การอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในเครื่องอบแห้งแบบถาด

Cashew Kernel Drying in Tray-Dryer

กิตติวัฒน์ วงศ์พิศาล

Kittiwat Wongpisarn

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Engineering Thesis in Chemical Engineering

Prince of Songkla University

2537

เลขหมู่ TP 430.2 C39 W63 2537 ต.1

Bib Key 94411

ชื่อวิทยานิพนธ์ การอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในเครื่องอบแห้งแบบถาด

ผู้เขียน นายกิตติวัฒน์ วงศ์พิศาล

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการที่ปรึกษา

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)

.....กรรมการ
(อาจารย์สุภวรรณ ฎิระวณิชย์กุล)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)

.....กรรมการ
(อาจารย์สุภวรรณ ฎิระวณิชย์กุล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....
(ดร.ไพรัตน์ สงวนไทร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในเครื่องอบแห้งแบบถาด

ผู้เขียน นายกิตติวัฒน์ วงศ์นิศาล

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสมของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในเครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ โดยศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้งได้แก่ อุณหภูมิของลมร้อน (70-90 องศาเซลเซียส), ความเร็วของลมร้อน (0.8-2.0 เมตรต่อวินาที), ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (13-20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง), จำนวนถาดที่ใช้ในการอบแห้ง(1-3 ถาด) และวิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนขณะอบแห้ง กำหนดสภาวะที่เหมาะสมจากเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาคือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง

จากการทดลอง พบว่าเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีกลไกของการอบแห้งที่คล้ายกัน คืออัตราการอบแห้งในช่วงแรกสูงหลังจากนั้นลดลงเรื่อย ๆ และกลไกการอบแห้งเป็นแบบการอบแห้ง ที่อัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ความเร็วของลมร้อนและความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีผลต่ออัตราการอบแห้งเช่นเดียวกับอุณหภูมิของลมร้อน การเพิ่มจำนวนถาดในการอบแห้งไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ในขณะที่การใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนขณะอบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้ง

การอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่อุณหภูมิของลมร้อนสูงสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนต่ำ ในขณะที่การอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อน หรือความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สูง สิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งมากกว่าการอบแห้ง ที่ความเร็วของลมร้อน หรือความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่ำ การเพิ่มจำนวนถาดในการอบแห้งแทบจะไม่มีผลต่อความ

สิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง การอบแห้งโดยเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนขณะอบแห้ง ที่ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สูง จะสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้ง โดยการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนขณะอบแห้ง ที่ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่ำ

ผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนหรือความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สูง มีสีเข้มกว่าผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนหรือความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่ำ นอกจากนี้ยังให้ลักษณะผิวสัมผัสขรุขระและยากต่อการกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ กลิ่นของผลิตภัณฑ์เริ่มพัฒนาดีขึ้นเมื่ออบแห้งด้วยอุณหภูมิของลมร้อนสูงกว่า 85 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อน 70-80 องศาเซลเซียสมีรสชาติมันมากกว่าที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อน 85-90 องศาเซลเซียส การเพิ่มจำนวนถาดในการอบแห้ง และการใช้วิธีเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนขณะอบแห้งให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีคุณภาพไม่แตกต่างกัน

การพิจารณาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมจำเป็นต้องพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ควบคู่กับค่าใช้จ่ายรวมของแต่ละสภาวะ โดยที่

ค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) = ค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานที่ใช้อบแห้ง (Energy cost) + ค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าแรงงาน (Labour cost)

Thesis Title Cashew Kernel Drying in Tray-Dryer

Author Mr.Kittiwat Wongpisarn

Major Program Chemical Engineering

Academic Year 1994

Abstract

The purpose of this research is to study the drying strategies of cashew kernels in fixed tray dryer. The drying parameters are hot air temperature (70-80 °c), hot air velocity (0.8-2.0 m/s), initial moisture contents of cashew kernels (13-20 %db.), number of tray and change of hot air velocity during drying. To obtain the suitable condition of drying, the results from experiments are considered. Criteria for the study are quality of products, drying time and total energy consumption.

It was found from experiments that at the initial of drying time, the drying rate was high after that decreased till the end of drying process. There was only falling rate period. Increase of hot air temperature resulted increase of drying rate. Hot air velocity and initial moisture contents of cashew kernals effected drying rate as same as hot air temperature. Increase of number of tray did not effect drying rate while change of hot air velocity during drying effected drying rate.

Drying at high hot air temperature consumed less total energy than drying at low one. While drying at high hot air velocity or high initial moisture contents of cashew kernels

or low initial moisture contents of cashew kernels. Increase of number of tray did not effect total energy consumption. Change of hot air velocity at high moisture contents of cashew kernels during drying consumed less total energy than drying at low one.

The color of products from drying at high hot air temperature or high initial moisture contents of cashew kernels were darker than ones from drying at low hot air temperature or low initial moisture contents of cashew kernels. This condition resulted in rough surface which made it difficult to peel the testa membrane of the kernel. The odour of products began to develope when they were dried at higher than 85°c hot air temperature. Drying at 70-80°c hot air temperature gave nutty flavours of products better than drying at 85-90°c hot air temperature. Increase of number of tray and change of hot air velocity during drying gave the same quality of products.

The decision on suitable drying conditions depended on two important factors :

1. total cost of each conditions

total cost = energy cost + labour cost

2. quality of products.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ ประธานกรรมการที่ปรึกษา และอาจารย์ สุภวรรณ ภูริยวณิชย์กุล กรรมการที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำในการค้นคว้าวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร กรรมการผู้แทนภาควิชาวิศวกรรมเคมี รองศาสตราจารย์ ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิจัย บริษัทสินไต้อุตสาหกรรมจำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบ

ขอขอบคุณ ดร.ชัยรัตน์ ศิริพัธนะ และอาจารย์ สุรสิทธิ์ ประสารปราน ที่ให้คำแนะนำในการทำวิจัย ขอขอบคุณเพื่อน พี่และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาโท เจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ได้ช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอบคุณคุณสุวัฒน์ วงศ์พิศาล ที่ช่วยให้ความรู้เกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ คุณวิทวัส วงศ์พิศาล ที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมลำเร็วรูป คุณปิยะเสริญ พิชิตวงศ์ คุณพรรณิการ์ พรหมเพ็ญ และ คุณสุนิตา วงศ์พิศาล ที่ช่วยในการพิมพ์วิทยานิพนธ์ ญาติพี่น้องที่ให้กำลังใจตลอดมา

ท้ายที่สุด ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ที่สนับสนุนการศึกษาและคอยให้กำลังใจข้าพเจ้าจนสำเร็จการศึกษาครั้งนี้

กิตติวัฒน์ วงศ์พิศาล

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบาญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(11)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(16)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
จุดประสงค์	2
2. การตรวจเอกสาร	3
3. วิธีการวิจัย	25
วัสดุ	25
อุปกรณ์	25
วิธีดำเนินการ	27
4. ผลและการอภิปรายผล	30
5. บทสรุป	97
บรรณานุกรม	98
ภาคผนวก	105
ประวัติผู้เขียน	211

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1.	ผลของอุณหภูมิลมร้อนต่อเวลาทั้งหมดในการอบแห้งและอัตราการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13%db) ที่ความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s	34
2.	ผลของอุณหภูมิลมร้อนต่อเวลาทั้งหมดในการอบแห้งและอัตราการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13%db) ที่ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s	34
3.	ผลของความเร็วของลมร้อน ต่อเวลาทั้งหมดในการอบแห้งและอัตราการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13%db) ที่อุณหภูมิของลมร้อน 70°c	38
4.	ผลของความเร็วของลมร้อน ต่อเวลาทั้งหมดในการอบแห้งและอัตราการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13%db) ที่อุณหภูมิของลมร้อน 80°c	38
5.	ตัวเลขนัสเซ็ลของการทดลองอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 13 %db ด้วยอุณหภูมิของลมร้อน 70°c ที่ความเร็วของลมร้อนต่าง ๆ	43
6.	ผลของความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ต่อเวลาทั้งหมดในการอบแห้งและอัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิของลมร้อน 70°c ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s	45
7.	ผลของความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ต่อเวลาทั้งหมดในการอบแห้งและอัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิของลมร้อน 80°c ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s	45
8.	ผลของปริมาณความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์, อุณหภูมิและความเร็วของลมร้อนต่อเวลาและพลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง	53
9.	ความยากง่ายในการกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สภาวะต่าง ๆ หลังการอบแห้ง	61
10.	สีของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สภาวะต่าง ๆ หลังการอบแห้ง	63

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

11. ผลของจำนวนถาดต่อเวลา และพลังงานทั้งหมด ในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 m/s ที่ความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s อุณหภูมิในการอบแห้ง 80 °c 76

12. ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ระเหย เมื่อทำการอบแห้งด้วยน้ำหนัก 500 กรัม/ถาด ที่อุณหภูมิ 80°c 79

13. ปริมาณน้ำที่ระเหยต่อหน่วยพลังงานที่เวลาต่าง ๆ ขณะอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ด้วยความเร็วของลมร้อน 0.8, 1.5 และ 2.0 m/s อุณหภูมิของลมร้อน 80°c 87

14. ปริมาณน้ำที่ระเหยต่อหน่วยพลังงาน ที่เวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง โดยใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 m/s เป็น 1.5 m/s ที่ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 10, 8, 6 และ 5 %db 88

15. ผลของการใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนต่อเวลา และพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db ที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 80°c 91

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1.	ผลของความเร็วของลมร้อนและอุณหภูมิของลมร้อนต่อความสิ้นเปลือง พลังงานในการอบแห้ง	8
2.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของกล้วย น้ำว้าที่เวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง	10
3.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของวัสดุอบแห้งและเวลา ใด ๆ ขณะอบแห้ง	12
4.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งของวัสดุและเวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง	13
5.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งของวัสดุและปริมาณ ความชื้นที่เวลาใดๆ ขณะอบแห้ง	13
6.	ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบถาด	20
7.	ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบถาด (ที่ใช้ในงานวิจัย)	26
8.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วง หิมพานต์และเวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง จากการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วง หิมพานต์ (13 %db) ด้วยความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s อุณหภูมิของ ลมร้อน 80°c	31
9.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งของเนื้อในเมล็ดมะม่วง หิมพานต์และเวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง จากการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วง หิมพานต์(13 %db) ด้วยความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s อุณหภูมิของ ลมร้อน 80°c	31

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
10.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์และปริมาณความชื้นที่เวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง จากการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db, ความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s, อุณหภูมิของลมร้อน 80°c	32
11.	ผลของอุณหภูมิของลมร้อนต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db, ความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s	35
12.	ผลของอุณหภูมิของลมร้อนต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db, ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s	36
13.	ผลของความเร็วของลมร้อนต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db, อุณหภูมิของลมร้อน 70°c	39
14.	ผลของความเร็วของลมร้อนต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db, อุณหภูมิของลมร้อน 80°c	40
15.	ผลของความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อการอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s, อุณหภูมิของลมร้อน 70°c	46
16.	ผลของความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อการอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s, อุณหภูมิของลมร้อน 80°c	47
17.	เวลาทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db	49
18.	เวลาทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 16 %db	50
19.	เวลาทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 20 %db	51

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
20.	ความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db	56
21.	ความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 16 %db	58
22.	ความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 20 %db	59
23.	ผลของจำนวนถาดต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) น้ำหนักเริ่มต้น 333.33 กรัม/ถาด ด้วยลมร้อนซึ่งมีความเร็ว 0.8 m/s, อุณหภูมิ 80°c	66
24.	ผลของจำนวนถาดต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) น้ำหนักเริ่มต้น 500 กรัม/ถาด ด้วยลมร้อนซึ่งมีความเร็ว 0.8 m/s, อุณหภูมิ 80°c	68
25.	ผลของการเพิ่มพื้นที่ผิวต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) น้ำหนักรวม 1000 กรัม ด้วยลมร้อนซึ่งมีความเร็ว 0.8 m/s, อุณหภูมิ 80°c	69
26.	ผลของจำนวนถาดต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) น้ำหนักเริ่มต้น 333.33 กรัม/ถาด ด้วยลมร้อนซึ่งมีความเร็ว 1.5 m/s, อุณหภูมิ 80°c	72
27.	ผลของจำนวนถาดต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) น้ำหนักเริ่มต้น 500 กรัม/ถาด ด้วยลมร้อนซึ่งมีความเร็ว 1.5 m/s, อุณหภูมิ 80°c	73

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
25.	ผลของการเพิ่มพื้นที่ผิวต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) น้ำหนักรวม 1000 กรัม ด้วยลมร้อนซึ่งมีความเร็ว 1.5 m/s, อุณหภูมิ 80°c	74
29.	ผลของจำนวนถาดต่อเวลาทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (13 %db) ด้วยลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิ 80°c	75
30.	ผลของจำนวนถาดต่อความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อใน เมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) ด้วยลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิ 80°c	78
31.	ผลของการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อน(จาก 2.0 m/s เป็น 1.5 m/s) ต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (13 %db) ด้วยลมร้อน ที่มีอุณหภูมิ 80°c	81
32.	ผลของการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อน(จาก 2.0 m/s เป็น 0.8 m/s) ต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (13 %db) ด้วยลมร้อน ที่มีอุณหภูมิ 80°c	82
33.	ผลของการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อน(จาก 1.5 m/s เป็น 0.8 m/s) ต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (13 %db) ด้วยลมร้อน ที่มีอุณหภูมิ 80°c	83
34.	ผลของการใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนทั้ง 3 ระดับ (2.0,1.5 และ 0.8 m/s) ต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (13 %db) ด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 80°c	84
35.	ผลของการใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนต่อเวลาทั้งหมดในการ อบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (13 %db) ด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 80°c	85

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
36.	ปริมาณน้ำที่ระเหยต่อหน่วยพลังงานที่เวลาต่าง ๆ ขณะอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ด้วยความเร็วของลมร้อน 0.8, 1.5 และ 2.0 m/s อุณหภูมิของลมร้อน 80°c	90
37.	ผลของการใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนต่อความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (13 %db) ด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 80°c	93
38.	การหาการทดลองที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากเวลาและความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง	95

ตัวย่อและสัญลักษณ์

a	=	ค่าคงที่
A	=	พื้นที่ผิวในการอบแห้งวัสดุที่ซึ่งเกิดการถ่ายโอนมวลสารและพลังงานความร้อน, ตารางเมตร
A_h	=	พื้นที่ผิวของเครื่องอบแห้ง, ตารางเมตร
c_a	=	ความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของอากาศร้อน, กิโลจูลต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส
c_v	=	ความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของไอ, กิโลจูลต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส
CNSL	=	Cashew nut shell liquid
G_a	=	อัตราการไหลของอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องอบแห้ง, กรัมต่อวินาที
h	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน, วัตต์ต่อตารางเมตรต่อเคลวิน
k	=	สภาพนำความร้อนของลมร้อน, วัตต์ต่อเมตรต่อเคลวิน
m	=	ค่าคงที่
n	=	ค่าคงที่
M	=	ความชื้นของวัสดุ, กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง
M_c	=	ความชื้นวิกฤตของวัสดุ, กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง
M_e	=	ความชื้นสมดุลของวัสดุ, กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง
M_f	=	ความชื้นสุดท้ายของวัสดุ, กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง
M_t	=	ความชื้นของวัสดุที่เวลา θ_t , กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง
M_o	=	ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ, กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง
Nu	=	ตัวเลขนัสเซ็ล (Nusselt number)
Nu_o	=	ตัวเลขนัสเซ็ลที่เกิดจากการถ่ายโอนความร้อนแบบการนำความร้อนเพียงอย่างเดียว
Pr	=	ตัวเลขแพรนดัล (Prandle number)

ตัวย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

Q_l = ความร้อนที่สูญเสียไปเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อน, กิโลจูล

Q_m = ความร้อนที่สูญเสียไปกับอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องอบแห้ง, กิโลจูล

Q_t = ความร้อนทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง, กิโลจูล

Q_λ = ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำจากวัสดุ, กิโลจูล

R = อัตราการอบแห้งต่อหน่วยพื้นที่, กรัมของน้ำที่ระเหยต่อวินาทีต่อตารางเมตร

R_c = อัตราการอบแห้งคงที่, กรัมของน้ำที่ระเหยต่อวินาทีต่อตารางเมตร

Re = ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number)

R_f = อัตราการอบแห้งลดลง, กรัมของน้ำที่ระเหยต่อวินาทีต่อตารางเมตร

R_i = อัตราการอบแห้งขณะใดขณะหนึ่ง, กรัมของน้ำที่ระเหยต่อวินาทีต่อตารางเมตร

T_i = อุณหภูมิของอากาศร้อนในตู้อบแห้ง, องศาเซลเซียส

T_w = อุณหภูมิแวดล้อม, องศาเซลเซียส

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม, วัตต์ต่อตารางเมตรต่อองศาเซลเซียส

U_m = ความเร็วของตัวกลางที่ใช้อบแห้ง, เมตรต่อวินาที

W = น้ำหนักแห้งของวัสดุอบแห้ง, กิโลกรัม

W_m = อัตราการไหลของอากาศร้อนออกจากเครื่องอบแห้ง, กรัมต่อวินาที

x = ความยาวของถาดบรรจุวัสดุ, เมตร

θ = ระยะเวลาในการอบแห้ง, วินาที

θ_c = ระยะเวลาในการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่, วินาที

θ_f = ระยะเวลาในการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง, วินาที

θ_t = เวลาทั้งหมดในการอบแห้ง, วินาที

λ = ความร้อนแฝงในการระเหยน้ำ, กิโลจูลต่อกิโลกรัม

ρ = ความหนาแน่นของตัวกลางที่อุณหภูมิของการอบแห้ง, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

μ = ความหนืดของตัวกลาง, กิโลกรับต่อเมตรต่อวินาที

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

มะม่วงหิมพานต์เป็นพืชเขตร้อนอยู่ในวงศ์ Anacardiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Anacardium occidentale L. Purseglore (1977) รายงานว่าพืชในวงศ์นี้มีประมาณ 60 สกุล 400 สปีชีส์ ในสกุล Anacardium มีอยู่ 8 สปีชีส์เป็นทั้งไม้ยืนต้นและไม้พุ่มของทวีปอเมริกาใต้เขตร้อน แต่มะม่วงหิมพานต์นิยมนำมาปลูกกันแพร่หลายมากกว่าสปีชีส์อื่น ในประเทศไทยมีผู้นำมะม่วงหิมพานต์เข้ามาปลูกพร้อม ๆกับยางพาราเมื่อประมาณ พ.ศ.2444 (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2518) เริ่มปลูกกันแพร่หลายในจังหวัดภาคใต้และมีการขยายพื้นที่ปลูกไปสู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปัจจุบันปลูกทั่วทุกภาคในประเทศไทย ส่วนสำคัญของมะม่วงหิมพานต์ คือ เมล็ด เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Kernel) สามารถรับประทานหรือใช้แปรรูปเป็นอาหารได้หลายอย่าง (วิไล ตันติคุณ,2522) มีคุณค่าอาหารพอสมควรคือ โปรตีนร้อยละ 21 ไขมันร้อยละ 47 แป้งร้อยละ 22 และวิตามินอื่น ๆ

ปัจจุบันเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์กำลังเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเป็นอย่างมาก มีการกระเทาะเปลือกในเชิงอุตสาหกรรม แต่เนื่องจากเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีปริมาณมากน้อยตามฤดูกาล ไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งปี การแปรรูปในรูปแบบต่างๆ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นโดยการอบแห้งเป็นกรรมวิธีแบบง่าย ๆ ของการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค.) ซึ่งสามารถทำให้ยืดอายุการเก็บให้นานขึ้นและนำไปแปรรูปในรูปแบบอื่นต่อไปได้ การอบแห้งที่ดีต้องคำนึงควบคู่กันทั้งคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่จะเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและในด้านพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนรวมก็ควรอยู่ในระดับที่ผู้ผลิตสามารถยอมรับได้เช่นกัน

การแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในระยะแรกจะใช้วิธีการคั่ว (Roasting) โดยคั่วในกะทะเจาะรู (Open pan) เพื่อให้เปลวไฟสัมผัสกับเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยตรง

หลังจากตั๋วได้ที่แล้วนำมากระเทาะเปลือก โดยใช้ไม้ทุบเบา ๆ เปลือกจะแตก จากนั้นจึงแกะเอาเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ออกมา วิธีดังกล่าวมีข้อเสียคือ มีเปอร์เซนต์เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แตกหักมาก เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว การแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในปัจจุบันจึงหันมาใช้วิธีการต้ม โดยต้มเป็นเวลา 15-20 นาที จะทำให้เมล็ดอ่อนตัว จากนั้นใช้เครื่องมือกระเทาะเอาเปลือกชั้นนอกออก วิธีนี้เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ได้มีความชื้นสูงประมาณ 12-15 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง จึงจำเป็นต้องนำมาอบแห้งให้มีความชื้นเหลือประมาณ 3-4 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ปัญหาที่พบในปัจจุบันคือ เกษตรกรไม่ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง ทำให้คุณภาพของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์อบแห้งไม่ดีเท่าที่ควร และค่าใช้จ่ายในการผลิตก็ค่อนข้างสูง ดังนั้นการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง ตลอดจนปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง สำหรับเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินสภาวะที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในระดับครัวเรือน ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. ศึกษากลไกการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในเครื่องอบแห้งแบบถาด
2. ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์
   - อุณหภูมิของลมร้อน
   - ความเร็วของลมร้อน
   - ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์
   - จำนวนชั้น(ถาด)ของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ทำการอบแห้ง
   - เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง
3. ศึกษาเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงาน ที่ใช้ในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สภาวะการอบแห้งต่าง ๆ
4. ศึกษาหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสม ของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ในเครื่องอบแห้งแบบถาด โดยพิจารณาจากเวลา, ความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น สี กลิ่นรสชาติของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หลังการอบแห้ง และความยากง่ายในการกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ด

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

Morey (1978) ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวโพดด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบต่าง ๆ พบว่า การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูงเพื่อให้ความชื้นของข้าวโพดลดลงจนถึงระดับที่เหมาะสมแล้วนำไปอบต่อในถังเก็บโดยใช้ลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ ใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่ใช้ลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูงเพียงอย่างเดียว Muhlbauer(1981)ยืนยันผลการทดลองที่คล้ายกันกับของ Morey (1978) และสรุปว่า ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลง 15 เปอร์เซนต์

Ohler (1979) กล่าวว่า เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Kernel) ซึ่งมีเยื่อบาง ๆ (Teste) หุ้มอยู่หากมีความชื้นมากกว่า 6 เปอร์เซนต์ อาจทำให้เชื้อราเจริญเติบโตขึ้นบนเมล็ดได้ การอบแห้งเนื้อในเมล็ดให้มีความชื้นต่ำกว่า 3 เปอร์เซนต์ นอกจากสามารถป้องกันเชื้อราแล้ว ยังทำให้เยื่อบาง ๆ ซึ่งหุ้มอยู่สามารถหลุดออกได้โดยง่ายในขั้นตอน การเอาเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดออก (Peeling) อีกด้วย อย่างไรก็ตามไม่ควรอบแห้งนานเกินไป เพราะอาจทำให้เนื้อในเมล็ดกระเทาะหรือหักได้ง่ายในขั้นตอนต่อไปคือการกระเทาะเยื่อชั้นบาง ๆ ซึ่งหุ้มเนื้อในเมล็ด การคัดขนาด และการบรรจุรวมถึงการขนส่ง จะเห็นว่า สภาวะการอบแห้งมีผลต่อผลิตภัณฑ์อย่างมาก สภาวะในการอบแห้งที่เหมาะสมคือ การอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนประมาณ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ปัญหาที่สำคัญในการอบแห้งคืออุณหภูมิในการอบแห้งไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งตู้อบแห้ง เช่น ด้านบนอุณหภูมิอาจสูงกว่าด้านล่าง ดังนั้นการสลับถาดบรรจุวัสดุจึงสามารถช่วยได้ หรืออีกวิธีหนึ่งคือ การใช้พัดลมช่วยเป่าให้ลมร้อนกระจาย หรือไหลเวียนทั่วทั้งตู้อบแห้ง

Nair และคณะ (1979) ได้ทำการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Broms Drier ความร้อนที่ใช้ในระบบคืออากาศร้อนที่ได้จากการเผาเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในเตาเผาด้านล่าง เครื่องอบแห้งแบบนี้ประกอบด้วยตู้อบแห้งประมาณ 4-6 ตู้ ในแต่ละตู้มีถาดบรรจุวัสดุขนาด 90 x 45 ตารางเซนติเมตร และหนา

10-15 เซนติเมตร วางไว้ 6 ถาด แต่ละถาดสามารถบรรจุเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ประมาณ 10 กิโลกรัม อุณหภูมิของอากาศร้อนบริเวณถาดด้านบนอยู่ระหว่าง 70-100 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิของอากาศร้อนบริเวณถาดด้านล่างอยู่ระหว่าง 40-70 องศาเซลเซียส เพื่อให้การอบแห้งเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอในระหว่างการอบแห้ง จึงต้องมีการเปลี่ยนตำแหน่งของถาด เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งประมาณ 6-12 ชั่วโมง เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในการอบแห้งจึงมีการประดิษฐ์เครื่องอบแห้งอีกแบบหนึ่งคือ Through-flow dryer ซึ่งสามารถอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ครั้งละ 250 กิโลกรัมและพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศา เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเหลือประมาณ 2.0-4.5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

Mazza และ Lesmeguer (1980) ทำการอบแห้งหัวหอม เพื่อศึกษากระบวนการระเหย การแพร่ การดูดซับความชื้นของชิ้นหัวหอม นอกจากนี้ยังศึกษาเกี่ยวกับการคืนกลับความชื้น (Rehydration) อุปกรณ์ในการอบแห้งคือ Vibro-Fluidizer ทำการอบแห้งที่ อุณหภูมิของลมร้อน 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศร้อน 5.5, 8.1 และ 10.3 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการอบแห้ง กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น อัตราการอบแห้งจะเพิ่มมากขึ้น และไม่มีช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ส่วนอัตราการไหลของอากาศร้อนไม่เห็นผลชัดเจน นอกจากนี้ยังพบว่า ที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของการคืนกลับความชื้น มีค่าเป็นสองเท่าของค่าดูดซับความชื้น

Kalchick(1981) ทดลองการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 3 ปี พบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพด ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 26 เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 15.5 เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก สิ้นเปลืองพลังงาน 3.2 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหยสำหรับการอบแห้งด้วยอากาศแวดล้อม 3.8 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหยสำหรับการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมเล็กน้อย 4.1 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหยสำหรับการอบแห้งแบบดรายแอเรชั่น 4.5 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหยสำหรับการอบแห้งเมล็ดพืชแบบไหลสวนทาง และ 6.6 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหยสำหรับการอบแห้งแบบเป็นงวด

Muhlbeuer (1981) ทำการทดลองอบแห้งข้าวสาลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบต่าง ๆ พบว่า การอบแห้งโดยให้พัดลมทำงานเฉพาะในช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ สิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งอย่างต่อเนื่อง หรือการอบแห้งอย่างต่อเนื่องโดยอุ่นอากาศให้ร้อนขึ้น 5 องศาเซลเซียสหรือการอบแห้งอย่างต่อเนื่องโดยควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศไม่ให้สูงเกินกว่าที่กำหนด

ทักษิณา ลอยจิรากุล (2526) ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิและความเร็วของลมร้อนที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งของ พุทรา ลิ้นจี่ องุ่น และมะยม โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 55-72 องศาเซลเซียส ความเร็วของลมร้อน 0.6 และ 1.2 เมตรต่อวินาที พบว่าอัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์เกษตรที่ศึกษาทั้งหมดอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งที่ลดลง อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถ้าอุณหภูมิเพิ่มสูงเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับ คุณภาพของผลิตภัณฑ์เกษตร เช่น ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ ความเร็วของลมร้อนมีอิทธิพลเล็กน้อยต่อการอบแห้งของพุทรา แต่จะมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งของลิ้นจี่และองุ่น

Levi และคณะ (1983) ศึกษาการอบแห้งมะละกอ การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการเตรียมมะละกอก่อนนำไปอบแห้งและขั้นตอนของการอบแห้ง โดยใช้ตู้อบแห้งชนิดลมร้อนไหลผ่าน และตู้อบแห้งแสงอาทิตย์ ขั้นตอนการเตรียมมะละกอมี 4 วิธี คือ (1) การลวก (Blanching) ในน้ำเชื่อม (70% ซูโครส) (2) การลวกในน้ำ (3) การแช่ในน้ำเชื่อมที่อุณหภูมิปรกติหรือในน้ำเชื่อมเดือด (4) ทำวิธีที่ 3 แล้วตามด้วยวิธีที่ 1 หรือ 2 จากนั้นนำมะละกอที่ผ่านกรรมวิธีต่าง ๆ มาอบแห้ง พบว่า เวลาในการอบแห้งมะละกอที่ผ่านกรรมวิธีดังกล่าว น้อยกว่ามะละกอที่ไม่ผ่านกรรมวิธีอย่างเห็นได้ชัด และทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งลดลงด้วย ส่วนสภาวะที่เหมาะสม คือ การอบแห้งมะละกอโดยใช้ตู้อบแห้งชนิดลมร้อนไหลผ่าน โดยอบแห้งที่อุณภูมิของลมร้อน 55-75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงอบแห้งต่อโดยใช้อุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-6 ชั่วโมง

