.2	52.2	51.8
70	55.0	54.4	53.9	53.4	52.7	52.3
80	55.0	54.6	54.2	53.7	53.0	52.7
90	55.0	54.7	54.5	53.9	53.4	53.0
100	55.0	54.8	54.6	54.1	53.7	53.5
110	55.0	54.9	54.7	54.2	53.9	53.8
120	55.0	54.9	54.8	54.5	54.3	54.1
130	55.0	54.9	54.8	54.5	54.5	54.4
140	55.0	54.9	54.8	54.7	54.7	54.6
150	55.0	54.9	54.9	54.7	54.7	54.6
160	55.0	55.0	54.9	54.9	54.8	54.7
170	55.0	55.0	55.0	54.9	54.9	54.8
180	55.0	55.0	55.0	54.9	54.9	54.8

ตารางที่ ก.15 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้งที่สภาวะความเร็วลม 1.0 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)					อุณหภูมิขาออก ภาคที่ 5 (°C)
	ภาคที่ 1	ภาคที่ 2	ภาคที่ 3	ภาคที่ 4	ภาคที่ 5	
0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
10	60.0	58.6	57.2	55.8	54.4	53.0
20	60.0	58.8	57.5	56.2	55.1	54.1
30	60.0	58.9	57.7	56.5	55.6	54.7
40	60.0	59.0	58.1	57.2	56.4	55.8
50	60.0	59.2	58.5	57.6	56.9	56.4
60	60.0	59.4	58.9	58.0	57.3	56.9
70	60.0	59.5	59.1	58.3	57.9	57.5
80	60.0	59.6	59.3	58.6	58.3	57.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)					อุณหภูมิขาออก ถาดที่ 5 (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5	
90	60.0	59.6	59.3	58.8	58.6	58.2
100	60.0	59.7	59.5	59.2	59.0	58.6
110	60.0	59.9	59.6	59.4	59.3	59.0
120	60.0	59.9	59.6	59.5	59.4	59.2
130	60.0	60.0	59.9	59.8	59.7	59.4
140	60.0	60.0	59.9	59.8	59.7	59.7
150	60.0	60.0	60.0	59.9	59.8	59.7

ตารางที่ ก.16 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้งที่สภาวะความเร็วม 1.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)					อุณหภูมิขาออก ถาดที่ 5 (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5	
0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
10	50.0	48.8	47.6	46.4	45.2	44.0
20	50.0	48.9	47.8	46.7	45.5	44.4
30	50.0	49.2	48.2	47.3	46.2	45.3
40	50.0	49.5	48.7	47.9	47.0	46.4
50	50.0	49.7	49.2	48.6	48.1	47.8
60	50.0	49.9	49.6	49.2	49.1	49.0
70	50.0	49.9	49.8	49.5	49.3	49.2
80	50.0	50.0	49.9	49.8	49.7	49.6
90	50.0	50.0	49.9	49.8	49.7	49.7
100	50.0	50.0	50.0	49.9	49.9	49.9
110	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	49.9
120	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	49.9
130	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
140	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
150	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)					อุณหภูมิขาออก ภาคที่ 5 (°C)
	ภาคที่ 1	ภาคที่ 2	ภาคที่ 3	ภาคที่ 4	ภาคที่ 5	
160	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
170	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
180	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
190	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
200	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
210	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0

