

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
ต.นครปฐม อ.เมือง จ.นครปฐม 20131

การศึกษารอบแห่งชั้นบางพริกไทยด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ศิริรัตน์ ตอพล

๒๕๖๖
3 2 3 0 6 0

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

พฤษภาคม 2556


ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ ศิริรัตน์ ตอพล ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

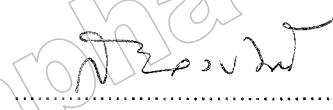
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

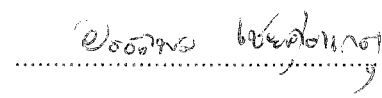

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร.ณรงค์ อึ้งกิมบัวน)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธาน
(ดร.วาทัญญู รอดประพัฒน์)


..... กรรมการ
(ดร.ณรงค์ อึ้งกิมบัวน)


..... กรรมการ
(รศ.ลำภา จงจิตต์)


..... กรรมการ
(ดร.อรรธพล เศษสุภเกตต์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพา


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวานุรักษ์)

วันที่ ๑๖ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๕๖

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.ณรงค์ อึ้งกิม้วน อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์สำเภา จงจิตต์ ดร.วิทย์ภูมิ รอดประพัฒน์ และดร.อรรถพล เศษศุภเกตุ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ พี นื่องนิตติปริญญาโท ภาควิชาฟิสิกส์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี นอกจากนี้ ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ รวมถึงเครื่องอบแห้งลมร้อน ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

ท้ายสุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อสุริยันต์ คุณแม่ประพิศ ตอพล พี่สาว และเพื่อน ๆ ที่ให้การสนับสนุนทั้งกำลังใจ และทุนทรัพย์ในการศึกษามาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูตเวทิตาแด่บุพการี บุรพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

ศิริรัตน์ ตอพล

53910963: สาขาวิชา: ฟิสิกส์; วท.ม. (ฟิสิกส์)

คำสำคัญ: การอบแห้ง/พริกไทย/ลมร้อน/จลนพลศาสตร์การอบแห้ง/แบบจำลองการอบแห้ง/
สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล

ศิริรัตน์ ตอพล: การศึกษาการอบแห้งชั้นบางพริกไทยด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน

(A STUDY ON THIN-LAYER DRYING OF PEPPER USING HOT AIR DRYER)

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ณรงค์ อังกิมบัวน, ปร.ด. 108 หน้า. ปี พ.ศ. 2556.

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการอบแห้งชั้นบางพริกไทยด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความเร็วของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งและสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของพริกไทย โดยมีเงื่อนไขที่ใช้ทำการทดลองได้แก่ อุณหภูมิของลมร้อนเท่ากับ 50 60 และ 70 °C ความเร็วของลมร้อนเท่ากับ 1.0 1.5 และ 2.0 m/s และเพื่อหาแบบจำลองการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมได้แก่ Newton, Page, Henderson and Pabis, Logarithmic, Modified Page, Two term, Two term exponential, Wang and Singh, Approximation and diffusion, and Midilli et al. สำหรับอธิบายข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยใช้เทคนิคการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น และเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของพริกไทยตามกฎการแพร่ความชื้นข้อที่สองของฟิกส์ และสุดท้ายเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลกับความชื้นของพริกไทย

จากผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วของลมร้อนที่ใช้อบแห้งทำให้อัตราการอบแห้งพริกไทยมีค่าสูงขึ้น โดยที่การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนมีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการอบแห้งมากกว่าการเพิ่มความเร็วของลมร้อน และจากการวิเคราะห์แบบจำลองการอบแห้งที่เหมาะสมจำนวน 10 แบบจำลอง โดยแบบจำลองที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดต้องเป็นแบบจำลองที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงและมีค่าโคสแคว ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองต่ำ จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองพบว่าแบบจำลอง Midilli et al. เป็นแบบจำลองที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดสำหรับการอบแห้งชั้นบางพริกไทยด้วยลมร้อน สุดท้ายจากผลการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิและความเร็วของลมร้อนมากขึ้น โดยสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของพริกไทยมีความสัมพันธ์กับความชื้นของพริกไทยในรูปแบบการกำลังสอง

53910963: MAJOR: PHYSICS; M.Sc. (PHYSICS)

KEYWORDS: DRYING/PEPPER/HOT AIR/DRYING KINETICS/

DRYING MODEL/EFFECTIVE DIFFUSIVITY

SIRIRAT TORPOL: A STUDY ON THIN-LAYER DRYING OF PEPPER USING HOT AIR DRYER. ADVISORY COMMITTEE: NARONG UENKIMBUAN, Ph.D. 108 P. 2013.