Maryanto(1986) ได้ศึกษาการอบแห้งมะม่วง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตู้ชนิดลมร้อนไหลผ่าน ทำการทดลองหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสม ตัวแปรที่ศึกษามีดังนี้ คือ อุณหภูมิของลมร้อน (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส) ความหนาของชิ้นมะม่วง(0.5,

1.0 และ 1.5 เซนติเมตร) และปริมาณของชิ้นมะม่วงที่บรรจุในถาด (1.225, 2.45, 3.675 และ 4.9 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) สำหรับการเตรียมมะม่วงก่อนการอบแห้งนั้น ทำโดย แช่ชิ้นมะม่วงในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 1.5 เปอร์เซนต์, โปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 1.5 เปอร์เซนต์ จากนั้น จึงแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.4 เปอร์เซนต์ แล้วนึ่งด้วยไอน้ำ อีกวิธีหนึ่งคือ ไม่มีการเตรียมชิ้นมะม่วงก่อนทำการอบแห้ง การศึกษาการอบแห้งครั้งนี้ไม่ได้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิแวดล้อมของการทดลองอยู่ในช่วง 28-29 องศาเซลเซียส และความชื้นในขณะอบแห้งอยู่ในช่วง 80-85 เปอร์เซนต์ จากการศึกษาพบว่าอัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศร้อน ความหนาของชิ้นวัสดุและยังขึ้นอยู่กับปริมาณของผลิตภัณฑ์บนถาดอบแห้ง สีของผลิตภัณฑ์จะได้มาตรฐานนั้นจะต้องมีการจำกัดสารซัลไฟต์ทุก ๆ อุณหภูมิที่อบแห้ง อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้อบแห้งมีอิทธิพลต่อผิวสัมผัสของชิ้นมะม่วงที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมก่อนทำการการอบแห้ง วิตามินซีจะสูญเสียในขั้นตอนการเตรียมชิ้นมะม่วงก่อนอบแห้งมากกว่าการสูญเสียขณะอบแห้ง

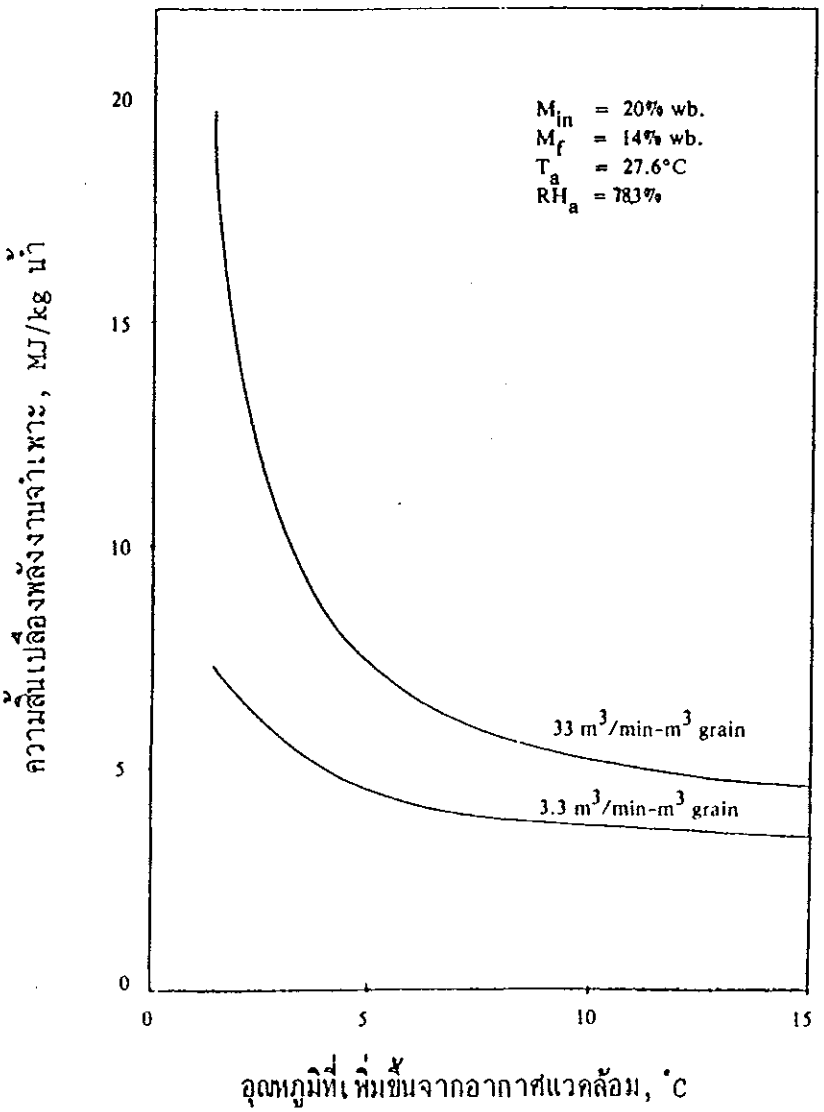
Soponronnarit และ Chinsakoltanakorn (1986) ศึกษาแนวโน้มความสิ้นเปลืองพลังงานจากการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีการต่างๆ พบว่า การอบแห้งด้วยอัตราการไหลของอากาศต่ำโดยควบคุมให้พัดลมทำงานในช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำหรือโดยควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศให้ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ใช้พลังงานในการอบแห้งต่ำสุดโดยต่ำกว่าการอบแห้งแบบเป่าอากาศต่อเนื่องไม่ว่าจะใช้อัตราการไหลและ/หรืออุณหภูมิของอากาศอบแห้งต่ำหรือสูง

Cruz (1988) ทำการอบแห้งเนื้อมะพร้าวในเครื่องอบแห้งแบบถาด ที่สามารถปรับปริมาณเวียนกลับของอากาศร้อนได้ ใช้ Producer gas ซึ่งได้จากกะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง พบว่า สามารถอบแห้งเนื้อมะพร้าวผ่าซีก ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 48 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ให้มีความชื้นลดลงเหลือ 10 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้งได้ภายในเวลา 8 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนอากาศเวียนกลับที่เหมาะสมคือ 0.96 อุณหภูมิในการอบแห้ง 77 องศาเซลเซียส นอกจากนี้พบว่า หากอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนสูงกว่านี้จะทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น แต่จะทำให้ผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพ ดังนั้น ที่อุณหภูมิดังกล่าวจึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง

Soponronnarit(1988) ได้ศึกษาถึงการสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งข้าว

เปลือก โดยกำหนดให้ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกเท่ากับ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก ปริมาตรของข้าวเปลือกเท่ากับ 100 ลูกบาศก์เมตร โดยใช้สภาวะอากาศของกรุงเทพ ฯ ซึ่งมีอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมเฉลี่ย 27.6 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซนต์ ความสูงของชั้นข้าวเปลือกอยู่ระหว่าง 0.58-2.0 เมตร ใช้อัตราการไหลของอากาศร้อนอยู่ในช่วง 3.3-33.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ต่อลูกบาศก์เมตรของข้าวเปลือก และกำหนดให้อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าถังอบแห้งมีค่าสูงขึ้นจากอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม 1.5-15.0 องศาเซลเซียส การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นเฉลี่ยของข้าวเปลือกในถังอบแห้งเท่ากับ 14 เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก สรุปได้ว่า การอบแห้งที่ใช้อัตราการไหลของอากาศร้อนสูงจะสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งมากกว่าวิธีการใช้อัตราการไหลของอากาศร้อนต่ำอย่างเห็นได้ชัด และการสิ้นเปลืองพลังงานจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งโดยลดลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศร้อนสูงขึ้น (ภาพประกอบ 1)

เพ็ญพรรณ ทะสะโส (2532) ศึกษาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสมของมะละกอแช่อิ่มโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตู้ ซึ่งภายในบรรจุถาดอยู่กับที่ ทำการอบแห้งมะละกอแช่อิ่มที่สภาวะต่าง ๆ เพื่อหาแนวโน้มของแนวทางการอบแห้งมะละกอแช่อิ่มที่เป็นไปได้จริงในทางปฏิบัติ โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาคือ คุณภาพของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งที่ได้ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่า มะละกอแช่อิ่มที่ผ่านการอบแห้งแล้วจากแต่ละบริเวณของถาดทุกถาดมีความชื้นแตกต่างกันคือ ความชื้นของมะละกอแช่อิ่มที่อยู่บริเวณด้านริมของถาดซึ่งสัมผัสกับลมร้อนก่อน จะมีความชื้นลดลงมากกว่าตรงกลางถาดและด้านริมถาดอีกด้านหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายของลมร้อนภายในตู้อบแห้งไม่ดีพอ เมื่อนำความชื้นเฉลี่ยของมะละกอแช่อิ่มและเวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง มาเขียนกราฟ พบว่า ความชื้นเฉลี่ยของมะละกอแช่อิ่มลดลงเมื่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่า เมื่ออัตราการไหลจำเพาะของอากาศร้อนลดลงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งมะละกอแช่อิ่มลดลงด้วย และเมื่ออัตราส่วนเวียนกลับของอากาศที่ใช้อบแห้งแล้วเพิ่มขึ้นทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง ทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงเช่นกัน คุณภาพของมะละกอแช่อิ่มอบแห้งมีคุณภาพดีที่สุด เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อน 65 องศาเซลเซียส กล่าวคือ มะละกอแช่อิ่มอบแห้ง มีการหดตัวเล็กน้อย เนื้อไม่



ภาพประกอบ 1 ผลของความเร็วของลมร้อนและอุณหภูมิของลมร้อนต่อความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้ง

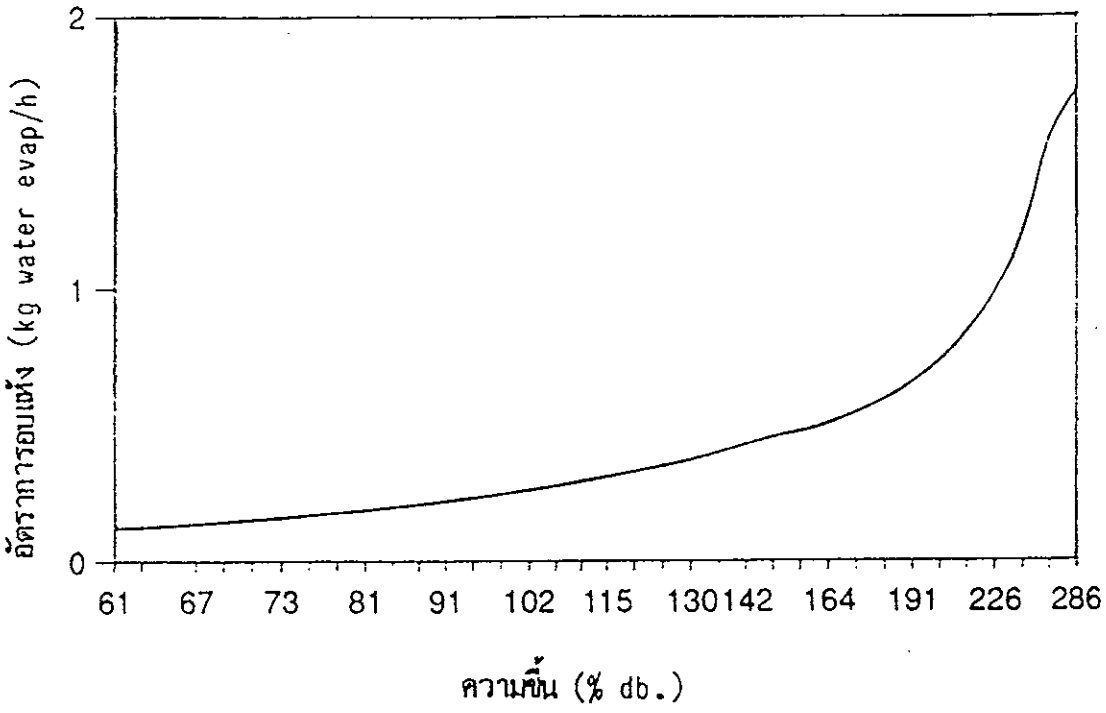
ที่มา: Soponronnarit (1988)

แข็ง และมีสีไม่เข้มมากเกินไป

สมควร อินทรพานิชย์ (2532) ได้สร้างตู้อบแห้งเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ขึ้น 2 แบบ คือ แบบแรกเป็นตู้อบแห้งไฟฟ้าที่มีความจุ 40 กิโลกรัม อุณหภูมิในตู้อบแห้งมีค่าระหว่าง 90-100 องศาเซลเซียส มีการติดตั้งพัดลมเพื่อระบายความชื้น ใช้เวลาทั้งหมดในการอบแห้ง 12-16 ชั่วโมง แต่สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ส่วนแบบที่สองเป็นตู้อบแห้งซึ่งมีความจุ 200 กิโลกรัม อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งมีค่าระหว่าง 50-70 องศาเซลเซียส ทางด้านบนของตู้อบแห้งติดตั้งท่อระบายความชื้น ใช้เวลาทั้งหมดในการอบแห้ง 24-36 ชั่วโมง ใช้ขี้เลื่อยเป็นเชื้อเพลิงเพราะหาได้ง่ายและราคาถูก โดยขี้เลื่อย 1 กิโลกรัมติดไฟได้นานถึง 12 ชั่วโมง สามารถอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ครั้งละ 4-8 กิโลกรัม

สมชาย ฉินสกลธนากร และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2533) ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกเพื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง รวมถึงศึกษาคุณภาพของข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง ด้วยวิธีการอบแห้งแบบต่าง ๆ ภายใต้สภาวะอากาศของกรุงเทพ ฯ ในช่วงข้าวนาปี วิธีที่ใช้ในการทดลองคือ (1) การเป่าอากาศอย่างต่อเนื่องโดยใช้อากาศแวดล้อมและอัตราการไหลของอากาศต่ำ (2) การเป่าอากาศอย่างต่อเนื่องโดยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (3) การเป่าอากาศโดยการควบคุมเวลาการทำงานของพัดลมและใช้อัตราการไหลของอากาศต่ำ (4) การเป่าอากาศอย่างต่อเนื่องโดยใช้อากาศแวดล้อมและอัตราการไหลของอากาศสูง (5) การเป่าอากาศอย่างต่อเนื่องโดยใช้อากาศร้อนและอัตราการไหลของอากาศสูง จากการทดลองสรุปได้ว่า คุณภาพของข้าวที่ได้ภายหลังการอบแห้งทั้งเปอร์เซนต์ข้าวเต็มเมล็ดและเปอร์เซนต์การงอกอยู่ในเกณฑ์ดี และจากการเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งพบว่า วิธีการอบแห้งที่ใช้อัตราการไหลของอากาศต่ำ (วิธีที่ 1, 2 และ 3) มีความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งต่ำกว่าของการอบแห้งที่ใช้อัตราการไหลของอากาศสูง (วิธีที่ 4 และ 5)

Soponronnarit และคณะ (1992) ศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้าในตู้อบแห้ง จากการทดลอง พบว่า ที่ความชื้นของกล้วยน้ำว้าสูง ๆ อัตราการอบแห้งมีค่าสูง และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ต่อมาจะลดลงอย่างช้า ๆ (ภาพประกอบ 2) หากต้องการให้ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีคุณภาพสูง คือ มีสีสวย ไม่คล้ำ ผิวไม่เหี่ยวย่น ควรใช้อุณหภูมิของอากาศอบแห้งประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส ในการอบแห้ง อัตราการไหลของอากาศ



ภาพประกอบ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของกล้วยน้ำว้าที่เวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง

ที่มา: Soponronnarit (1988)

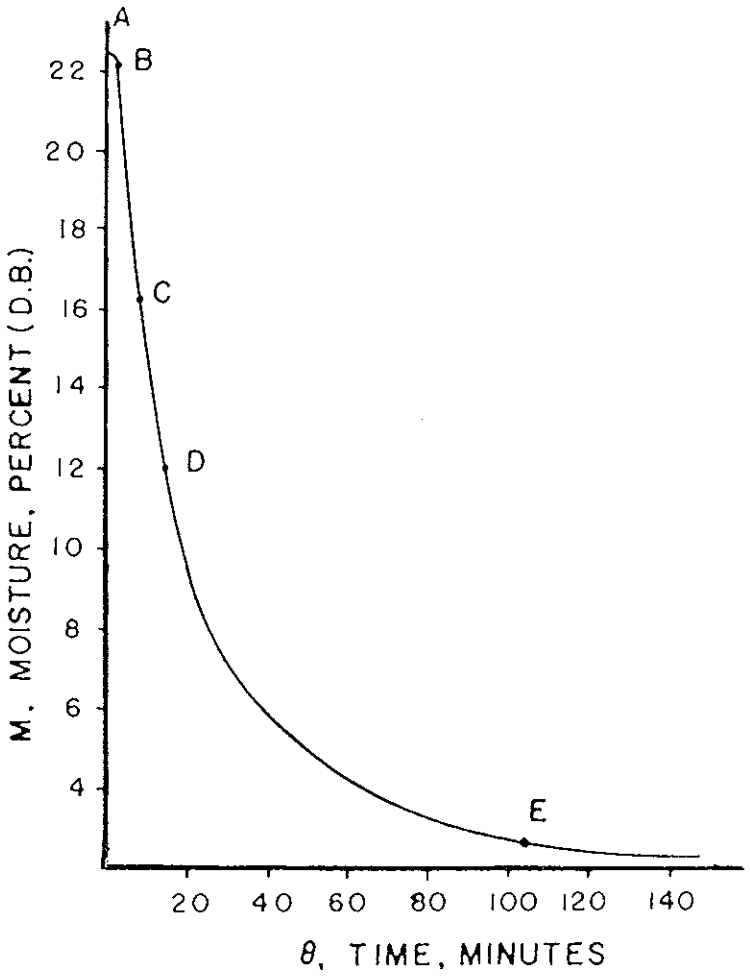
ประมาณ 10 กิโลกรัมต่อชั่วโมงต่อกิโลกรัมของผลิตภัณฑ์แห้ง และสัดส่วนของอากาศเวียนกลับประมาณ 90 เปอร์เซนต์ ที่สภาวะดังกล่าว ความสิ้นเปลืองพลังงานจะต่ำสุด และอัตราการผลิตผลิตภัณฑ์แห้งยังคงสูงอยู่

ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่มีการถ่ายโอนความร้อนและมวลสารเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันในทางปฏิบัติมักจะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้งวัสดุ โดยการผ่านอากาศร้อนไปที่ตัววัสดุ ความร้อนจากอากาศที่วัสดุได้รับทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ ในกระบวนการอบแห้งมีการถ่ายโอนความร้อนทั้ง 3 ชนิด คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน แต่การถ่ายโอนความร้อนที่เป็นหลักคือ การพาความร้อน

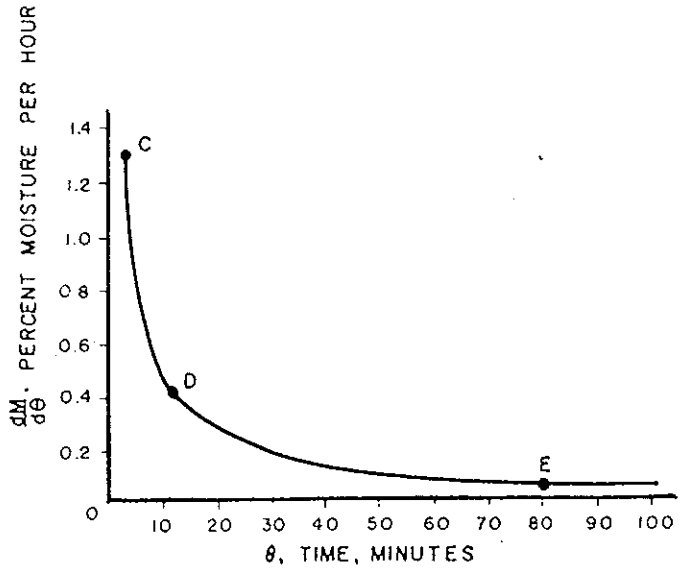
1. กลไกของการอบแห้ง

Hall (1980) กล่าวว่า อัตราการอบแห้งโดยทั่ว ๆ ไปแบ่งเป็น 2 ช่วงหลัก คือช่วงอัตราการอบแห้งคงที่(Constant rate period) และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) จากภาพประกอบ 3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของวัสดุอบแห้งกับเวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง, ภาพประกอบ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งของวัสดุกับเวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง และ ภาพประกอบ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งของวัสดุ กับปริมาณความชื้นที่เวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง จากภาพประกอบ 3 จะเห็นว่า ช่วง AB เป็นช่วงที่วัสดุได้รับความร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ช่วง BC ซึ่งเป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวหน้าวัสดุไปยังอากาศร้อนจะเท่ากับการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุมาที่ผิวหน้า ดังนั้นอุณหภูมิผิวหน้าของวัสดุจะเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศอบแห้ง จุด C เป็นจุดที่เปลี่ยนจากอัตราการอบแห้งคงที่เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง(CE) ความชื้นจุดนี้เรียกว่าค่าความชื้นวิกฤติ (Critical moisture content) ซึ่งจะขึ้นกับ ชนิดของวัสดุ และสภาวะในการอบแห้ง ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงแบ่งเป็น 2 ช่วงย่อย คือ ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงช่วงที่หนึ่ง (First falling rate period,CD)และช่วงอัตราการอบแห้งลดลงช่วงที่สอง(Second



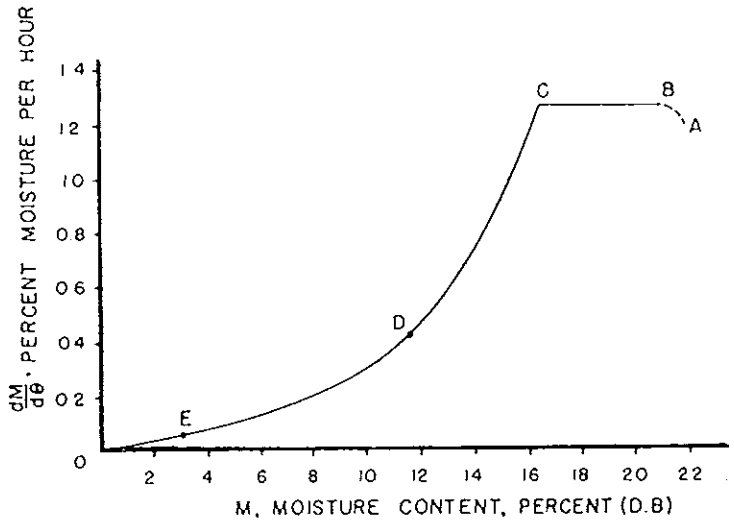
ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของวัสดุอบแห้งและเวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง

ที่มา: Hall (1980)



ภาพประกอบ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งของวัสดุและเวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง

ที่มา: Hall (1980)



ภาพประกอบ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งของวัสดุและปริมาณความชื้นที่เวลาใดๆ ขณะอบแห้ง

ที่มา: Hall (1980)

falling rate period, DE) ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ปริมาณความชื้นของวัสดุต่ำกว่าปริมาณความชื้นวิกฤติ อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิวหน้า ต่ำกว่าการระเหยของน้ำจากผิวหน้าวัสดุสู่อากาศร้อน อัตราการอบแห้งจะเป็นศูนย์เมื่อวัสดุมีความชื้นเท่ากับปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content)

2. เวลาและอัตราการอบแห้ง

Nonhebel และ Moss (1971) ได้กำหนดนิยามอัตราการอบแห้งต่อหน่วยพื้นที่ไว้ดังนี้

$$R = \frac{10^{3} W dM}{A d\theta} \qquad (2.1)$$

เมื่อ R = อัตราการอบแห้งต่อหน่วยพื้นที่, กรัมของน้ำที่ระเหยต่อวินาทีต่อตารางเมตร

W = น้ำหนักแห้งของวัสดุ, กิโลกรัม

M = ความชื้นของวัสดุ, กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง

A = พื้นที่ผิวในการอบแห้งของวัสดุซึ่งเกิดการถ่ายโอนมวลสารและพลังงานความร้อน, ตารางเมตร

θ = ระยะเวลาในการอบแห้ง, วินาที

ที่เวลา θ ใดๆ อัตราการอบแห้งขณะใดขณะหนึ่งเท่ากับ

$$R_{i} = \frac{(M_{o}-M_{i})W}{A\theta} \qquad (2.2)$$

เมื่อ R_{i} = อัตราการอบแห้งขณะใดขณะหนึ่ง, กิโลกรัมของน้ำที่ระเหยต่อวินาทีต่อตารางเมตร

M_u = ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ, กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง

M_t = ความชื้นของวัสดุที่เวลา t , กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง

จากสมการ(2.1) ซึ่งเป็นสมการสำหรับการหาอัตราการอบแห้งขณะใดขณะหนึ่ง สามารถใช้คำนวณหาเวลาของการอบแห้งที่อัตราการอบแห้งคงที่ เขียนสมการ (2.1)ให้อยู่ในรูปเวลาของการอบแห้งเพื่อใช้อินทิเกรต

$$\int_0^{\theta_c} d\theta = \frac{10^3 w \int_{M_s}^{M_c} dM}{A \quad R} \qquad (2.3)$$

ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ R มีค่าคงที่เท่ากับ R_c ดังนั้นสามารถอินทิเกรตสมการ (2.3) ได้คือ

$$\theta_c = \frac{10^3 W(M_c - M_u)}{A \; R_c} \qquad (2.4)$$

เมื่อ θ_c = ระยะเวลาในการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่, วินาที

M_c = ความชื้นวิกฤต, กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง

R_c = อัตราการอบแห้งคงที่,กรัมของน้ำที่ระเหยต่อวินาทีต่อตารางเมตร

สำหรับการหาระยะเวลาการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงนั้น ในช่วงนี้อัตราการอบแห้งมีค่าไม่คงที่ คือ

$$R_f = \frac{10^3 (M_c - M_f) W}{A \; \theta_f} \qquad (2.5)$$

เมื่อ M_f = ความชื้นสุดท้ายของวัสดุ, กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง

R_f = อัตราการอบแห้งลดลง, กรัมของน้ำที่ระเหยต่อวินาทีต่อตารางเมตร

ในหลาย ๆ กรณีอัตราการอบแห้งลดลงถูกสมมุติให้ลดลงด้วยอัตราคงที่ ดังนั้น

$$\frac{R_f}{M_f} = \frac{R_c}{M_c} \quad \text{หรือ} \quad R_f = \frac{R_c M_f}{M_c} \tag{2.6}$$

แทนค่า R_f จากสมการ (2.6) ลงในสมการ (2.3) จะได้

$$\int_{\theta_c}^{\theta_t} d\theta = \frac{10^3 W \int_{M_c}^{M_f} dM}{A R_c (M_f/M_c)} \tag{2.7}$$

จากนั้นอินทิเกรต ได้ระยะเวลาของการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงคือ

$$\theta_f = \theta_t - \theta_c = \frac{10^3 W M_c \ln(M_f/M_c)}{A R_c} \tag{2.8}$$

เมื่อ θ_f = ระยะเวลาของการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง, วินาที

อย่างไรก็ตามที่สภาวะการอบแห้งหนึ่ง ๆ ไม่สามารถอบแห้งวัสดุให้มีความชื้นเท่ากับศูนย์ได้ เพราะฉะนั้นระยะเวลาในการอบแห้ง

$$\theta_f = \theta_t - \theta_c = \frac{10^3 W (M_c - M_*) \ln[(M_f - M_*)/(M_c - M_*)]}{A R_c} \tag{2.9}$$

เมื่อ M_e = ความชื้นสมดุลของวัสดุ, กิโลกรัมของน้ำต่อกิโลกรัมของวัสดุแห้ง

ดังนั้นระยะเวลาของการอบแห้งทั้งหมด (θ_t)

$$\theta_t = \theta_c + \theta_f = \frac{10^3 W(M_c - M_e)}{A R_c} + \frac{10^3 W(M_c - M_e) \ln \frac{(M_f - M_e)}{(M_c - M_e)}}{A R_c} \qquad (2.10)$$

3. พลังงานความร้อนในการอบแห้ง

พลังงานความร้อนสำหรับใช้อบแห้งวัสดุ ประกอบด้วยพลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ, พลังงานความร้อนที่สูญเสียไปเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อน กับการพาความร้อนจากเครื่องอบแห้ง และพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องอบแห้ง ดังนั้นพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง(Q_t)

$$Q_t = Q_\lambda + Q_l + Q_e \qquad (3.1)$$

เมื่อ Q_t = ความร้อนทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง, กิโลจูล

Q_λ = ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำจากวัสดุ, กิโลจูล

$$= \lambda(M_e - M_f)W \qquad (3.2)$$

λ = ความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำ, กิโลจูลต่อกิโลกรัม

Q_l = ความร้อนที่สูญเสียไปเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อน, กิโลจูล

$$= 10^{-3} U A_t (T_g - T_a)\theta_t \qquad (3.3)$$

โดยที่ U = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม, วัตต์ต่อตารางเมตรต่อองศาเซลเซียส

A_b = พื้นที่ผิวของเครื่องอบแห้ง, ตารางเมตร

T_a = อุณหภูมิแวดล้อม, องศาเซลเซียส

θ_t = เวลาทั้งหมดในการอบแห้ง, วินาที

Q_a = ความร้อนที่สูญเสียไปกับอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องอบแห้ง, กิโลจูล

$$= 10^{-3}(G_a c_a + W_a c_v)(T_t - T_a)\theta_t \qquad (3.4)$$

โดยที่ G_a = อัตราการไหลของอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องอบแห้ง, กรัมต่อวินาที

c_a = ความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของอากาศร้อน, กิโลจูลต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส

W_a = อัตราการไหลของน้ำในอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องอบแห้ง, กรัมต่อวินาที

c_v = ความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของไอ, กิโลจูลต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส

T_t = อุณหภูมิของอากาศในตู้อบแห้ง, องศาเซลเซียส

ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อัตราการไหลของลมร้อน การอบแห้งด้วยอัตราการไหลของลมร้อนสูงสิ้นเปลืองพลังงาน หรือค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง สูงกว่าการอบแห้งด้วยอัตราการไหลของลมร้อนต่ำ (Tia and Soponronnarit, 1988) การใช้ตัวกวน (ในการอบแห้งข้าวโพด) นอกจากจะช่วยลดเวลาในการอบแห้งแล้ว ยังช่วยลดความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งอีกด้วย (Wilcke and Bern, 1986) Soponronnarit (1988) กล่าวว่า วิธีการอบแห้ง (ข้าวเปลือก) แบบ 2 ระยะคือ อบแห้งเร็วในช่วงแรก (อุณหภูมิ,ความเร็วของลมร้อนสูง) และอบแห้ง

ช้าในช่วงที่สอง (อุณหภูมิ,ความเร็วของลมร้อนต่ำ) จะช่วยประหยัดพลังงานในการอบแห้ง นอกจากนี้ ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งยังขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิในการอบแห้ง, ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อน วัสดุที่ใช้อบแห้ง เช่น ขนาด ความชื้นเริ่มต้น ตลอดจนธรรมชาติของวัสดุอบแห้งนั้น ๆ

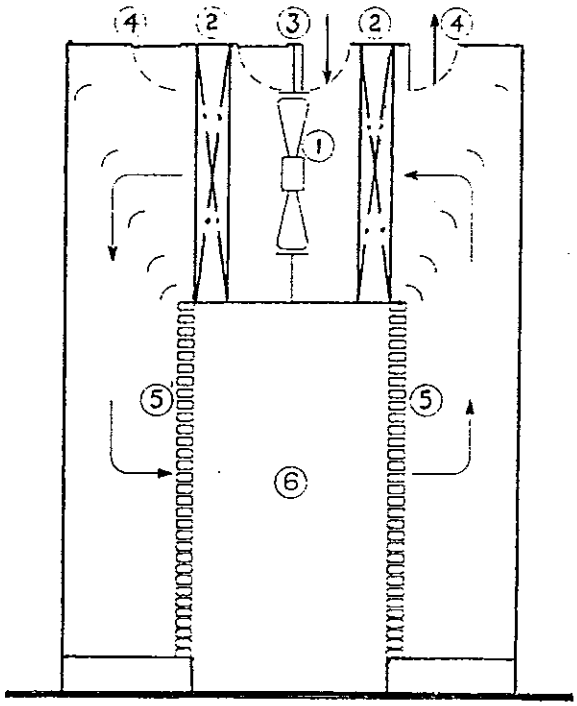
4. การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด

ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด วัสดุที่จะอบแห้งจัดวางในถาดซึ่งวางบนชั้นภายในตู้อบแห้ง โดยให้สัมผัสกับลมร้อนที่เกิดจากการเผาอากาศ ภาพประกอบ 6 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบถาด จะเห็นได้ว่าเมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะใช้พัดลมเป่าให้ลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านถาดวางวัสดุแต่ละถาด ในลักษณะขนานจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของตู้อบแห้ง แต่การออกแบบอาจจะให้ลมร้อนเคลื่อนที่ในลักษณะผ่านทะลุถาดวางวัสดุในแนวตั้งก็ได้ (Heldman and Singh, 1981)

Nonhebel และ Moss (1971)กล่าวว่าเครื่องอบแห้งแบบถาดอาจจะประกอบด้วยตู้อบแห้ง 1 ตู้หรือมากกว่า โดยภายในตู้อบแห้งมีถาดบรรจุวัสดุที่ใช้อบแห้ง โดยทั่วไปแล้วถาดจะวางอยู่บนชั้นซึ่งสามารถนำออกมา หรือใส่เข้าไปในตู้อบแห้งเมื่อต้องการอบแห้งวัสดุ ลมร้อนหรืออากาศร้อนที่ไหลผ่านถาดบรรจุวัสดุจะทำให้เกิดการอบแห้ง ในบางกรณีอาจใช้ตะแกรงบรรจุวัสดุอบแห้ง แล้วให้ลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านรูตะแกรงจากถาดด้านล่างไปยังถาดด้านบน ความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งอาจเป็นไอน้ำหรือน้ำร้อนไหลในท่อเล็กๆ ซึ่งขดไปมาหรือบางครั้งอาจใช้เครื่องทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (Electric heater) ในการเผาอากาศ น้ำมัน หรือก๊าซเชื้อเพลิง จากนั้นจึงใช้พัดลมเป่าอากาศร้อนดังกล่าวไปสัมผัสกับวัสดุในตู้อบแห้ง การติดตั้งเครื่องทำความร้อนอาจติดตั้งภายในหรือภายนอกตู้อบแห้งก็ได้แล้วแต่กรณี Keey (1978) กล่าวว่า การเพิ่มการติดตั้งเครื่องทำความร้อนภายในตู้อบแห้งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบแห้ง

นอกจากเครื่องอบแห้งจะประกอบด้วยถาด ชั้นวาง พัดลม เครื่องทำความร้อนแล้ว การติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิ จะช่วยควบคุมการทำงานของขดลวดให้ความร้อนไม่ให้อุณหภูมิในตู้อบแห้งสูงหรือต่ำกว่าที่กำหนด การหมุนเวียนของอากาศในตู้อบแห้งจะเกิดได้ดีนั้น นอกจากการติดตั้งพัดลมที่ถูกตำแหน่งที่เหมาะสมแล้ว การติดตั้ง Damper จะช่วย

ห้องสมุด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพประกอบ 6 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบถาด

<u>หมายเหตุ</u> : 1 = พัดลมหมุนเวียนอากาศ

2 = เครื่องทำความร้อน

3 = อากาศเข้า

4 = อากาศออก

5 = ตัวปรับการแจกแจงการไหลของอากาศ

6 = ที่วางถาดวัสดุ

ที่มา: Nonhebel และ Moss (1971) : อ้างจาก Forrest (1968)

ควบคุมปริมาณและการกระจายของอากาศร้อนในตู้อบแห้งให้แก่ถาดต่างๆได้อย่างสม่ำเสมอ อีกด้วย ควรมีชั้นวางและถาดสำรองเพื่อช่วยในการเปลี่ยนวัสดุก่อนการอบแห้งและผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้ง ในกรณีที่เครื่องอบแห้งขนาดใหญ่มีถาดจำนวนมาก และมีการเปลี่ยนวัสดุในการอบแห้งจำเป็นต้องมีเครื่องทำความสะอาดเพื่อให้สามารถทำความสะอาดเครื่องอบแห้งได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากชั้นวางที่มีผลิตภัณฑ์บรรจุอยู่เต็มชั้นมีน้ำหนักเฉลี่ยครึ่งตัน ดังนั้นการใช้เครื่องจักรกลในการเคลื่อนย้ายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งก็มีความจำเป็นเช่นกัน หรืออีกวิธีหนึ่งคือการติดล้อที่ขาชั้นวางถาดก็เป็นวิธีแก้ปัญหาอีกวิธีหนึ่ง ปัจจุบันการเคลื่อนย้ายโดยการใช้รถยกเป็นวิธีที่สะดวกที่สุดสำหรับการอบแห้งแบบนี้ ในการอบแห้งแบบถาดนี้การสลับถาดเพื่อให้แน่ใจว่า การอบแห้งเกิดขึ้นสม่ำเสมอทุกๆ ถาดเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง หากเครื่องอบแห้งมีขนาดเล็กการใช้มือสามารถทำได้ ในกรณีที่เครื่องอบแห้งมีขนาดใหญ่ การใช้เครื่องจักรช่วย จึงเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกได้เช่นกัน (Nonhebel and Moss, 1971)

Brennan และคณะ (1986) กล่าวว่า เครื่องอบแห้งแบบถาดเหมาะสำหรับการอบแห้งวัสดุ ที่อยู่ในรูปของของแข็ง เช่น เมล็ดพืชที่มีลักษณะค่อนข้างกลม นอกจากนี้ยังสามารถใช้อบแห้งวัสดุอื่น ๆ อีกหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์ยา สารเคมี เม็ดสี ผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นต้น เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นเครื่องอบแห้งแบบตั้งเดิมสามารถดำเนินการติดตั้งและควบคุมการผลิตได้ง่าย ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ชำนาญงานจำนวนมาก ยังเหมาะกับหน่วยผลิตที่มีขนาดเล็ก (20-50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง) และหน่วยผลิตขนาดกลาง (50-100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง) แต่เนื่องจากในการดำเนินการผลิตจำเป็นต้องใช้แรงงานคนเป็นจำนวนมาก ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตจึงค่อนข้างสูง เนื่องจากปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยเวลาน้อยกว่า 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้การอบแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดในลักษณะที่ไม่ต่อเนื่องนี้ กับหน่วยผลิต ที่มีขนาดใหญ่ (มากกว่า 1 ตันต่อชั่วโมง) ได้

Heldman และ Singh (1981) กล่าวว่า ปัญหาหนึ่งของการอบแห้งแบบถาดคือ เกี่ยวกับเรื่องความสม่ำเสมอของการอบแห้งอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของการไหลของลมร้อน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ที่บริเวณการอบแห้งนั้น ๆ ปัญหาที่สองเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่ใกล้กับบริเวณที่อากาศร้อนไหลเข้ามาแห้งเร็ว ในขณะที่ผลิตภัณฑ์บริเวณทาง

ออกสัมผัสกับอากาศร้อนที่มีความชื้นสูงแห้งช้ามาก สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยการสลับทิศทางการไหลของลมร้อน หรือการให้ถาดวางวัสดุเคลื่อนที่ไปรอบ ๆ

5. ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง

Nonhebel และ Moss (1971) กล่าวว่า สภาวะในการอบแห้งสามารถเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากการปฏิบัติและการควบคุม สภาวะภายนอกที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับอัตราการอบแห้งของวัสดุได้แก่ อุณหภูมิของลมร้อน ความเร็วของลมร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อน น้ำหนักของวัสดุอบแห้งต่อหน่วยพื้นที่ เป็นต้น นอกจากนี้อาจมีปัจจัยอื่นๆ เช่น การกวน การแบ่งขนาดของชิ้นวัสดุ

5.1 อุณหภูมิของลมร้อน

โดยปกติแล้วการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของการอบแห้งจะถูกควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ในกรณีดังกล่าวถือว่าอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยคงที่ ในกรณีที่มีการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิในขณะอบแห้งจะถือว่าอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการอบแห้งอย่างมาก Borgstrom (1988) กล่าวว่า ในกรณีการอบแห้งวัสดุที่ความเร็วของลมร้อนคงที่อัตราการอบแห้งจะขึ้นกับผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกกับกระเปาะแห้งของอากาศร้อนเท่านั้น ดังนั้นอัตราการอบแห้งมีค่าสูงสุดเมื่ออุณหภูมิกระเปาะแห้งสูงสุดและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อนมีค่าต่ำสุด

Borgstrom (1968) กล่าวว่า ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ อัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน และผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศอบแห้งเท่านั้น

ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง วัสดุอบแห้งมีแนวโน้มจะแห้งเร็วขึ้นถ้าอุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น อัตราการแพร่ของความชื้นจากภายในไปยังผิวของวัสดุเป็นตัวกำหนดอัตราการอบแห้ง ดังนั้นอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุอบแห้งซึ่งจากเดิมเป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียกจะเพิ่มขึ้นเป็นอุณหภูมิของลมร้อนและการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาไปยังพื้นผิวจะลดลง แม้ว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนยังคงเท่าเดิม (Cruess, 1958)

5.2 ความเร็วของลมร้อน

ความเร็วของลมร้อนจะไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอากาศ อุณหภูมิ และการนำอากาศที่ใช้แล้วมาผสมกับอากาศแวดล้อม แม้ว่าการนำอากาศที่ใช้แล้วมาผสมกับอากา

แวดล้อมทำให้องค์ประกอบและคุณสมบัติของอากาศร้อนเปลี่ยนแปลงไป แต่ก็ไม่มีผลต่อความเร็วของลมร้อน โดยปกติแล้วในการอบแห้งจะควบคุมให้ความเร็วของลมร้อนคงที่ตลอดช่วงของการอบแห้ง ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของลมร้อน ความเร็วของลมร้อนมีผลต่ออัตราการอบแห้งคือ มีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวล และสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน ดังนั้นถ้าปัจจัยอื่นคงที่การอบแห้งที่ความเร็วลมร้อนสูงยิ่งทำให้อัตราการอบแห้งดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเร็วของลมร้อนสูงเกินไปไม่ทำให้อัตราการอบแห้งดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากธรรมชาติของวัสดุอบแห้งเป็นสิ่งหนึ่งที่กำหนดอัตราการอบแห้งเช่นกัน สำหรับการไหลของลมร้อนในลักษณะขนานกับถาดจะอยู่ในช่วง 2-5 เมตรต่อวินาที (Brennan และคณะ, 1986) Forrest(1986) อ้างอิงจาก Heldman และ Singh (1981) ได้กล่าวว่า ความเร็วของลมร้อนระหว่าง 150-300 เมตรต่อนาที เหมาะสำหรับเครื่องอบแห้งแบบถาด โดยความเร็วที่สูงกว่านี้ไม่ทำให้การอบแห้งดีขึ้น

5.3 ความชื้นของลมร้อน

ความชื้นจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อม และยังขึ้นอยู่กับอัตราการอบแห้งที่เวลาใด ๆ หากลมร้อนมีความชื้นสูงจะทำให้ความสามารถในการดึงน้ำในวัสดุอบแห้งต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของลมร้อนลดลง นั่นคือ อัตราการอบแห้งจะลดลงด้วย ในทางทฤษฎีสามารถควบคุมความชื้นของลมร้อนได้โดยการควบคุมการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อม ซึ่งหากเพิ่มการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อมมากขึ้นเท่าใด อัตราการอบแห้งจะลดลงมากขึ้นเท่านั้น ในทางปฏิบัติไม่สามารถควบคุมการผสมของอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อมได้แน่นอน วิธีที่ง่าย ๆ ที่ทำกันคือ การลองผิดลองถูก แต่อย่างไรก็ตามสามารถประมาณ หรือหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น, อัตราการอบแห้งขณะใดขณะหนึ่งและสัดส่วนของการผสมอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อมโดยการทำดุลมวลสารง่าย ๆ (Hield and Josly, 1976)

5.4 น้ำหนักของวัสดุต่อหน่วยพื้นที่หรือความหนาของชั้นวัสดุ

ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ อัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิววัสดุเท่านั้น ดังนั้นความหนาของวัสดุไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งในช่วงนี้เลย แต่เมื่อถึงช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การแพร่ของน้ำจากภายในสู่พื้นผิวของวัสดุที่ซึ่งเกิดการระเหยจะเป็นตัวควบคุมอัตราการอบแห้ง ในช่วงนี้การเพิ่มความหนาของชั้นวัสดุจะทำให้อัตราการ

อบแห้งลดลง อย่างไรก็ตามอัตราการอบแห้งรวมต่อหน่วยพื้นที่จะลดลงเมื่อความหนาของชั้นวัสดุเพิ่มขึ้น โดยปรกติการเพิ่มน้ำหนักวัสดุอบแห้งทำให้ความหนาของชั้นวัสดุเพิ่มขึ้น และจะมีความหนาที่เหมาะสมค่าหนึ่งที่ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งต่อหนึ่งหน่วยเวลาสูงสุด ดังนั้นในการดำเนินการผลิตด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดนี้จึงจำเป็นต้องกำหนดความหนาของชั้นวัสดุที่เหมาะสมด้วย (Somogyi and Lun,1986)

5.5 ปัจจัยอื่นๆ

นอกจากอุณหภูมิของลมร้อน ความเร็วของลมร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อน และความหนาของชั้นวัสดุอบแห้งแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง เช่น การสลับตำแหน่งของถาดบรรจุวัสดุขณะทำการอบแห้ง ขนาดของชิ้นวัสดุ และธรรมชาติของวัสดุอบแห้ง (Williams,1976)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

วัสดุ

เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จากโรงงานสินอุตสาหกรรมจำกัด อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 12-13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

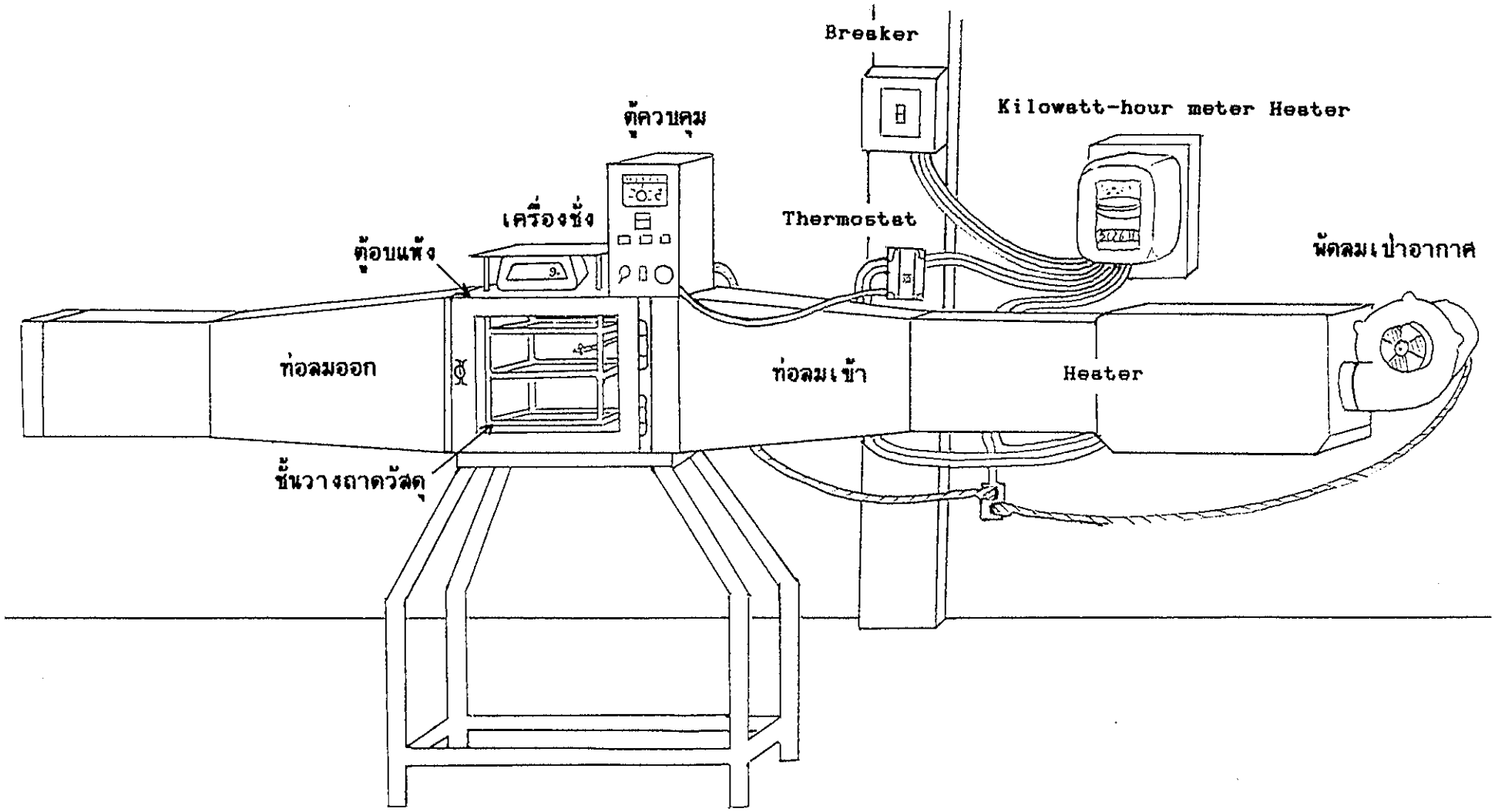
อุปกรณ์

1. ถ้วยหาปริมาณความชื้น
2. ถุงพลาสติกและถังพลาสติก สำหรับใช้ในขั้นตอนการเตรียมความชื้น
3. เครื่องวัดความเร็วลม รุ่น LCA 60000 บริษัท Airflow Developments Limited., ประเทศอังกฤษ
4. เครื่อง Multi-Channel Digital Temperature Recorder รุ่น 3874 Mini YODAC-E บริษัท YEW yokogawa hokushin electric ประเทศญี่ปุ่น
5. Kilowatt-hour meter รุ่น Siemens D22 V6052
6. แผ่นเทียบสี Munsell colour chart
7. เครื่องอบแห้งแบบถาด (ภาพประกอบ 7) เครื่องอบแห้งแบบถาด ที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย

7.1 เครื่องทำความร้อน (Heater) เป็นขดลวดทำความร้อน ขนาด 1 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ตัว และขนาด 3 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ตัว

7.2 พัดลมเป่าอากาศ ซึ่งสามารถปรับความเร็วของลมร้อนในตู้อบแห้งให้อยู่ในช่วง 0.8-2.0 เมตรต่อวินาที

7.3 ตู้อบแห้ง ขนาด 35 x 50 x 35 เซนติเมตร ทำด้วยเหล็กสแตนเลส บุด้วย ฉนวนทนความร้อนชนิดใยแก้วหนา 1 นิ้ว ด้านหน้าเป็นบานประตูกระจก สำหรับปิดเปิดจิง



ภาพประกอบ 7 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบถาด

สามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้ง ภายในตู้อบแห้งมีชั้นวางถาด 3 ชั้น ถาดที่ใช้บรรจุวัสดุอบแห้งทำด้วยตะแกรงเหล็กสแตนเลส ขนาด 25 x 25 x 2.5 เซนติเมตร

7.4 ตู้ควบคุม ซึ่งติดตั้งบนตู้อบแห้ง มีระบบป้องกันไฟฟ้าเกินกำลังและมีระบบป้องกันความร้อนเกินขนาด

7.5 เครื่องชั่ง เป็นเครื่องชั่งไฟฟ้า (ความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง) รุ่น Sartorius GMBA ประเทศเยอรมัน ติดตั้งอยู่ด้านบนของตู้อบแห้ง เครื่องชั่งมีแกนเหล็กสแตนเลสซึ่งต่อลงมาในตู้อบแห้ง โดยยึดติดกับชั้นวางถาดวัสดุ ดังนั้นสามารถชั่งน้ำหนักของวัสดุอบแห้งในถาดโดยไม่ต้องนำถาดออกมาชั่งนอกตู้อบแห้ง โดยน้ำหนักสูงสุดที่สามารถชั่งได้ในแต่ละครั้งไม่มากกว่า 1700 กรัม

วิธีการ

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิ,ความเร็วของลมร้อนและความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อการอบแห้ง

การเตรียมวัตถุดิบ หาปริมาณความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยใช้วิธี AOAC (1990) คำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการปรับปริมาณความชื้น พรมน้ำลงบนเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งกระจายบนเสื่อน้ำมันจนทั่ว ตักเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์บรรจุในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ ใช้เชือกผูกรัดปากถุงให้เรียบร้อย จากนั้นนำไปใส่ในถัง ปิดฝาให้สนิท เก็บไว้ในห้องเย็นซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส ในช่วง 2-3 วันแรก นำเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ออกมาคลุกเคล้าเพื่อให้ความชื้นกระจายให้ทั่ว แล้วเก็บไว้ที่เดิมจนครบ 7 วัน ตรวจหาปริมาณความชื้นอีกครั้งก่อนนำไปใช้ในการทดลอง

นำเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่เตรียมความชื้นไว้กระจายลงบนเสื่อน้ำมัน ทิ้งไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ปรับความเร็วของลมร้อนเพื่อให้ได้ความเร็วของลมร้อนที่ผ่านตู้อบแห้งที่ต้องการ จากนั้นจึงปรับสวิตช์เครื่องทำความร้อน ตรวจเช็คอุณหภูมิในตู้อบแห้งโดยเปิดเครื่อง Multi-Channel Digital Temperature Recorder พิมพ์ผลอุณหภูมิในตู้อบแห้ง เมื่ออุณหภูมิตรงตามที่ต้องการและเข้าสู่ Steady state สุ่มตัวอย่างเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่จะทำการอบแห้งใส่ในถาด เปิดสวิตช์เครื่องชั่งน้ำหนักพิมพ์ผล

อุณหภูมิเริ่มต้นของการอบแห้ง 15, 30, 45 นาที, 1 ชั่วโมง, 1.5 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง หลังจากนั้น พิมพ์ผลอุณหภูมิทุก 1 ชั่วโมง ตลอดการทดลอง วัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง โดยจดบันทึกจาก Kilowatt hour meter ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นก่อนการอบแห้ง ในระหว่างที่อบแห้ง บันทึกน้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เวลาต่างๆ ทำการอบแห้งจนเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เหลือความชื้นเฉลี่ย 4 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง จึงปิดเครื่องทำความร้อนจดบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง เริ่มทำการทดลองใหม่โดยเปลี่ยนอุณหภูมิ, ความเร็วของลมร้อน และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ดังนี้

- อุณหภูมิของลมร้อน 70, 75, 80, 85 และ 90 องศาเซลเซียส
- ความเร็วของลมร้อน 0.8, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที
- ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13, 16 และ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

2. ศึกษาผลของการเพิ่มจำนวนถาดของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อการอบแห้ง

ทำการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ในสภาวะที่คัดเลือกจากข้อ 1. โดยใช้ลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง เตรียมวัตถุดิบดังข้อ 1. ทำการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดังนี้

- น้ำหนัก 333.33 กรัม/ถาด จำนวน 1, 2 และ 3 ถาด
- น้ำหนัก 500 กรัม/ถาด จำนวน 1, 2 และ 3 ถาด
- น้ำหนัก 1000 กรัม/ถาด จำนวน 1 ถาด

หลังจากอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทุกการทดลอง โดยใช้ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที ให้ทำการทดลองเช่นเดิม แต่เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนเป็น 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที

3. ศึกษาผลของการใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนขณะอบแห้งต่อการอบแห้ง

ทำการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ในสภาวะที่คัดเลือกจากข้อ 1. โดย

ใช้ลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และปริมาณความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง เตรียมวัตถุดิบดังข้อ 1. ทำการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดังนี้

- เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาที เป็น 1.5 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 10, 8, 6 และ 5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง
- เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาที เป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 10, 8, 6 และ 5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง
- เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 1.5 เมตรต่อวินาที เป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 10, 8, 6 และ 5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง
- เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาที เป็น 1.5 เมตรต่อวินาที และเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนอีกครั้งเป็น 0.8 เมตรต่อวินาทีที่ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 10, 8, 6 และ 5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

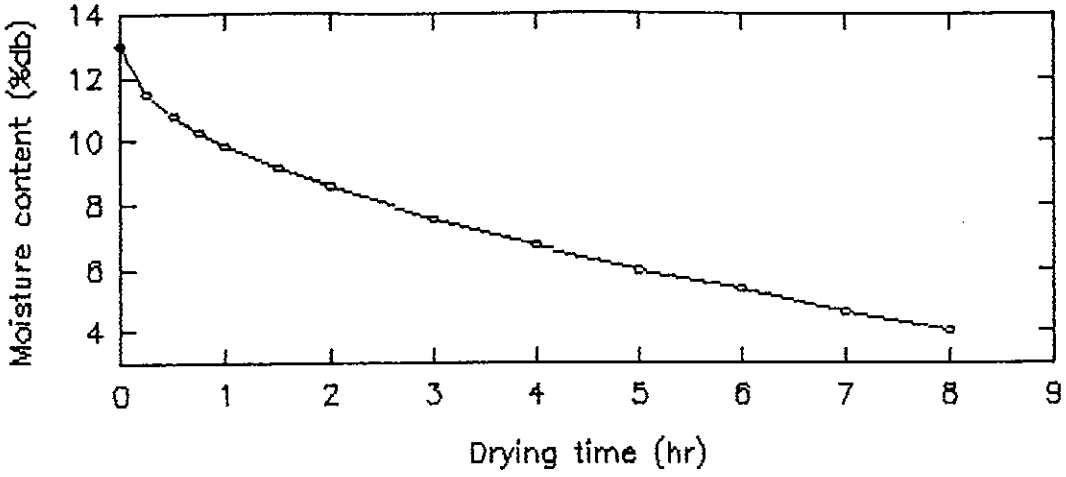
บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผล

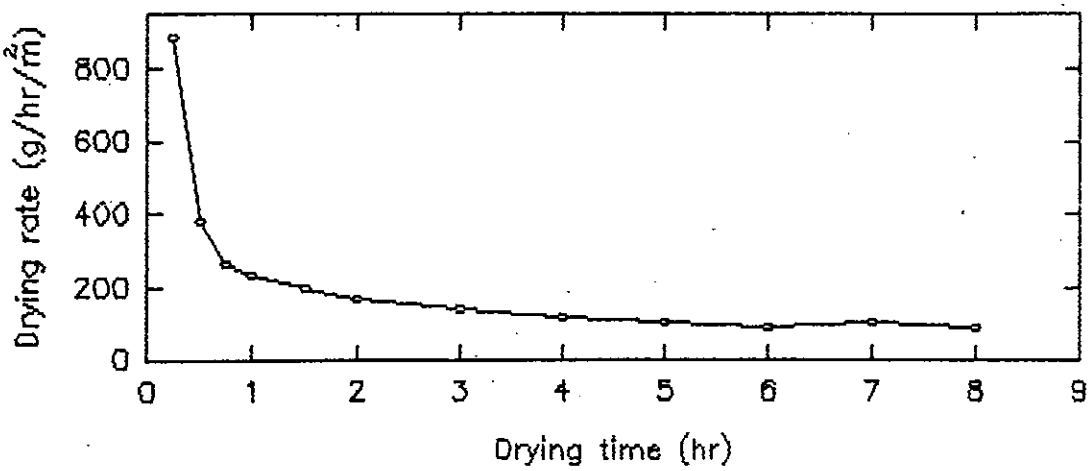
1. ผลการศึกษากลไกการอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบถาด

จากผลการทดลองอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ พบว่า ทุกสภาวะของการทดลองมีกลไกของการอบแห้งที่คล้ายกัน สามารถอธิบายได้ดังภาพประกอบ 8, 9 และ 10 ซึ่งเป็นการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ด้วยความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของการอบแห้ง 80 องศาเซลเซียส จากภาพประกอบ 8 จะเห็นว่า ในช่วงแรกของการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ สูญเสียความชื้นไปอย่างรวดเร็ว และลดลงในช่วงหลัง ซึ่งสามารถสังเกตได้จากความชันของเส้นกราฟที่มีค่ามากในช่วงแรก และค่อย ๆ ลดลงในช่วงสุดท้าย อธิบายได้ว่า ในช่วงแรกของการอบแห้งน้ำที่ระเหยเป็นน้ำที่ผิวนอกของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งระเหยได้ง่าย แต่ในช่วงหลังของการอบแห้ง ซึ่งน้ำที่ผิวนอกของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หมดแล้วนั้น การระเหยน้ำที่ผิวเกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่ของน้ำจากภายในมายังผิวนอก อัตราการระเหยของน้ำจากผิวนอกจะเร็วกว่าการแพร่ของน้ำจากภายในมายังผิวนอก ดังนั้นทำให้ความชื้นลดลงอย่างช้า ๆ ในช่วงหลังของการอบแห้ง

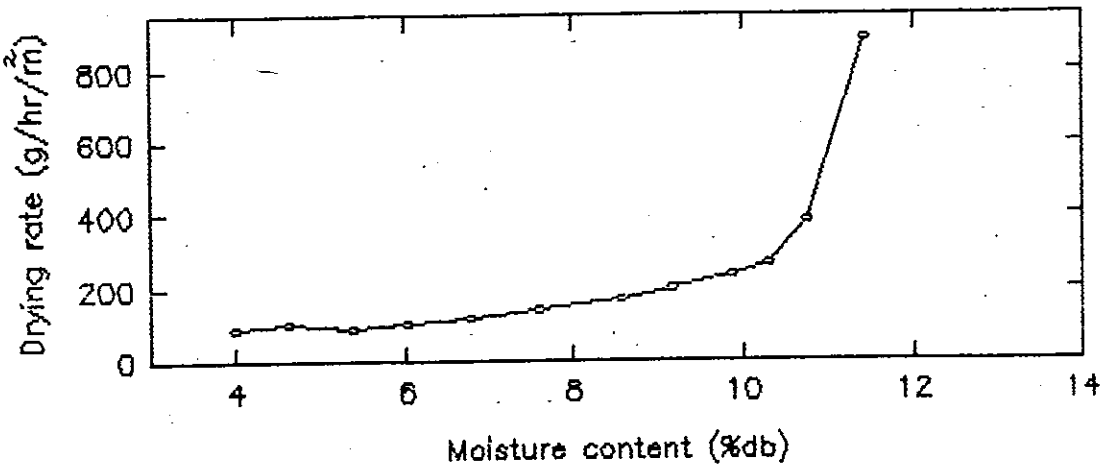
ภาพประกอบ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาใด ๆ ขณะอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ พบว่า ในช่วงแรกของการอบแห้ง อัตราการอบแห้งมีค่าสูง เช่น ในช่วง 15 นาที หลังจากเริ่มอบแห้ง อัตราการอบแห้งมีค่าเท่ากับ 883.21 กรัมของน้ำต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร นั่นคือ ในช่วงแรกของการอบแห้ง น้ำที่ระเหยเป็นน้ำที่บริเวณใกล้ ๆ ผิวนอกทำให้การระเหยเกิดขึ้นได้ง่ายอัตราการอบแห้งจึงสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไป น้ำที่ผิวนอกซึ่งระเหยได้ง่ายหมดไป การระเหยของน้ำในขั้นตอนต่อไป จึงต้องอาศัยการแพร่ของน้ำจากชั้นในออกมาที่ผิวนอก ซึ่งจะมีความต้านทานต่อการแพร่มากขึ้นตามระยะห่างจากผิวนอก ดังนั้นอัตราการอบแห้งจึงค่อย ๆ ลดลง เมื่อความชื้นลดลง และอัตราการอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ในช่วงสุดท้ายของการอบแห้ง (ภาพประกอบ 10) จะเห็นว่า กลไกในการอบแห้งของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์คล้ายคลึงกับกลไกการ



ภาพประกอบ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วง-หิมพานต์และเวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง จากการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วง-หิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db, ความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s, อุณหภูมิของลมร้อน 80°c



ภาพประกอบ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งของเนื้อในเมล็ดมะม่วง-หิมพานต์และเวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง จากการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วง-หิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db, ความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s, อุณหภูมิของลมร้อน 80°c



ภาพประกอบ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นขณะอบแห้งจากการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db, ความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s อุณหภูมิของลมร้อน 80 °c

อบแห้งกล้วยน้ำว้าของ Soponronnarit และคณะ (1992)

เป็นที่สังเกตว่า การอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ มีเฉพาะช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น จากการอบแห้งหัวหอมของ Mazza และ Leamaguer(1980) พบว่าไม่มีช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และจากการอบแห้งพุทรา ลิ้นจี่ องุ่นและมะยม ของทักษิณา ลอยจิรากุล (2526) ได้รายงานว่า การอบแห้งของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาทั้งหมด มีเฉพาะช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น Brennan และคณะ (1986) กล่าวว่า การที่วัสดุมีกลไกการอบแห้งเฉพาะช่วงอัตราการอบแห้งลดลงอาจเป็นเพราะความชื้นเริ่มต้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติ ซึ่งเป็นสมบัติที่ขึ้นอยู่กับ สภาวะการอบแห้ง และธรรมชาติของวัสดุนั้น ๆ นอกจากนี้ ดิวะ อัจฉริยวิริยะ (2531) กล่าวว่า การอบแห้งวัสดุที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุนสามารถแบ่งได้เป็นสองช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง แต่วัสดุอาหารส่วนใหญ่จะพบเฉพาะช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น ซึ่งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติ

2. ผลของอุณหภูมิของลมร้อน, ความเร็วของลมร้อนและความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

2.1 ผลของอุณหภูมิของลมร้อน,ความเร็วของลมร้อนและความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่ออัตราและเวลาการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

อุณหภูมิของลมร้อน ความเร็วของลมร้อน และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีผลต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดังนี้

2.1.1 ผลของอุณหภูมิของลมร้อนต่ออัตรา และเวลาการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

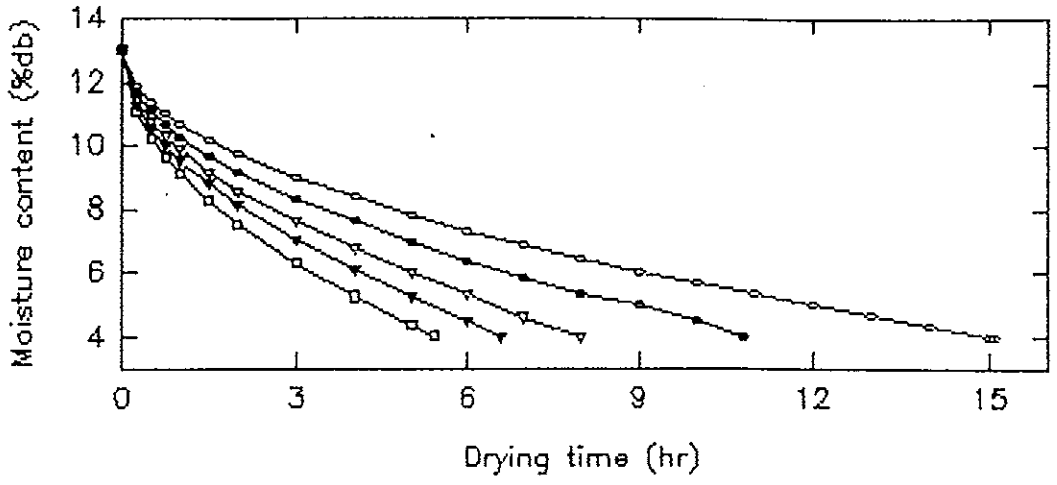
ตาราง 1, 2 และภาพประกอบ 11, 12 แสดงผลของอุณหภูมิของลมร้อน ต่อการอบแห้งของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 เปอร์เซนต์-มาตรฐานแห้ง จะเห็นได้ว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ทำให้ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ลดลงเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นเวลาทั้งหมดในการอบแห้งสำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจึงน้อยกว่าเวลาทั้งหมดในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (ตาราง 1 และภาพประกอบ 11) เช่น การอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 90, 85, 80, 75 และ 70 องศาเซลเซียส

ตาราง 1 ผลของอุณหภูมิลมร้อนต่อเวลาทั้งหมดในการอบแห้งและอัตราการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13%db) ที่ความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s

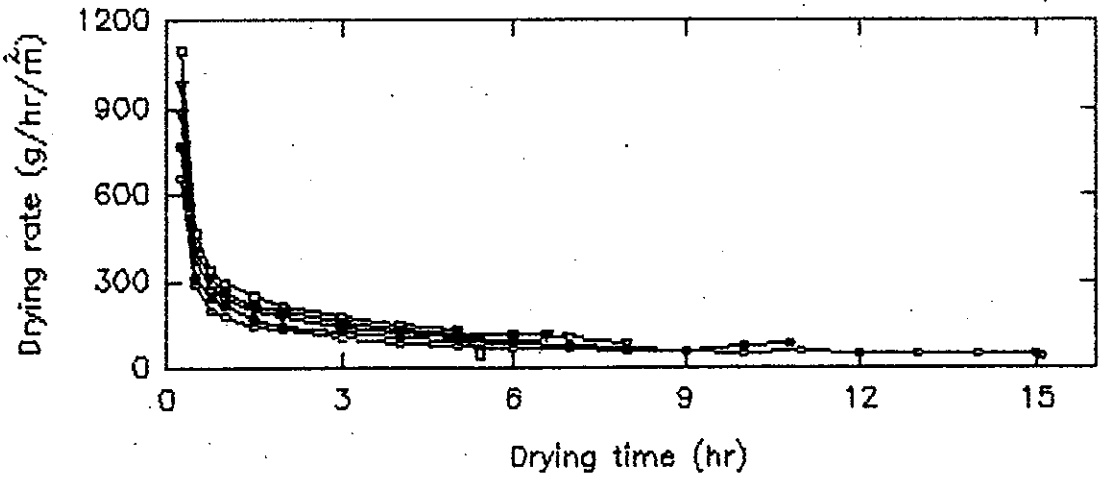
อุณหภูมิของลมร้อน ($^{\circ}$c)	เวลาในการอบแห้ง (hr)	อัตราการอบแห้งในช่วง 15 นาที หลังเริ่มอบแห้ง (g/hr/m^2)
70	15.08	656.65
75	10.79	764.81
80	8.00	883.21
85	6.61	981.13
90	5.48	1096.97

ตาราง 2 ผลของอุณหภูมิลมร้อนต่อเวลาทั้งหมดในการอบแห้งและอัตราการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13%db) ที่ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s

อุณหภูมิของลมร้อน ($^{\circ}$c)	เวลาในการอบแห้ง (hr)	อัตราการอบแห้งในช่วง 15 นาที หลังเริ่มอบแห้ง (g/hr/m^2)
70	10.06	803.85
75	7.48	936.97
80	5.51	1087.61
85	4.50	1201.93
90	3.60	1344.02



(a)



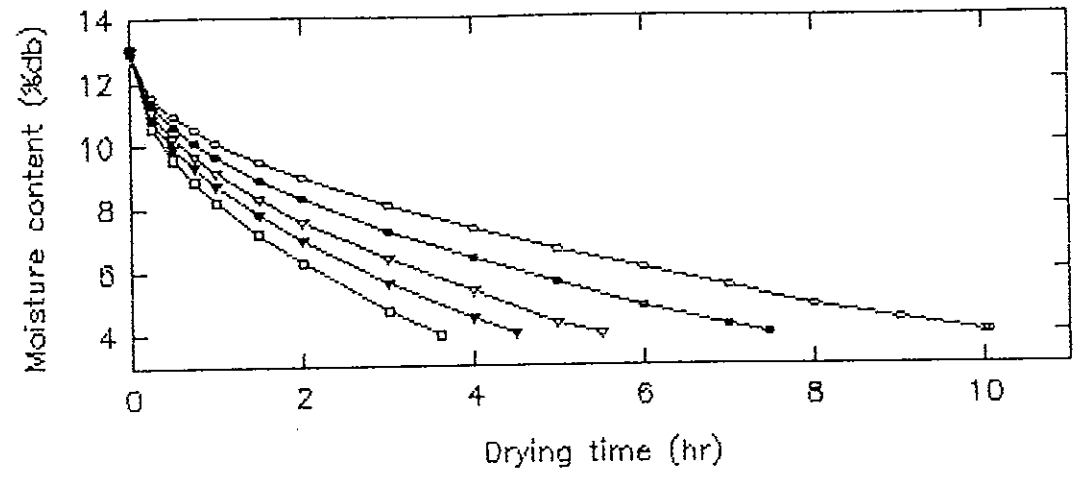
(b)

ภาพประกอบ 11 ผลของอุณหภูมิของลมร้อนต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db, ความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s

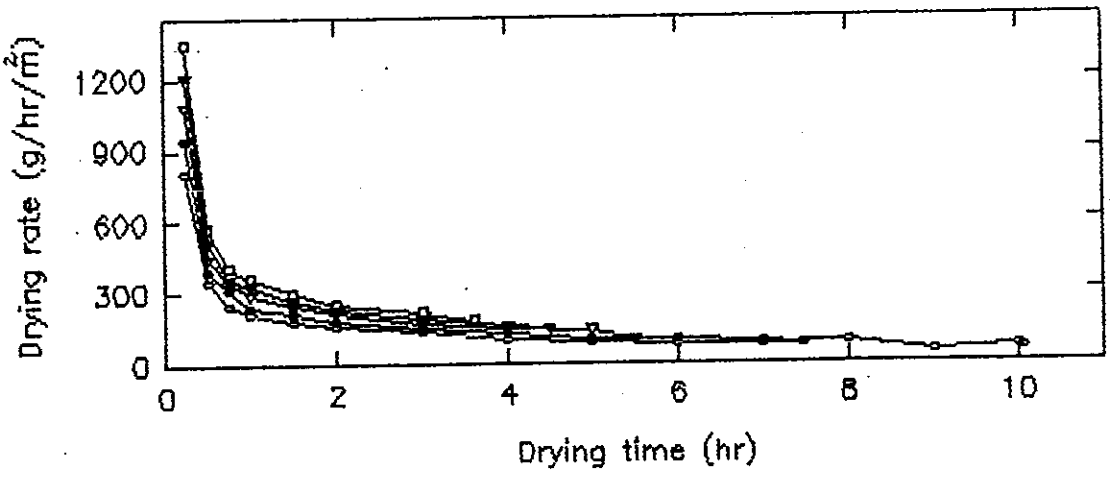
(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและเวลาอบแห้ง

หมายเหตุ : ○ = 70°c, ◆ = 75°c, ▽ = 80°c, ▼ = 85°c, □ =90°c



(a)



(b)

ภาพประกอบ 12 ผลของอุณหภูมิของลมร้อนต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db, ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s

(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและเวลาอบแห้ง

หมายเหตุ : ○ = 70°c, ● = 75°c, ▽ = 80°c, ▼ = 85°c, □ =90°c

ใช้เวลาทั้งหมดในการอบแห้ง 5.48, 6.61, 8.00, 10.79 และ 15.08 ชั่วโมง ตามลำดับ ในช่วง 15 นาที หลังจากเริ่มอบแห้งอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.10 กิโลกรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร อัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิ 85, 80 และ 75 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 981.13, 883.21 และ 764.81 กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งต่ำสุดเท่ากับ 656.65 กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร Borgstrom (1980) กล่าวว่า การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อน ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกรเดียนระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อนเพิ่มสูงขึ้น นั่นคือ ทำให้ลมร้อนสามารถดึงน้ำออกจากวัสดุต่อหน่วยเวลาได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิของลมร้อนสูง จึงมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าและใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิของลมร้อนต่ำ ที่ความเร็วของลมร้อนสูงขึ้นเป็น 2 เมตรต่อวินาที(ตาราง 2 และภาพประกอบ 12) แนวโน้มอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนต่ออัตราการอบแห้งยังคงเป็นเช่นเดิม

อิทธิพลอุณหภูมิของลมร้อนต่ออัตราการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ให้ผลสอดคล้องกับการทดลองอบแห้งหัวหอมของ Mezze และ Leamaguer (1980) และการอบแห้งเนื้อมะพร้าวของ Curz (1988) กล่าวคือ การเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อน ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ทักษิณา ลอยจิรากุล(2526) ซึ่งได้ศึกษาการอบแห้งพุทรา ละมุด องุ่น และมะยม ได้รายงาน ผลของอุณหภูมิในการอบแห้ง ต่ออัตราการอบแห้งในทำนองเดียวกัน

2.1.2 ผลของความเร็วของลมร้อนต่ออัตราและเวลาการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

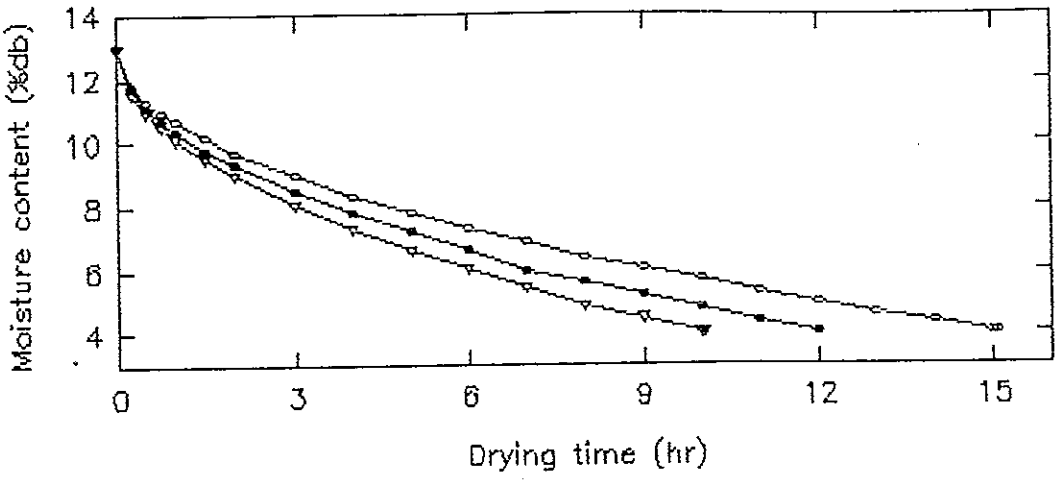
ตาราง 3, 4 และภาพประกอบ 13, 14 แสดงผลของความเร็วของลมร้อนต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ความเร็วของลมร้อนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการอบแห้ง อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของลมร้อนเพิ่มขึ้น(ตาราง 3 และภาพประกอบ 13) เช่น ในช่วง 15 นาที หลังจากเริ่มอบแห้ง อัตราการอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อน 0.8, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 656.65, 734.09 และ 803.85 กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร ตามลำดับ เวลาทั้งหมดในการอบแห้งมีความสัมพันธ์ในทางกลับกับความเร็วของลมร้อน

ตาราง 3 ผลของความเร็วของลมร้อนต่อเวลาทั้งหมดในการอบแห้งและอัตราการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13%db)ที่อุณหภูมิของลมร้อน 70 °c

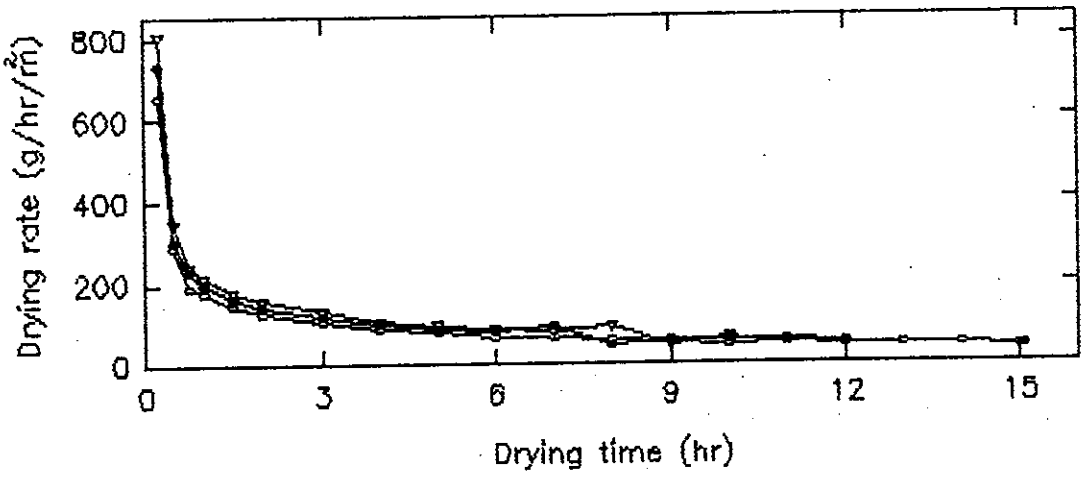
ความเร็วของลมร้อน (m/s)	เวลาในการอบแห้ง (hr)	อัตราการอบแห้งในช่วง 15 นาที หลังอบแห้ง (g/hr/m^2)
0.8	15.08	656.65
1.5	12.00	734.09
2.0	10.06	803.85

ตาราง 4 ผลของความเร็วของลมร้อนต่อเวลาทั้งหมดในการอบแห้งและอัตราการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13%db)ที่อุณหภูมิของลมร้อน 80 °c

ความเร็วของลมร้อน (m/s)	เวลาในการอบแห้ง (hr)	อัตราการอบแห้งในช่วง 15 นาที หลังอบแห้ง (g/hr/m^2)
0.8	8.00	883.21
1.5	6.67	987.53
2.0	5.51	1087.61



(a)



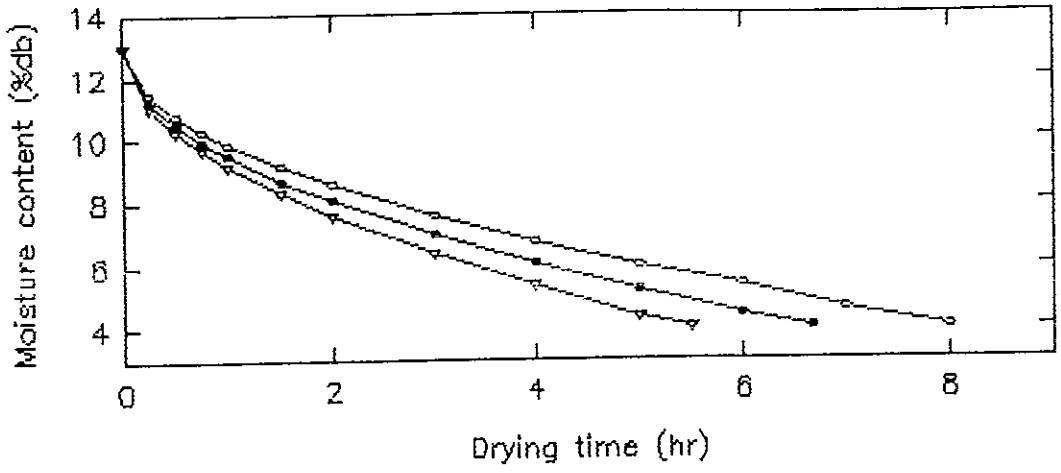
(b)

ภาพประกอบ 13 ผลของความเร็วของลมร้อนต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db, อุณหภูมิของลมร้อน 70°c

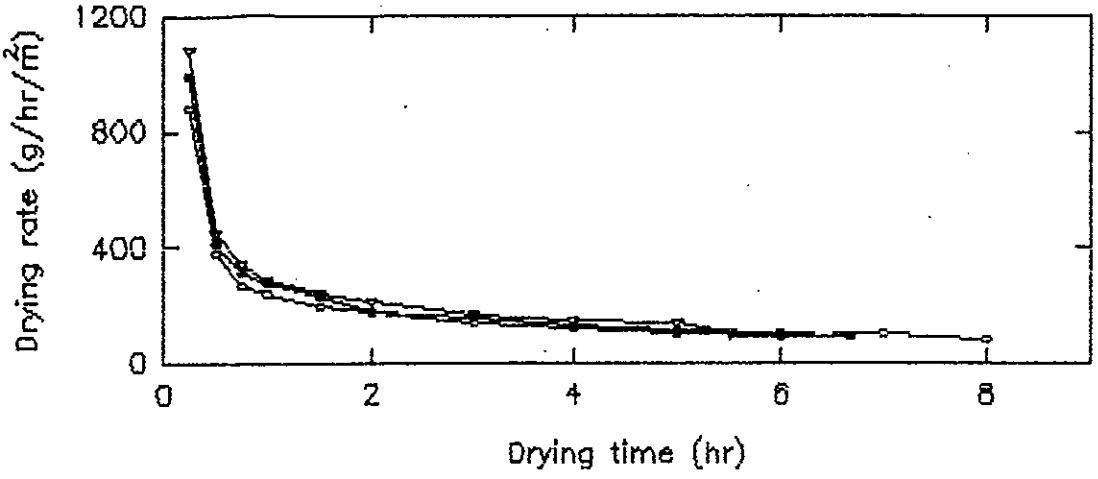
(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและเวลาอบแห้ง

หมายเหตุ : o = 0.8 m/s, ◇ = 1.5 m/s, ▽ = 2.0 m/s



(a)



(b)

ภาพประกอบ 14 ผลของความเร็วของลมร้อนต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db, อุณหภูมิของลมร้อน 80°c

(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและเวลาอบแห้ง

หมายเหตุ : ○ = 0.8 m/s, ● = 1.5 m/s, ▽ = 2.0 m/s

การอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อนสูง ทำให้ปริมาณน้ำที่ถูกดึงออกไปกับลมร้อนเร็วกว่าการอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อนต่ำ ดังนั้นเวลาทั้งหมดในการอบแห้งลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วของลมร้อน เวลาทั้งหมดในการอบแห้งเท่ากับ 10.06, 12.00 และ 15.08 ชั่วโมง สำหรับการอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อน 2.0, 1.5 และ 0.8 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ แม้เพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งอีก 10 องศาเซลเซียส อิทธิพลของลมร้อนต่อเวลาและอัตราการอบแห้งยังคงมีแนวโน้มเป็นเช่นเดิม (ตาราง 4 และภาพประกอบ 14)

Keey(1972) กล่าวว่า ตัวเลขนัสเซ็ล(Nusselt number, Nu) เป็นตัวเลขไม่มีหน่วยซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของการไหลของของไหล และคุณสมบัติทางกายภาพของระบบ คือ

$$Nu = hx/k$$

เมื่อ

h = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน, วัตต์ต่อตารางเมตรต่อเคลวิน

k = การนำความร้อนของลมร้อน, วัตต์ต่อเมตรต่อเคลวิน

x = ความยาวของถาดบรรจุวัสดุ, เมตร

เมื่อกระจายเทอมของตัวเลขนัสเซ็ลออกแล้ว สามารถแสดงให้อยู่ในเทอมของตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number,Re) และตัวเลขแพรนดัล (Prandtl number, Pr) ได้ จากการศึกษาโดยการวิเคราะห์เทอมไม่มีหน่วย มักได้รูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรดังนี้

$$Nu = Nu_o + aRe^{m}Pr^{n}$$

เมื่อ

Nu_o = ค่าของตัวเลขนัสเซ็ล ที่เกิดจากการถ่ายโอนความร้อนแบบการนำความร้อนเพียงอย่างเดียว

a,m,n = ค่าคงที่

$$Re = \frac{\rho U_{\infty} x}{\mu}$$

โดยที่ U_{∞} = ความเร็วของลมร้อน, เมตรต่อวินาที

ρ = ความหนาแน่นของลมร้อน, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

μ = ความหนืดของลมร้อน, กิโลกรัมต่อเมตรต่อเคลวิน

$$Pr = \frac{C_g \mu}{k}$$

โดยที่ C_g = ความร้อนจำเพาะของลมร้อน, กิโลจูลต่อกิโลกรัมต่อต่อองศาเซลเซียส

ในการอบแห้งวัสดุทั่ว ๆ ไป มักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ดังนั้นตัวเลขแพรนดัลจึงไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของลมร้อน (Pr เปลี่ยนแปลง 1 เปอร์เซนต์ สำหรับอุณหภูมิในช่วง 0-200 องศาเซลเซียส) สำหรับการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อน ซึ่งมีตัวเลขแพรนดัลประมาณ 0.7 พบว่า สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขนัสเซ็ล และตัวเลขเรย์โนลด์ได้ดังนี้

$$Nu = 0.75 (Re)^{0.8}$$

สมการดังกล่าวใช้กับการอบแห้งที่มีอากาศร้อนเป็นตัวกลาง และใช้ได้ดีกับวัสดุอบแห้งทั่วไป โดยไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะและรูปร่างของวัสดุนั้น จากสมการจะเห็นได้ว่า หากความเร็วของลมร้อนมีการเปลี่ยนแปลงจะมีผลให้ตัวเลขทั้งสองคือ Nu และ Re เกิดการเปลี่ยนแปลงด้วย

ตาราง 5 แสดงตัวเลขนัสเซ็ลของการทดลองอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วของลมร้อนต่าง ๆ จะเห็นว่า ที่ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตร

ตาราง 5 ตัวเลขนัสเซ็ลของการทดลองอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 13 %db ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 70°c ที่ความเร็วของลมร้อนต่าง ๆ