ตารางที่ ก.17 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้งที่สภาวะความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)					อุณหภูมิขาออก ภาคที่ 5 (°C)
	ภาคที่ 1	ภาคที่ 2	ภาคที่ 3	ภาคที่ 4	ภาคที่ 5	
0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0
10	55.0	53.8	52.6	51.4	50.2	49.0
20	55.0	54.0	52.9	51.8	51.0	49.9
30	55.0	54.3	53.5	52.6	51.8	50.8
40	55.0	54.4	53.9	53.2	52.6	51.7
50	55.0	54.5	54.3	53.8	53.5	52.9
60	55.0	54.7	54.6	54.5	54.4	53.9
70	55.0	54.9	54.8	54.6	54.6	54.4
80	55.0	55.0	54.9	54.8	54.7	54.6
90	55.0	55.0	55.0	54.8	54.7	54.7
100	55.0	55.0	55.0	55.0	54.9	54.8
110	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	54.9
120	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	54.9
130	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0
140	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.18 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้งที่สภาวะความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	อุณหภูมิขาเข้า (°C)					อุณหภูมิขาออก ถาดที่ 5 (°C)
	ถาดที่ 1	ถาดที่ 2	ถาดที่ 3	ถาดที่ 4	ถาดที่ 5	
0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
10	60.0	58.9	57.8	56.7	55.6	54.5
20	60.0	59.0	58.0	57.0	55.9	55.3
30	60.0	59.3	58.6	57.6	56.6	55.8
40	60.0	59.7	59.2	58.4	57.5	56.9
50	60.0	59.9	59.6	58.9	58.4	57.9
60	60.0	60.0	59.9	59.4	59.0	58.5
70	60.0	60.0	59.9	59.6	59.5	59.4
80	60.0	60.0	59.9	59.8	59.8	59.7
90	60.0	60.0	60.0	59.9	59.9	59.8
100	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
110	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
120	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
130	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
140	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
150	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
160	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	50.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 ตัวอย่างการคำนวณค่าความชื้นในวัสดุ, อัตราส่วนความชื้น และอัตราการอบแห้ง

กรณีการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C ด้วยความเร็วลม 1 เมตร/วินาที (อ้างอิงจากข้อมูลตาราง ในภาคผนวก ก. ตารางที่ ก.5)

1. ค่า Moisture content คำนวณได้จากสูตร

$$MC = \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมด} - \text{น้ำหนักถาดเปล่า} - \text{น้ำหนักวัสดุแห้ง}}{\text{น้ำหนักวัสดุแห้ง}} \quad (\text{ข1})$$

ตัวอย่างการคำนวณ ถาดที่ 1 ที่เวลา 10 นาที มีน้ำหนักทั้งหมด 557.54 กรัม น้ำหนักถาดเปล่า 456.01 กรัม และน้ำหนักวัสดุแห้ง 25.42 กรัม

$$MC = \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมด} - \text{น้ำหนักถาดเปล่า} - \text{น้ำหนักวัสดุแห้ง}}{\text{น้ำหนักวัสดุแห้ง}}$$

$$MC = \frac{557.54 - 456.01 - 25.42}{25.42} = 4.4811 \frac{g_{H_2O}}{g_{dry\ solid} \cdot min}$$

2. ค่า Moisture ratio ของวัสดุที่ต้องการอบแห้งคำนวณได้จากสูตร

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (\text{ข2})$$

ตัวอย่างการคำนวณ ถาดที่ 1 ที่เวลา 10 นาที $M = 2.9941$ $M_e = 0.0397$ $M_0 = 4.4811$

$$MR = \frac{2.9941 - 0.0397}{4.4811 - 0.0397} = 0.6652$$

3. ค่าอัตราการอบแห้ง (Drying rate) คำนวณได้จากสูตร

$$\text{Drying rate} = \frac{M_t - M_{t+dt}}{dt} \quad (\text{ข3})$$

ตัวอย่างการคำนวณในถาดที่ 1 ที่เวลา 10 นาที จะมีค่าต่างๆ ดังนี้

$$M_{10} = 2.9941, M_{10+dt} = M_{20} = 2.0114, dt = 10 \text{ min}$$

$$\text{drying rate} = \frac{2.9941 - 2.0114}{10} = 0.0983 \frac{g_{H_2O}}{g_{dry\ solid} \cdot min}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข2. การคำนวณเอกซ์เซอจี (Exergy) เอกซ์เซอจีที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ (Exergy loss) และประสิทธิภาพเอกซ์เซอจี (Exergy efficiency)