This research was studied the thin-layer drying of pepper using hot air dryer. The objective of research was focused on the effect of drying temperatures and air velocities on the drying kinetic and effective diffusivity of pepper. The experimental conditions were conducted on the drying temperatures of 50 60 and 70 °C and the air velocities of 1.0 1.5 and 2.0 m/s. From the experimental data, thin-layer drying models such as Newton, Page, Henderson and Pabis, Logarithmic, Modified Page, Two term, Two term exponential, Wang and Singh, Approximation and diffusion, and Midilli et al. were estimated by nonlinear regression techniques. After that, the effective diffusivity of pepper was calculated by the Fick's second law of diffusion in terms of drying temperatures and air velocity. Finally, the effective diffusivity of pepper was fitted as a function of moisture content of pepper.

The results showed that the drying rates of pepper increased with the increasing drying temperature and air velocity. The study revealed that the increasing drying temperature had a greater influence on the decreasing moisture content of pepper than these of the increasing air velocity. The experimental data obtained were fitted to several drying models and their goodness-of-fit evaluated in terms of the higher values of the coefficient of determination (R^2), the lower values of the reduce chi-square (χ^2), root mean square error (RMSE), and mean relative deviation modulus (%P). Midilli et al. model provided the best description of the experimental thin-layer drying of pepper using hot air. The effective diffusivity of pepper increased with the increasing drying temperature and air velocity. By modeling, the result suggested that the effective diffusivity related with the moisture content of pepper in term of the quadratic function.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
สถานที่ทำการวิจัย.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
พริกไทย.....	3
การอบแห้ง.....	3
วิธีการอบแห้ง.....	4
การจำแนกวิธีการอบแห้ง.....	6
เครื่องอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากแหล่งอื่น.....	7
กลไกของการอบแห้งวัสดุ.....	8
ความชื้นสมดุล.....	9
อัตราการอบแห้ง.....	9
ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้ง.....	11
ลักษณะการเกาะตัวของน้ำบนวัสดุ.....	12
ความชื้นในวัสดุ.....	13
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบาง.....	14

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
สัมประสิทธิ์การแพร่ความขึ้นประสิทธิผล.....	14
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	22
วัตถุประสงค์.....	22
เครื่องมือและอุปกรณ์.....	23
วิธีดำเนินการวิจัย.....	24
4 ผลการวิจัย.....	30
จลนพลศาสตร์การอบแห้งพริกไทยด้วยลมร้อน.....	30
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งชั้นบางพริกไทย.....	35
สัมประสิทธิ์การแพร่ความขึ้นประสิทธิผลของพริกไทย.....	57
5 อภิปรายและสรุปผล.....	61
อภิปรายผล.....	61
สรุปผลผลการทดลอง.....	62
ข้อเสนอแนะ.....	63
บรรณานุกรม.....	64
ภาคผนวก.....	67
ภาคผนวก ก.....	68
ภาคผนวก ข.....	78
ภาคผนวก ค.....	97
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	108