ความเร็วลมร้อน (m/s)	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน (watt/m^2/K)	ตัวเลขเรย์โนลด์	ตัวเลขนัสเซ็ล
0.8	7.22	6604.84	60.95
1.5	9.88	12384.07	83.46
2.0	11.41	16512.09	96.37

ต่อวินาที จะให้ค่าตัวเลขนัสเซ็ลเท่ากับ 60.95 เมื่อเพิ่มความเร็วของลมร้อนเป็น 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที จะทำให้ตัวเลขนัสเซ็ลมีค่าเพิ่มเป็น 83.46 และ 95.37 ตามลำดับ ที่ความเร็วของลมร้อนดังกล่าว คือ 0.8, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที อัตราการอบแห้งในช่วง 15 นาที หลังจากเริ่มอบแห้ง มีค่าเท่ากับ 656.65, 734.09 และ 803.85 กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร จะเห็นได้ว่า การทดลองที่ตัวเลขนัสเซ็ลมีค่าต่ำ อัตราการอบแห้งจะต่ำกว่า การทดลองที่ตัวเลขนัสเซ็ลมีค่าสูง นั่นคือ สามารถใช้ตัวเลขนัสเซ็ลแสดงอิทธิพลของความเร็วของลมร้อนต่ออัตราการอบแห้งได้

2.1.3 ผลของความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ต่ออัตราและเวลาการอบแห้ง

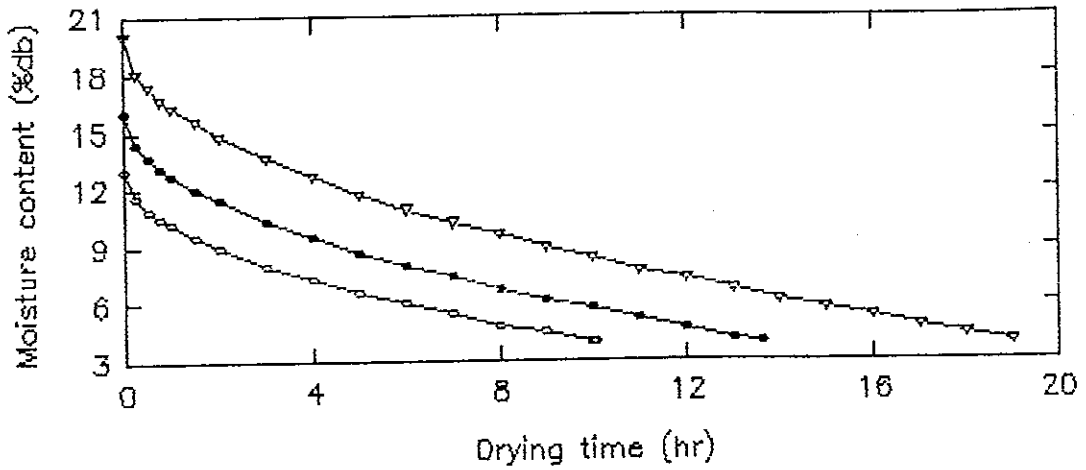
ตาราง 6.7 และภาพประกอบ 15.16 แสดงผลของความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อการอบแห้ง ที่ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที ในช่วง 15 นาที หลังจากเริ่มอบแห้ง อัตราการอบแห้งของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(ตาราง 6 และภาพประกอบ 15) ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง มีค่าสูงสุด เท่ากับ 979.20 กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร รองลงมาคือ อัตราการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 16 และ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง คือ มีค่าเท่ากับ 896.64 และ 803.85 กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร ทั้งนี้เนื่องจาก การเพิ่มความชื้นเริ่มต้นให้แก่วัตถุดิบเป็นการเพิ่มเกรเดียนของความชื้นระหว่างวัตถุดิบและอากาศร้อน ซึ่งเป็นแรงขับ (Driving force) ที่ทำให้เกิดการอบแห้ง ดังนั้นอัตราการอบแห้งของวัตถุดิบ ที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงจึงสูงกว่า (ธงไชย ศรีนพคุณ, 2530) เนื่องจาก ต้องการอบแห้งให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 4 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้งเท่ากัน ดังนั้นเวลาทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 19.00 ชั่วโมง รองลงมา คือ เวลาทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 16 และ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง เท่ากับ 13.64 และ 10.06 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส (ตาราง 7 และภาพประกอบ 16) แนวโน้มอิทธิพลของความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบต่ออัตราการอบแห้งยังคงเหมือนเดิม

ตาราง 6 ผลของความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อเวลา และอัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิของลมร้อน 70°c ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s

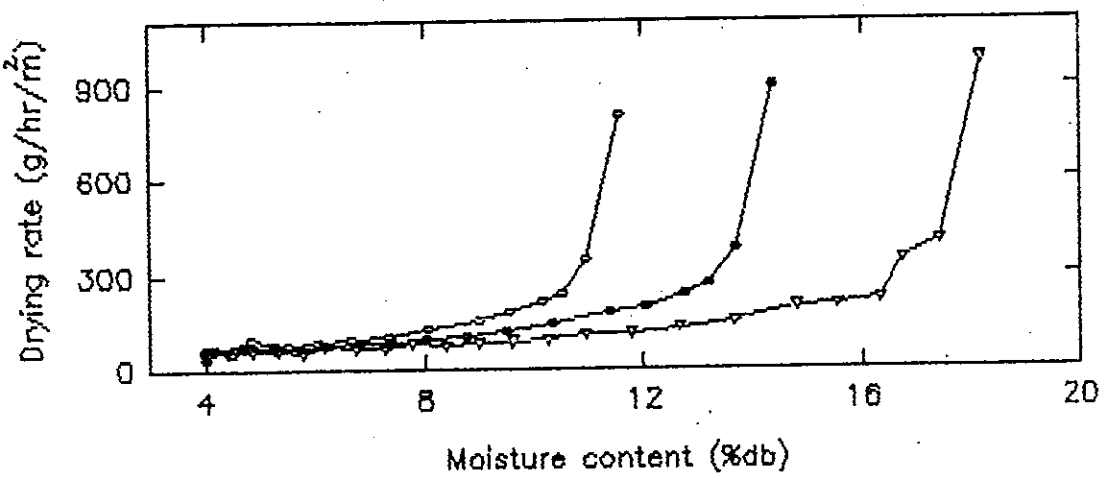
ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (%db)	เวลาในการอบแห้ง (hr)	อัตราการอบแห้งในช่วง 15 นาที หลังเริ่มอบแห้ง (g/hr/m²)
13	10.06	803.85
16	13.64	896.64
20	19.00	979.20

ตาราง 7 ผลของความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อเวลา และอัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิของลมร้อน 80°c ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s

ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (%db)	เวลาในการอบแห้ง (hr)	อัตราการอบแห้งในช่วง 15 นาที หลังเริ่มอบแห้ง (g/hr/m²)
13	5.51	1087.61
16	7.53	1206.40
20	10.50	1317.12



(a)



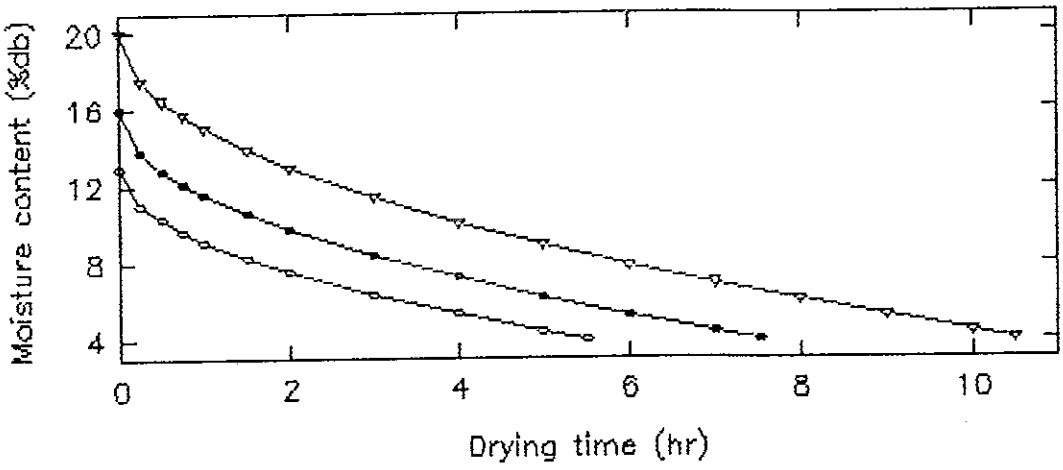
(b)

ภาพประกอบ 15 ผลของความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อการอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s, อุณหภูมิของลมร้อน 70°c

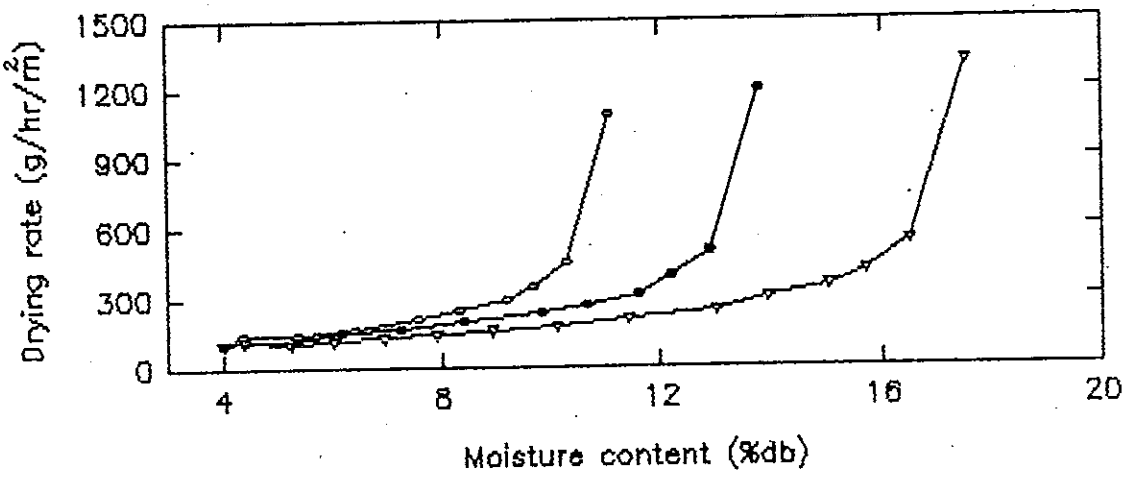
(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้น

หมายเหตุ : ○ = 13 %db, ● = 16 %db, ▽ = 20 %db



(a)



(b)

ภาพประกอบ 16 ผลของความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อการอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s, อุณหภูมิของลมร้อน 80°c

(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

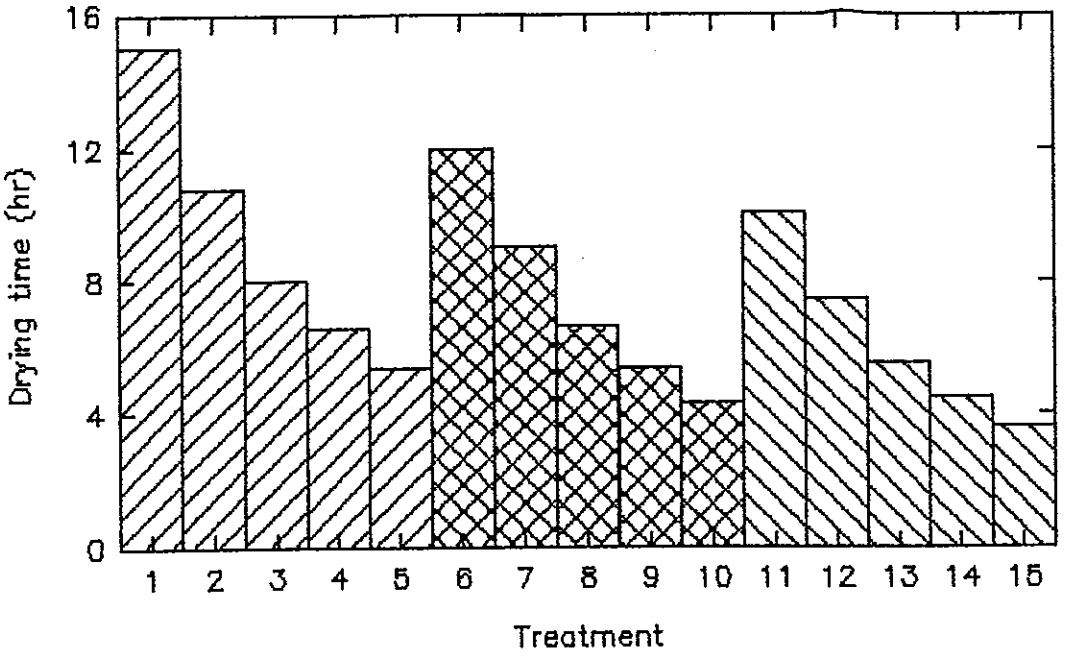
(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้น

หมายเหตุ : o = 13 %db, • = 16 %db, ▽ = 20 %db

จากภาพประกอบ 15(b) และ 16(b) จะเห็นว่าการอบแห้งมีเฉพาะช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น ในช่วงแรกของการอบแห้ง เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ยังคงมีความชื้นสูง หากพิจารณาที่ความชื้นขณะอบแห้งที่ค่า ๆ หนึ่งพบว่า อัตราการอบแห้งค่อนข้างต่างกันมาก ส่วนในช่วงท้ายของการอบแห้ง ความชื้นลดลง อัตราการอบแห้งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟ โดยจะทับกันหรือเหลื่อมล้ำกันเล็กน้อย อธิบายได้ว่า ในกรณีที่วัตถุดิบเป็นผลิตผลทางการเกษตรซึ่งมีโครงสร้างเป็นรูพรุน (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2535 ; ศิวะ อัจฉริยวิริยะ, 2531) ในขณะอบแห้ง วัสดุสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็วจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ทำให้อัตราการแพร่ของน้ำจากภายในสู่ผิวนอกเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น ในช่วงแรกของการอบแห้ง อัตราการอบแห้งมีค่าแตกต่างกันมาก โดยอัตราการอบแห้งของวัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงจะมีค่าต่ำกว่า อัตราการอบแห้งของวัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำ ซึ่งแตกต่างจากการอบแห้งวัสดุทางวิศวกรรม คือ แม้ว่าความชื้นเริ่มต้นจะแตกต่างกัน หากพิจารณาที่ความชื้นขณะอบแห้งที่ค่าเดียวกันจะมีค่าเท่ากัน นั่นคือ วัสดุมีแบบแผนของการอบแห้งแบบเดียวเท่านั้น แม้ว่า ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุจะไม่เท่ากันก็ตาม

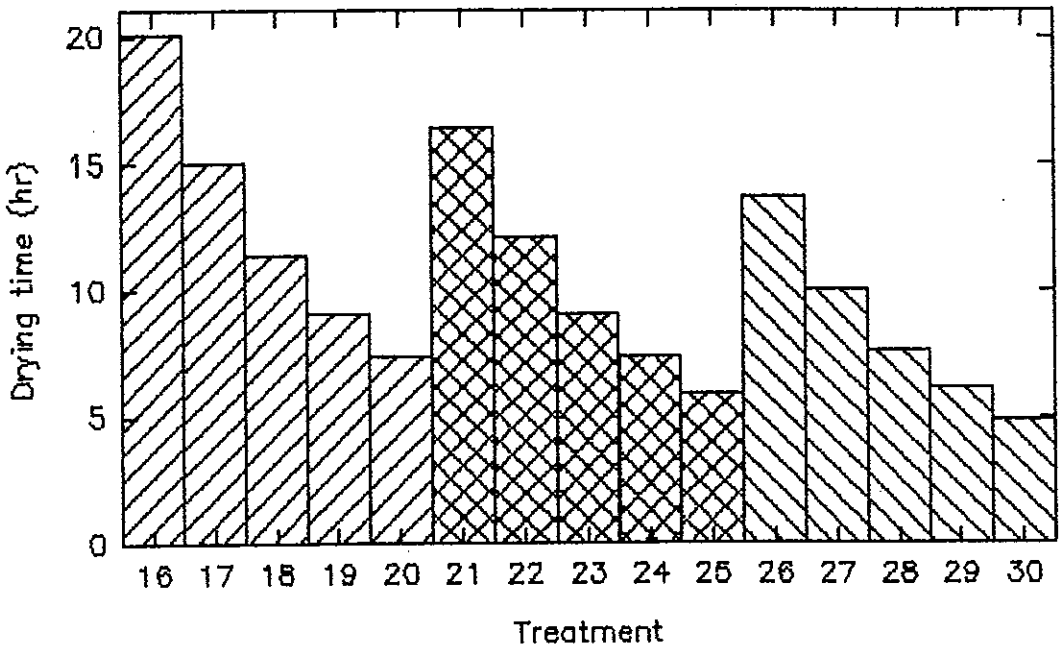
เมื่อทำการอบแห้งจนความชื้นเท่ากัน การที่เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำ มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงนั้น สามารถอธิบายได้ว่า วัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้นสูง น้ำจะแพร่ออกไปจากเนื้อเยื่อมากกว่า ทำให้โครงสร้างที่ได้มีลักษณะรูพรุนกว่าวัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำ เมื่อทำการอบแห้งต่อไป น้ำที่อยู่ภายในวัตถุดิบที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนน้อย จะแพร่ออกมายังผิวนอกได้เร็วกว่า ดังนั้นอัตราการอบแห้งจึงสูงกว่า หรือสามารถอธิบายได้อีกลักษณะหนึ่งคือ ที่ความชื้นขณะอบแห้งเท่ากัน วัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำสูญเสียน้ำที่อยู่ชั้นผิวนอกน้อยกว่าวัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มสูง ดังนั้นน้ำบริเวณผิวนอกยังคงมีปริมาณมาก และสามารถระเหยได้เร็วเนื่องจากระยะทางการเคลื่อนที่ของน้ำมายังพื้นผิวสั้นกว่า เมื่อเทียบกับวัตถุดิบ ที่มีความชื้นเริ่มต้นสูง ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ความชื้นค่าใดค่าหนึ่ง จึงพบว่า อัตราการอบแห้งของวัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำ จึงมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าวัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้นสูง

เวลาทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13, 16 และ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง แสดงดังภาพประกอบ 17,18 และ 19 ตามลำดับ



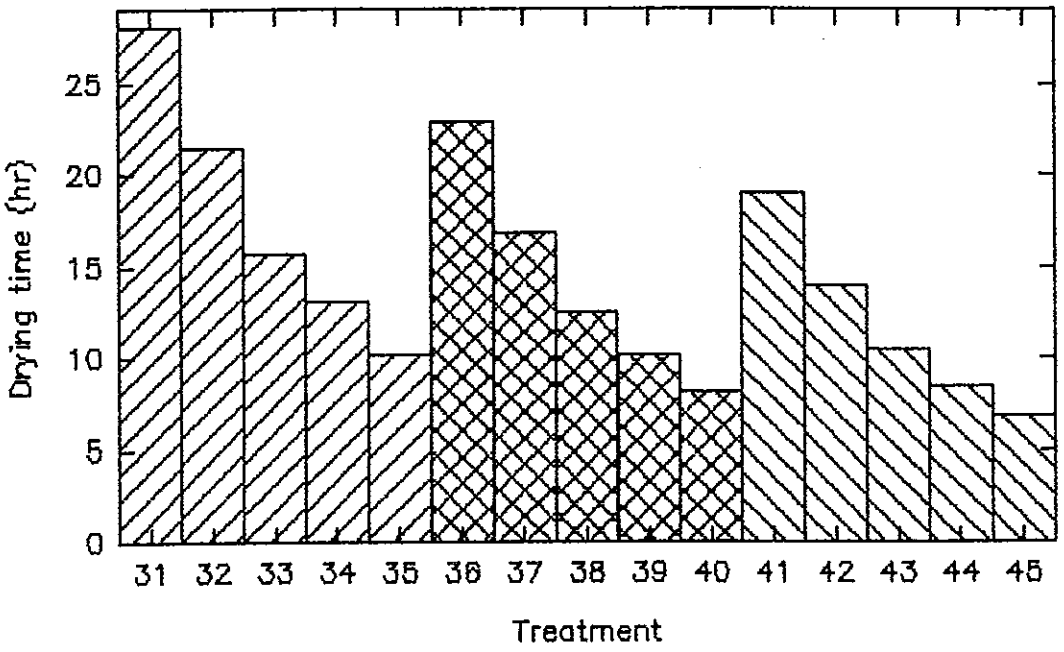
ภาพประกอบ 17 เวลาทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db

หมายเหตุ : 1 = 0.8 m/s (70°c) 2 = 0.8 m/s (75°c)
3 = 0.8 m/s (80°c) 4 = 0.8 m/s (85°c)
5 = 0.8 m/s (90°c) 6 = 1.5 m/s (70°c)
7 = 1.5 m/s (75°c) 8 = 1.5 m/s (80°c)
9 = 1.5 m/s (85°c) 10 = 1.5 m/s (90°c)
11 = 2.0 m/s (70°c) 12 = 2.0 m/s (75°c)
13 = 2.0 m/s (80°c) 14 = 2.0 m/s (85°c)
15 = 2.0 m/s (90°c)



ภาพประกอบ 18 เวลาทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 16 %db

หมายเหตุ : 16 = 0.8 m/s (70°c) 17 = 0.8 m/s (75°c)
18 = 0.8 m/s (80°c) 19 = 0.8 m/s (85°c)
20 = 0.8 m/s (90°c) 21 = 1.5 m/s (70°c)
22 = 1.5 m/s (75°c) 23 = 1.5 m/s (80°c)
24 = 1.5 m/s (85°c) 25 = 1.5 m/s (90°c)
26 = 2.0 m/s (70°c) 27 = 2.0 m/s (75°c)
28 = 2.0 m/s (80°c) 29 = 2.0 m/s (85°c)
30 = 2.0 m/s (90°c)



ภาพประกอบ 19 เวลาทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 20 %db

หมายเหตุ : 31 = 0.8 m/s (70°c) 32 = 0.8 m/s (75°c)
33 = 0.8 m/s (80°c) 34 = 0.8 m/s (85°c)
35 = 0.8 m/s (90°c) 36 = 1.5 m/s (70°c)
37 = 1.5 m/s (75°c) 38 = 1.5 m/s (80°c)
39 = 1.5 m/s (85°c) 40 = 1.5 m/s (90°c)
41 = 2.0 m/s (70°c) 42 = 2.0 m/s (75°c)
43 = 2.0 m/s (80°c) 44 = 2.0 m/s (85°c)
45 = 2.0 m/s (90°c)

2.2 ผลของอุณหภูมิของลมร้อน, ความเร็วของลมร้อน และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

จากการศึกษาสภาวะต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง พบว่าแต่ละสภาวะนอกจากจะให้อัตราการอบแห้ง และเวลาทั้งหมดในการอบแห้งที่ต่างกันแล้ว ยังให้พลังงานทั้งหมดในการอบแห้งที่แตกต่างกัน

2.2.1 ผลของอุณหภูมิของลมร้อน ต่อความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมด ในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

จากตาราง 8 และภาพประกอบ 20 ซึ่งแสดงความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง พิจารณาการอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที พบว่า เมื่ออุณหภูมิของการอบแห้งเพิ่มขึ้น 70, 75, 80, 85 และ 90 องศาเซลเซียสพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งมีแนวโน้มลดลง คือ 614.36, 503.52, 403.50, 354.79 และ 304.56 เมกกะจูล ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะ เมื่ออุณหภูมิของการอบแห้งเพิ่มขึ้นทำให้เวลาทั้งหมดของการอบแห้งลดลง แม้ว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดต่อหน่วยเวลาที่อุณหภูมิของการอบแห้งสูง จะสูงกว่าความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดต่อหน่วยเวลาที่อุณหภูมิของการอบแห้งต่ำก็ตาม เมื่อความเร็วของลมร้อนมีค่าเท่ากับ 0.8 เมตรต่อวินาที ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งเท่ากับ 391.79,305.25,247.41,216.42 และ 193.72 เมกกะจูล ที่อุณหภูมิของการอบแห้ง 70, 75, 80, 85 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ นั่นคือ แม้ว่าจะพิจารณาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อนที่แตกต่างกัน ก็ยังคงมีแนวโน้มเช่นเดิม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกของ Soponronnarit(1988) ซึ่งสรุปว่าการสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง โดยจะลดลง เมื่ออุณหภูมิของลมร้อนเพิ่มขึ้น ผลของอุณหภูมิของลมร้อนต่อความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งมะละกอแช่อิ่มของ เพ็ญพรรณ ทะสะโล (2532) ก็มีลักษณะในทำนองเดียวกัน ผลของอุณหภูมิของลมร้อนต่อประสิทธิภาพในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (13%db) ด้วยลมร้อนซึ่งมีความเร็ว 0.8 เมตรต่อวินาที แสดงในภาคผนวก ข.

ตาราง 8 ผลของปริมาณความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์, อุณหภูมิและความเร็วของลมร้อน ต่อเวลาและพลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง

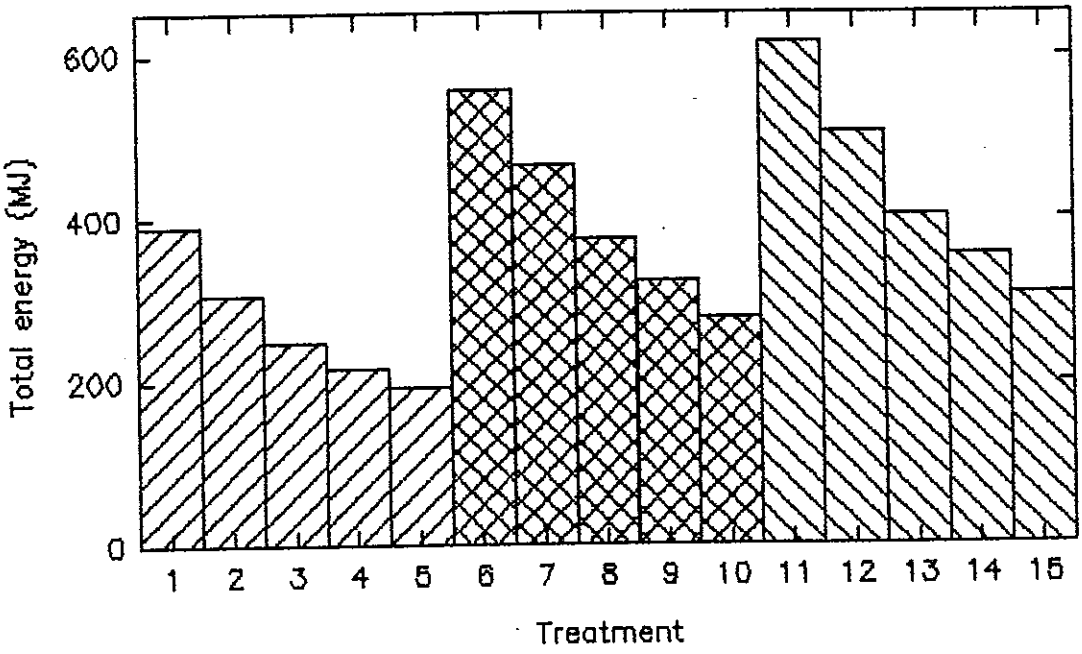
สภาวะการอบแห้ง	เวลาในการอบแห้ง (hr)	พลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง (MJ)
1) 13 %db		
- 0.8 m/s		
70°c	15.08	391.79
75°c	10.79	305.25
80°c	8.00	247.41
85°c	6.61	216.42
90°c	5.48	193.72
- 1.5 m/s		
70°c	12.00	556.90
75°c	9.00	464.79
80°c	6.67	373.87
85°c	5.40	322.59
90°c	4.32	276.58
- 2.0 m/s		
70°c	10.06	614.36
75°c	7.48	503.52
80°c	5.51	403.50
85°c	4.50	354.79
90°c	3.60	304.56

ตาราง 8 (ต่อ)

สภาวะการอบแห้ง	เวลาในการอบแห้ง (hr)	พลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง (MJ)
2) 16 %db		
- 0.8 m/s		
70°c	20.04	524.15
75°c	15.07	429.15
80°c	11.35	351.08
85°c	9.00	298.27
90°c	7.32	262.45
- 1.5 m/s		
70°c	16.36	748.32
75°c	12.12	620.30
80°c	9.00	500.16
85°c	7.32	438.02
90°c	5.86	375.77
- 2.0 m/s		
70°c	13.64	832.73
75°c	10.00	673.51
80°c	7.53	551.35
85°c	6.10	481.24
90°c	4.88	411.99
3) 20 %db		
- 0.8 m/s		

ตาราง 8 (ต่อ)

สภาวะการอบแห้ง	เวลาในการอบแห้ง (hr)	พลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง (MJ)
70°c	28.00	728.78
75°c	21.44	614.20
80°c	15.75	487.68
85°c	13.11	435.49
90°c	10.20	365.38
- 1.5 m/s		
70°c	23.00	1066.07
75°c	16.85	861.41
80°c	12.53	696.19
85°c	10.20	608.89
90°c	8.16	522.82
- 2.0 m/s		
70°c	19.00	1158.85
75°c	14.00	942.34
80°c	10.50	768.67
85°c	8.50	671.27
90°c	6.80	575.14