ในการอบแห้งด้วยลมร้อนนั้นสามารถแสดงวิธีการคำนวณค่าเอกซ์เซอจี (Exergy) เอกซ์เซอจีที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ (Exergy loss) และประสิทธิภาพเอกซ์เซอจี (Exergy efficiency) ได้ตามสมการดังนี้

1. สมการการคำนวณค่าเอกซ์เซอจี (Exergy)

$$\text{Exergy} = m\bar{C}_p \left[(T - T_\infty) - T_\infty \ln \frac{T}{T_\infty} \right] \quad (\text{ข4})$$

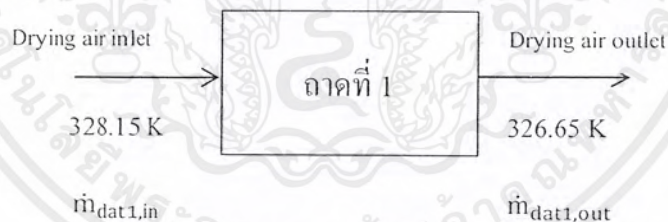
2. สมการการคำนวณค่าเอกซ์เซอจีที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ (Exergy loss)

$$\sum \dot{E}x_L = \sum \dot{E}x_{in} - \sum \dot{E}x_{out} \quad (\text{ข5})$$

3. สมการการคำนวณค่าประสิทธิภาพตามกฎข้อที่สอง (Exergy efficiency)

$$\eta = 1 - \frac{E_{xL}}{E_{x_i}} \quad (\text{ข6})$$

ยกตัวอย่างการคำนวณของตำแหน่งถาดที่ 1 ที่เวลา 10 วินาทีของความเร็วลม 1 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส โดยแสดงอุณหภูมิของอากาศแห้งขาเข้าและขาออกดังรูปที่ ก1.



รูปที่ ข1. แสดงหังการไหลเข้าและไหลออกของอากาศแห้งที่ใช้ใน เรอบแห้ง

1. การหาค่า C_p ของอากาศ

ค่า C_p ของอากาศหาได้จากตารางคุณสมบัติของอากาศ [20] ซึ่งจะได้ว่า

$$\text{ค่า } \bar{C}_p \text{ ที่อุณหภูมิ } 328.15 \text{ K} \text{ จะมีค่าเท่ากับ } 1.00562 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

$$\text{ค่า } \bar{C}_p \text{ ที่อุณหภูมิ } 326.65 \text{ K} \text{ จะมีค่าเท่ากับ } 1.00567 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

2. การหาค่าอัตราการไหลเชิงมวล ($m_{\text{dat1,in}}$)

หาอัตราการไหลเชิงมวลได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกระตือรือร้นในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\rho_{\text{dry air}}$ มีค่าเท่ากับ $1.072 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (จากตารางคุณสมบัติของอากาศ)

$V_{\text{dry air}}$ มีค่าเท่ากับ $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (จากการวัด)

A มีค่าเท่ากับ 572 cm^2 ($22 \times 26 \text{ cm}^2$)

$$\dot{m}_{\text{dry air}} = 1.072 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 572 \text{ cm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{10^4 \text{ cm}^2}$$

$$\dot{m}_{\text{dry air}} = 6.1318 \times 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

3. การคำนวณเอนทาลปี

จากการทดลองนี้ได้ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิเข้า 55 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้องที่ใช้ทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 31 องศาเซลเซียส จากที่คำนวณมาในข้างต้นจะทราบค่าอัตราการไหลเชิงมวล (\dot{m}_{dat1i}) และค่าความจุความร้อนเฉลี่ย C_p มีค่าเท่ากับ $6.1318 \times 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ และ $1.00655 \frac{\text{kJ}}{\text{kg-K}}$ ตามลำดับ

$$\text{Exergy}_{\text{t1i}} = \dot{m}_{\text{dat1i}} \bar{C}_{\text{pda}} \left[(T_{\text{t1i}} - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T_{\text{t1i}}}{T_{\infty}} \right]$$

$$\text{Exergy}_{\text{t1i}} = 6.1318 \times 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1.00562 \frac{\text{kJ}}{\text{kg-K}} \left[(328.15 - 304.00) - 304.00 \ln \frac{328.15}{304.00} \right]$$

$$\text{Exergy}_{\text{t1i}} = 5.6193 \times 10^{-2} \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