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งชั้นบาง.....	29
4-1 ผลทางสถิติที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบางพริกไทย ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	36
4-2 ผลทางสถิติที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบางพริกไทย ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	37
4-3 ผลทางสถิติที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบางพริกไทย ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	37
4-4 ผลทางสถิติที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบางพริกไทย ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	38
4-5 ผลทางสถิติที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบางพริกไทย ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	38
4-6 ผลทางสถิติที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบางพริกไทย ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	39
4-7 ผลทางสถิติที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบางพริกไทย ที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	39
4-8 ผลทางสถิติที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบางพริกไทย ที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	40
4-9 ผลทางสถิติที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบางพริกไทย ที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	40
4-10 แสดงค่าทางสถิติของแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด สำหรับใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลง ความชื้นพริกไทยที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที.....	41
4-11 ค่าคงที่ของสมการสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของพริกไทย.....	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-1 ข้อมูลการทดลองอบแห้งพริกไทยด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	69
ก-2 ข้อมูลการทดลองอบแห้งพริกไทยด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	70
ก-3 ข้อมูลการทดลองอบแห้งพริกไทยด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	71
ก-4 ข้อมูลการทดลองอบแห้งพริกไทยด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	72
ก-5 ข้อมูลการทดลองอบแห้งพริกไทยด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	73
ก-6 ข้อมูลการทดลองอบแห้งพริกไทยด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	74
ก-7 ข้อมูลการทดลองอบแห้งพริกไทยด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	75
ก-8 ข้อมูลการทดลองอบแห้งพริกไทยด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	76
ก-9 ข้อมูลการทดลองอบแห้งพริกไทยด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	77
ข-1 อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้งชั้นบางพริกไทยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	79
ข-2 อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้งชั้นบางพริกไทยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	81
ข-3 อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้งชั้นบางพริกไทยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-4 อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้งชั้นบางพริกไทยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	85
ข-5 อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้งชั้นบางพริกไทยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	87
ข-6 อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้งชั้นบางพริกไทยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	89
ข-7 อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้งชั้นบางพริกไทยที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	91
ข-8 อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้งชั้นบางพริกไทยที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	93
ข-9 อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้งชั้นบางพริกไทยที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	95
ค-1 ข้อมูลทางสถิติของที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้ง Newton ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50-60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที.....	98
ค-2 ข้อมูลทางสถิติของที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้ง Page ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที.....	99
ค-3 ข้อมูลทางสถิติของที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้ง Henderson and Pabis ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที.....	100
ค-4 ข้อมูลทางสถิติของที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้ง Logarithmic ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที.....	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค-5	ข้อมูลทางสถิติของที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้ง Modified Page ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที.....	102
ค-6	ข้อมูลทางสถิติของที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้ง Two term ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที.....	103
ค-7	ข้อมูลทางสถิติของที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้ง Two term exponential ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที.....	104
ค-8	ข้อมูลทางสถิติของที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้ง Wang and Singh ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที.....	105
ค-9	ข้อมูลทางสถิติของที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้ง Approximation and Diffusion ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที.....	106
ค-10	ข้อมูลทางสถิติของที่ได้จากแบบจำลองการอบแห้ง Midilli et al. ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที.....	107

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 แสดงแผนภูมิของน้ำประเภทต่าง ๆ ในวัตถุขึ้น.....	12
3-1 พริกไทยสด.....	22
3-2 เครื่องอบแห้งลมร้อนระดับห้องปฏิบัติการ.....	23
3-3 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล.....	23
3-4 ตู้อบไฟฟ้า.....	24
3-5 ถ้วยโลหะสำหรับหาความชื้น.....	24
4-1 ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อความชื้นพริกไทย ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	32
4-2 ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อความชื้นพริกไทย ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	33
4-3 ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อความชื้นพริกไทย ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	33
4-4 ผลของความเร็วมที่มีต่อความชื้นพริกไทย ที่ความเร็วม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส.....	34
4-5 ผลของความเร็วมที่มีต่อความชื้นพริกไทย ที่ความเร็วม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส.....	34
4-6 ผลของความเร็วมที่มีต่อความชื้นพริกไทย ที่ความเร็วม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส.....	35
4-7 เปรียบเทียบความชื้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้งของ Newton สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	42
4-8 เปรียบเทียบความชื้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้งของ Page สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	43

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-9 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Henderson and Pabis สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	43
4-10 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Logarithmic สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	44
4-11 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Modified Page สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	44
4-12 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Two term สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	45
4-13 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Two term exponential สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	45
4-14 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Wang and Singh สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	46
4-15 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Approximation and diffusion สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	46
4-16 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Midilli et al. สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที.....	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-17 เปรียบเทียบความชื้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Newton สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	47
4-18 เปรียบเทียบความชื้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Page สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	48
4-19 เปรียบเทียบความชื้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Henderson and Pabis สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	48
4-20 เปรียบเทียบความชื้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Logarithmic สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	49
4-21 เปรียบเทียบความชื้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Modified Page สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	49
4-22 เปรียบเทียบความชื้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Two term สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	50
4-23 เปรียบเทียบความชื้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Two term exponential สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	50
4-24 เปรียบเทียบความชื้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Wang and Singh สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-25 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Approximation and diffusion สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	51
4-26 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Midilli et al. สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	52
4-27 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Newton สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	52
4-28 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Page สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	53
4-29 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Henderson and Rabis สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	53
4-30 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Logarithmic สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	54
4-31 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Modified Page สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	54
4-32 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Two term สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-33 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Two term exponential สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	55
4-34 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Wang and Singh สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	56
4-35 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Approximation and diffusion สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	56
4-36 เปรียบเทียบความขึ้นพริกไทยที่ได้จากการทดลองและจากแบบจำลองการอบแห้ง ของ Midilli et al. สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	57
4-37 สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของพริกไทยที่อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที.....	58
4-38 สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของพริกไทยที่อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที.....	59
4-39 สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของพริกไทยที่อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที.....	59