รายงานผลการวิจัย
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เรื่อง แนวทางการอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่เหมาะสม
STRATEGIES FOR DRYING ONION

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัยจากสำนักงบประมาณประจำปี 2541
จำนวน 84,200 บาท

หัวหน้าโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์มารีนา มะหนิ

ผู้ร่วมวิจัย อภิญญา เอกพงษ์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงบประมาณ ประจำปี 2541 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อคณะกรรมการวิจัยทุกท่าน ที่ได้พิจารณาให้ทุนวิจัย และสนับสนุนโครงการนี้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ประกอบ วิโรจนกูฏ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณอนุธิดา ล้อมสุขา ที่ให้ความสะดวกในงานธุรการและประสานงานในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสงค์ สิริพุทไธวรรณ หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์ในการจัดพิมพ์และโรเนียวทั้งหมด

ขอขอบพระคุณ คุณอรุณ มะหนิ ที่ช่วยวิเคราะห์ข้อมูลและเป็นกำลังใจในการทำวิจัยจนเสร็จสิ้นโครงการ

แนวทางการอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่เหมาะสม
STRATEGIES FOR DRYING ONION

ผศ. มารีนา มะหนิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

อภิญญา เอกพงษ์
อาจารย์
โครงการจัดตั้งภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาแนวทางการอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่เหมาะสม โดยทำการทดลองอบแห้งในตู้อบแห้งลมร้อนแบบถาดอยู่กับที่ ทำการทดลองอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่สภาวะต่างๆ เพื่อหาแนวโน้มของการอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่เป็นไปได้จริงในทางปฏิบัติ โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาคือคุณภาพของหอมหัวใหญ่ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ จากการทดลองพบว่าสภาวะที่อบแห้งควรมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของอากาศจำเพาะ 40.50 กิโลกรัมอากาศแห้ง/ชั่วโมง-กิโลกรัมหอมหัวใหญ่แห้ง อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ

คำสำคัญ (keywords) : การอบแห้งหอมหัวใหญ่ / ความสิ้นเปลืองพลังงาน / คุณภาพการอบแห้ง / แนวทางการอบแห้ง

Abstract

The purpose of this research was to study the drying strategies of onion in drying cabinet. To obtained the optimum conditions for drying , results obtained from experiment are considered. Criteria of the study are qualities, drying time and specific energy consumption. From experiments it was found that the optimum drying conditions were drying air temperature 50 °C and specific air flow rate of 40.50 kg dry air /h– kg dry onion. Ambient air temperature and relative humidity were 30 °C and 70 % respectively.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
รายการตารางประกอบ	ช
รายการรูปประกอบ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การสำรวจเอกสาร	3
2.1 แหล่งปลูก	3
2.2 พันธ์	3
2.3 การอบแห้ง	5
บทที่ 3 ทฤษฎีการอบแห้ง	8
3.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา	8
3.2 อัตราการอบแห้งคงที่	8
3.3 อัตราการอบแห้งลดลง	10
3.4 ความชื้นสมดุล	14
3.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์	15
บทที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	16
4.1 รายละเอียดของเครื่องอบแห้ง	16
4.2 อุปกรณ์และข้อมูลที่ต้องการ	17
4.3 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล	18
4.4 การสังเกตและตรวจสอบคุณภาพของหอมหัวใหญ่หลังอบแห้ง	19

	หน้า
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์	22
5.1 ผลการทดลองอบแห้งของหอมหัวใหญ่ในตู้อบแห้ง	22
5.1.1 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง	23
5.1.2 คุณภาพของผลิตภัณฑ์	25
5.1.3 เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	25
5.1.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้ง	25
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	39
6.1 สรุปผล	39
6.2 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลองการอบแห้ง	42
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การแพร่	51

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงค่าอัตราส่วนความชื้นซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนเทอม $m \times n$ ที่เวลา $t = 0$	13
5.1	ผลการทดลองอบแห้งหอมหัวใหญ่ในเครื่องอบแห้งชนิดถาดอยู่กับที่	24
ก. 1	รายละเอียดข้อมูลการทดลองอบแห้งหอมหัวใหญ่ ครั้งที่ 1-4	42
ข. 1	รายละเอียดข้อมูลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การแพร่ของหอมหัวใหญ่ครั้งที่ 1-7	51
ข. 2	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิต่าง ๆ	59

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
4.1	เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่	18
4.2	หอมหัวใหญ่ก่อนการอบแห้ง	21
4.3	หอมหัวใหญ่หลังการอบแห้ง	21
4.4	R.H.S. color chart	22
5.1	ความชื้นของหอมหัวใหญ่ภายในตู้อบแห้งที่ตำแหน่งต่างๆ [การทดลองที่ 1 อุณหภูมิ 50 °C อัตราการไหลของอากาศ 40.50 kg dry air/h-kg dry onion]	27
5.2	ความชื้นของหอมหัวใหญ่ภายในตู้อบแห้งที่ตำแหน่งต่างๆ [การทดลองที่ 2 อุณหภูมิ 55 °C อัตราการไหลของอากาศ 43.60 kg dry air/h-kg dry onion]	28
5.3	ความชื้นของหอมหัวใหญ่ภายในตู้อบแห้งที่ตำแหน่งต่างๆ [การทดลองที่ 3 อุณหภูมิ 60 °C อัตราการไหลของอากาศ 45.72 kg dry air/h-kg dry onion]	29
5.4	ความชื้นของหอมหัวใหญ่ภายในตู้อบแห้งที่ตำแหน่งต่างๆ [การทดลองที่ 4 อุณหภูมิ 65 °C อัตราการไหลของอากาศ 46.35 kg dry air/h-kg dry onion]	30
5.5	ความชื้นของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง [การทดลองที่ 1 อุณหภูมิ 50 °C อัตราการไหลของอากาศ 40.50 kg dry air/h-kg dry onion]	31
5.6	ความชื้นของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง [การทดลองที่ 2 อุณหภูมิ 55 °C อัตราการไหลของอากาศ 43.60 kg dry air/h-kg dry onion]	31
5.7	ความชื้นของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง [การทดลองที่ 3 อุณหภูมิ 60 °C อัตราการไหลของอากาศ 45.72 kg dry air/h-kg dry onion]	32

หน้า

5.8 ความชื้นของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง 32
[การทดลองที่ 4 อุณหภูมิ 65 °C อัตราการไหลของอากาศ
46.35 kg dry air/h-kg dry onion]
5.9 อัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง 33
[การทดลองที่ 1 อุณหภูมิ 50 °C อัตราการไหลของอากาศ
40.50 kg dry air/h-kg dry onion]
5.10 อัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง 33
[การทดลองที่ 2 อุณหภูมิ 55 °C อัตราการไหลของอากาศ
43.60 kg dry air/h-kg dry onion]
5.11 อัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง 34
[การทดลองที่ 3 อุณหภูมิ 60 °C อัตราการไหลของอากาศ
45.72 kg dry air/h-kg dry onion]
5.12 อัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง 34
[การทดลองที่ 4 อุณหภูมิ 65 °C อัตราการไหลของอากาศ
46.35 kg dry air/h-kg dry onion]
5.13 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของค่าอัตราส่วนความชื้น 35
กับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการหาสัมประสิทธิ์การแพร่
ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 45 °C
5.14 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของค่าอัตราส่วนความชื้น 35
กับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการหาสัมประสิทธิ์การแพร่
ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 50 °C
5.15 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของค่าอัตราส่วนความชื้น 36
กับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการหาสัมประสิทธิ์การแพร่
ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 55 °C
5.16 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของค่าอัตราส่วนความชื้น 36
กับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการหาสัมประสิทธิ์การแพร่
ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 60 °C

หน้า

5.17 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของค่าอัตราส่วนความชื้น กับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการหาสัมประสิทธิ์การแพร่ ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 65 °C 37

5.18 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของค่าอัตราส่วนความชื้น กับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการหาสัมประสิทธิ์การแพร่ ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 70 °C 37

5.19 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของค่าอัตราส่วน กับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการหาสัมประสิทธิ์การแพร่ ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 75 °C 38

5.20 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากผลการทดลอง ที่ความเร็วลม 1.3 m/s และจากสมการแบบจำลองสัมประสิทธิ์การแพร่ ความชื้นของหอมหัวใหญ่ 38

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาของงานวิจัย

นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การผลิตผักแห้งโดยการตากแดดก็ยังเป็นที่นิยมอยู่แม้แต่ในประเทศที่พัฒนาแล้ว ทั้งนี้เนื่องจากการตากแดดเป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และอาจทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามวิธีการตากแดดมีข้อจำกัดเช่น อาจไม่สามารถทำได้หากสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวย หรือผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจไม่สะอาดพอ การใช้เทคโนโลยีการอบแห้งสามารถช่วยแก้ปัญหาที่กล่าวมานี้ได้ ทำให้มีการแปรรูปผักสดให้อยู่ในรูปผักแห้งมากขึ้น

ผักอบแห้งเป็นวิธีการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรที่เน่าเสียง่าย ไม่สามารถเก็บไว้ได้นานให้มีมูลค่าเพิ่ม ผักที่นิยมนำมาผลิตเป็นผักอบแห้ง เช่นผักกาดหงส์ ผักกะหล่ำปลี ผักกาดแม้ว และหอมหัวใหญ่ เป็นต้น การทำการอบแห้งหอมหัวใหญ่เป็นที่นิยมเพราะในอุตสาหกรรมภัตตาคารจะใช้หัวหอมบดแห้งขนาด 0.5 – 1 เซนติเมตร และหัวหอมหั่นแห้งขนาด 1.5 – 2.0 เซนติเมตร โดยมีปริมาณการใช้ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกว่าทันที่ที่หลังจากการเติมน้ำ หัวหอมจะคืนสภาพให้ขนาดรูปร่างเนื้อสัมผัส กลิ่นรสที่ใกล้เคียงกับที่ให้หัวหอมสด ซึ่งนอกจากจะใช้กับอาหารพวกแฮมเบอร์เกอร์แล้วยังสามารถดัดแปลงนำไปใช้ทำอย่างอื่นได้อีก

ปกติหอมหัวใหญ่จะเป็นผักที่มีปริมาณการผลิตมากเกินความต้อนการ ทำให้มีราคาตกต่ำเกษตรกรต้องปล่อยทิ้งไว้ให้เน่าเสีย ก่อให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ ดังนั้นเพื่อเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรและสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจ จึงได้มีการแปรรูปหอมหัวใหญ่ให้เป็นผักแห้งที่สามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศได้ โดยทำการอบแห้งหอมหัวใหญ่ ซึ่งจะสะดวกต่อการเก็บรักษาและนำมาใช้ได้ทันทีโดยการเติมน้ำ

การอบแห้งที่เกษตรกรทั่วไปปฏิบัติกันอยู่คืออาศัยพลังงานจากธรรมชาติ เช่นพลังงานแสงอาทิตย์ แต่วิธีการอบแห้งผักที่นิยมใช้กันมากในวงการอุตสาหกรรม คือการใช้ลมร้อน โดยที่ตัวเครื่องอบอาจมีลักษณะเป็นตู้หรืออุโมงค์หรือสายพานอบแห้ง

การอบแห้งแบบตู้ (Cabinet Drying) เป็นการอบแห้งผักผลไม้ด้วยลมร้อนภายในตู้มีถาดบรรจุผลิตภัณฑ์อยู่ วิธีการอบแห้งแบบนี้ใช้กันโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้กันโดยทั่วไปสำหรับการอบแห้งผักประมาณ 60 - 70 °C

พลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบตู้ แบ่งเป็นพลังงานกลที่ใช้ในการหมุนพัดลมและพลังงานความร้อนที่ให้กับอากาศที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งการใช้ปริมาณพลังงานทั้งสองส่วนนี้ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งให้ได้ความชื้นตามต้องการ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของหอมหัวใหญ่ภายหลังการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาการอบแห้งของหัวหอมใหญ่ โดยทำการทดลองอบแห้งในตู้อบแห้ง (cabinet dryer)

2. ศึกษาหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสมของหัวหอมใหญ่ โดยพิจารณาจากคุณภาพของลิตภัณฑ์ที่ได้ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. จำกัดการทดลองกับเครื่องอบแห้งแบบ cabinet dryer ขนาดเล็กโดยมีความจุครั้งละ 0.5 กิโลกรัม

2. ในการสรุปหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสมนั้นอาศัยผลที่ได้จากการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

มีข้อมูลพื้นฐานเป็นแนวทางการศึกษาการอบแห้งหัวหอมใหญ่ต่อไป เป็นผลให้เกิดการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ และลดค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง ทำให้สามารถแข่งขันในตลาดต่างประเทศได้ดีขึ้น

บทที่ 2
งานสำรวจเอกสาร

หอมหัวใหญ่มีชื่อ ทางวิทยาศาสตร์ว่า Allium cepa, Linn. อยู่ในตระกูล Amaryllidaceae ทางภาคเหนือเรียกว่า " หอมฝรั่ง " หัวหอมใหญ่เป็นพืชล้มลุกมีหัวใต้ดินมีลักษณะเป็นกลีบซ้อนกันแน่นสามารถลอกออกเป็นกลีบๆ (สมพร 2522)

2.1 แหล่งปลูก

หอมหัวใหญ่เป็นพืชที่สำคัญในทางเศรษฐกิจมาก ปลูกกันแพร่หลาย เพราะประชาชนประเทศต่างๆใช้หอมหัวใหญ่ประกอบอาหารประจำวัน และนอกจากนี้หอมหัวใหญ่ยังสามารถเก็บไว้ได้ จึงทำให้มีการปลูกหอมหัวใหญ่เพื่อเป็นการค้ากันอย่างมากมาย