ภาพประกอบ 20 ความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db

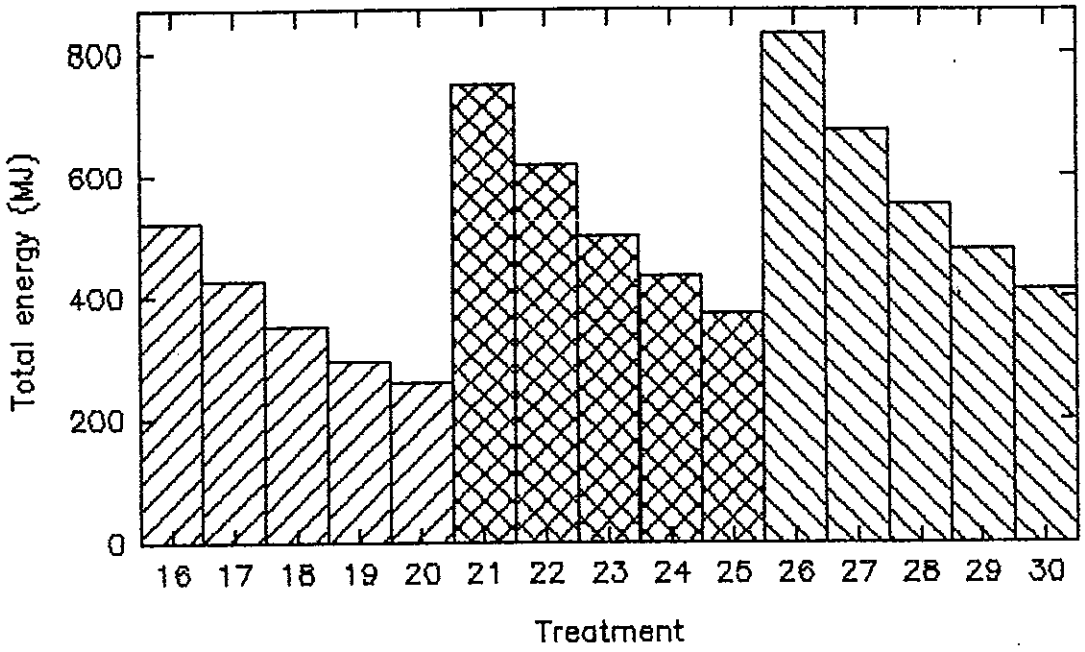
หมายเหตุ : 1 = 0.8 m/s (70°c) 2 = 0.8 m/s (75°c)
3 = 0.8 m/s (80°c) 4 = 0.8 m/s (85°c)
5 = 0.8 m/s (90°c) 6 = 1.5 m/s (70°c)
7 = 1.5 m/s (75°c) 8 = 1.5 m/s (80°c)
9 = 1.5 m/s (85°c) 10 = 1.5 m/s (90°c)
11 = 2.0 m/s (70°c) 12 = 2.0 m/s (75°c)
13 = 2.0 m/s (80°c) 14 = 2.0 m/s (85°c)
15 = 2.0 m/s (90°c)

2.2.2 ผลของความเร็วของลมร้อน ต่อความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

แม้ว่าการอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อนสูงมีผลทำให้เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถแห้งได้อย่างรวดเร็วก็ตาม แต่ที่ความเร็วของลมร้อนสูงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งสูงเช่นกัน จากตาราง 8 และภาพประกอบ 20 เปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิของการอบแห้งเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อน 0.8, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 319.79, 556.90 และ 614.36 เมกกะจูล ตามลำดับ จะเห็นว่า การอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อนสูง สิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งมากกว่าการอบแห้งที่ใช้ความเร็วของลมร้อนต่ำ เนื่องจากพลังงานที่สูญเสียไปกับลมร้อนต่อหนึ่งหน่วยเวลามีค่าสูง (Heldman and Singh, 1981) ที่ความเร็วของลมร้อนสูงสามารถดึงน้ำออกจากวัสดุได้ดีกว่า ที่ความเร็วของลมร้อนต่ำ และเมื่อเป็นเช่นนี้เวลาทั้งหมดในการอบแห้งจะน้อยลง พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งก็น่าจะน้อยลงเช่นกัน อย่างไรก็ตาม การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในสู่พื้นผิวของวัสดุ และจากพื้นผิวของวัสดุสู่อากาศร้อน ถูกกำหนดด้วยธรรมชาติ และโครงสร้างของวัสดุด้วย ดังนั้นในขณะทำการอบแห้ง จึงมีความร้อนสูญเสียไปกับอากาศที่ออกจากเครื่องอบแห้งจำนวนหนึ่ง หรืออาจกล่าวได้ว่า เวลาทั้งหมดในการอบแห้งไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเร็วของลมร้อนเพียงอย่างเดียว นั่นคือการอบแห้งที่ใช้ความเร็วของลมร้อนสูงสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งมากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนความเร็วต่ำ (Tia and Soponronnarit,1988) เพ็ญพรรณ ทะสะโส (2532) ศึกษาหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสมของมะละกอ และ Soponronnarit(1988) ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือก ได้สรุปเกี่ยวกับ ผลของความเร็วของลมร้อนต่อความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งเช่นเดียวกับ Tia และ Soponronnarit (1988) ผลของความเร็วของลมร้อนต่อประสิทธิภาพในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (13%db) ด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แสดงในภาคผนวก ข.

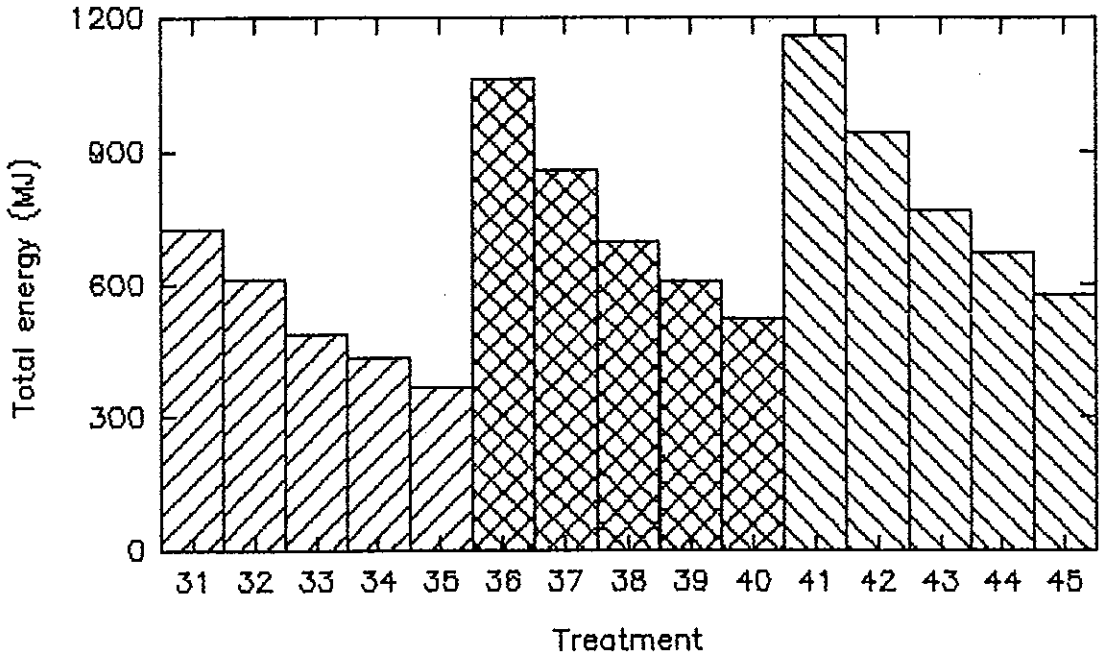
2.2.3 ผลของความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ต่อความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง

พิจารณาตาราง 8 และภาพประกอบ 20, 21 และ 22 ที่อุณหภูมิในการอบแห้ง



ภาพประกอบ 21 ความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 16 %db

หมายเหตุ : 16 = 0.8 m/s (70°c) 17 = 0.8 m/s (75°c)
18 = 0.8 m/s (80°c) 19 = 0.8 m/s (85°c)
20 = 0.8 m/s (90°c) 21 = 1.5 m/s (70°c)
22 = 1.5 m/s (75°c) 23 = 1.5 m/s (80°c)
24 = 1.5 m/s (85°c) 25 = 1.5 m/s (90°c)
26 = 2.0 m/s (70°c) 27 = 2.0 m/s (75°c)
28 = 2.0 m/s (80°c) 29 = 2.0 m/s (85°c)
30 = 2.0 m/s (90°c)



ภาพประกอบ 22 ความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 20 %db

หมายเหตุ : 31 = 0.8 m/s (70°c) 32 = 0.8 m/s (75°c)

33 = 0.8 m/s (80°c) 34 = 0.8 m/s (85°c)

35 = 0.8 m/s (90°c) 36 = 1.5 m/s (70°c)

37 = 1.5 m/s (75°c) 38 = 1.5 m/s (80°c)

39 = 1.5 m/s (85°c) 40 = 1.5 m/s (90°c)

41 = 2.0 m/s (70°c) 42 = 2.0 m/s (75°c)

43 = 2.0 m/s (80°c) 44 = 2.0 m/s (85°c)

45 = 2.0 m/s (90°c)

คงที่ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที ความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13, 16 และ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง มีค่าเท่ากับ 403.50, 551.35 และ 768.67 เมกกะจูล ตามลำดับ ที่ความเร็วของลมร้อนเดียวกันนี้ ความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13, 16 และ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้งที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 90 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 304.56, 411.99 และ 575.14 เมกกะจูล ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า หากอุณหภูมิของการอบแห้งเปลี่ยนแปลง แนวโน้มผลของความชื้นเริ่มต้นของวัสดุที่ใช้อบแห้งต่อความสิ้นเปลืองทั้งหมดในการอบแห้งยังคงเป็นเช่นเดิม กล่าวคือ ถ้าความชื้นเริ่มต้นของวัสดุเพิ่มขึ้น จะสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งมากขึ้น

2.3 ผลของอุณหภูมิของลมร้อน,ความเร็วของลมร้อนและความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ต่อผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

2.3.1 ลักษณะผิวสัมผัสและความยากง่ายในการกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ด

จากตาราง 9 จะเห็นว่า การอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงให้ลักษณะผิวสัมผัสขรุขระซึ่งยากต่อการกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดกว่าเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นต่ำ เมื่อพิจารณาภาพรวม พบว่าส่วนใหญ่เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้งจะมีผิวสัมผัสขรุขระกว่าเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 16 และ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เป็นที่สังเกตว่า สภาวะที่มีอัตราการอบแห้งสูง เช่น อุณหภูมิ ความเร็วของลมร้อนสูง ๆ หรือการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูง จะให้ลักษณะผิวสัมผัสที่ขรุขระ และกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดได้ยาก Potter (1978) กล่าวว่า การอบแห้งที่อัตราการอบแห้งสูง ทำให้น้ำภายในแพร่ออกจากวัสดุอย่างรวดเร็ว และมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทำให้เกิดการหดตัวรอบทิศทางในลักษณะที่ไม่พร้อมกันเกิดโครงสร้างที่ให้ลักษณะปรากฏเป็นผิวขรุขระ แต่ในกรณีที่อัตราการอบแห้งต่ำ น้ำในวัสดุจะแพร่มาที่ผิวนอก และถูกลมร้อนดึงไปจากพื้นผิวอย่างช้า ๆ การหดตัวยังเกิดขึ้นเช่นเดิม แต่โครงสร้างจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นลักษณะปรากฏจึงเป็นผิวเรียบ Karel

ตาราง 9 ความยากง่ายในการกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สภาวะต่าง ๆ หลังการอบแห้ง

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	ความเร็วของลมร้อน	อุณหภูมิในการอบแห้ง				
		70°c	75°c	80°c	85°c	90°c
13 %db	0.8 m/s	x	x	x	xx	xx
	1.5 m/s	x	x	x	xx	xx
	2.0 m/s	x	x	x	xx	xxx
16 %db	0.8 m/s	x	x	x	xx	xx
	1.5 m/s	x	x	xx	xxx	xxx
	2.0 m/s	x	xx	xxx	xxx	xxx
20 %db	0.8 m/s	xx	xx	xxx	xxx	xxx
	1.5 m/s	xx	xxx	xxx	xxx	xxx
	2.0 m/s	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

หมายเหตุ : x = กระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดได้ง่าย
xx = เริ่มกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดยาก
xxx = กระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดยาก

(1973) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส นอกจากมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนย้ายน้ำออกจากวัสดุอบแห้งแล้ว ยังเกี่ยวกับการเกิดพันธะระหว่างสารโมเลกุลใหญ่อีกด้วย

2.3.2 สีของผลิตภัณฑ์

จากตาราง 10 พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิของการอบแห้งสูง ให้เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีสีเข้มขึ้น เช่น สีเหลืองอมแดง หรือสีน้ำตาลอมแดง เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งคงที่ การอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ความเร็วของลมร้อนต่ำจะให้สีของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เข้มกว่าการอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อนสูง เช่น ที่ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที แต่ที่อุณหภูมิของการอบแห้งต่ำ ๆเช่น 70 องศาเซลเซียส ความเร็วของลมร้อน และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก (2529) กล่าวว่า ปัญหาที่สำคัญและเห็นได้ชัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้ง คือการเปลี่ยนแปลงสีซึ่งเรียกชื่อต่าง ๆ กัน เช่น การเกิดสีน้ำตาล การเกิดสีไหม้หรือความเสียหายอันเนื่องจากความร้อน อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดถ้าอุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ความเสียหายในลักษณะนี้มักเป็นปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง เช่น อาหารที่มีความไวต่ออุณหภูมิอาจทนอุณหภูมิได้สูงถึง 33 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่านี้ได้เพียง 2-3 วินาที โดยไม่เกิดความเสียหาย แต่สามารถสังเกตเห็นสีน้ำตาลนี้ได้ถ้าหากว่าใช้เวลานาน 8-10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 49 องศาเซลเซียส รัชนี ตันทชพานิชกุล (2533) ได้อธิบายรายละเอียดของการเกิดสีน้ำตาลในอาหารในลักษณะทำนองเดียวกัน

2.3.3 กลิ่นรสของผลิตภัณฑ์

การอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่อุณหภูมิของลมร้อน 85 และ 90 องศาเซลเซียส ให้กลิ่นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หลังการอบแห้งดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70, 75 และ 80 องศาเซลเซียส สำหรับทุกความเร็วของลมร้อนหรือความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ สามารถอธิบายได้ว่า ที่อุณหภูมิสูง(ในช่วง 70-80 องศาเซลเซียส) ไขมันหรือคาร์โบไฮเดรตในวัสดุอบแห้งยังเกิดการสลายตัวหรือเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอื่นไม่หมด ทำให้มีรสชาติมันสูง แต่เมื่ออุณหภูมิของการอบแห้งสูงขึ้น(85 และ 90 องศาเซลเซียส) กระบวนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดได้ง่ายขึ้น ดังนั้นรสชาติมันจึงลดน้อยลง (รัชมี ตันทชพานิชกุล, 2533)

ตาราง 10 สีของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สภาวะต่าง ๆ หลังการอบแห้ง

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	ความเร็วของลมร้อน	อุณหภูมิในการอบแห้ง				
		70°c	75°c	80°c	85°c	90°c
13 %db	0.8 m/s	x	x	x	xx	xxx
	1.5 m/s	x	x	x	xx	xx
	2.0 m/s	x	x	x	x	xx
16 %db	0.8 m/s	x	x	xx	xxx	xxx
	1.5 m/s	x	x	xx	xxx	xxx
	2.0 m/s	x	x	x	xx	xxx
20 %db	0.8 m/s	x	xx	xxx	xxx	xxxx
	1.5 m/s	x	xx	xxx	xxx	xxxx
	2.0 m/s	x	x	xx	xxx	xxxx

หมายเหตุ : x = สีขาวตามธรรมชาติของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการอบแห้ง (2.5Y 9/2)

xx = เริ่มมีสีเหลืองอมแดง (2.5Y 8.5/4)

xxx = สีเหลืองอมแดง (5YR 8/6)

xxxx = สีน้ำตาลอมแดง (5YR 7/8)

เนื่องจากผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสนองความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งต้องเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ในขณะเดียวกันพลังงานและเวลาในการอบแห้งก็ควรอยู่ในระดับที่ผู้ผลิตสามารถยอมรับได้เช่นกัน ดังนั้นในการพิจารณาหรือเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งจึงจำเป็นต้องพิจารณาควบคู่กันไป

เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ให้เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สีขาว ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏประการแรกที่ผู้บริโภคต้องการ การอบแห้งที่อุณหภูมิในการอบแห้งสูงกว่านี้ คือ 85 และ 90 องศาเซลเซียส ทำให้เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เริ่มมีสีเหลืองอมแดง หรือสีน้ำตาลอมแดง ซึ่งเป็นสีที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ ดังนั้น จึงไม่พิจารณาการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 85 และ 90 องศาเซลเซียส นอกจากนี้การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำยังทำให้ได้เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่มีลักษณะผิวสัมผัสเรียบตรงตามความต้องการของผู้บริโภคแล้ว ยังช่วยให้การกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทำได้สะดวกขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์ในแง่ของผู้ผลิต

แม้ว่าการปรับความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ให้ได้เท่ากับ 16 และ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง จะช่วยให้ลดการแตกหักในระหว่างขั้นตอนการกระเทาะเปลือก นอกก็ตาม แต่กลับทำให้สีของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หลังการอบแห้งเข้มขึ้น ผิวสัมผัสขรุขระขึ้นกว่าเดิม และทำให้กระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดได้ยากขึ้น นอกจากนี้จำเป็นต้องใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้น นั่นคือ สิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งมากขึ้น ดังนั้นจึงไม่พิจารณาการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 16 และ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

แม้ว่ากลิ่นรสเป็นคุณลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการ แต่เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์สุดท้ายหลังการแปรรูป พบว่า ผลิตภัณฑ์หลักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์อบแห้ง ไม่ใช่นำไปทำอาหารประเภทขบเคี้ยว แต่นำไปทำเป็นส่วนผสมของอาหารประเภทอื่นๆ ดังนั้นกลิ่นรสในขั้นตอนนี้จึงไม่ใช่เป็นสิ่งที่สำคัญมากนัก นั่นคือการอบแห้งในขั้นตอนนี้เป็นเพียงการยืดอายุการเก็บรักษา และให้ได้คุณภาพเบื้องต้นบางประการที่ต้องการ เพื่อใช้ในการแปรรูปต่อไปเท่านั้น

พิจารณาการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง จะเห็นว่า ที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 70, 75 และ 80 องศา

เซลเซียส ให้เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีสี และลักษณะผิวสัมผัสตรงตาม ที่ผู้บริโภคต้องการเหมือนๆ กัน แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส สิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเลือกการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลอง พบว่า การอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยความเร็วของลมร้อนสูง จะอบแห้งได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยความเร็วของลมร้อนต่ำ นั่นคือประหยัดเวลาในการอบแห้ง เนื่องจากการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในประเทศไทยเป็นเพียงอุตสาหกรรมขนาดเล็ก หรืออุตสาหกรรมภายในครัวเรือน (สมควร อินทรพานิชย์, 2532) ดังนั้นการใช้ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที จึงเป็นการเหมาะสม นอกจากนี้จากการสัมภาษณ์ผู้ผลิต พบว่า ผู้ผลิตยอมที่จะเสียเวลาในการอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อนต่ำมากกว่าการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนอันเนื่องมาจากความเร็วของลมร้อนสูงนอกจากต้องการเร่งปริมาณการผลิตในบางช่วงของเวลาหรือเทศกาลที่สำคัญเท่านั้น

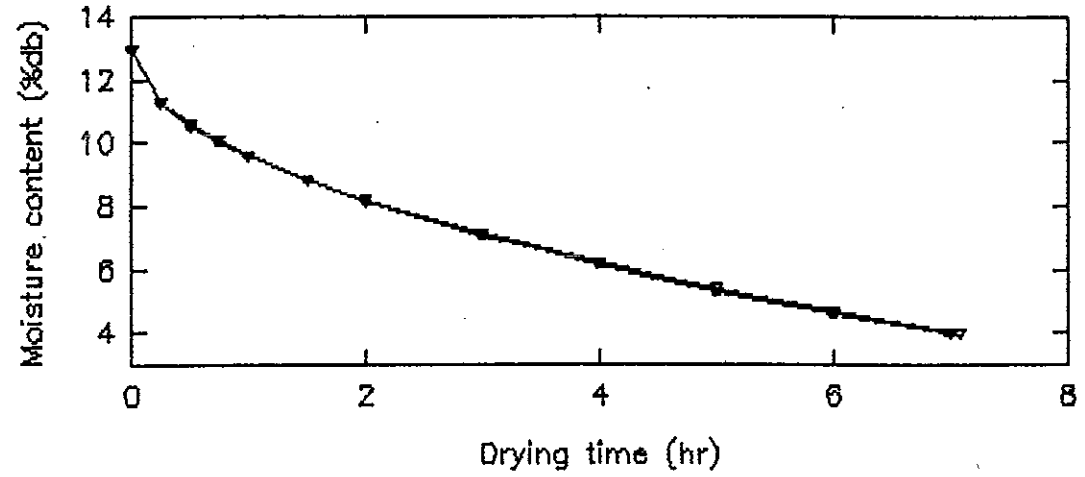
ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ในขั้นตอนนี้คือ การอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่มีความชื้นเริ่มต้น 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้งด้วยความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส

3. ผลการศึกษาจำนวนถาดของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่อการอบแห้ง

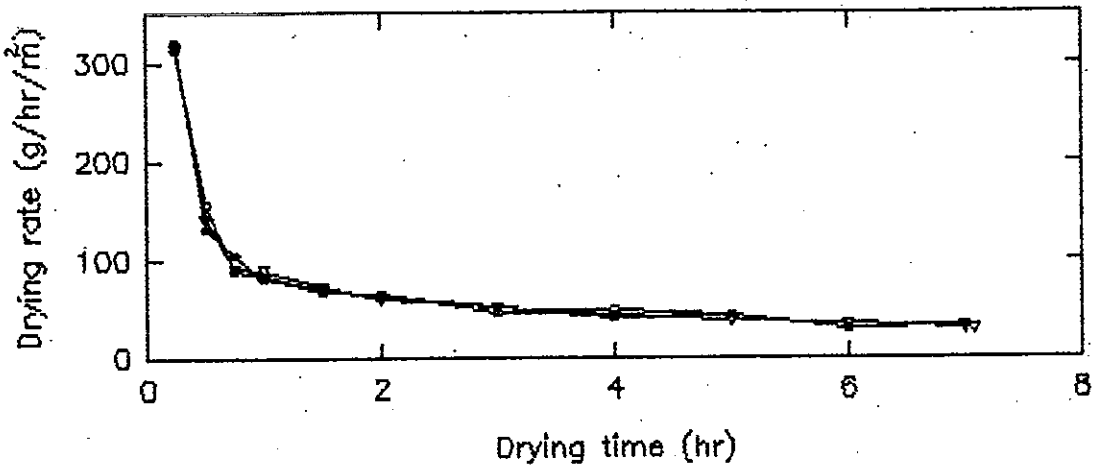
จากการทดลองข้างต้น อุณหภูมิ,ความเร็วของลมร้อน และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีผลต่อ เวลาและอัตราการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้ง และคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ปัจจัยต่อไปคือ ศึกษาการเพิ่มจำนวนถาดว่ามีผลต่อการอบแห้งอย่างไร โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมข้างต้นในการอบแห้ง

3.1 ผลของจำนวนถาดของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่ออัตราและเวลาการอบแห้ง

ภาพประกอบ 23 แสดงผลของจำนวนถาดต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วง-หิมพานต์ น้ำหนักเริ่มต้น 333.33 กรัม/ถาด ด้วยลมร้อนซึ่งมีความเร็ว 0.8 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส การเพิ่มจำนวนถาดในการอบแห้งเป็น 2 ถาด และ 3 ถาด ไม่ทำให้ความชื้นลดลงเร็วกว่าการอบแห้งครั้งละ 1 ถาด (ภาพประกอบ 23(ข)) ดังนั้น เวลาทั้งหมดในการอบแห้งจึงไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.02 ชั่วโมง



(a)



(b)

ภาพประกอบ 23 ผลของจำนวนถาดต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) น้ำหนักเริ่มต้น 333.33 กรัม/ถาด ด้วยลมร้อนซึ่งมีความเร็ว 0.8 m/s, อุณหภูมิ 80°c

(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและเวลาอบแห้ง

หมายเหตุ : o = 1 ถาด, ∘ = 2 ถาด, v = 3 ถาด

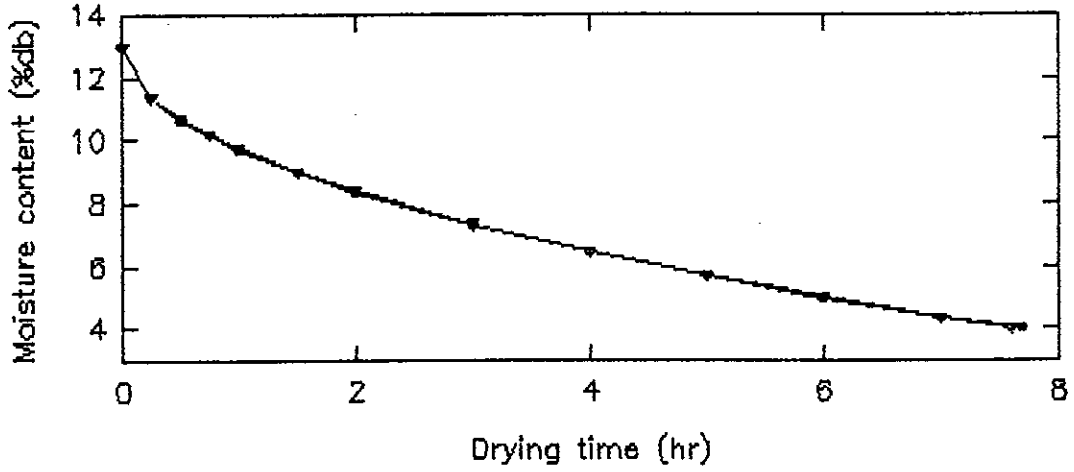
จากภาพประกอบ 23(b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงพิมพานต์กับเวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง จะเห็นว่า การเพิ่มจำนวนถาดในการอบแห้งไม่ทำให้อัตราการอบแห้งแตกต่างกัน โดยในช่วง 15 นาที หลังจากเริ่มอบแห้งมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 316.30 กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร ซึ่งสามารถอธิบายผลการทดลองได้ดังนี้

พิจารณาสมการของการอบแห้ง(สมการ 2.1) อัตราการอบแห้งต่อหน่วยพื้นที่(R)

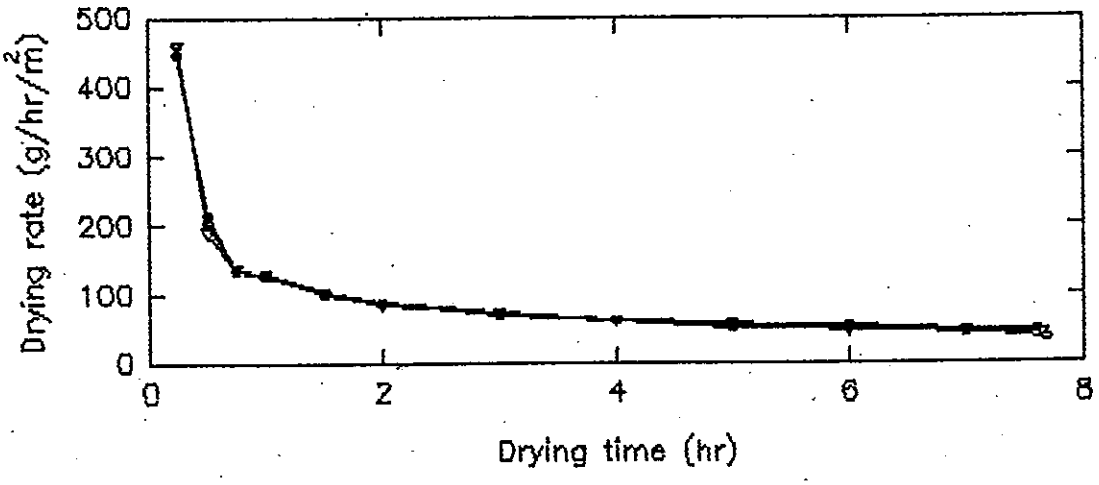
$$R = \frac{WdM}{Ad\theta}$$

ช่วงเวลาของการอบแห้ง ($d\theta$) ครั้งละ 1, 2 และ 3 ถาด มีค่าเท่ากัน คือ dM ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุ พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แม้จะเป็นการอบแห้งครั้งละ 1, 2 หรือ 3 ถาด ก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจาก การสูญเสียน้ำของเนื้อในเมล็ดมะม่วงพิมพานต์ ถูกกำหนดด้วยกระบวนการแพร่ (Diffusion control) เป็นหลัก ซึ่งสามารถสังเกตได้จากภาพประกอบ 10, 15(b) และ 16(b) คือ การอบแห้งมีเฉพาะช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น W/A เป็นน้ำหนักแห้งของวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ผิวด้านบนถาดบรรจุวัสดุ ในกรณีนี้ การเพิ่มจำนวนถาดในการอบแห้งเป็น 2 ถาด ทำให้น้ำหนักแห้งของวัสดุเพิ่มเป็น 2 เท่า และพื้นที่ผิวเพิ่มเป็น 2 เท่า นั่นคือ W/A (มีค่าเท่ากับ 1) ไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ดังนั้นอัตราการอบแห้งจึงไม่แตกต่างกัน การอบแห้งโดยใช้น้ำหนักเริ่มต้น 500 กรัม/ถาด (ภาพประกอบ 24) ให้ผลของแนวโน้มของการเพิ่มจำนวนถาดต่ออัตราการอบแห้งไม่แตกต่างไปจากเดิม

ภาพประกอบ 25 เป็นผลของการเพิ่มพื้นที่ผิว ต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงพิมพานต์น้ำหนักรวม 1,000 กรัม ด้วยลมร้อนซึ่งมีความเร็ว 0.8 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากภาพประกอบ 25(a) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของวัตถุดิบกับเวลาใด ๆ การเปลี่ยนลักษณะการอบแห้งจากการใช้น้ำหนัก 1,000 กรัม จำนวน 1 ถาด เป็น 500 กรัม จำนวน 2 ถาด หรือ 333.33 กรัม จำนวน 3 ถาด ทำให้เวลาทั้งหมดในการอบแห้งลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 7.94, 7.50 และ 7.08 ชั่วโมง