และอุณหภูมิขาออกที่ได้จากการทดลองนั้นมีค่าเท่ากับ 326.65 K จึงสามารถคำนวณเอนทาลปีเอนทาลปีออกได้ดังนี้

$$\text{Exergy}_{\text{t1o}} = \dot{m}_{\text{dat1o}} \bar{C}_{\text{pda}} \left[(T_{\text{t1o}} - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T_{\text{t1o}}}{T_{\infty}} \right]$$

$$\text{Exergy}_{\text{t1o}} = 6.1318 \times 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1.00567 \frac{\text{kJ}}{\text{kg-K}} \left[(326.65 - 304.00) - 304.00 \ln \frac{326.65}{304.00} \right]$$

$$\text{Exergy}_{\text{t1o}} = 4.9585 \times 10^{-2} \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

4. การคำนวณเอนทาลปีสูญเสียไป (Exergy loss)

เอนทาลปีสูญเสียไปจะสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\begin{aligned} \sum \dot{E}_{\text{L}} &= \sum \dot{E}_{\text{in}} - \sum \dot{E}_{\text{out}} \\ &= 5.6193 \times 10^{-2} - 4.9585 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การคำนวณประสิทธิภาพตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ (Exergy efficiency)

$$\begin{aligned}\eta &= 1 - \frac{Ex_L}{Ex_i} \\ &= 1 - \frac{6.6082 \times 10^{-3}}{5.6193 \times 10^{-2}} \\ &= 0.8824\end{aligned}$$

ข3. การหาเปอร์เซ็นต์ในการใช้พลังงานระเหยน้ำออกจากวัสดุชิ้น

เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการอบแห้งสามารถแสดงได้ดังสมการดังนี้

$$\% \text{พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง} = \frac{\text{พลังงานส่วนที่ใช้ในการอบแห้ง}}{\text{พลังงานส่วนที่ป้อนให้กับเครื่องอบแห้ง}} \times 100$$

1. การหาพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งสามารถหาได้ดังนี้

พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง = (อัตราการระเหยของน้ำ \times ค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ)

- การหาค่าอัตราการระเหยของน้ำสามารถหาได้จากการนำแบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์ที่เหมาะสมมาหาค่าอนุพันธ์เทียบกับเวลา ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e}$$

$$\frac{dMR}{dt} = \frac{d(M - M_e)}{dt(M_0 - M_e)} = \frac{1}{M_0 - M_e} \times \frac{d(M)}{dt}$$

$$\frac{d(M)}{dt} = \frac{dMR}{dt} \times (M_0 - M_e) \left(\frac{g_{H_2O}}{g_{dry\ solid} \cdot \text{min}} \right)$$

$$\text{อัตราการระเหยน้ำ} \left(\frac{kg_{H_2O}}{sec} \right) = \frac{dMR}{dt} \times (M_0 - M_e) \times \text{น้ำหนักของวัสดุ}(g) \times \frac{1}{1000 \times 60}$$

- การหาค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอของน้ำที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุชิ้นหาได้จากตารางไอน้ำ โดยเป็นค่าที่อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิเข้าเครื่องอบแห้ง

จากการทดลองที่เวลา 10 นาที และจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะได้ค่า k มีค่าเท่ากับ 0.0126 และค่า n มีค่าเท่ากับ 1.4978 โดยสามารถแทนค่าทั้งหมดลงในสมการอนุพันธ์