ประเทศไทยมีแหล่งปลูกหอมหัวใหญ่ที่สำคัญภายในประเทศคือ เชียงใหม่ ลำพูน เชียงรายและแม่ฮ่องสอน นอกจากนี้ยังมีจังหวัดต่างๆอีกมากมาย เช่นจังหวัดนครศรีธรรมราช นครปฐม ราชบุรี ชลบุรี ขอนแก่น แต่จังหวัดเหล่านี้ปลูกได้ไม่มากเหมือนทางภาคเหนือ

ในปี พ.ศ. 2533 / 2534 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกหอมหัวใหญ่ถึง 16,241 ไร่ มีปริมาณผลผลิตทั้งหมด 49,903 ตัน แต่เกษตรกรขายผลผลิตได้เพียง 3.58 บาท / กก. แนวโน้มของราคาลดจากปีก่อนๆ (สถิติการเกษตรของประเทศไทยฉบับย่อ ปีเพาะปลูก 2533 / 2534 ศูนย์สถิติการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงการเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2543 เอกสารสถิติการเกษตร เลขที่ 431)

แหล่งปลูกที่สำคัญในต่างประเทศ โดยเฉพาะอเมริกามีแหล่งปลูกมากที่สุด คือ Texas, California และ New York

2.2 พันธุ์

ควรเลือกพันธุ์หอมหัวใหญ่ให้เหมาะสมกับสภาพของฤดู และแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ เพราะแสงสว่างจากดวงอาทิตย์มีอิทธิพลต่อการลงหัวของหอมหัวใหญ่มาก เช่นหอมบางพันธุ์จะลงหัวเมื่อแสงสว่างจากดวงอาทิตย์วันหนึ่งประมาณ 11 – 13 ชั่วโมง ซึ่งเรียกว่า กลางวันยาว (Long Day Varieties) แต่บางพันธุ์จะลงหัวเมื่อแสงสว่างกลางวันเพียง 9 – 11 ชั่วโมง ซึ่งเรียกว่า กลางวันสั้น (Short Day Varieties) เพราะฉะนั้นพันธุ์หอมหัวใหญ่จึงแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามความต้องการของแสงคือ

ก. พันธุ์ " กลางวันสั้น " (Short Day Varieties) อายุประมาณ 165 – 180 วัน มีหลายพันธุ์ เช่น Granex, White Granex, Yellow Bermuda, Texas Grano และ Excel เป็นต้น พันธุ์ที่นิยมปลูกในบ้านเรา สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้ (2528) ได้รวบรวมไว้ดังนี้คือ

- พันธุ์กราเน็กซ์ มีทั้งพันธุ์ เยลโลกราเน็กซ์ และไวท์ กราเน็กซ์ มีทั้งหัวกลมและหัวแบน เป็นหัวเร็ว และแก่สม่ำเสมอ หัวใหญ่และคอเล็กสามารถเก็บไว้ได้นาน

- พันธุ์เอกเซล เป็นพันธุ์ที่ได้มาจากพันธุ์เยลโลเบอร์มูดาเป็นหัวเร็วขนาดปานกลาง แต่ไม่ค่อยสม่ำเสมอนัก ขนาดของหัวปานกลาง กล่าวกันว่า พันธุ์นี้เก็บไว้ได้นานกว่าพันธุ์แรก

- พันธุ์เรดโกลบ พันธุ์นี้ให้หัวไม่เร็วนัก และแก่ไม่สม่ำเสมอ แต่เก็บได้นานกว่า 2 พันธุ์แรก ขนาดของหัวเล็ก

พันธุ์อื่น ๆ เช่น เรดคลีโอล , เรดแดนารี , เออร์ลี่เทกซัส กราโน และเยลโลเบอร์มูดา เหล่านี้ให้ผลพอใช้ได้ ขนาดของหัวปานกลาง และช้ากว่า 3 พันธุ์แรก

ข. พันธุ์หอม " กลางวันยาว " (Long Day Varieties) อายุประมาณ 85 – 125 วัน มีหลายพันธุ์ เช่น Yellow Globe Denver, Bonanza, Ebenezer, Brown Beauty , Southport Yellow Globe และ Australian Brown เป็นต้น

Nichols (1990) ได้แบ่งชนิดของหัวหอมออกเป็นดังนี้

1. Pickle onion เป็นหัวหอมแห้งขนาดเล็กได้จากการหัวหอมมาปลูกในระยะชิด เพื่อให้ได้หัวหอมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1-3 ซม. สามารถนำไปใช้ได้เช่นเดียวกับหัวหอมธรรมดา และสามารถเก็บได้ เพื่อนำไปแปรรูปโดยปอกเปลือกออกแล้วแช่น้ำเกลือ

2. Silver skin onion ปลูกในลักษณะเช่นเดียวกับชนิดแรก คือปลูกในระยะชิดเพื่อให้ได้หัวหอมที่มีขนาดเล็ก เหมาะต่อการบรรจุหีบห่อ แต่ที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือหัวหอมที่ผลิตต้องเป็นสีขาว จึงใช้พันธุ์ White skin จะเก็บเกี่ยวหัวหอมออกจากแปลง โดยที่ใบยังเขียวอยู่คือไม่ปล่อยหัวหอมเจริญจนแก่เกินไป จากนั้นจะนำไปตัดรากและส่วนยอดออก และลอกเปลือกนอกออกด้วยเครื่องจักรกล

3. Salad – onion เป็นพันธุ์เดียวกับ Silver skin onion แต่จะเก็บเกี่ยวก่อนที่จะสร้างหัว การปลูกจะปลูกโดยใช้ระยะชิดมากให้มีระยะห่างระหว่างแถว 30 ซม. เพื่อง่ายต่อการเก็บเกี่ยว และสะดวกในการกำจัดวัชพืช

การเก็บเกี่ยวจะทำเมื่อสังเกตเห็นว่า ลำต้นมีการยุบตัว ใบเริ่มแห้ง สำหรับหอมที่ต้องการเก็บไว้ยาวนานจำเป็นต้องรักษาไว้ไม่ให้เน่า โดยทำให้ส่วนคอและกลีบด้านนอกแห้ง อากาศที่อบอุ่นและแห้งจะช่วยให้หัวหอมแห้งได้ในแปลง แต่ไม่ใช่ให้แดดเผา (Sun burn) ในหลาย ๆ ประเทศอากาศในขณะเก็บเกี่ยวไม่เหมาะสม และทำให้หัวหอมไม่แห้ง ก็จะปล่อยหัวหอมไว้ในแปลงไม่กี่วันแล้วจะย้ายไปโรงเก็บที่มีเครื่องพ่นลมร้อนด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ วิธีการนี้จะสามารถผลิตหัวหอมที่มีคุณภาพดีกว่าเพราะจะควบคุมความชื้นได้ วิธีการนี้นอกจากจะทำให้ผิวของหัวหอมสวยยังไม่ทำให้ผิวนอกแตกหรือปริ การเก็บเกี่ยว การคัดเกรด และการบรรจุหีบห่อจำเป็นต้องใช้เครื่องกลที่สูงด้วยเทคโนโลยี

ในบางประเทศจะมีโรงงานอบหอม โดยใช้เครื่องอบให้หัวหอมแห้ง หัวหอมที่นำมาอบในโรงงานนี้ จะใช้วิธีปลูกเช่นเดียวกับหัวหอมแห้ง สำหรับเก็บไว้นาน แม้ว่าระยะปลูกที่ใช้จะใช้ระยะไม่หนาแน่นนัก เพราะขนาดของหัวไม่ใช่สิ่งสำคัญมากนัก พันธุ์ที่ใช้ปลูกจะต้องให้ผลผลิตแห้งต่อไร่สูงเพราะถ้าหอมที่มีความชื้นสูงนอกจากจะทำให้มีผลผลิตแห้งต่อไร่ต่ำยังทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้น้ำในหัวหอมระเหยให้หายไป ดังนั้นพันธุ์ที่เลือกใช้ปลูกคือพันธุ์ White skin ซึ่งนอกจากจะให้ผลผลิตแห้งต่อไร่สูง ยังให้ผลผลิตแห้งที่มีสีขาวสวยงามมาก

สมภพ (2530) ได้รายงานคุณค่าทางโภชนาการของหอมหัวใหญ่ ดังเสนอในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของหอมหัวใหญ่

น้ำหนัก (กรัม)	พลังงาน (แคลอรี)	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (มิลลิกรัม)	คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	ทองแดง (กรัม)	เหล็ก (มิลลิกรัม)
110	4	2	น้อยมาก	10	30	0.6

2.3 การอบแห้ง

ปัจจุบันได้มีการนำผลผลิตทางการเกษตรได้แก่ ผักและผลไม้ต่างๆ มาแปรรูป โดยการอบแห้ง อันจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลผลิตไว้ได้นาน มีผู้ศึกษาการแปรรูปผักผลไม้ โดยการอบแห้งดังนี้คือ

จรรยา และพิพัฒน์ (2523) ได้ทำการทดลองอบกล้วย โดยใช้ตู้อบแสงแดด ซึ่งออกแบบโดย วิลาวัลย์ (2518) ในการอบกล้วยการอบใช้เวลา 3 วัน ในการอบกล้วยสุก ซึ่งมีสารละลายของแข็ง 15 – 20 % ในตู้อบ ส่วนการตากแดดจะทำให้กล้วยมีคุณภาพดี สะอาดและถูกสุขลักษณะ

สมยศ (2530) ได้ทำการอบมะม่วงแช่อิ่มในเครื่องอบแห้งแบบลดความชื้นโดยใยแก้ว เพื่อป้องกันมิให้ความร้อนและความเย็นเข้าออกได้ ที่อบมีขนาดสูง 22 นิ้ว ยาว 34 นิ้ว และกว้าง 32 นิ้ว หรือมีปริมาณ 0.39 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ชั้น มีประตูปิดเปิดได้ ส่วนภายในมีคอยล์เย็น และคอยล์ร้อน และที่กระจายอากาศร้อนมีพัดลมภายนอกมีคอมเพรสเซอร์ เพื่ออัดน้ำยา และมีมอเตอร์พัดลมร้อนใช้ในการอบมะม่วงแช่อิ่มที่อุณหภูมิ 40 °C ใช้ค่าไฟฟ้าประมาณ 33 สตางค์ ต่อ 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ค่าใช้จ่ายทุกอย่างในการทำตู้อบประมาณ 18,000 บาท และได้มะม่วงที่มีสีดีน่ารับประทาน

ทักษิณา ลอยจิรากุล [2] ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ และความเร็วลมที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งของ พุทรา ละมุด องุ่น และมะยม โดยใช้อุณหภูมิ ในการอบแห้งในช่วง 55-72 C ความเร็วลม 0.6 และ 1.2 เมตรต่อวินาที พบว่าอัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถ้าอุณหภูมิเพิ่มสูงเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาการเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร ความเร็วลมจะมีอิทธิพลเล็กน้อยต่ออัตราการอบแห้งของพุทรา แต่จะมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งของละมุด และองุ่น

Garcia, Leal และ Rolz [3] ทำการทดลองอบแห้งกล้วย โดยใช้ตู้อบชนิด ไมโครเวฟ และตู้อบชนิดลมร้อนไหลผ่าน โดยใช้กล้วยสุกและกล้วยดิบในลักษณะเป็นโฟม (foam) และเป็นชิ้น ๆ ทำการทดลองหาอัตราการอบแห้ง บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ออกจากตู้อบแห้งทั้งสองชนิด เมื่อนำมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ ความเร็วลมประมาณ 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ใช้ 60 ± 0.5 °C โดยการออกแบบการทดลองชนิด 3^2 factorial ศึกษาผลของความสุก ความหนาของชิ้นกล้วย และวิธีการอบแห้ง จากนั้นใช้วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าความหนาของชิ้นกล้วย และอุปกรณ์อบแห้งที่ใช้มีผลต่อการอบแห้ง ส่วนเวลาที่ใช้ในการอบแห้งกล้วยที่เป็นชิ้นโดยใช้ตู้อบไมโครเวฟมีค่าน้อยกว่าเมื่อใช้ตู้อบชนิดลมร้อนไหลผ่านถึง 17 เท่า

สิงหนาท และคณะ (2533) ได้ทำการอบผักกาดหางหงส์ ผักกะหล่ำปลี และผักกาดแม้ว ในตู้อบแห่งแบบถาด โดยใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ตู้อบมีขนาดกว้าง 0.80 เมตร ลึก 0.60 เมตร และสูง 1.03 เมตร ผนังด้านบนและด้านข้างบุด้วยใยแก้ว ด้านบนและด้านข้างมีช่องระบายอากาศ โดยอาศัยการพาตามธรรมชาติ ด้านในแบ่งออกเป็น 3 ชั้น มีประตูปิดเปิดได้ ด้านล่างติดตั้งเตาแก๊สแบบหัวกะโหลก บนเตามีแผ่นเหล็กเพื่อถ่ายความร้อนให้กระจายให้ทั่วตู้ สามารถอบแห้งผักต่าง ๆ ดังกล่าวที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยมีสีและคุณภาพดี

สิงหนาท (2535) ได้ทำการศึกษากระบวนการแปรรูปหอมหัวใหญ่ เพื่อสามารถเก็บรักษาผลผลผลิตมากเกินความต้องการไว้บริโภคได้นาน สามารถขนถ่ายได้ง่ายเพื่อการส่งออก โดยการอบแห้ง อันประกอบด้วยการศึกษาผลของกระบวนการก่อนการอบแห้งและอุณหภูมิต่อคุณภาพของหอมหัวใหญ่อบแห้ง การทดสอบการอบแห้งเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่จะสามารถเก็บรักษาหอมหัวใหญ่อบแห้งให้มีคุณภาพดี โดยการนำหอมหัวใหญ่มาผ่านกระบวนการก่อนการอบแห้งด้วยวิธีการแช่ในสารประกอบซัลฟอร์และกรดแอสคอร์บิก การทดสอบการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ข้อมูลการอบแห้งสามารถอธิบายด้วยสมการเอกซ์โปเนนเชียล ซึ่งได้ค่าคงที่เพียงค่าเดียว กระบวนการอบแห้งไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง และการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้ง ส่วนการทดสอบคุณภาพหอมหัวใหญ่อบแห้ง พบว่า กระบวนการก่อนการอบแห้งและอุณหภูมิไม่มีผลต่ออัตราส่วนการอบแห้ง และอัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืน การทดสอบการยอมรับของผู้ทดสอบ พบว่า กระบวนการก่อนการอบแห้งและอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการยอมรับและสภาพของหอมหัวใหญ่อบแห้ง โดยผู้ชิมยอมรับหอมหัวใหญ่ที่ผ่านการแช่ในสารประกอบซัลเฟอร์และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มากที่สุด ผู้บริโภคยอมรับหอมหัวใหญ่อบแห้งที่ไม่ผ่านกระบวนการใด ๆ และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสอยู่ในเกณฑ์ดีพอใช้ ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ไม่มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ส่วนที่เหลือ เพื่อการส่งออกและเมื่อเทียบสีกับระบบมันส์เซลล์ได้เป็น 10Y 8.5/2 ถึง 10 Y 9/2 และ 10Y 9/2 ถึง 10Y 9/4 ตามลำดับ

บทที่ 3
ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง คือกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุพร้อมกับการถ่ายเทมวลจากวัสดุไปยังอากาศ ความร้อนสัมผัสจากอากาศที่วัสดุได้รับส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการอบแห้งมักจะขึ้นกับกลไกการถ่ายเทความร้อนว่าเป็นการถ่ายเทความร้อนประเภทใดเช่น การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยทั่วไปมักจะใช้วิธีการพาความร้อน

3.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา

ในกรณีที่อากาศไหลผ่านวัสดุชื้น ตัวอากาศร้อนจะทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุและพาไอน้ำออกไปด้วย ถ้าอากาศร้อนนั้นมีอุณหภูมิและความชื้นคงที่ จะพบว่ามีกระบวนการอบแห้งเกิดขึ้นสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกอัตราการอบแห้งจะคงที่ และเมื่ออบต่อไปจนกระทั่งถึงความชื้นค่าหนึ่ง จะพบว่าอัตราการอบแห้งจะเริ่มลดลง เรียกความชื้นที่จุดนี้ว่าความชื้นวิกฤติ ถ้าค่าความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่าค่าความชื้นวิกฤติ ในการอบแห้งจะมีเพียงช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ผิวของวัสดุจะมีน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิววัสดุเท่านั้น อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งถ้าสภาวะสิ่งแวดล้อมมีค่าคงที่ จะทำให้อัตราการอบแห้งคงที่ด้วย และในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง อิทธิพลของอากาศภายนอกจะลดลงด้วย อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำออกมาที่ผิวเท่านั้น

3.2 อัตราการอบแห้งคงที่

ที่อัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อน และมวลระหว่างวัสดุ และอากาศเหมือนกับการถ่ายเทความร้อน และมวลที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง คือ อุณหภูมิ, ความชื้น และความเร็วของอากาศ สามารถเขียนสมการแสดงอัตราการถ่ายเทมวลได้ดังนี้

$$m_w = h_d \rho A(w_{wb} - W) \quad (3.1)$$

$$m_w = h'A(T - T_{wb})/h_{fg} \quad (3.2)$$

สำหรับระบบไอน้ำและอากาศ

$$\frac{h}{h_d} = \rho_a G_a$$

เมื่อ m_w = อัตราการถ่ายเทมวล , kg / h

h_d = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล, kg / m^2 h (kg/m^3)

h' = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, kJ / m^2 °C h

A = พื้นที่, m^2

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำ, kJ / kg

ρ = ความหนาแน่น, kg / m^3

G_a = ความเร็วเชิงมวลของอากาศ, kg / h-m^2

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนขึ้นอยู่กับสภาพการสัมผัสระหว่างวัสดุ และความร้อนดังต่อไปนี้

1. กรณีที่ลมร้อนไหลขนานกับแผ่นวัสดุ [7]

$$h' = CG_a^{0.8} \quad (3.3)$$

เมื่อ G_a = ความเร็วเชิงมวลของอากาศ, kg/h-m^2

C = คือ ตัวคงที่ และมีค่าระหว่าง 0.0748 - 0.101

2. กรณีที่ลมร้อนไหลตั้งฉากกับแผ่นวัสดุ [7]

$$h' = 4.206G_a^{0.307} \quad (3.4)$$

3. กรณีของลมร้อนไหลผ่านวัสดุกลมเดี่ยว [7]

$$Nu = 2 + 0.65\,Re^{1/2}\,Pr^{1/3} \tag{3.5}$$

3.3 อัตราการอบแห้งลดลง

ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าปริมาณความชื้นวิกฤติการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลมิได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น และการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง และจะถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ ทำให้เกิดเกรเดียนท์ความชื้นและอุณหภูมิในวัสดุ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ การเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น อัตราการถ่ายเทมวลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D\left[\frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{A}{r} + \frac{\partial M}{\partial r}\right] \tag{3.6}$$

โดยที่ A = 0 สำหรับค่าการแพร่ของความชื้นในวัสดุแผ่นกว้างมาก

A = 1 สำหรับค่าการแพร่ของความชื้นในแนวรัศมีของวัสดุทรงกระบอกยาวมาก

A = 2 สำหรับค่าการแพร่ความชื้นในแนวรัศมีของวัสดุทรงกลม

เมื่อ M = ความชื้น, มาตรฐานแห้ง, เศษส่วน

t = เวลา, h

r = ระยะทางการแพร่ความชื้นสำหรับวัสดุแผ่นกว้างมาก หรือ ระยะรัศมีการแพร่ความชื้นสำหรับวัสดุทรงกระบอก หรือทรงกลม, m

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น, m^2/h

สำหรับวัสดุแผ่นกว้างมาก (Infinite slab) โดยกำหนดสภาวะเงื่อนไขเริ่มต้นและสภาวะขอบเขตดังนี้

$$M(x,t) = M_{in}\ ,\ t = 0\ ,\ 0 < x < 1$$

$$M(x,t) = M_{eq}\ ,\ x = 0\ ,\ t > 0$$

$$M(x,t) = M_{eq}\ ,\ x = 1\ ,\ t > 0$$

กำหนดให้ $$MR(x,t) = \frac{M(t) - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}}$$

จะสามารถหาคำตอบของสมการ (3.6) ได้ดังนี้

$$MR(t) = \left(\frac{8}{\pi^2}\right)\sum_{m=0}^{\alpha}\frac{1}{(2m+1)^2}\exp\left[-(2m+1)\pi^2\frac{Dt}{l^2}\right] \qquad (3.7)$$

สำหรับวัสดุทรงกระบอกตันยาวมาก (Infinite cylinder) โดยกำหนดสภาวะเงื่อนไขเริ่มต้นและสภาวะขอบเขตดังนี้

$$M(r,t) = M_{in}\ ,\ t = 0\ ,\ 0 < r < 1$$

$$M(r,t) = M_{eq}\ ,\ r = r_0\ ,\ t > 0$$

หรือ

$$MR(r,o) = 1$$

$$MR(r_0,t) = 0$$

จะสามารถหาคำตอบของสมการ (3.6) ได้ดังนี้ [12]

$$MR(t) = \sum_{n=1}^{\alpha}\frac{4}{(\lambda_n r_0^2)^2}\exp[-(\lambda_n r_0)^2(Dt/r_0^{\ 2})] \qquad (3.8)$$

โดยที่ r_0 คือรัศมีของทรงกระบอก , m

r คือระยะในแนวรัศมี , m

$\lambda_n r_0$ คือค่าที่สอดคล้องกับ $J_0(\lambda_n r_0) = 0$ และมีค่าดังนี้

(ตัวอย่าง 5 ค่าแรก)

$\lambda_1 r_0 = 2.4048$

$\lambda_2 r_0 = 5.5201$

$\lambda_3 r_0 = 8.6537$

$\lambda_4 r_0 = 11.7915$

$\lambda_5 r_0 = 14.9309$

สำหรับวัสดุทรงกระบอกสั้น (finite cylinder) สามารถหาค่าอัตราส่วนความชื้นได้โดยการใช้วิธีแยกตัวแปร ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนความชื้นของวัสดุทรง infinite slab ซึ่งมีความหนา (L) เท่ากับความยาวของทรงกระบอกคูณกับผลลัพธ์ของสมการอัตราส่วนความชื้นของวัสดุทรง infinite cylinder [13] ดังสมการ

$$MR(t) = \frac{32}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\alpha}\sum_{m=0}^{\alpha}\frac{1}{(2m+1)^2}\cdot\frac{1}{(\lambda_n r_o)^2}\cdot$$

$$\exp\left[\left\{-(\lambda_n r_o)^2\left(\frac{Dt}{r_0^2}\right)\right\}+\left\{-(2m+1)^2\frac{\pi^2 Dt}{L^2}\right\}\right] \qquad (3.9)$$

จากสมการที่ (3.9) เพื่อพิจารณาหาจำนวนเทอม $m \times n$ ที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในสมการคำนวณ หาค่าสัมประสิทธิ์ให้พิจารณาที่ตำแหน่งเริ่มต้นก่อนคือ ที่เวลา (t) = 0 จะได้ค่าอัตราส่วนความชื้น (MR) ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าอัตราส่วนความชื้น ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนเทอม $m \times n$ ที่เวลา $t = 0$

m** \ n*	1	2	3	4	5	6	7
1	0.56065	0.6229	0.6454	0.6658	0.6637	0.6685	0.6768
2	0.66705	0.7412	0.7678	0.7815	0.7897	0.7952	0.7992
3	0.71035	0.7892	0.8177	0.8322	0.8410	0.8468	0.8510
4	0.73379	0.8152	0.8445	0.8595	0.8686	0.8746	0.8790
5	0.74820	0.8313	0.8313	0.8765	0.8858	0.8916	0.8964

* คือ จำนวนเทอมของ infinite slab

** คือ จำนวนเทอมของ infinite cylinder

จากสมการที่ (3.9) จำนวนเทอมขนาด $m \times n$ เท่ากับ 5×5 คือ

$$MR(t) = \frac{32}{\pi^2}\left[\exp\left(\frac{-\pi^2 Dt}{L^2}\right)+\frac{1}{9}\exp\left(\frac{-9\pi^2 Dt}{L^2}\right)+\frac{1}{25}\exp\left(\frac{-25\pi^2 Dt}{L^2}\right)+\frac{1}{49}\exp\left(\frac{-49\pi^2 Dt}{L^2}\right)+\frac{1}{81}\exp\left(\frac{-81\pi^2 Dt}{L^2}\right)\right].$$

$$\left[\frac{1}{(\lambda_1 r_0)^2}\exp\left\{-(\lambda_1 r_0)^2\left(\frac{Dt}{r_0^2}\right)\right\}+\frac{1}{(\lambda_2 r_0)^2}\exp\left\{-(\lambda_2 r_0)^2\left(\frac{Dt}{r_0^2}\right)\right\}+\frac{1}{(\lambda_3 r_0)^2}\exp\left\{-(\lambda_3 r_0)^2\left(\frac{Dt}{r_0^2}\right)\right\}+\frac{1}{(\lambda_4 r_0)^2}\exp\left\{-(\lambda_4 r_0)^2\left(\frac{Dt}{r_0^2}\right)\right\}+\frac{1}{(\lambda_5 r_0)^2}\exp\left\{-(\lambda_5 r_0)^2\left(\frac{Dt}{r_0^2}\right)\right\}\right] \quad (3.10)$$

เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น

M = ความชื้นเฉลี่ย , มาตรฐานแห้ง, เศษส่วน

M_{in} = ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ , มาตรฐานแห้ง, เศษส่วน

M_{eq} = ความชื้นสมดุลของวัสดุ, มาตรฐานแห้ง, เศษส่วน

L = ความหนาของวัสดุ แผ่นกว้างมาก, m

r_0 = รัศมีของทรงกระบอก, m

D = สัมประสิทธิ์การแพร่

3.4 ความชื้นสมดุล

ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติของวัสดุ เช่น ความชื้นสมดุล และคุณสมบัติเชิงความร้อนทางฟิสิกส์ เช่น ความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่น เป็นต้น

ในกระบวนการอบแห้งโดยใช้อากาศที่สภาวะคงที่ ความชื้นของวัสดุจะลดต่ำลงจนถึงจุดจุดหนึ่ง ซึ่งวัสดุมีความชื้นคงที่ หรือความชื้อที่ผิววัสดุจะมีค่าความดันไดเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบ ๆ เรียกความชื้นค่านี้ว่า "ความชื้นสมดุล" ค่าความชื้นสมดุลจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัดสดุอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

สำหรับหอมหัวใหญ่ มารีนา มะหนิ [6] ทำการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลของหอมหัวใหญ่ โดยใช้รูปแบบสมการของ Igiesias และ Chirife [8] ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของสมการได้ดังนี้

$$\ln\left[M_{eq} + \sqrt{M_{eq}^{\ 2} + M_{0.5}}\right] = AR + BR.RH \tag{3.11}$$

$$M_{eq} = \frac{\exp[2(AR + BR \times RH) - M_{0.5}]}{[2 \times \exp(AR + BR \times RH)]} \tag{3.12}$$