(a)



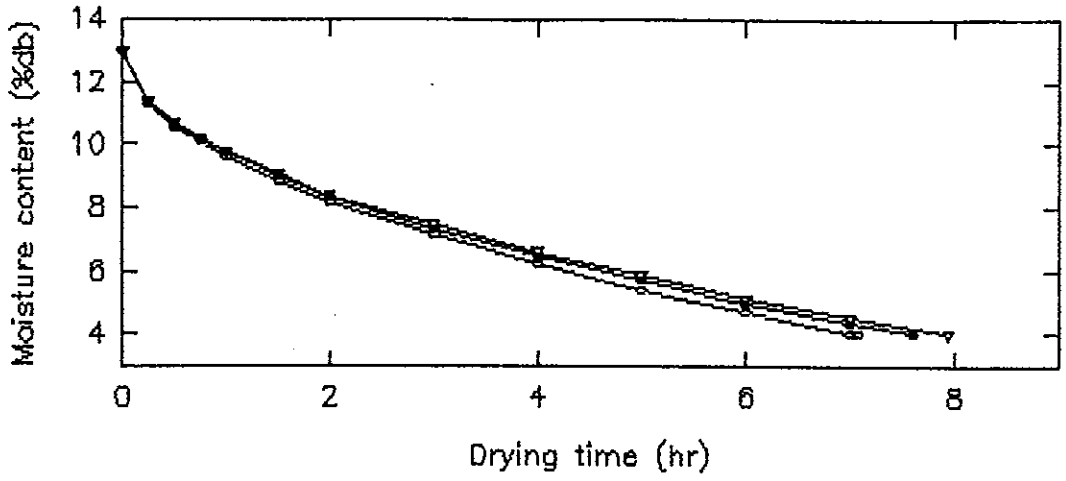
(b)

ภาพประกอบ 24 ผลของจำนวนถาดต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) น้ำหนักเริ่มต้น 500 กรัม/ถาด ด้วยลมร้อนซึ่งมีความเร็ว 0.8 m/s, อุณหภูมิ 80°c

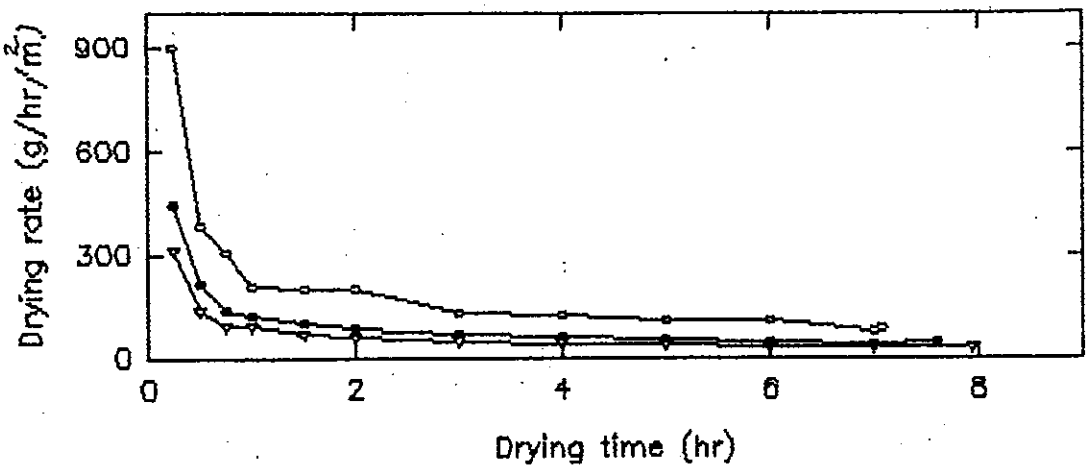
(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและเวลาอบแห้ง

หมายเหตุ : o = 1 ถาด, • = 2 ถาด, ▽ = 3 ถาด



(a)



(b)

ภาพประกอบ 25 ผลของการเพิ่มพื้นที่ผิวต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (13 %db) ซึ่งมีน้ำหนักรวม 1000 กรัม ด้วยลมร้อนที่มีความเร็ว 0.8 m/s อุณหภูมิ 80 °C

(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและเวลาอบแห้ง

หมายเหตุ : o = 1,000 กรัม, 1 ถาด ● = 500 กรัม, 2 ถาด

▽ = 333.33 กรัม, 3 ถาด

ตามลำดับ จะเห็นว่า เวลาทั้งหมดในการอบแห้งลดลงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งโดยใช้น้ำหนัก 500 กรัม จำนวน 2 ถาด และ 333.33 กรัม จำนวน 3 ถาด มีผลให้ความหนาของชั้นวัตถุดิบลดลง ซึ่งจะเป็นการช่วยให้ลมร้อนสามารถเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Void fraction = 0.43) ได้ดีขึ้น เมื่อน้ำแพร่จากภายในมายังผิวนอก จึงถูกลมร้อนดึงออกไปอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ยังมีผลให้พื้นที่ส่วนที่ซ้อนทับกันถูกแยกออก ทำให้เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถจะสัมผัสกับลมร้อนได้มากขึ้น ดังนั้นเวลาทั้งหมดในการอบแห้งจึงลดลงเล็กน้อย

พิจารณาภาพประกอบ 25(b) ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้ง กับความชื้นใด ๆ ขณะอบแห้ง จะเห็นว่า กรณีนี้เป็นการอบแห้งวัตถุดิบซึ่งมีน้ำหนักเท่ากัน การเพิ่มพื้นที่ผิวมีผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งอย่างมาก เพราะว่าจากการทดลองได้นิยามอัตราการอบแห้งไว้ดังนี้ คือ จำนวนน้ำที่ระเหยต่อชั่วโมงต่อตารางเมตรของพื้นที่ผิวด้านบนถาดวัสดุ ดังนั้นหากวัสดุมีน้ำหนักเท่ากัน การแบ่งวัสดุออกเป็น 2 ส่วนเพื่ออบแห้งครั้งละ 2 ถาด มีผลให้พื้นที่ผิวเพิ่มเป็น 2 เท่า แต่บางครั้ง ในทางทฤษฎีของการอบแห้งอาจนิยามให้ใช้พื้นที่ผิวที่เกิดการอบแห้ง(พื้นที่ผิวของวัสดุอบแห้ง) ถ้าน้ำหนักของวัสดุอบแห้งเท่ากัน หากแบ่งวัสดุอบแห้งเป็น 2 ส่วน เพื่อทำการอบแห้งครั้งละ 2 ถาด ก็ไม่ทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น หรืออาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น อันเนื่องจากพื้นที่ของส่วนที่ซ้อนทับกันถูกแยกออก แต่พื้นที่ผิวจะไม่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ดังนั้นในกรณีของการใช้พื้นที่ผิวด้านบนถาดอบแห้ง เป็นฐานในการคำนวณอัตราการอบแห้งจึงพบว่าอัตราการอบแห้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนถาดในการอบแห้ง กล่าวคือ อัตราการอบแห้งโดยใช้น้ำหนัก 1,000 กรัม จำนวน 1 ถาด เท่ากับ 904.97 กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร อัตราการอบแห้งโดยใช้น้ำหนัก 500 กรัม จำนวน 2 ถาด เท่ากับ 447.68 กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร และอัตราการอบแห้งโดยใช้น้ำหนัก 333.33 กรัม จำนวน 3 ถาด เท่ากับ 315.30 กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร จะเห็นว่า การใช้พื้นที่ผิวของถาดวัสดุในการคำนวณอัตราการอบแห้ง ทำให้ผลการทดลองขัดแย้งกับทฤษฎี เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวทำให้อัตราการอบแห้งลดลง การหาอัตราการอบแห้งที่ถูกต้องจึงควรใช้พื้นที่ผิวของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งสอดคล้องกับโมเดลของการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แบบถาด คือน้ำแพร่จากภายในมายังผิวนอกของวัสดุ จากนั้นจึงระเหยสู่ลมร้อน ดังนั้น พื้นที่ผิวที่เกิดการอบแห้ง คือพื้นที่ผิวของวัสดุนั่นเอง (ไม่ใช่พื้นที่ผิวของถาดวัสดุ)

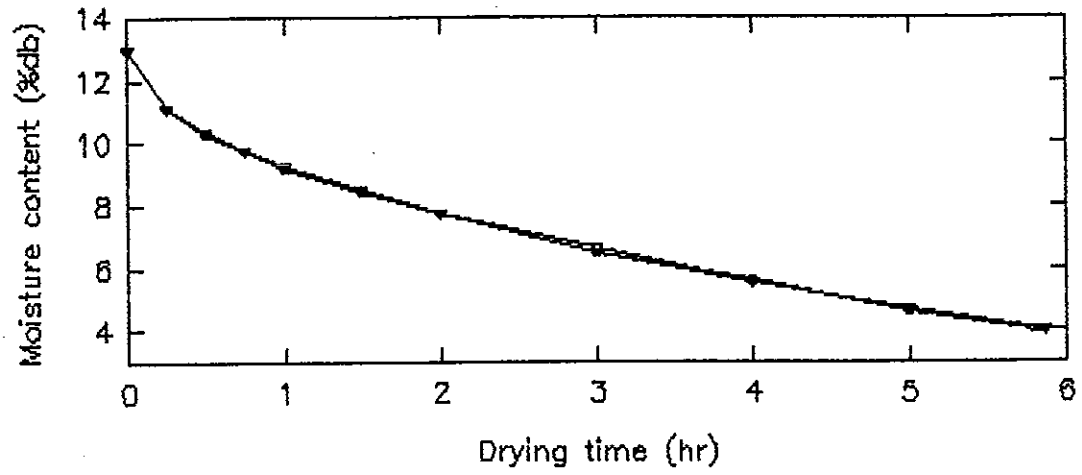
การอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที ให้แนวโน้มของจำนวนถาดต่ออัตราการอบแห้ง และเวลาทั้งหมดในการอบแห้งเช่นเดิม ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากภาพประกอบ 26, 27 และ 28 ส่วนภาพประกอบ 29 แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มจำนวนถาดจาก 1 ถาด เป็น 2 และ 3 ถาด แทบจะไม่ทำให้เวลาทั้งหมดในการอบแห้งแตกต่างกัน แม้ว่าจะเป็นการอบแห้งที่น้ำหนักเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ หรือความเร็วของลมร้อนที่แตกต่างกันก็ตาม

3.2 ผลของจำนวนถาดของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ต่อความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง

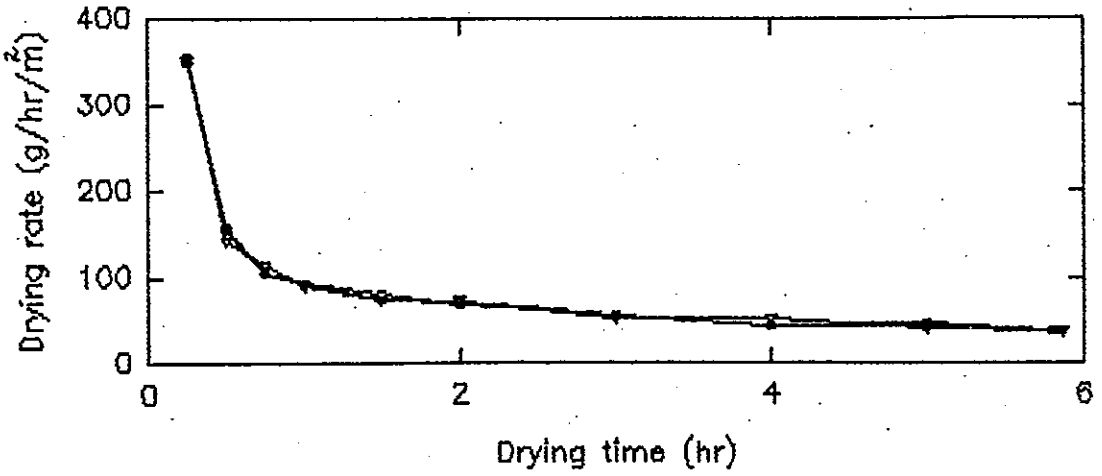
ตาราง 11 และภาพประกอบ 30 เป็นผลการเพิ่มจำนวนถาด ต่อความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ด้วยอุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส พิจารณาเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์น้ำหนัก 333.33 กรัม/ถาด เมื่อทำการอบแห้งครั้งละ 1 ถาด, 2 ถาด และ 3 ถาด พบว่า ให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 217.41 เมกกะจูล แม้จะมีการเพิ่มน้ำหนักเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จาก 333.33 กรัม/ถาด เป็น 500 กรัม/ถาด การเพิ่มจำนวนถาดในการอบแห้งก็ไม่ทำให้พลังงานทั้งหมดในการอบแห้งแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ให้กับระบบมีมากเกินพอ (ตาราง 12) จะเห็นว่า จากการคำนวณปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำสำหรับการอบแห้งครั้งละ 1, 2 และ 3 ถาด มีค่า 0.17, 0.34 และ 0.52 เมกกะจูล ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณความร้อนที่ให้กับระบบสูงถึง 225.38 เมกกะจูล นั่นคือ การเพิ่มจำนวนถาดในการอบแห้งแทบจะไม่มีผลต่อพลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง การอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อนเป็น 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที ก็ให้ลักษณะแนวโน้มของผลการทดลองเดียวกัน

3.3 คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

การอบแห้งโดยเพิ่มจำนวนถาดจาก 1 ถาด เป็น 2 ถาด และ 3 ถาด ให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เหมือนกันคือ ผลิตภัณฑ์มีสีขาวตามธรรมชาติของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่ผ่านการอบแห้ง มีกลิ่นและรสชาติมันไม่สูงมาก และสามารถกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในได้ง่าย Heldman และ Singh (1981) กล่าวว่าผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเหมือนกันทั่วทั้งถาดอบแห้งหากการกระจายของอากาศร้อนในตู้อบแห้งสม่ำเสมอ



(a)



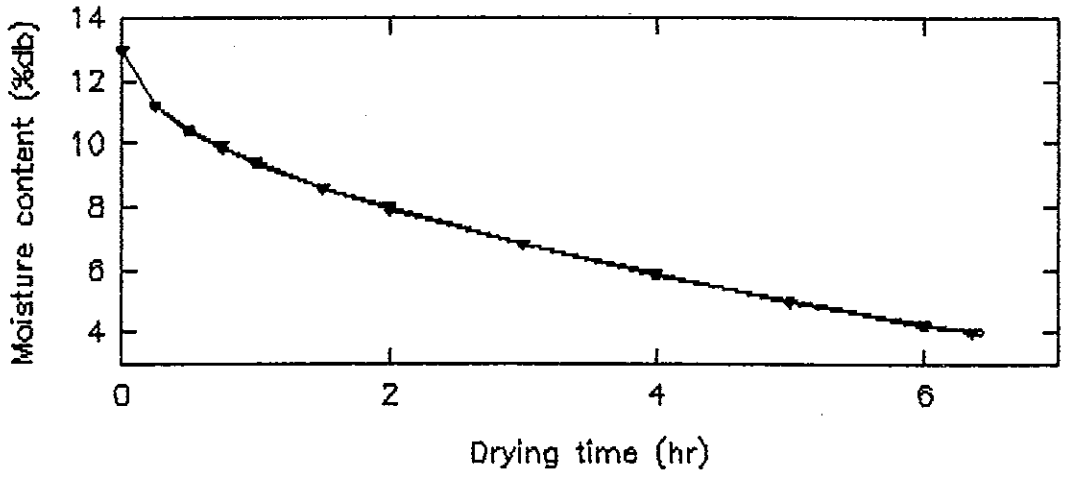
(b)

ภาพประกอบ 26 ผลของจำนวนถาดต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) น้ำหนักเริ่มต้น 333.33 กรัม/ถาด ด้วยลมร้อนซึ่งมีความเร็ว 1.5 m/s, อุณหภูมิ 80°c

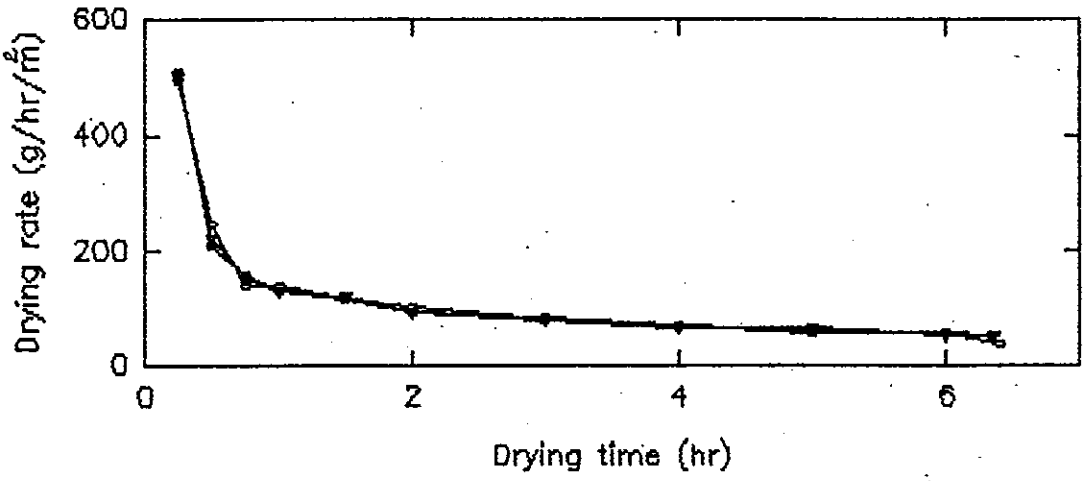
(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและเวลาอบแห้ง

หมายเหตุ : ○ = 1 ถาด, ● = 2 ถาด, ▽ = 3 ถาด



(a)



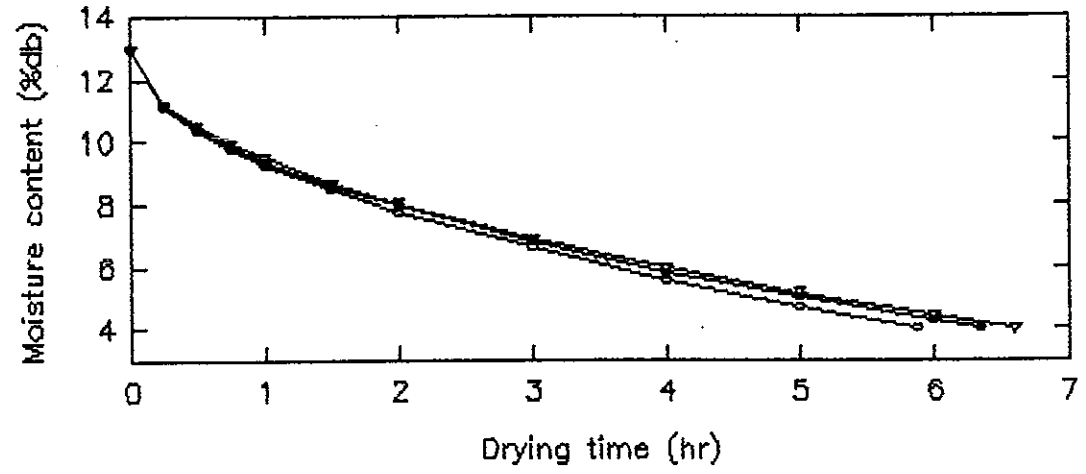
(b)

ภาพประกอบ 27 ผลของจำนวนถาดต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) น้ำหนักเริ่มต้น 500 กรัม/ถาด ด้วยลมร้อนซึ่งมีความเร็ว 1.5 m/s, อุณหภูมิ 80°c

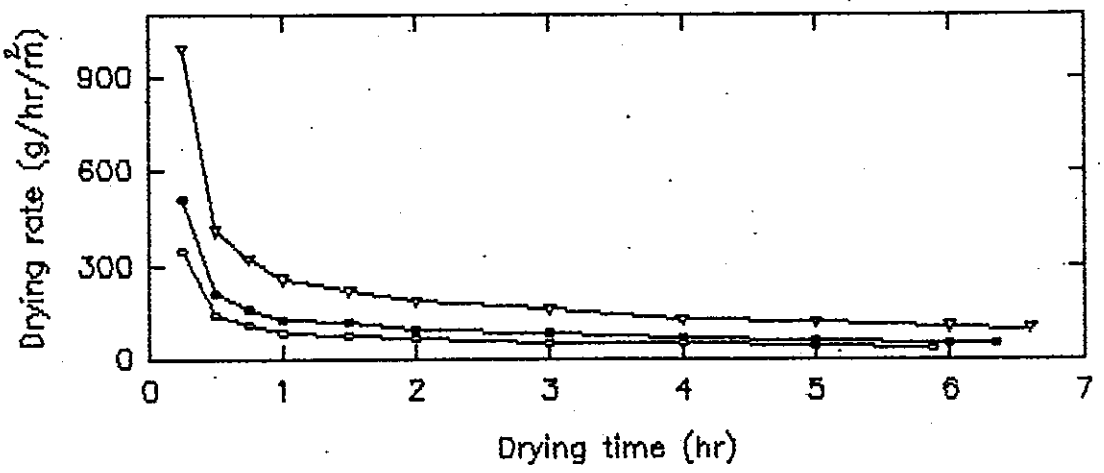
(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและเวลาอบแห้ง

หมายเหตุ : o = 1 ถาด • = 2 ถาด ▽ = 3 ถาด



(a)



(b)

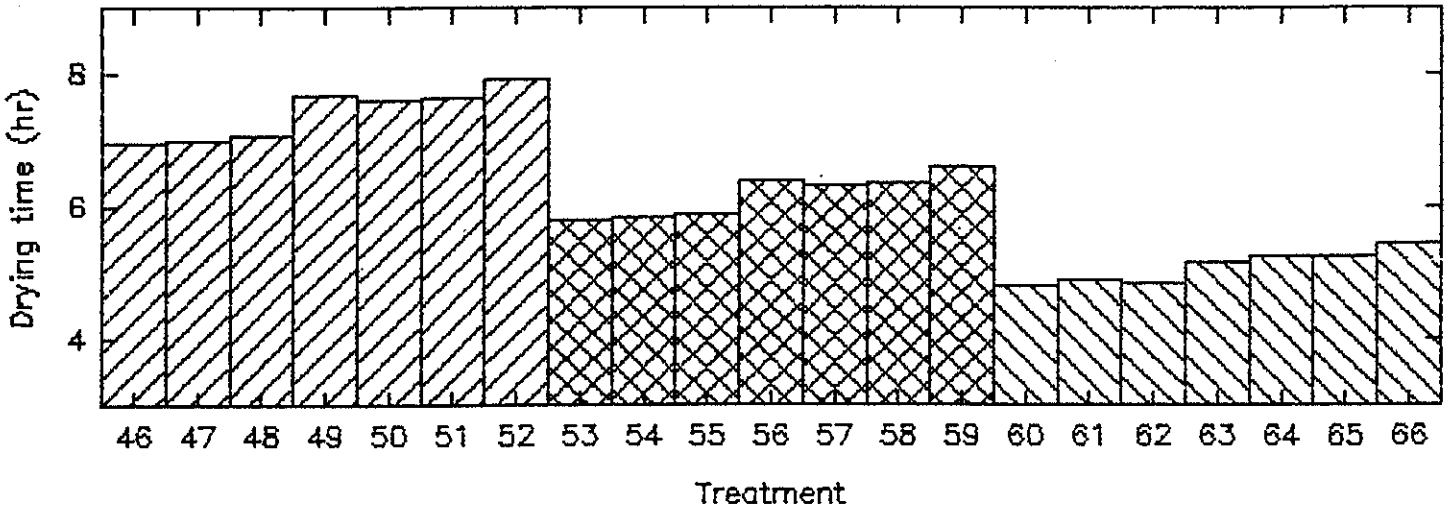
ภาพประกอบ 28 ผลของการเพิ่มพื้นที่ผิวต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (13 %db) ซึ่งมีน้ำหนักรวม 1000 กรัม ด้วยลมร้อนที่มีความเร็ว 1.5 m/s อุณหภูมิ 80 °C

(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและเวลาอบแห้ง

หมายเหตุ : ▽ = 1,000 กรัม, 1 ถาด ● = 500 กรัม, 2 ถาด

○ = 333.33 กรัม, 3 ถาด



ภาพประกอบ 29 ผลของจำนวนถาดต่อเวลาทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) ด้วยลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิ 80°c

หมายเหตุ : ▨ = ความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s ▩ = ความเร็วของลมร้อน 1.5 m/s ▧ = ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s

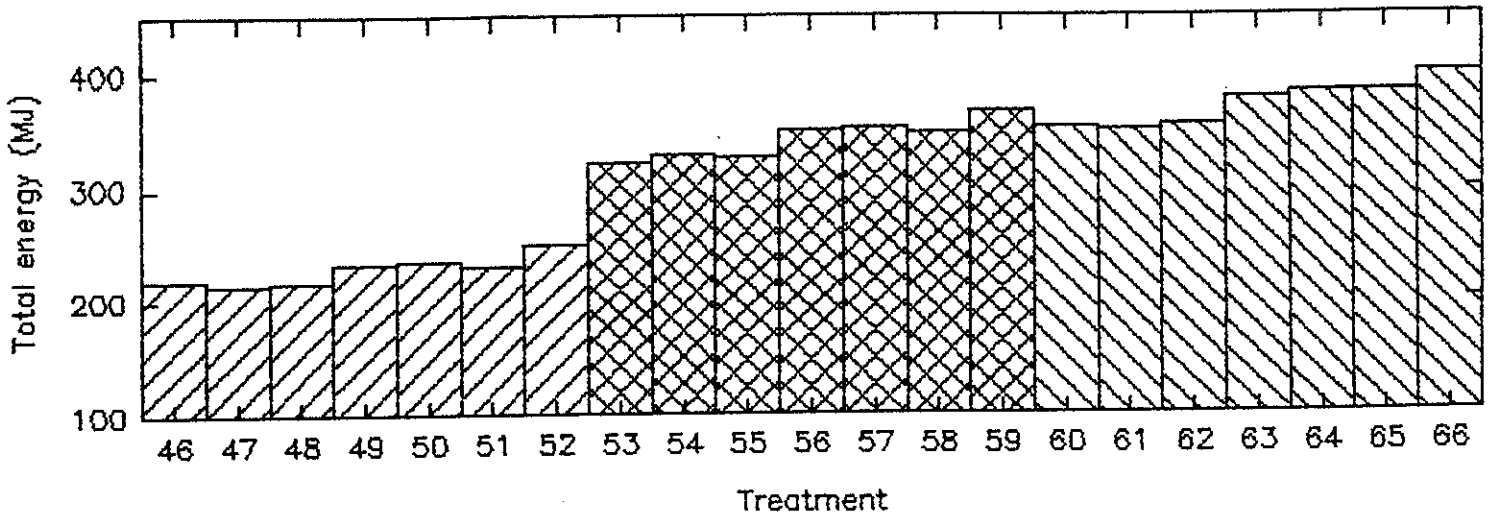
46 = 333.33 กรัม/ถาด,1 ถาด	47 = 333.33 กรัม/ถาด,2 ถาด	48 = 333.33 กรัม/ถาด,3 ถาด
49 = 500 กรัม/ถาด,1 ถาด	50 = 500 กรัม/ถาด,2 ถาด	51 = 500 กรัม/ถาด,3 ถาด
52 = 1000 กรัม/ถาด,1 ถาด	53 = 333.33 กรัม/ถาด,1 ถาด	54 = 333.33 กรัม/ถาด,2 ถาด
55 = 333.33 กรัม/ถาด,3 ถาด	56 = 500 กรัม/ถาด,1 ถาด	57 = 500 กรัม/ถาด,2 ถาด
58 = 500 กรัม/ถาด,3 ถาด	59 = 1000 กรัม/ถาด 1 ถาด	60 = 333.33 กรัม/ถาด,1 ถาด
61 = 333.33 กรัม/ถาด,2 ถาด	62 = 333.33 กรัม/ถาด,3 ถาด	63 = 500 กรัม/ถาด,1 ถาด
64 = 500 กรัม/ถาด,2 ถาด	65 = 500 กรัม/ถาด,3 ถาด	66 = 1000 กรัม/ถาด,1 ถาด

ตาราง 11 ผลของจำนวนถาดต่อเวลา และพลังงานทั้งหมด ในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้น 13 %db ที่ความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s อุณหภูมิในการอบแห้ง 80°c

สภาวะการอบแห้ง	เวลาในการอบแห้ง (hr)	พลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง (MJ)
1) 0.8 m/s		
- 333.33 g/tray		
1 tray	6.97	219.64
2 trays	7.00	215.07
3 trays	7.08	217.52
- 500 g/tray		
1 tray	7.68	233.54
2 trays	7.60	234.97
3 trays	7.65	230.11
- 1000 g/tray		
1 tray	7.94	250.48
2) 1.5 m/s		
- 333.33 g/tray		
1 tray	5.80	321.61
2 trays	5.85	330.22
3 trays	5.87	326.25
- 500 g/tray		
1 tray	6.74	349.32

ตาราง 11 (ต่อ)

สภาวะการอบแห้ง	เวลาในการอบแห้ง (hr)	พลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง (MJ)
2 trays	6.34	352.35
3 trays	6.36	347.68
- 1000 g/tray		
1 tray	6.60	366.77
3) 2.0 m/s		
- 333.33 g/tray		
1 tray	4.79	352.22
2 trays	4.88	349.22
3 trays	4.85	355.13
- 500 g/tray		
1 tray	5.18	378.63
2 trays	5.23	382.94
3 trays	5.25	382.49
- 1000 g/tray		
1 tray	5.46	399.75