และสมการที่ใช้ในการหาค่าอนุพันธ์คือสมการ $MR = e^{-kt^n}$ จะได้ค่า $\frac{dMR}{dt}$ มีค่าเท่ากับ 0.0399 โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้มีลิขสิทธิ์ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากสมการอนุพันธ์จะสามารถแทนค่าเพื่อหาอัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุได้ดังนี้

$$\frac{d(M)}{dt} = 0.0399 \frac{Kg_{H_2O}}{Kg_{น้ำหนักแห้ง} \cdot min^{-1}} \times 4.4413 \times 25.42 g \text{ น้ำหนักแห้ง} \times \frac{1 Kg_{น้ำหนักแห้ง}}{1000 g} \times \frac{1 min}{60 sec}$$

$$\frac{d(M)}{dt} = 7.5 \times 10^{-5} Kg_{H_2O}/sec$$

และพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุสามารถหาได้จากการนำ $\frac{d(M)}{dt}$ ไปคูณกับค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\frac{d(M)}{dt} \times \text{Latent Heat} = 7.5 \times 10^{-5} \frac{Kg_{H_2O}}{sec} \times 2398.8 \frac{kJ}{Kg_{H_2O}}$$

$$Q_{ที่ใช้ในการอบแห้ง} = \frac{d(M)}{dt} \times \text{Latent Heat} = 0.1804 \text{ watt}$$

2. การหาค่าพลังงานความร้อนที่ให้กับอากาศขาเข้า

พลังงานความร้อนที่ให้กับอากาศเข้าคือ พลังงานความร้อนที่ทำให้อากาศอุณหภูมิห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิขาเข้าตามที่ต้องการ สามารถคำนวณได้โดยสมการดังนี้

$$\Delta Q = \dot{m} C_p \Delta T$$

- \dot{m} คืออัตราการไหลของอากาศ หาได้จากสมการ $\dot{m} = \rho V A$

$$\text{โดยที่ } \rho \text{ มีค่าเท่ากับ } 0.0608 \frac{kg_{air}}{sec} \quad (\text{หาจากสมการที่ (6)})$$

$$V \text{ มีค่าเท่ากับ } 1 \frac{m}{s} \quad (\text{จากการวัด})$$

$$A \text{ มีค่าเท่ากับ } 572 \text{ cm}^2 \quad (22 \times 26 \text{ cm}^2)$$

$$\dot{m} = 0.0608 \frac{kg}{m^3} \times 1 \frac{m}{s} \times 572 \text{ cm}^2 \times \frac{1 m^2}{10^4 \text{ cm}^2}$$

- ค่า C_p ของอากาศที่ใช้ในการทดลองหาได้ดังนี้

จากสมการที่ (5) สามารถหาค่าความจุความร้อนของอากาศขึ้นได้ดังนี้

$$C_p \text{ (kJ/kg air} \cdot K) = 1.005 + 1.88H$$

จากอุณหภูมิกะเปาะเปียกกระเปาะแห้งจะสามารถหาค่าความชื้นจำเพาะได้ว่ามีค่าเท่ากับ

0.0228

$$C_p = 1.005 + 1.88 \times 0.0228 = 1.0479 \frac{kJ}{kg_{air} \cdot K}$$

- ค่า ΔT คือผลต่างของอุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะยกตัวอย่างการคำนวณที่ความเร็วอากาศ 1.0 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ของอากาศที่ 1 จะสามารถแทนค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อหาค่าพลังงานที่ป้อนให้กับเครื่องอบแห้งได้ดังนี้

$$\Delta Q = \dot{m}C_p\Delta T$$

$$\Delta Q = 0.0608 \frac{\text{kg}_{\text{air}}}{\text{sec}} \times 1.0479 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{air}}\cdot\text{K}} \times (328 - 325)\text{K} = 1.5297 \text{ watt}$$

3. การหาเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานในการอบแห้ง

แทนค่าต่างๆ ที่หาได้จากด้านบนลงในสมการ จะได้ว่า

$$\% \text{พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง} = \frac{\text{พลังงานส่วนที่ใช้}}{\text{พลังงานส่วนที่ป้อนให้กับเครื่องอบแห้ง}} \times 100$$

$$\% \text{พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง} = \frac{0.1804 \text{ watt}}{1.5297 \text{ watt}} \times 100 = 11.79\%$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้