โดยที่

$$AR = 3.4040 - 0.0200T \tag{3.13}$$

$$BR = 8.5990 - 0.2442T + 0.0024T^2 \tag{3.14}$$

$$M_{0.5} = 64.6885 - 1.78942T + 0.015952T^2 \tag{3.15}$$

เมื่อ M_{eq} = ความชื้นสมดุลของวัสดุ , % มาตรฐานแห้ง

$M_{0.5}$ = ความชื้นสมดุลของวัสดุที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0.50, % มาตรฐานแห้ง

RH = ค่าความชื้นสัมพัทธ์, ทศนิยม

T = อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง, °C

3.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.5.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าความชื้นของวัสดุ สำหรับหอมใหญ่ มารีนา มะหนิ [6] ทำการทดลองหาค่าความหนาแน่นได้ผลการทดลองตามสมการ

$$\rho = 560.96 + 5.3\,M \tag{3.16}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของหอมหัวใหญ่, kg/m^3

M คือ ความชื้นเฉลี่ยของหอมหัวใหญ่, % มาตรฐานแห้ง

3.5.2 ความร้อนจำเพาะ

ความร้อนจำเพาะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความชื้นของวัสดุ สำหรับหอมหัวใหญ่ มารีนา มะหนิ [6] ทำการทดลองหาค่าความร้อนจำเพาะได้ผลการทดลองตามสมการ

$$C = 6991.1955 + 0.3221M - 0.0138M^2 \tag{3.17}$$

เมื่อ C = ความร้อนจำเพาะของหอมหัวใหญ่, kJ/kg. °C

M = ความชื้นเฉลี่ยของหอมหัวใหญ่, % มาตรฐานแห้ง

บทที่ 4
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

4.1 รายละเอียดของเครื่องอบแห้ง

การทดลองนี้ใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนชนิดถาดอยู่กับที่ เพื่อทำการอบหอมหัวใหญ่ ประกอบด้วย

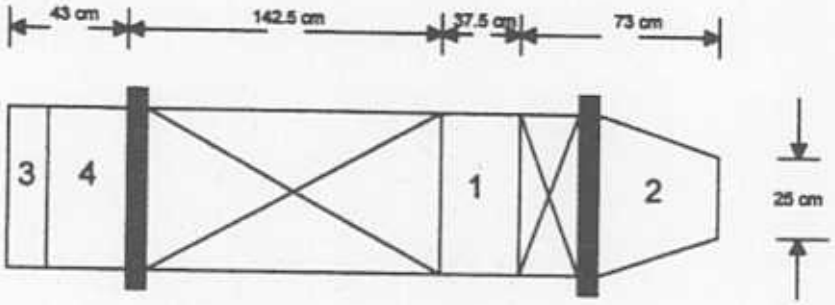
1. ตู้อบแห้ง ตัวตู้เป็นทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดกว้าง 0.29 เมตร ยาว 0.38 เมตร ลึก 0.28 เมตร ภายในมีที่วางถาดอบแห้งซึ่งวางซ้อนกันได้ 4 ถาด ถาดอบแห้งเป็นถาดสี่เหลี่ยมกว้าง 0.19 เมตร ยาว 0.28 เมตร ทำด้วยสเตนเลสมีขอบทึบทั้งสี่ด้านสูง 1.5 เซนติเมตร ด้านหน้าของตัวตู้อบแห้งมีประตูเปิด สำหรับนำถาดอบวัสดุเข้าออก จากตู้อบแห้ง [ดูรูปที่ 4.1]

2. ท่อลมเข้าและออกมีลักษณะเป็นท่อสี่เหลี่ยม ปลายอีกด้านหนึ่งของท่อลมด้านเข้าตู้อบแห้ง จะต่อกับบริเวณที่ติดกับขดลวดทำความร้อนและพัดลมแบบเหวี่ยง และถัดจากตัวตู้อบแห้งจะเป็นท่อลมด้านออกท่อลมด้านเข้ามีความยาว 1.43 เมตร และท่อลมด้านออกมีความยาว 0.73 เมตร

3. พัดลมเป่าอากาศเป็นพัดลมแบบเหวี่ยง ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าชนิด 3 เฟส สามารถปรับความเร็วลมในด้าน 0.3 - 1.8 เมตร/วินาที

4. ขดลวดความร้อนเป็น electric heater ติดอยู่ภายในท่อลมก่อนเข้าตู้อบแห้ง ขนาด 3 กิโลวัตต์

5. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ



1. Drying cabinet
2. Exhaust air
3. Blower
4. Heater

รูปที่ 4.1 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนชนิดถาดอยู่กับที่

4.2 อุปกรณ์และข้อมูลที่ต้องการ

1. การหาอัตราการไหลของอากาศจะคำนวณจากความเร็วลมเฉลี่ยของอากาศคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของท่อลมบริเวณที่ใช้วัดความเร็ว ความเร็วของลมวัดได้โดยใช้เครื่องมือ Hot wire anemometer เครื่องมือวัดได้ละเอียด $\pm$ 0.1 m/s

2. การหาความชื้นของหอมหัวใหญ่ โดยการเก็บตัวอย่างของหอมหัวใหญ่จากถาดอบแห้งทุกถาด มาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ บรรจุในกระป๋องสำหรับหาความชื้นประมาณ 30 กรัม แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งอ่านได้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103 °C $\pm$ 1 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

3. การวัดอุณหภูมิของอากาศภายในตู้อบแห้ง โดยใช้เทอร์โมคับเปิลชนิด Chromel-Alumel เพื่อวัดอุณหภูมิอากาศเข้า และออกจากถาดอบแห้งวัสดุ บันทึกผลทุก ๆ ชั่วโมง

4. พลังงานที่ให้กับระบบ คือ พลังงานที่ให้กับมอเตอร์และขดลวดความร้อน ซึ่งอยู่ในรูปของไฟฟ้าสามารถวัดได้โดยใช้ kilowatt-hour meter ซึ่งได้รับการสอบเทียบจากการไฟฟ้านครหลวงแล้ว

4.3 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

4.3.1 การเตรียมตัวอย่างหอมหัวใหญ่

1. ใช้หอมหัวใหญ่พันธุ์เยลโลกราเน็กซ์ โดยนำหอมหัวใหญ่มาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกแล้วหั่นตามขวางให้มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร

2. ทำการทดสอบความชื้นเริ่มต้นของหอมหัวใหญ่ที่เตรียมไว้ จะมีค่าประมาณ 1500 - 1700 % มาตรฐานแห้ง

4.3.2 วิธีการทดลองหาสัมประสิทธิ์การแพร่

นำตัวอย่างหอมหัวใหญ่มาตัดให้เป็นรูปทรงกระบอกมีรัศมีประมาณ 30 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร จำนวน 8 ชิ้น มีน้ำหนักประมาณ 85 กรัม นำไปวางบนตะแกรงเพื่อนำไปอบในอุปกรณ์ทดสอบอัตราการอบแห้ง ปรับความเร็วลม 1.3 เมตร/วินาที และอุณหภูมิในการอบแห้งประมาณ 50 องศาเซลเซียส ทำการวัดน้ำหนักของตะแกรงพร้อมตัวอย่างทุก ๆ 30 นาที ในช่วง 2 ชั่วโมงแรก และทุก ๆ 1 ชั่วโมง ในเวลาต่อมา ทำการทดลองจนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จึงนำตัวอย่างไปหาน้ำหนักแห้ง ต่อไปทำการทดลองในทำนองเดียวกัน แต่เปลี่ยนค่าอุณหภูมิเป็น 55, 60, 65, 70 และ 75 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาพื้นฐานการอบแห้งวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนพบว่า สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในสมการการอบแห้ง ที่สภาวะคงที่ค่าหนึ่งค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ขึ้นอยู่กับค่าความชื้นของวัสดุ เพื่อให้การวิเคราะห์การอบแห้งไม่ยุ่งยาก เรามักจะสมมติว่าสัมประสิทธิ์การแพร่หาได้จากการทดลอง ซึ่งมักพบว่ามีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัสดุ เนื่องจากข้อมูลสัมประสิทธิ์การแพร่จากอาหารหลายชนิดยังไม่มี

4.3.3 วิธีการทดลองการอบแห้ง

1. นำหอมหัวใหญ่ที่หั่นเป็นแว่นกลมหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร มาหาความชื้นเริ่มต้น โดยการดึงตัวอย่างของหอมหัวใหญ่ที่เป็นแว่นกลมมาประมาณ 20 ชิ้น หั่นให้เป็นชิ้นเล็กละเอียดบรรจุในกระป๋อง สำหรับหาความชื้น ชั่งน้ำหนักแล้ว นำเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำออกจากตู้อบไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้น (dessicator) ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง เพื่อคำนวณความชื้นเริ่มต้นเป็นเปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง

2. ชั่งน้ำหนักของหอมหัวใหญ่ที่หั่นเป็นแว่นกลม แบ่งใส่ถาดอบ

3. ปรับความเร็วของพัดลม โดยเครื่องปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศตามต้องการ

4. เปิดสวิตช์ทำงานของขดลวดความร้อน ปรับอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งให้ได้ตามต้องการ

5. รอจนอุณหภูมิ และอัตราการไหลของอากาศคงที่ จึงใส่ถาดอบหอมหัวใหญ่ในตู้อบแห้ง บันทึกอุณหภูมิกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้าเครื่องอบแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้งของอากาศที่ผ่านการอบแห้งหอมหัวใหญ่มาแล้ว ที่ทางออกของเครื่องอบแห้ง วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้งของอากาศแวดล้อมทุก ๆ 1 ชั่วโมง

6. เก็บตัวอย่างหอมหัวใหญ่จากทุก ๆ ถาดอบ ทุก 5 ชั่วโมง โดยสุ่มตัวอย่างจาก 3 บริเวณในถาดอบ คือ ริมถาดอบทั้งสองด้าน และตรงกลางถาดอบ นำไปหาความชื้นตามวิธีข้างต้น บันทึกความสิ้นเปลืองพลังงานที่อ่านได้จาก kilowatt-hour meter ทุก ๆ 1 ชั่วโมง

7. ทำการอบแห้งจนได้ความชื้นเฉลี่ยประมาณ 23 % มาตรฐานแห้ง

8. ชั่งน้ำหนักของหอมหัวใหญ่หลังอบแห้ง เพื่อหาน้ำหนักที่ระเหยขณะทำการอบแห้ง นำตัวอย่างเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 103 ± 1 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อหาความชื้นของหอมหัวใหญ่ต่อไป

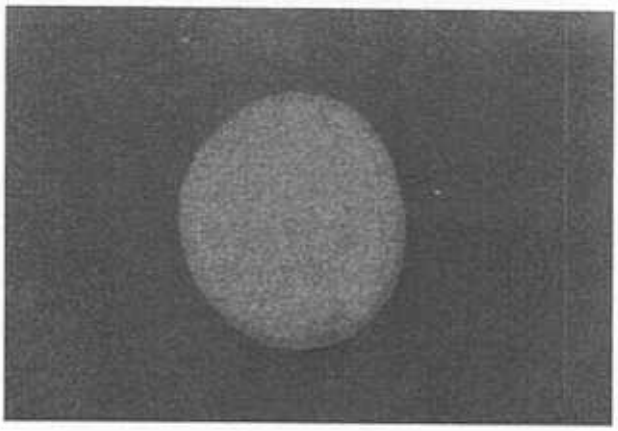
9. เก็บตัวอย่างหอมหัวใหญ่ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว นำมาหาคุณภาพของหอมหัวใหญ่ โดยใช้ R.H.S color chart

10. เริ่มทำตั้งแต่ 1-9 ใหม่ โดยเปลี่ยนอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศ

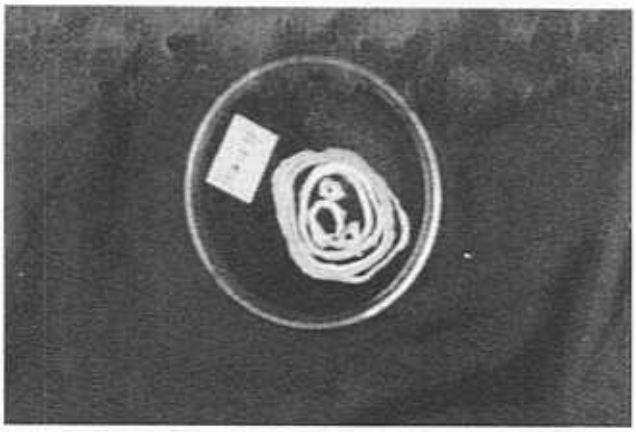
4.4 การสังเกตและตรวจสอบคุณภาพของหอมหัวใหญ่

คุณภาพของหอมหัวใหญ่ จะดูจากสีของหอมหัวใหญ่ที่เปลี่ยนไป หลังจากการอบแห้ง เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิด browning ผลิตภัณฑ์ซึ่งผ่านการอบแห้งที่ดีไม่ควรมีสีคล้ำเข้มเปลี่ยนไปจากเดิมมากนัก ซึ่งการเทียบสีของหอมหัวใหญ่อบแห้ง จะใช้มาตรฐานเทียบสีของ R.H.S color chart การเทียบสีจะเปรียบเทียบก่อนและหลังอบแห้ง [ดูรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4]

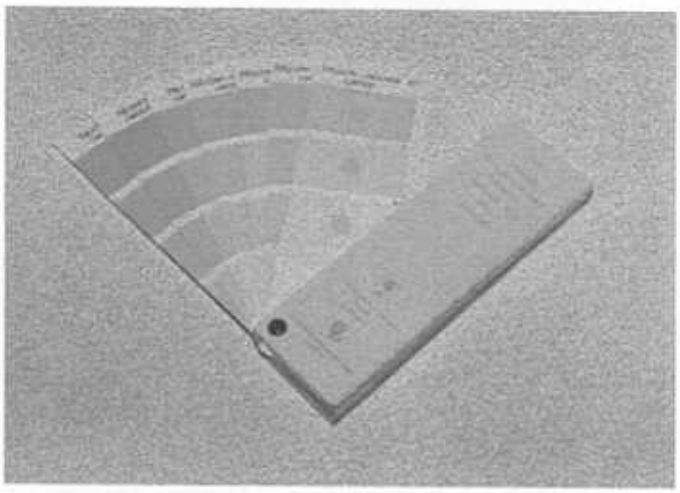
ชุดวัดเทียบสี R.H.S color chart เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดเทียบสีจะมีชุดเทียบทั้งหมด 4 ชุด การวัดจะต้องใช้สายตาในการตัดสินว่าสีใดจะเหมาะสม สำหรับหอมหัวใหญ่ใช้ชุดเทียบสีขาวในการเทียบสี

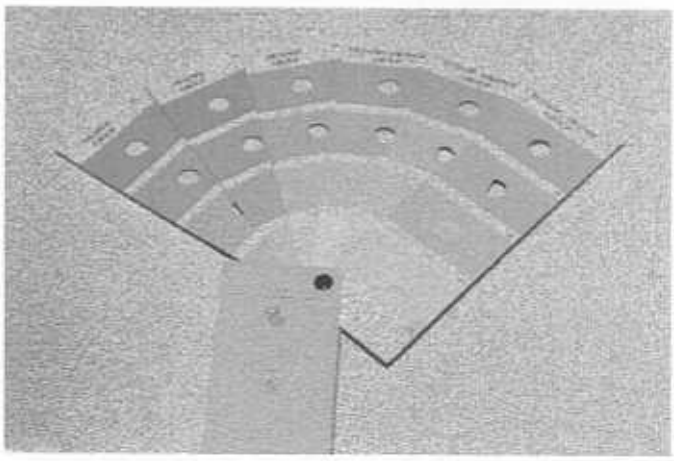


รูปที่ 4. 2 หอมหัวใหญ่ก่อนการอบแห้ง



รูปที่ 4. 3 หอมหัวใหญ่หลังการอบแห้ง





รูปที่ 4.4 R.H.S color chart

บทที่ 5
ผลการทดลองและวิจารณ์

การวิเคราะห์ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ จะวิเคราะห์เพื่อหาสภาวะการอบแห้งหอมหัวใหญ่ โดยพิจารณาจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

5.1 ผลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของหอมหัวใหญ่

จากการทดลองหาสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 45-75 °C ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 1500 % มาตรฐานแห้ง และที่ความเร็วลม 1.3 m/s โดยใช้อุปกรณ์ทดสอบอัตราการอบแห้งเป็นแบบชั้นบาง (ข้อมูลการทดลองแสดงในตารางที่ ข. 1 ของภาคผนวก ข)

จากการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของหอมหัวใหญ่ ซึ่งใช้สมการ (3.10) นำมาวิเคราะห์สมการถดถอย ได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่อุณหภูมิลมร้อนต่าง ๆ (แสดงในตารางที่ ข.2 ของภาคผนวก ข) นำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่วิเคราะห์ได้ นำมาวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ และอุณหภูมิลมร้อน ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$D = 1\times10^{7}\exp(0.0281T) \qquad (5.1)$$

โดยมีค่า Coefficient of determination = 0.95

เมื่อ D = สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น , m^2/h

T = อุณหภูมิลมร้อน, °C

สมการนี้ใช้ได้ในช่วงอุณหภูมิลมร้อน 45 - 80 °C และความชื้นเริ่มต้น 1400 -1900 % มาตรฐานแห้ง

5.1.1 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น

จากรูปที่ 5.20 เป็นกราฟแสดงสัมประสิทธิ์การแพร่ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จะมีค่าสูงขึ้นด้วย ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ความดันไอภายในและภายนอกของชิ้นวัสดุแตกต่างกันมากขึ้น ทำให้น้ำเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนได้มากขึ้น และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะไปเพิ่มพลังงานจลน์ของน้ำในเนื้อวัสดุ ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำในเนื้อวัสดุเร็วขึ้น ซึ่งมีผลทำให้สัมประสิทธิ์การแพร่สูงขึ้นด้วย

5.2 ผลการทดลองอบแห้งของหอมหัวใหญ่ในตู้อบแห้ง

จากตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดลองอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ กัน ในการทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 4 การทดลองที่สภาวะต่าง ๆ กัน คือ ที่อุณหภูมิ 50, 55, 60 และ 65 °C

5.2.1 ลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง

จากการทดลองอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่สภาวะต่าง ๆ โดยที่หอมหัวใหญ่เป็นรูปทรงกระบอกตัน ใส่ถาดอบแห้งจำนวน 4 ถาด ซึ่งวางซ้อนกันภายในบริเวณตู้อบแห้ง ทำการเก็บตัวอย่างของหอมหัวใหญ่ที่ผ่านการอบแห้งทุก ๆ 5 ชั่วโมง โดยการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง จะเลือกเก็บที่บริเวณต่าง ๆ ของถาดอบ โดยแบ่งพื้นที่ถาดอบออกเป็น 3 ส่วน คือ บริเวณ 1, 2 และ 3 แล้วเลือกเก็บตัวอย่างของหอมหัวใหญ่จากแต่ละบริเวณของถาดอบทุก ๆ ถาด แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าความชื้น จากนั้นนำมาเขียนกราฟระหว่างความชื้นของหอมหัวใหญ่ที่เก็บจากบริเวณต่าง ๆ ของถาดอบแต่ละถาดกับเวลา พบว่าความชื้นของหอมหัวใหญ่ ที่อยู่ที่บริเวณด้านริมของถาดอบซึ่งสัมผัสกับลมร้อนก่อนจะมีความชื้นลดลงมากกว่าตรงกลางของถาดอบและด้านริมของถาดอบอีกด้านหนึ่ง และที่แต่ละชั้นของถาดอบแม้ว่าจะเป็นบริเวณเดียวกันก็ตาม ปรากฏว่าความชื้นลดลงไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายของลมร้อนภายในตู้อบแห้งยังไม่ดีพอ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.1, 5.2, 5.3 และ 5.4

จากแต่ละการทดลองเมื่อนำค่าความชื้นเฉลี่ยของหอมหัวใหญ่ทุก ๆ ถาดอบมาเขียนกราฟกับเวลา ดังรูปที่ 5.5, 5.6, 5.7 และ 5.8 พบว่าได้ลักษณะของกราฟ คือความชื้นเฉลี่ยของหอมหัวใหญ่ลดลงเมื่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยใน 6 ชั่วโมงแรกเส้นกราฟจะมีความชันมาก และความชันของกราฟจะค่อย ๆ ลดลงในช่วงเวลาต่อมา

เงื่อนไขของหอมหัวใหญ่ เช่น ความชื้นของหอมหัวใหญ่ระหว่างการทำการอบแห้งมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง ดังรูปที่ 5.9, 5.10, 5.11 และ 5.12 ซึ่งพบว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ความชื้นของหอมหัวใหญ่ลดลง มีผลทำให้อัตราการอบแห้งลดลง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 5.13 - 5.19 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง กับเส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากแบบจำลอง แล้วนำไปแทนค่าในสมการ (3.10) ได้ค่าอัตราส่วนความชื้นของแบบจำลอง

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองอบแห้งหอมหัวใหญ่ในเครื่องอบแห้งลมร้อนชนิดถาดอยู่กับที่

Description	Test No.			
	1	2	3	4
Ambient condition				
Average temperature (°C)	30.7	29.5	29.8	28.8
Average relative humidity (%)	70.5	72.7	73.0	75.2
Condition of onion				
Average moisture before drying (% db)	1090	1424	1217	1159
Average moisture after drying (% db)	23.2	27.5	24.3	20.1
Initial weight (kg)	0.435	0.503	0.423	0.442
Drying air condition				
Average temperature (°C)	50.0	55.0	60.0	65.0
Specific mass flow rate	40.50	43.60	45.72	48.35
(kg dry air /h-kg dry onion)				
Specific energy consumption				
Heator (MJ/kg-H_2O evap.)	62.0	62.6	64.1	66.5
Moter (MJ/kg-H_2O evap.)	8.9	8.6	8.5	8.3
Total (MJ/kg-H_2O evap.)	70.9	71.2	72.6	74.8
Drying time	13	13	9	6

5.2.2 คุณภาพของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อน ที่มีผลต่อคุณภาพของหอมหัวใหญ่โดยสังเกตสีที่ได้ จากการทดลองที่อุณหภูมิลมร้อน 50, 55, 60 และ 65 °C พบว่า สีของหอมหัวใหญ่ที่อบที่อุณหภูมิ 60 และ 65 °C จะเข้มกว่าที่อบที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C มาก โดยใช้มาตรฐานเทียบสีของ R.H.S color chart ก่อนการอบแห้งหอมหัวใหญ่มีสีตาม code white 155 A และจากการสังเกตผลของหอมหัวใหญ่ที่อบที่อุณหภูมิ 50 °C ปรากฏว่าผิวภายนอกค่อนข้างแห้งไม่ย่น เนื้อภายในค่อนข้างนุ่ม สำหรับสีนั้นหลังอบแห้งแล้ว เปลี่ยนเป็น code yellow white 158 B

เมื่ออบที่อุณหภูมิ 55 °C ปรากฏว่า มีผิวภายนอกแห้ง ย่นเพียงเล็กน้อย เนื้อภายในค่อนข้างนุ่ม ผิวจะเป็นสีเข้มตาม code yellow white 159A

เมื่ออบที่อุณหภูมิ 60 และ 65 °C พบว่า สีของหอมหัวใหญ่จะเป็นสีเหลืองอ่อนปนน้ำตาล มีสีตาม code green yellow 160 B และ green yellow 160 A ตามลำดับ ผิวภายนอกแข็งและย่นเนื้อภายในแห้ง

การเกิดสีน้ำตาล หรือความเสียหายเนื่องจากความร้อนเป็นปัญหาที่สำคัญ และเห็นได้ชัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้ง ในการอบแห้งถือว่าเป็นตำหนิทางคุณภาพ ถ้าการเปลี่ยนสีเกิดขึ้นมาจะทำให้กลิ่นรส และความสามารถในการคืนตัวถูกกระทบกระเทือนไปด้วย

5.2.3 เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

ในการทดลองการอบแห้งใช้เวลาในการทดลองไม่เท่ากัน แสดงดังตาราง 5 .1 เวลาที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ในช่วง 6-13 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ค่าความชื้นเริ่มต้น และความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ด้วย ซึ่งทำให้สรุปผลจากการทดลองได้ค่อนข้างยาก

5.2.4 ความสิ้นเปลืองพลังงาน

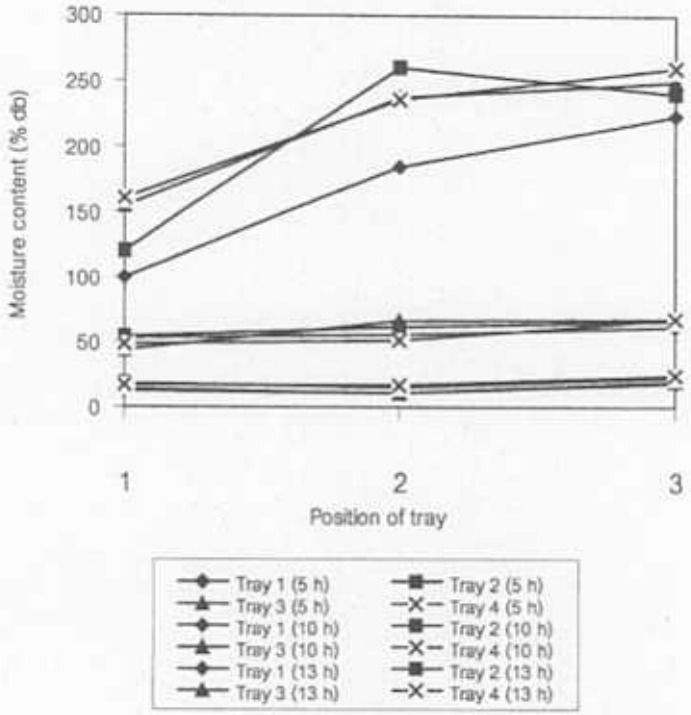
พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งมีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน คือ พลังงานกลและความร้อน พลังงานกลส่วนใหญ่ได้มาจาก พลังงานไฟฟ้า ส่วนความร้อนอาจจะอยู่ในรูปของความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีราคาต่ำกว่าพลังงานที่อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า การเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งจะพิจารณา 2 ส่วน คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสุดท้าย และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะปฐมภูมิ ซึ่งความร้อนจัดเป็นพลังงานปฐมภูมิ แต่พลังงานไฟฟ้าได้มาจากการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อน ในงานวิจัยใช้ค่าแฟคเตอร์การเปลี่ยนรูปพลังงานกล หรือพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนมีค่าเท่ากับ 2.6

การเปรียบเทียบการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C พบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการทดลองที่ 2 ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C จะสูงกว่าที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C โดยที่เวลาในการอบแห้งเท่ากัน คือ 13 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์จะพบว่า ความชื้นสุดท้ายของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C มีค่า 23 % มาตรฐานแห้ง และที่อุณหภูมิอบแห้ง 55 °C มีค่า 27 % มาตรฐานแห้ง ดังนั้นในกรณีที่อุณหภูมิอบแห้ง 55 °C จะต้องใช้เวลามากกว่า 13 ชั่วโมง จึงจะได้ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์เป็น 23 % มาตรฐานแห้ง ซึ่งจะทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานยิ่งมากขึ้น

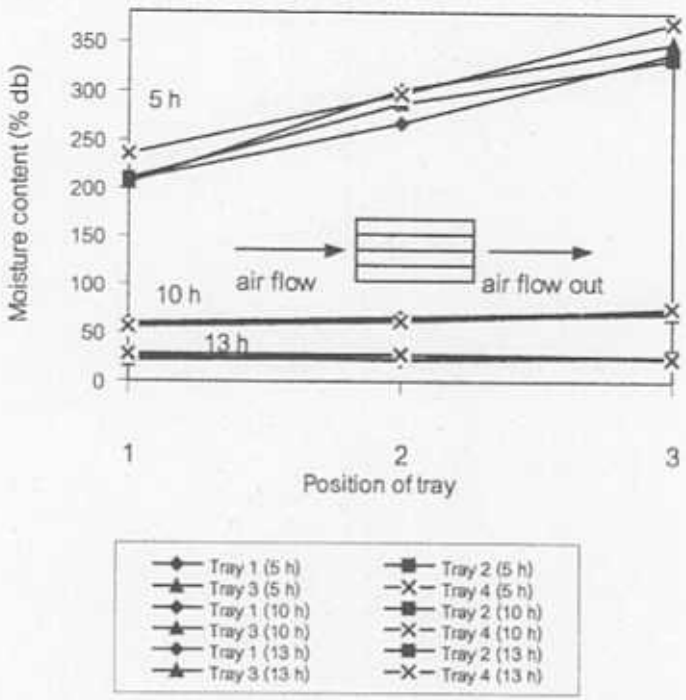
การทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 และ 65 °C เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C จะพบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการทดลองที่ 3 และ 4 (อุณหภูมิอบแห้ง 60 และ 65 °C ตามลำดับ) จะสูงกว่าการทดลองที่ 1 (อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C) โดยที่ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่า เนื่องจากความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการทดลองที่ 3 และที่ 4 ในส่วนใหญ่จะใช้ในการทำให้ขดลวดทำความร้อนซึ่งจะทำให้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง โดยที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการขับมอเตอร์มีค่าใกล้เคียงกัน

จากการทดลองอบแห้งที่อัตราการไหลของอากาศสูง (การทดลองที่ 4) และอัตราการไหลที่อากาศต่ำ (การทดลองที่ 1) พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศสูงจะสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงกว่าที่อัตราการไหลของอากาศต่ำ เพราะว่าที่อัตราการไหลของอากาศสูงน้ำภายในเนื้อวัสดุแพร่มาที่ผิวไม่ทันจึงทำให้การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูง

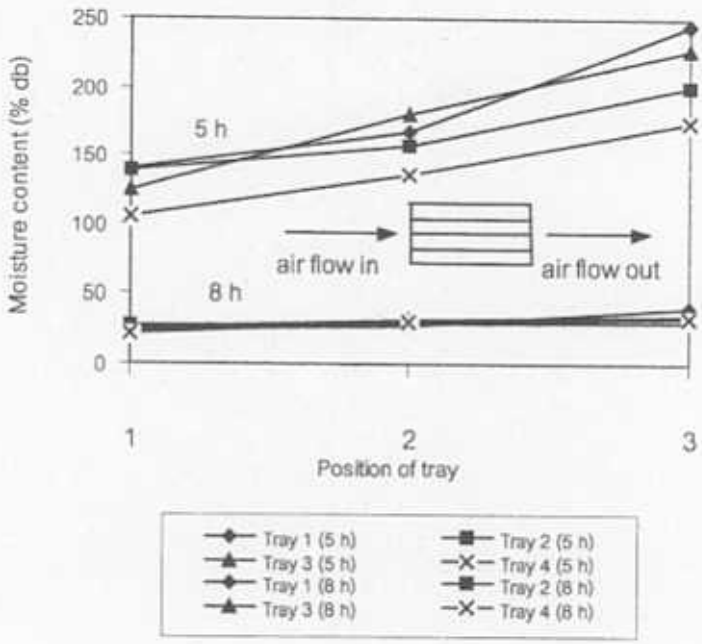
จากตารางที่ 5.1 อิทธิพลของสภาวะอากาศภายนอกมีผลต่อค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งพบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลงและความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น เนื่องจากอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำหรือความชื้นสัมพัทธ์สูง จะมีความสามารถในการรับน้ำที่ระเหยออกจากหอมหัวใหญ่ได้น้อย ทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูง



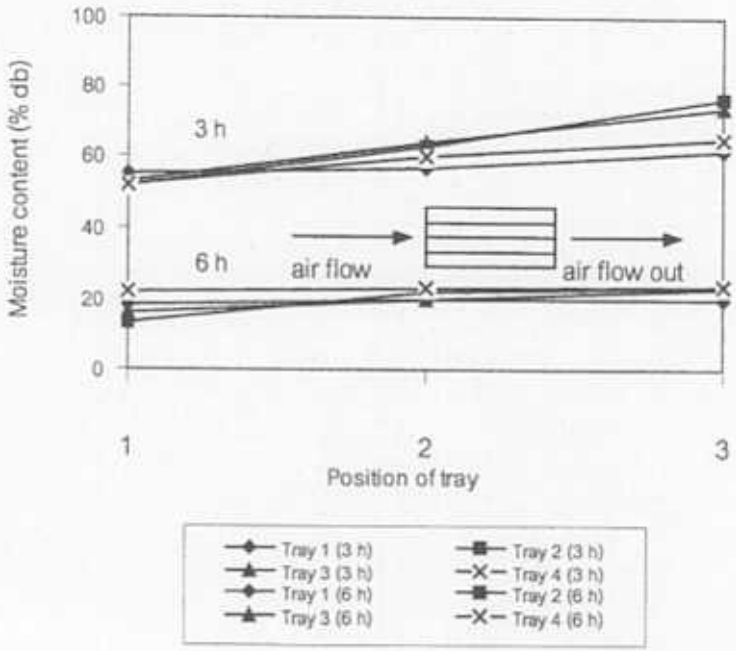
รูปที่ 5.1 ความชื้นของหอมหัวใหญ่ภายในตู้อบแห้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ [การทดลองที่ 1 อุณหภูมิ 50 °C อัตราการไหลของอากาศ 40.50 kg dry air/h-kg dry onion]



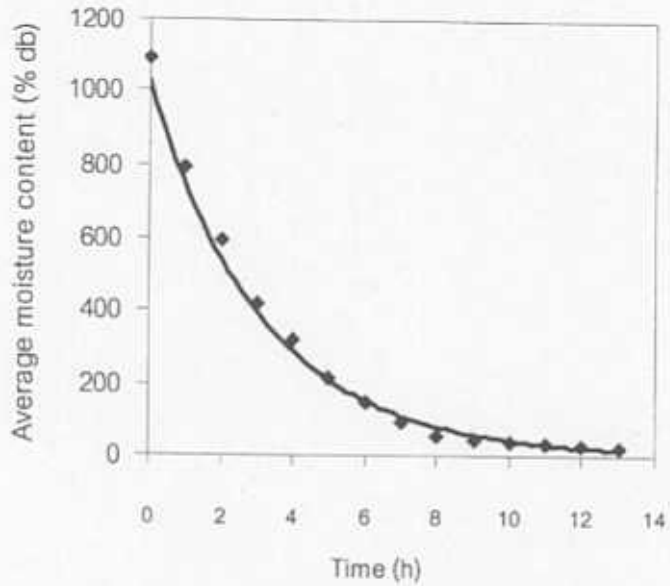
รูปที่ 5.2 ความชื้นของหอมหัวใหญ่ภายในตู้อบแห้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ
[การทดลองที่ 2 อุณหภูมิ 55 °C อัตราการไหลของอากาศ
43.60 kg dry air / h-kg dry onion]



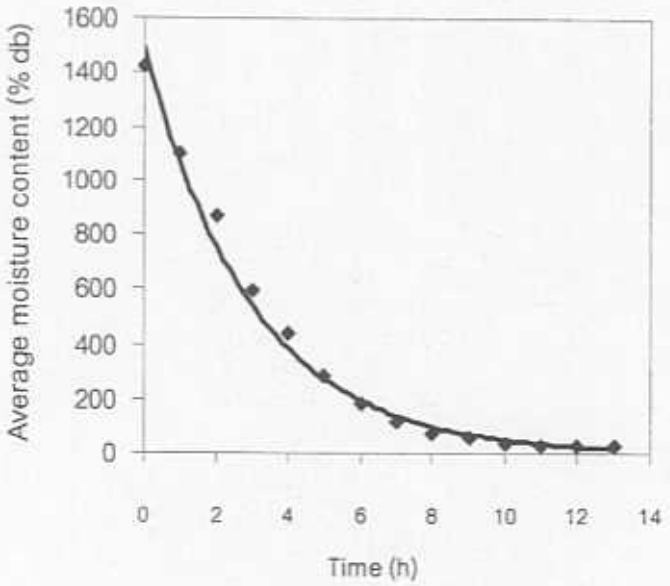
รูปที่ 5.3 ความชื้นของหอมหัวใหญ่ภายในตู้อบแห้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ [การทดลองที่ 3 อุณหภูมิ 60 °C อัตราการไหลของอากาศ 45.72 kg dry air / h-kg dry onion]



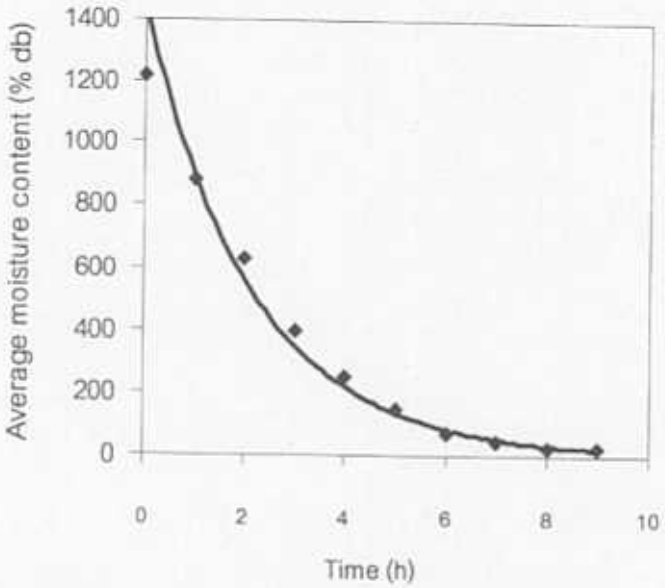
รูปที่ 5.4 ความชื้นของหอมหัวใหญ่ภายในตู้อบแห้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ
[การทดลองที่ 4 อุณหภูมิ 65 °C อัตราการไหลของอากาศ
48.35 kg dry air / h-kg dry onion]



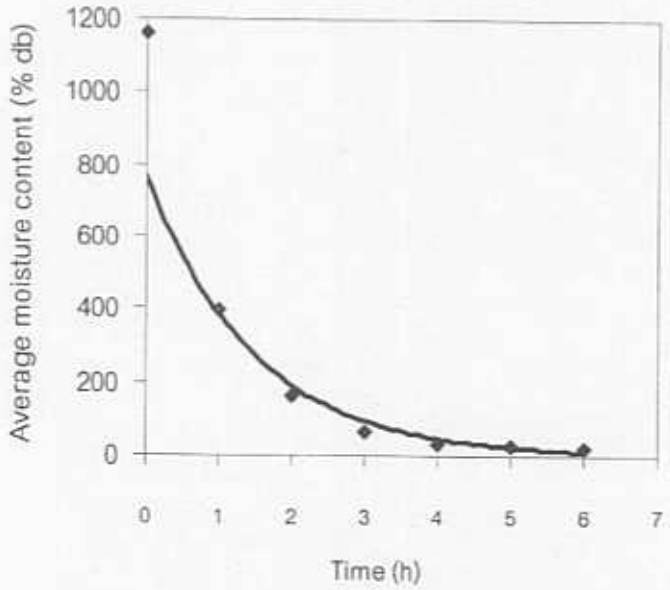
รูปที่ 5.5 ความชื้นเฉลี่ยของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง
[การทดลองที่ 1 อุณหภูมิ 50 °C อัตราการไหลของอากาศ
40.50 kg dry air/h-kg dry onion]



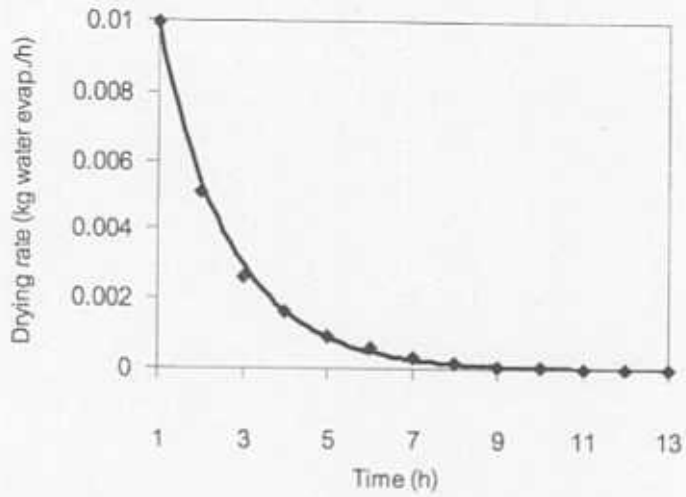
รูปที่ 5.6 ความชื้นของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง
[การทดลองที่ 2 อุณหภูมิ 55 °C อัตราการไหลของอากาศ
43.60 kg dry air / h-kg dry onion]



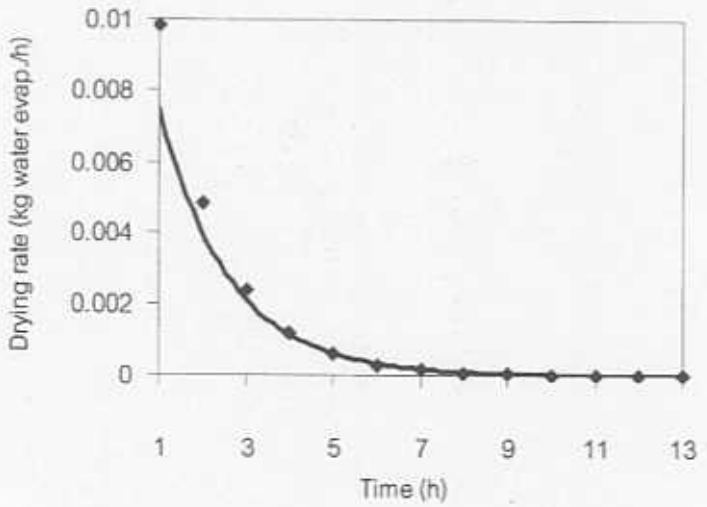
รูปที่ 5.7 ความชื้นของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง
[การทดลองที่ 3 อุณหภูมิ 60 °C อัตราการไหลของอากาศ 45.72 kg dry air / h-kg dry onion]



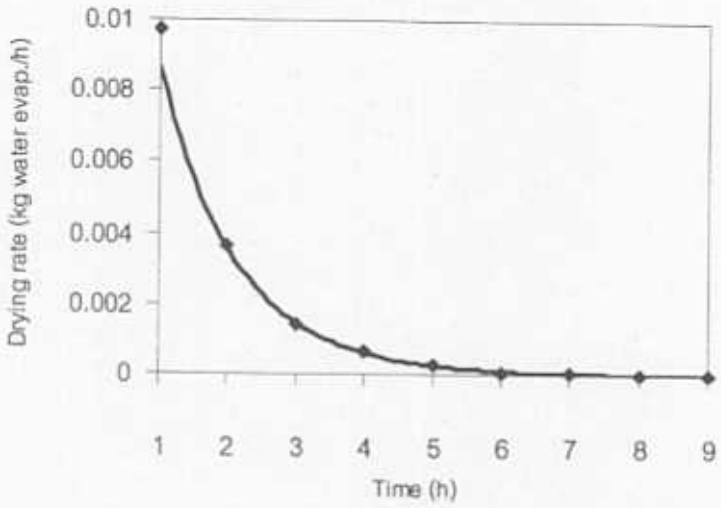
รูปที่ 5.8 ความชื้นของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง
[การทดลองที่ 4 อุณหภูมิ 65 °C อัตราการไหลของอากาศ 48.35 kg dry air / h-kg dry onion]



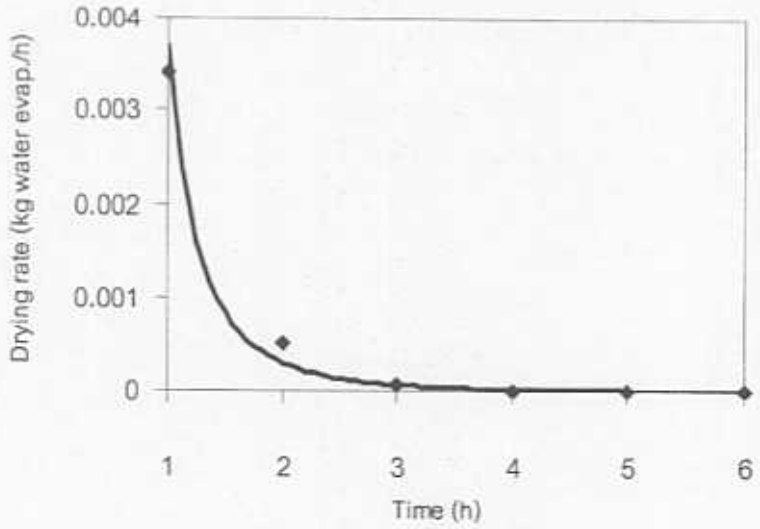
รูปที่ 5.9 อัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง
[การทดลองที่ 1 อุณหภูมิ 50 °C อัตราการไหลของอากาศ
40.50 kg dry air / h-kg dry onion]



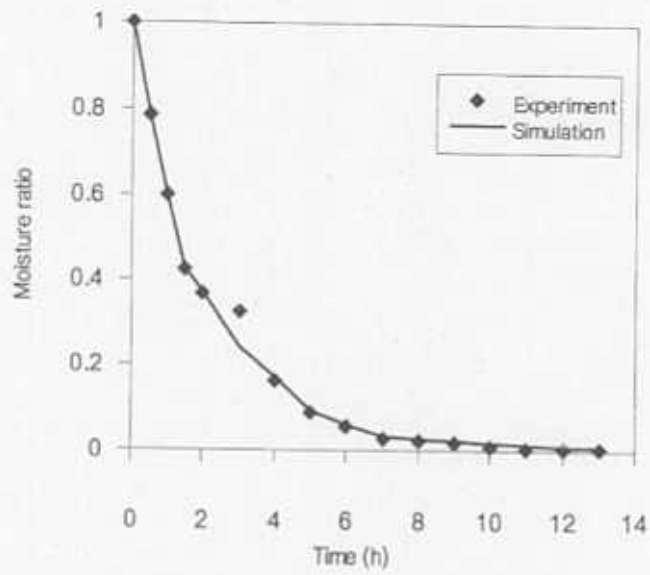
รูปที่ 5.10 อัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง
[การทดลองที่ 2 อุณหภูมิ 55 °C อัตราการไหลของอากาศ
43.60 kg dry air / h-kg dry onion]



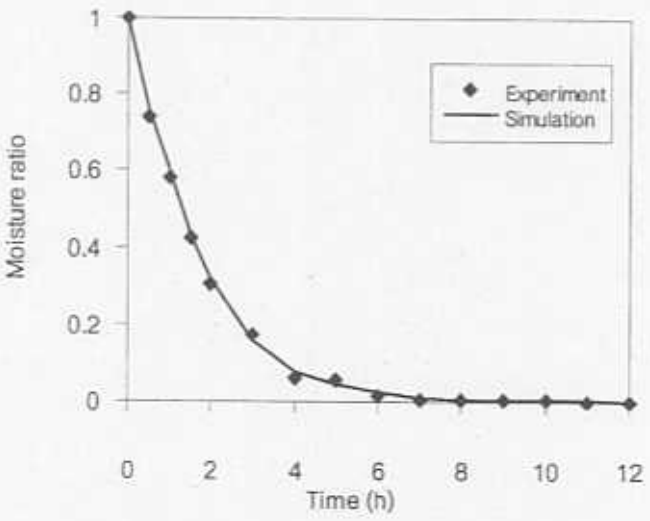
รูปที่ 5.11 อัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง
[การทดลองที่ 3 อุณหภูมิ 60 °C อัตราการไหลของอากาศ
45.72 kg dry air / h-kg dry onion]



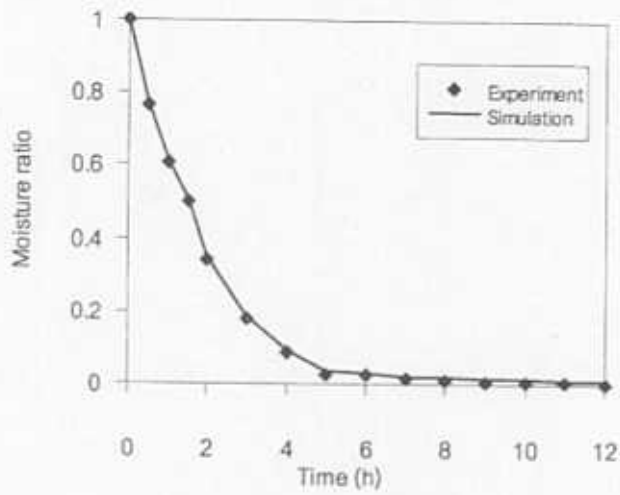
รูปที่ 5.12 อัตราการอบแห้งของหอมหัวใหญ่ขณะทำการอบแห้ง
[การทดลองที่ 4 อุณหภูมิ 65 °C อัตราการไหลของอากาศ
48.35 kg dry air / h-kg dry onion]



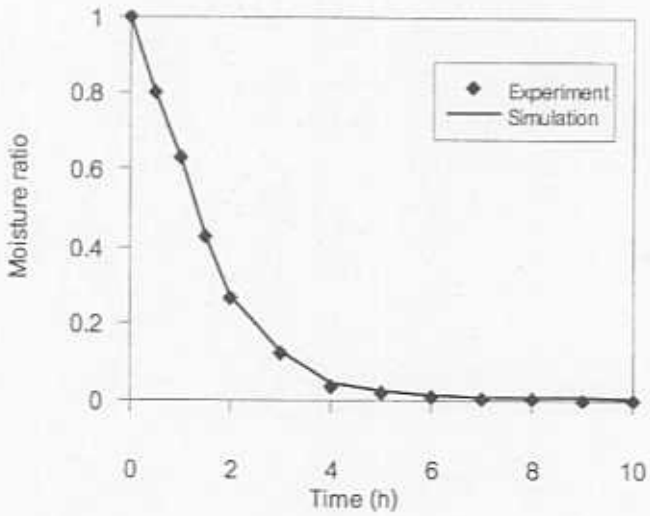
รูปที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของค่าอัตราส่วนความชื้นกับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการหาสัมประสิทธิ์การแพร่ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 45 °C



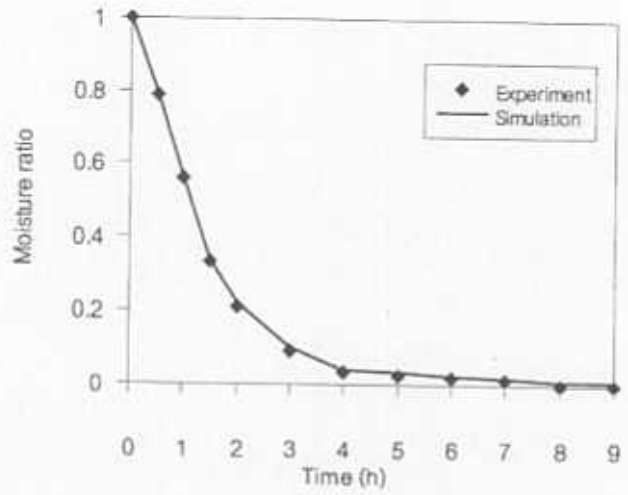
รูปที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของค่าอัตราส่วนความชื้นกับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาสัมประสิทธิ์การแพร่ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 50 °C



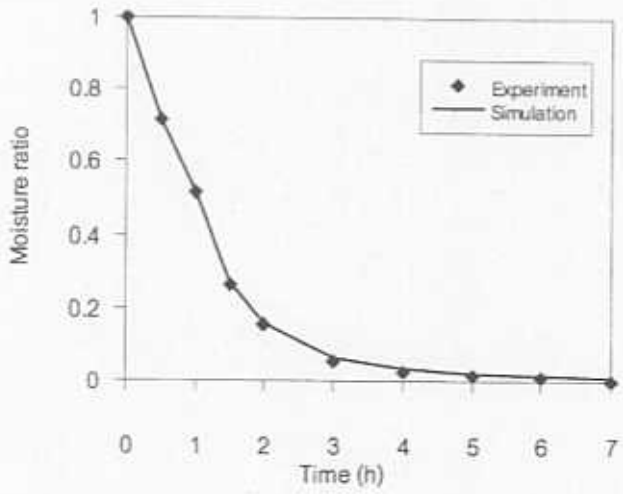
รูปที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของค่าอัตราส่วนความชื้นกับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาสัมประสิทธิ์การแพร่ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 55 °C



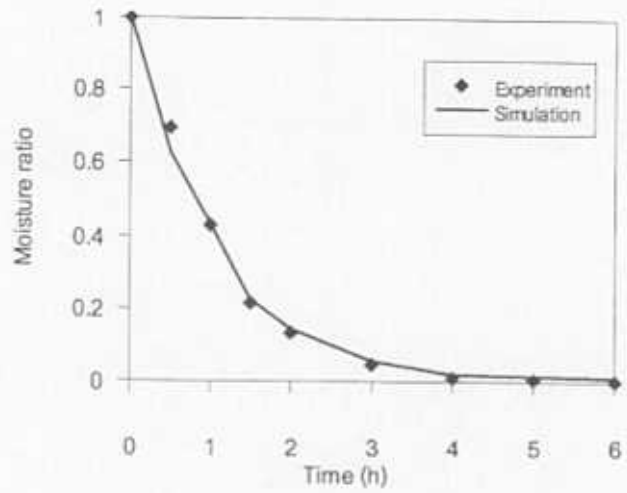
รูปที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของค่าอัตราส่วนความชื้นกับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาสัมประสิทธิ์การแพร่ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 60 °C



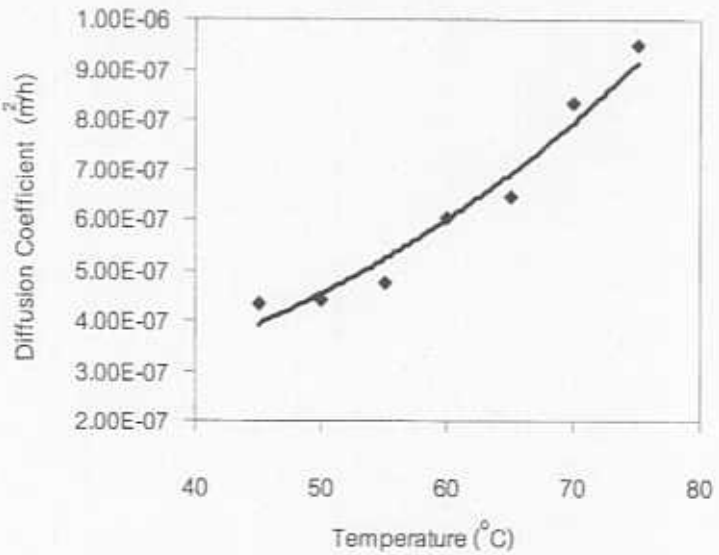
รูปที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของค่าอัตราส่วนความชื้นกับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาสัมประสิทธิ์การแพร่ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 65 °C



รูปที่ 5.18 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของค่าอัตราส่วนความชื้นกับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาสัมประสิทธิ์การแพร่ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 70 °C



รูปที่ 5.19 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองของค่าอัตราส่วนความชื้นกับที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาสัมประสิทธิ์การแพร่ของหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 75 °C



รูปที่ 5.20 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากผลการทดลองที่ความเร็วลม 1.3 m/s และจากสมการแบบจำลองสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของหอมหัวใหญ่

บทที่ 6
สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผล

6.1.1 จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศจำเพาะลดลง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งจะลดลง

6.1.2 คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C จะมีคุณภาพดีที่สุด คือ สีไม่เข้มมากเกินไป R.H.S color chart (158-B) มีการหดตัวเล็กน้อย ผิวไม่ย่น เนื้อไม่แข็ง ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C สีจะเป็นสีเหลืองปนน้ำตาล เนื้อค่อนข้างแข็ง ผิวย่น และมีการหดตัวมาก ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่น่ารับประทาน ตลาดอาจจะไม่ยอมรับ

6.1.3 ในการอบแห้งควรคำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงาน จากการทดลองพบว่าควรอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่สภาวะอุณหภูมิ 50 °C อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 40.50 kg dry air / h-kg dry onion จะได้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 70.9 MJ / kg-H_20 evap. และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 13 ชั่วโมง

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ในการทดลองการอบแห้งหอมหัวใหญ่ ควรมีการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการไหลของอากาศของแต่ละอุณหภูมิการอบแห้ง และควรมีการควบคุมสภาวะต่าง ๆ เช่น ความชื้นเริ่มต้นของหอมหัวใหญ่ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งจะทำให้สรุปสภาวะจากการทดลองได้ชัดเจนขึ้น แต่ต้องออกแบบอุปกรณ์ทดลองใหม่

6.2.2 ควรจะมีการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งหอมหัวใหญ่ เพื่อที่จะได้ใช้ในการทำนายความชื้นของหอมหัวใหญ่ และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะขณะทำการอบแห้ง และเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้

6.2.2 ในการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้ง ควรมีการทำ panel test ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งในแต่ละสภาวะเพื่อความถูกต้องในการสรุปหาสภาวะอบแห้งที่เหมาะสม

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลองการอบแห้ง

ตารางที่ ก. 1 **รายละเอียดข้อมูลการทดลองอบแห้งของหอมหัวใหญ่ ครั้งที่ 1-4**

TEST No. 1 : อุณหภูมิในการอบแห้ง 50 °C

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่ง	ถาดที่ 1 % db	ถาดที่ 2 % db	ถาดที่ 3 % db	ถาดที่ 4 % db
5	1	101	121	154	160
	2	184	261	238	236
	3	224	240	250	260
10	1	54	55	44	48
	2	56	63	56	52
	3	63	67	68	69
13	1	14	18	14	16
	2	11	15	11	17
	3	20	23	20	22

TEST No. 2 : อุณหภูมิในการอบแห้ง 55 °C

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่ง	ถาดที่ 1 % db	ถาดที่ 2 % db	ถาดที่ 3 % db	ถาดที่ 4 % db
5	1	208	209	206	235
	2	268	287	302	298
	3	340	333	350	370
10	1	60	57	59	56
	2	69	63	65	62
	3	75	72	70	77
13	1	26	22	23	28
	2	22	28	25	29
	3	27	27	26	25

TEST No. 3 : อุณหภูมิในการอบแห้ง 60 °C

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่ง	ถาดที่ 1 % db	ถาดที่ 2 % db	ถาดที่ 3 % db	ถาดที่ 4 % db
5	1	140	139	124	105
	2	168	158	181	136
	3	246	201	229	175
8	1	25	27	26	22
	2	27	29	32	30
	3	56	30	50	33

TEST No. 4 : อุณหภูมิในการอบแห้ง 65 °C

เวลา (ชั่วโมง)	ตำแหน่ง	ถาดที่ 1 % db	ถาดที่ 2 % db	ถาดที่ 3 % db	ถาดที่ 4 % db
3	1	55	50	53	42
	2	57	63	64	60
	3	62	77	74	65
6	1	18	13	16	22
	2	20	22	20	23
	3	20	24	23	24

TEST No. 1 : อุณหภูมิในการอบแห้ง 50 °C

เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ความชื้นเฉลี่ย (% db)	อัตราการอบแห้ง (kg water evap./h)
0	1090	-
1	790	0.00993
2	595	0.00510
3	419	0.00260
4	320	0.00165
5	213	0.00095
6	146	0.00058
7	95	0.00034
8	55	0.00015
9	43	0.00007
10	38	0.00004
11	32	0.00002
12	28	0.00001
13	23	0.00001

TEST No. 2 : อุณหภูมิในการอบแห้ง 55 °C

เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ความชื้นเฉลี่ย (% db)	อัตราการอบแห้ง (kg water evap./h)
0	1424	-
1	1103	0.00926
2	865	0.00483
3	597	0.00240
4	437	0.00121
5	287	0.00059
6	185	0.00029
7	120	0.00014
8	77	0.00006
9	59	0.00004
10	40	0.00002
11	33	0.00001
12	29	0.00001
13	27	0.00001

TEST No. 3 : อุณหภูมิในการอบแห้ง 60 °C

เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ความชื้นเฉลี่ย (% db)	อัตราการอบแห้ง (kg water evap./h)
0	1217	-
1	878	0.08928
2	630	0.00365
3	396	0.00144
4	252	0.00064
5	145	0.00026
6	69	0.00008
7	45	0.00003
8	28	0.00002
9	24	0.00001

TEST No. 4 : อุณหภูมิในการอบแห้ง 65 ^{o}C

เวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ความชื้นเฉลี่ย (% db)	อัตราการอบแห้ง (kg water evap./h)
0	1159	-
1	396	0.00342
2	164	0.00051
3	66	0.00006
4	31	0.00001
5	25	0.00001
6	20	0.00001

ภาคผนวก ข
ข้อมูลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การแพร่

ตารางที่ ข.1 รายละเอียดข้อมูลการทดลองหาสัมประสิทธิ์การแพร่ของหอมหัวใหญ่ ครั้งที่ 1-7

Test No.1 : อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 45 °C

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% db)	อัตราส่วนความชื้น (MR)
0	88.2	1951.16	1
0.5	70.3	1534.88	0.7841
1.0	54.8	1174.41	0.5971
1.5	40.7	846.51	0.4270
2.0	35.8	732.55	0.3679
3.0	24.9	479.06	0.3264
4.0	19.0	341.86	0.1653
5.0	12.5	190.69	0.0069
6.0	9.8	127.90	0.0543
7.0	7.5	74.41	0.0265
8.0	7.1	65.11	0.0217
9.0	6.8	58.14	0.0181
10.0	6.2	44.18	0.0109
11.0	5.8	34.88	0.0060
12.0	5.6	30.23	0.0036
13.0	5.5	27.90	0.0024
14.0	5.3	23.25	0

รูปทรงกระบอกตันสั้น

- รัศมีเฉลี่ย = 3.5 cm
- ความยาวเฉลี่ย = 0.3 cm

น้ำหนักแห้งของหอมหัวใหญ่ = 4.3 g

ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนเฉลี่ย = 30.11 %

ความชื้นสมดุล = 10.28 % db.

ความเร็วของลมร้อน = 1.3 m/s

Test No.2 : อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 50 °C

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% db)	อัตราส่วนความชื้น (MR)
0	82.9	1827.90	1
0.5	64.3	1395.35	0.7603
1.0	51.5	1097.67	0.5954
1.5	38.7	800.00	0.4304
2.0	30.4	606.97	0.3235
3.0	17.7	311.62	0.1598
4.0	11.4	165.11	0.0786
5.0	8.8	104.65	0.0451
6.0	7.1	65.11	0.0232
7.0	5.9	37.21	0.0077
8.0	5.7	32.56	0.0052
9.0	5.7	32.56	0.0052
10.0	5.6	30.23	0.0039
11.0	5.5	27.90	0.0026
12.0	5.4	25.58	0.0013
13.0	5.3	23.25	0.0000

รูปทรงกระบอกตันสั้น

- รัศมีเฉลี่ย = 3.5 cm
- ความยาวเฉลี่ย = 0.3 cm

น้ำหนักแห้งของหอมหัวใหญ่ = 4.3 g

ความชื้นสมดุล = 6.35 % db.

ความชื้นสมดุลร้อนสัมพัทธ์เฉลี่ย = 11.20 %

ความเร็วของลมร้อน = 1.3 m/s

Test No.3 : อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 55 °C

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% db)	อัตราส่วนความชื้น (MR)
0	83.8	1610.20	1
0.5	65.6	1230.77	0.7658
1.0	53.3	987.75	0.6075
1.5	45.1	820.41	0.5019
2.0	32.8	569.38	0.3436
3.0	19.9	306.12	0.1776
4.0	12.7	159.18	0.0849
5.0	8.2	67.34	0.0270
6.0	7.9	61.22	0.0232
7.0	7.1	44.89	0.0129
8.0	6.8	38.77	0.0090
9.0	6.5	32.65	0.0052
10.0	6.4	30.61	0.0039
11.0	6.3	28.57	0.0026
12.0	6.1	24.48	0

รูปทรงกระบอกตันสั้น

- รัศมีเฉลี่ย = 3.5 cm
- ความยาวเฉลี่ย = 0.3 cm

น้ำหนักแห้งของหอมหัวใหญ่ = 4.9 g

ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนเฉลี่ย = 9.17 %

ความชื้นสมดุล = 8.68 % db.

ความเร็วของลมร้อน = 1.3 m/s

Test No.4 : อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 60 °C

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% db)	อัตราส่วนความชื้น (MR)
0	95.1	1568.42	1
0.5	77.6	1261.40	0.8016
1.0	62.7	1000.00	0.6327
1.5	44.8	685.96	0.4297
2.0	30.1	428.07	0.2630
3.0	17.5	307.01	0.1202
4.0	10.2	78.94	0.0374
5.0	8.7	52.63	0.0204
6.0	7.7	35.08	0.00906
7.0	7.4	29.82	0.00566
8.0	7.3	28.07	0.00453
9.0	7.0	22.80	0.00113
10.0	6.9	21.05	0.0

รูปทรงกระบอกตันสั้น

- รัศมีเฉลี่ย = 3.5 cm
- ความยาวเฉลี่ย = 0.3 cm

น้ำหนักแห้งของหอมหัวใหญ่ = 5.7 g

ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนเฉลี่ย = 17.78 %

ความชื้นสมดุล = 10.05 % db.

ความเร็วของลมร้อน = 1.3 m/s

Test No.5 : อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 65 °C

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% db)	อัตราส่วนความชื้น (MR)
0.0	95.3	1462.29	1
0.5	77.1	1163.93	0.7929
1.0	56.8	831.14	0.5620
1.5	36.7	501.63	0.3333
2.0	25.9	324.59	0.2105
3.0	15.5	154.09	0.0921
4.0	10.4	70.49	0.0341
5.0	9.7	59.01	0.0262
6.0	9.1	49.18	0.0193
7.0	8.6	40.98	0.0137
8.0	7.5	22.95	0.0011
9.0	7.4	21.31	0.000

รูปทรงกระบอกตันสั้น

- รัศมีเฉลี่ย = 3.5 cm
- ความยาวเฉลี่ย = 0.3 cm

น้ำหนักแห้งของหอมหัวใหญ่ = 6.1 g

ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนเฉลี่ย = 12.28 %

ความชื้นสมดุล = 8.06 % db.

ความเร็วของลมร้อน = 1.3 m/s

Test No.6 : อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 70 °C

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% db)	อัตราส่วนความชื้น (MR)
0	94.1	1494.91	1
0.5	69.2	1072.88	0.7138
1.0	51.7	776.27	0.5126
1.5	30.3	413.56	0.2667
2.0	20.8	252.54	0.1575
3.0	12.1	105.08	0.0575
4.0	9.5	61.01	0.0276
5.0	8.3	40.67	0.0138
6.0	7.8	32.20	0.0080
7.0	7.1	20.34	0

รูปทรงกระบอกตันสั้น

- รัศมีเฉลี่ย = 3.5 cm
- ความยาวเฉลี่ย = 0.3 cm

น้ำหนักแห้งของหอมหัวใหญ่ = 5.9 g

ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนเฉลี่ย = 12.10 %

ความชื้นสมดุล = 7.68 % db.

ความเร็วของลมร้อน = 1.3 m/s

Test No.7 : อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 75 °C

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% db)	อัตราส่วนความชื้น (MR)
0	93.0	1424.59	1
0.5	60.8	995.08	0.6943
1.0	44.2	634.59	0.4306
1.5	25.7	321.31	0.2147
2.0	18.8	208.19	0.1342
3.0	11.2	83.60	0.0455
4.0	8.3	36.06	0.0117
5.0	7.6	24.59	0.0035
6.0	7.3	19.67	0.000

รูปทรงกระบอกตันสั้น

- รัศมีเฉลี่ย = 3.5 cm
- ความยาวเฉลี่ย = 0.3 cm

น้ำหนักแห้งของหอมหัวใหญ่ = 6.1 g

ความชื้นสัมพัทธ์ลมร้อนเฉลี่ย = 13.20 %

ความชื้นสมดุล = 5.60 % db.

ความเร็วของลมร้อน = 1.3 m/s

ตารางที่ ข. 2 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของหอมหัวใหญ่ที่ความชื้นเริ่มต้น 1500 % มาตรฐานแห้ง และที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น ($m^2/h \times 10^{-7}$)
45	4.33
50	4.43
55	4.76
60	6.02
65	6.46
70	8.35
75	9.50