ภาพประกอบ 30 ผลของจำนวนถาดต่อความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อใน เมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) ด้วยลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิ 80°c

หมายเหตุ : ▨ = ความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s ▩ = ความเร็วของลมร้อน 1.5 m/s ▧ = ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s

46 = 333.33 กรัม/ถาด,1 ถาด 47 = 333.33 กรัม/ถาด,2 ถาด 48 = 333.33 กรัม/ถาด,3 ถาด

49 = 500 กรัม/ถาด,1 ถาด 50 = 500 กรัม/ถาด,2 ถาด 51 = 500 กรัม/ถาด,3 ถาด

52 = 1000 กรัม/ถาด,1 ถาด 53 = 333.33 กรัม/ถาด,1 ถาด 54 = 333.33 กรัม/ถาด,2 ถาด

55 = 333.33 กรัม/ถาด,3 ถาด 56 = 500 กรัม/ถาด,1 ถาด 57 = 500 กรัม/ถาด,2 ถาด

58 = 500 กรัม/ถาด,3 ถาด 59 = 1000 กรัม/ถาด 1 ถาด 60 = 333.33 กรัม/ถาด,1 ถาด

61 = 333.33 กรัม/ถาด,2 ถาด 62 = 333.33 กรัม/ถาด,3 ถาด 63 = 500 กรัม/ถาด,1 ถาด

64 = 500 กรัม/ถาด,2 ถาด 65 = 500 กรัม/ถาด,3 ถาด 66 = 1000 กรัม/ถาด,1 ถาด

ตาราง 12 ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ระเหยเมื่อทำการอบแห้งด้วยน้ำหนัก 500 กรัม/ถาด ที่อุณหภูมิ 80°c

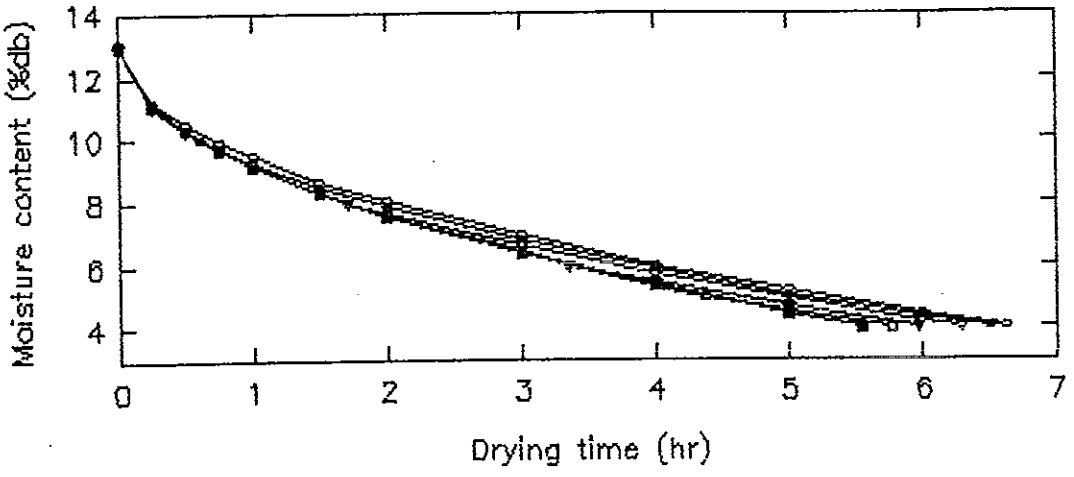
จำนวนถาด	ปริมาณความร้อน (MJ)
1	0.17
2	0.34
3	0.52

4. ผลการศึกษาการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนขณะอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

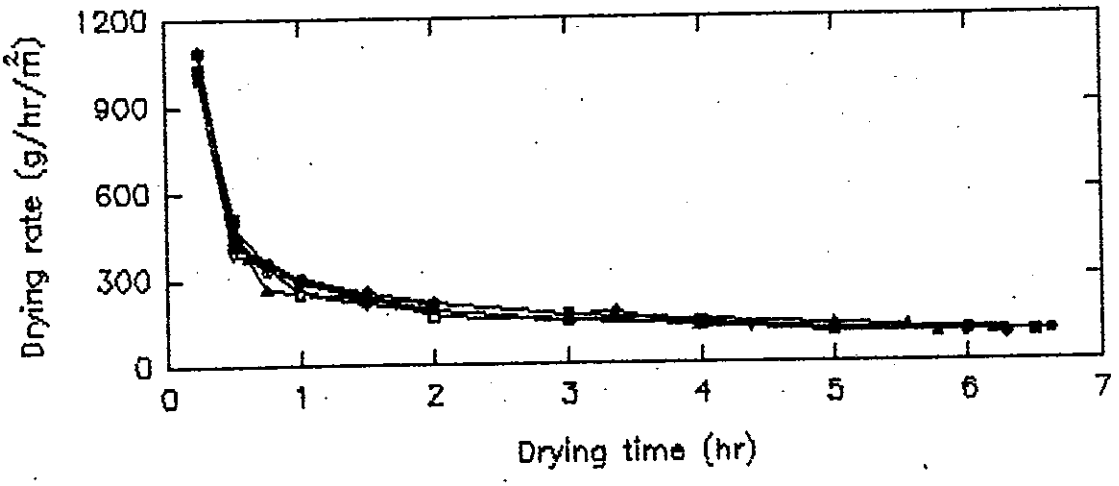
ในบางช่วง มีการเร่งปริมาณการผลิต ซึ่งทำโดยการเพิ่มความเร็วของลมร้อนให้สูงขึ้น แต่มีข้อเสียคือ สิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งสูง และจากที่ทราบว่าความเร็วของลมร้อนมีผลอย่างมากหรือมีผลเด่นชัดในช่วงแรกของการอบแห้ง ดังนั้นการอบแห้งโดยใช้ความเร็วของลมร้อนสูงในช่วงแรกของการผลิต แล้วจึงเปลี่ยนมาใช้ความเร็วของลมร้อนต่ำในช่วงหลัง จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการศึกษาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม

4.1 ผลของการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนต่อ อัตราและเวลาการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

ภาพประกอบ 31 เป็นผลของการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาที เป็น 1.5 เมตรต่อวินาที เมื่อความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ลดลงเท่ากับ 10, 8, 6 และ 5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง จะเห็นว่าอัตราการอบแห้งจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่าง ๆ การอบแห้งโดยใช้ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที ตลอดการทดลอง ใช้เวลาทั้งหมดในการอบแห้งนานที่สุด คือ 6.62 ชั่วโมง ในขณะที่การอบแห้งโดยใช้ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที ตลอดการทดลองใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด 5.55 ชั่วโมง การอบแห้ง ที่มีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2 เมตรต่อวินาทีเป็น 1.5 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 10, 8, 6 และ 5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ใช้เวลาทั้งหมดในการอบแห้ง 6.50, 6.29, 5.97 และ 5.77 ชั่วโมง ตามลำดับ การใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาที เป็น 0.8 เมตรต่อวินาที (ภาพประกอบ 32) หรือจาก 1.5 เมตรต่อวินาทีเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที (ภาพประกอบ 33) และการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนทั้ง 3 ระดับ คือ 2, 1.5 และ 0.8 เมตรต่อวินาที (ภาพประกอบ 34) ในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ให้ลักษณะแนวโน้มของผลการทดลองเป็นเช่นเดิม ส่วนภาพประกอบ 35 แสดงเวลาทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยการใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนแบบต่าง ๆ



(a)



(b)

ภาพประกอบ 31 ผลของการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อน(จาก 2.0 m/s เป็น 1.5 m/s) ต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db ด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 80°c

(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและเวลาอบแห้ง

หมายเหตุ : ▣ = ความเร็วของลมร้อน 2.0 m/s ตลอดการทดลอง

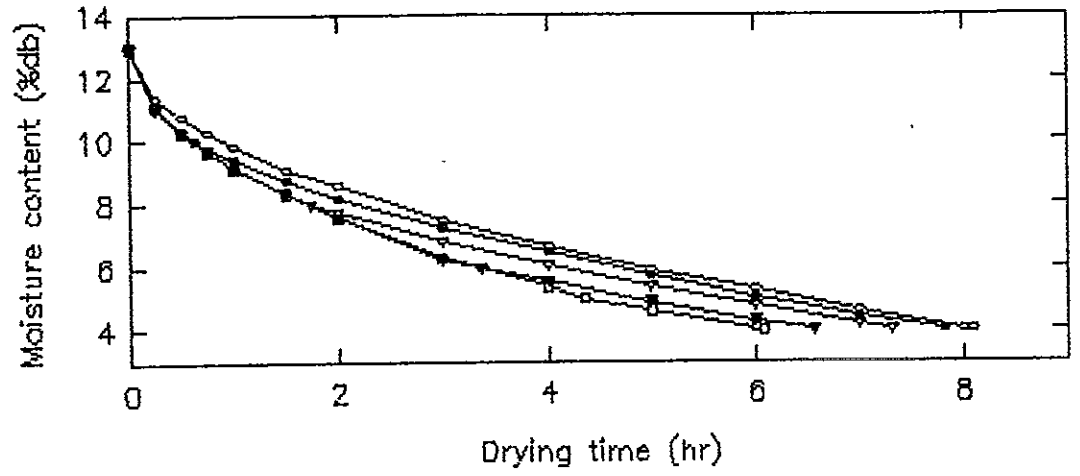
○ = ความเร็วของลมร้อน 1.5 m/s ตลอดการทดลอง

● = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 10 %db

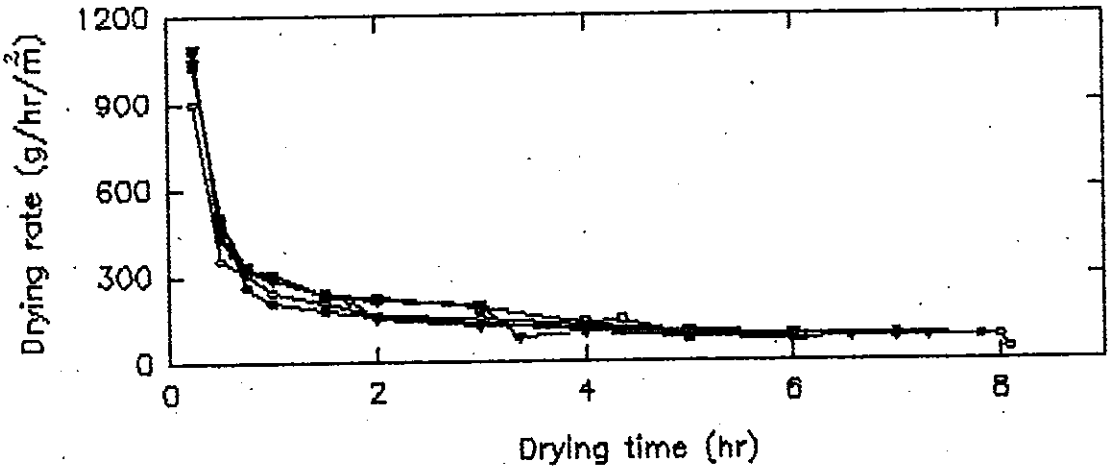
▽ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 8 %db

▼ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 6 %db

□ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 5 %db



(a)



(b)

ภาพประกอบ 32 ผลของการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อน(จาก 2.0 m/s เป็น 0.8 m/s) ต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db ด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 80°c

(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและเวลาอบแห้ง

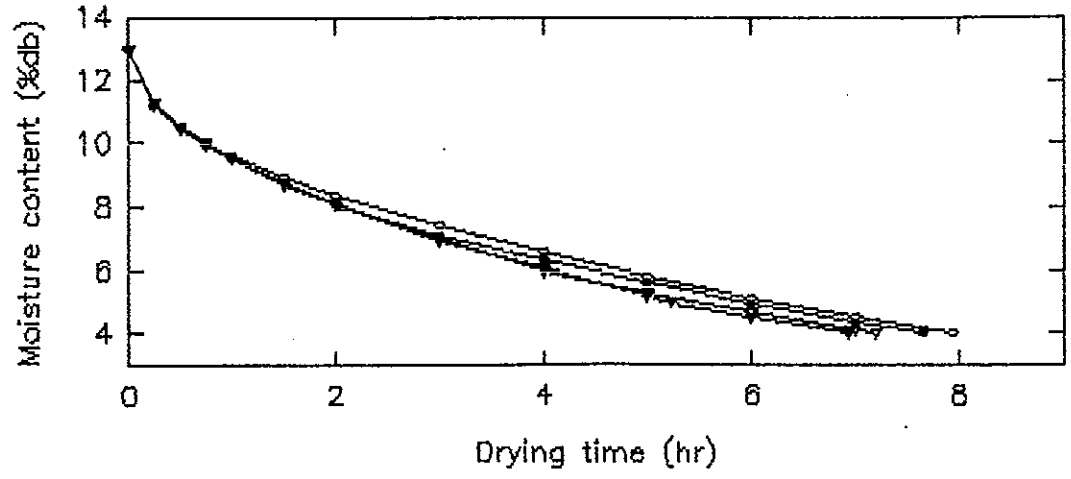
หมายเหตุ : ○ = ความเร็วของลมร้อน 0.8 m/s ตลอดการทดลอง

● = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 10 %db

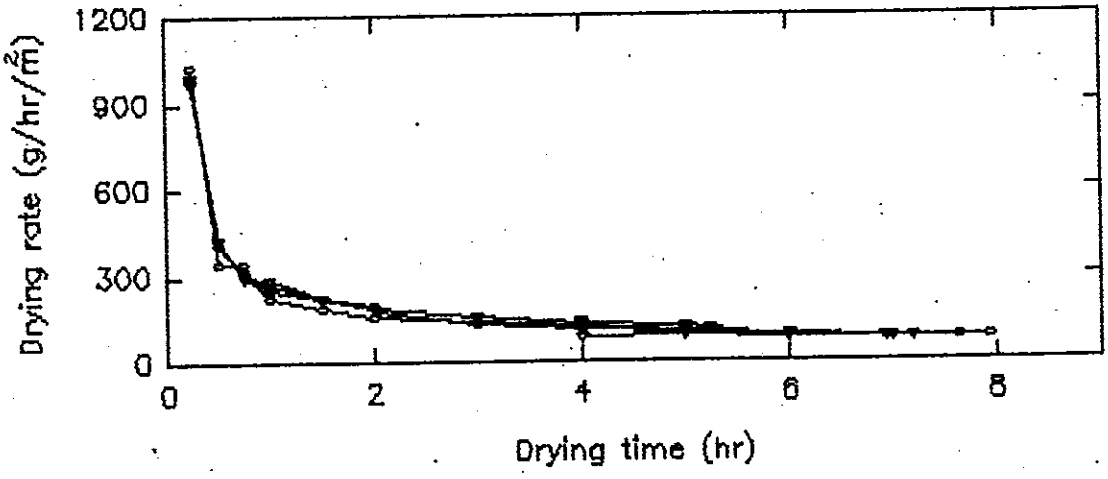
▽ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 8 %db

▼ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 6 %db

□ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 5 %db



(a)



(b)

ภาพประกอบ 33 ผลของการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อน(จาก 1.5 m/s เป็น 0.8 m/s) ต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db ด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 80°c

(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

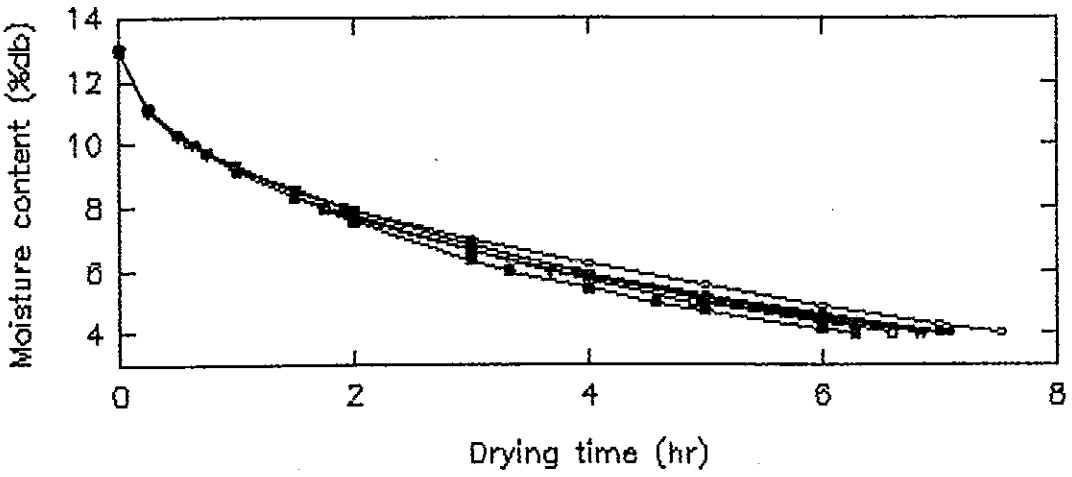
(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและเวลาอบแห้ง

หมายเหตุ : o = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 10 %db

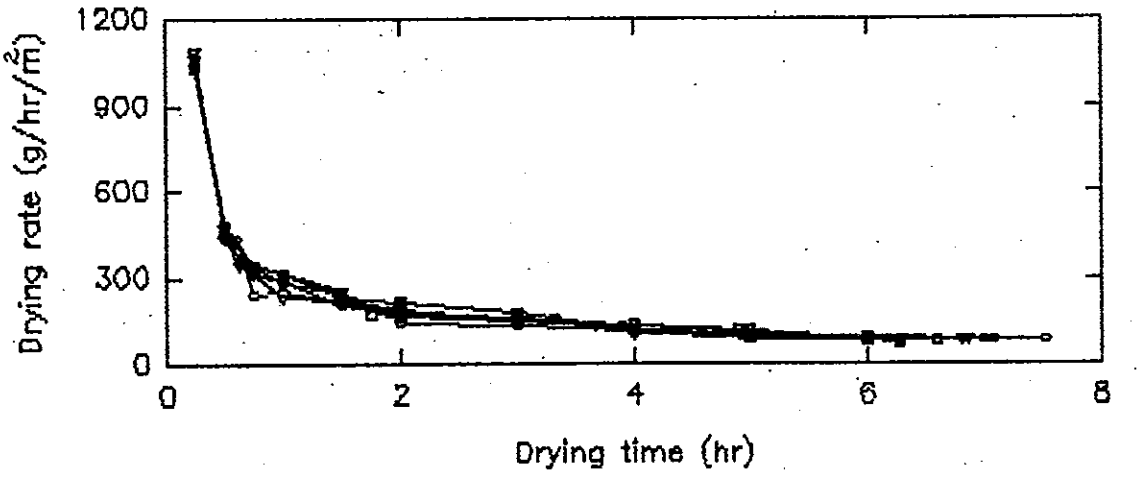
• = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 8 %db

▽ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 6 %db

▼ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 5 %db



(a)



(b)

ภาพประกอบ 34 ผลของการใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนทั้ง 3 ระดับ (2.0, 1.5 และ 0.8 m/s) ต่อการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db ด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 80°c

(a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและเวลาอบแห้ง

หมายเหตุ : ○ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 10 %db และ 8 %db

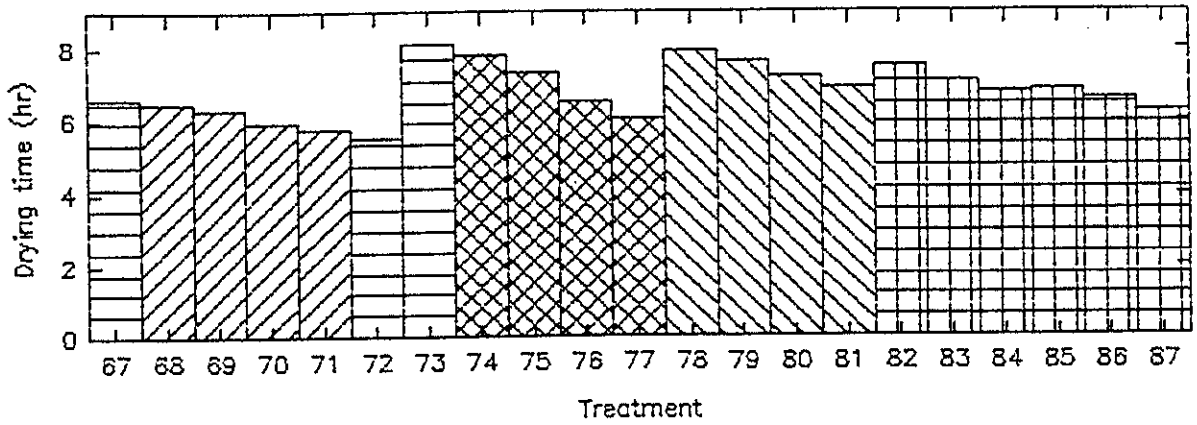
◍ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 10 %db และ 6 %db

▽ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 10 %db และ 5 %db

▼ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 8 %db และ 6 %db

□ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 8 %db และ 5 %db

▣ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 6 %db และ 5 %db



ภาพประกอบ 35 ผลของการใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนต่อเวลาทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db ด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 80°c

หมายเหตุ : 67 = 1.5 m/s ตลอดการทดลอง
68 = 2.0-->1.5 m/s ที่ความชื้น 10 %db
69 = 2.0-->1.5 m/s ที่ความชื้น 8 %db
70 = 2.0-->1.5 m/s ที่ความชื้น 6 %db
71 = 2.0-->1.5 m/s ที่ความชื้น 5 %db
72 = 2.0 m/s ตลอดการทดลอง
73 = 0.8 m/s ตลอดการทดลอง
74 = 2.0-->0.8 m/s ที่ความชื้น 10 %db
75 = 2.0-->0.8 m/s ที่ความชื้น 8 %db
76 = 2.0-->0.8 m/s ที่ความชื้น 6 %db
77 = 2.0-->0.8 m/s ที่ความชื้น 5 %db
78 = 1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 10 %db
79 = 1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 8 %db
80 = 1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 6 %db
81 = 1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 5 %db
82 = 2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 10,8 %db
83 = 2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 10,6 %db
84 = 2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 10,5 %db
85 = 2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 8,6 %db
86 = 2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 8,5 %db
87 = 2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 6,5 %db

4.2 ผลของการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนต่อความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

จากตาราง 13 ซึ่งแสดงปริมาณน้ำที่ระเหยต่อหน่วยพลังงานที่เวลาต่าง ๆ ขณะอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) ด้วยความเร็วของลมร้อน 0.8, 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในช่วง 15 นาที หลังจากเริ่มอบแห้งด้วยความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที สามารถดึงน้ำออกจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ 3.27 กรัมต่อเมกกะจูล ในขณะที่ หากอบแห้งด้วยลมร้อนซึ่งมีความเร็ว 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที ลมร้อนสามารถดึงน้ำออกไปได้เพียง 1.89 และ 1.67 กรัมต่อเมกกะจูล เท่านั้น แสดงให้เห็นว่า ที่ความเร็วของลมร้อนต่ำ ปริมาณน้ำที่ลมร้อนดึงออกไปต่อหนึ่งหน่วยของพลังงานมีค่าสูงกว่า ดังนั้น การใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนขณะอบแห้งจากความเร็วของลมร้อนสูงเป็นความเร็วของลมร้อนต่ำ จึงช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งมากกว่าการอบแห้งด้วยความเร็วของลมร้อนสูงเพียงอย่างเดียวตลอดการทดลอง ที่เวลาอื่น ๆ ก็ให้ผลการทดลองในทำนองเดียวกัน

จากตาราง 14 และภาพประกอบ 36 แม้ว่ามีการเปลี่ยนความเร็วขณะอบแห้งที่ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 10, 8, 6 และ 5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ก็ไม่ทำให้ปริมาณน้ำที่ระเหยต่อหน่วยพลังงานที่เวลาต่างๆ แตกต่างกันมากนัก โดยแนวโน้มทั้งหมดจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น แต่หากพิจารณาพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งจากตาราง 15 และภาพประกอบ 37 จะเห็นว่า การเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้นของวัตถุดิบสูง จะสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งน้อยกว่าการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อน ที่ความชื้นของวัตถุดิบต่ำ เช่น การเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 10 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง สิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง 373.33 เมกกะจูล ในขณะที่การเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 6 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง สิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง 391.19 เมกกะจูล ความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งโดยการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาที เป็น 0.8 เมตรต่อวินาที หรือ จาก 1.5 เมตรต่อวินาที เป็น 0.8 เมตรต่อวินาที และการใช้วิธีเปลี่ยนความเร็วทั้ง 3 ระดับในการอบแห้ง ให้แนวโน้มของผลการทดลองในทำนองเดียวกัน

ตาราง 13 ปริมาณน้ำที่ระเหยต่อหน่วยพลังงาน ที่เวลาต่าง ๆ ขณะอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ด้วยความเร็วของลมร้อน 0.8, 1.5 และ 2.0 m/s อุณหภูมิในการอบแห้ง 80°c

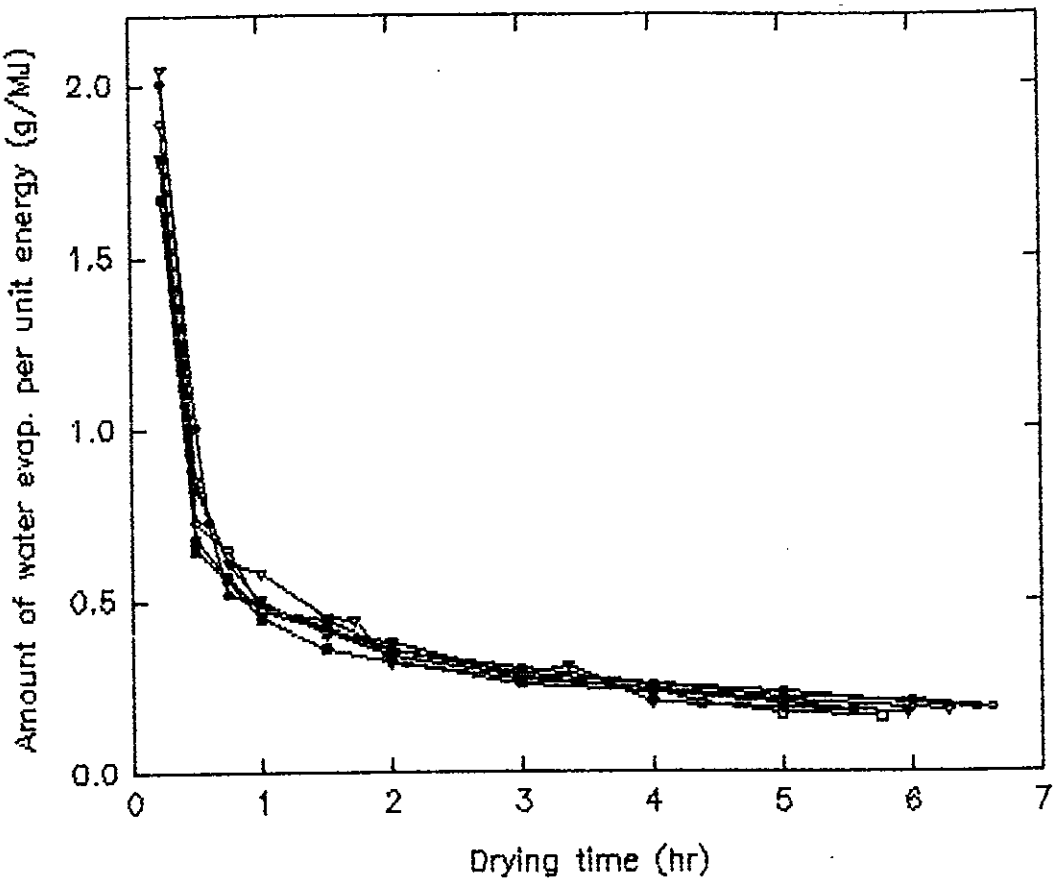
เวลาขณะอบแห้ง (hr)	ปริมาณน้ำที่ระเหยต่อหน่วยพลังงาน (g/MJ)		
	0.8 m/s	1.5 m/s	2.0 m/s
0			
0.25	3.27	1.89	1.67
0.50	1.29	0.73	0.65
0.75	1.09	0.73	0.56
1.0	0.88	0.47	0.45
1.5	0.73	0.44	0.36
2	0.53	0.36	0.33
3	0.54	0.29	0.26
4	0.54	0.26	0.23
5	0.38	0.22	0.20
5.55	-	-	0.18
6	0.33	0.21	
6.62	-	0.19	
7	0.34		
8	0.31		
8.10	0.30		

ตาราง 14 ปริมาณน้ำที่ระเหยต่อหน่วยพลังงาน ที่เวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง โดยใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 m/s เป็น 1.5 m/s ที่ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 10, 8, 6 และ 5 %db

เวลาขณะอบแห้ง (hr)	ปริมาณน้ำที่ระเหยต่อหน่วยพลังงานที่เวลาใด ๆ จากการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้นต่าง ๆ (g/MJ)					
	1.5 m/s ตลอดการทดลอง	10 %db	8 %db	6 %db	5 %db	2.0 m/s ตลอดการทดลอง
0						
0.25	1.89	2.01	2.05	1.79	1.78	1.67
0.50	0.73	1.01	0.85	0.83	0.68	0.65
0.61	-	0.73	-	-	-	-
0.75	0.65	0.52	0.61	0.61	0.75	0.65
1.0	0.47	0.49	0.58	0.50	0.47	0.45
1.5	0.44	0.42	0.45	0.40	0.41	0.36
1.71	-	-	0.44	-	-	-
2	0.36	0.36	0.32	0.38	0.34	0.33
3	0.29	0.30	0.27	0.28	0.28	0.26
3.35	-	-	-	0.31	-	-
4	0.26	0.26	0.24	0.20	0.24	0.23
4.38	-	-	-	-	0.20	-
5	0.22	0.23	0.21	0.19	0.17	0.20
5.55	-	-	-	-	-	0.18

ตาราง 14 (ต่อ)

เวลาที่แช่อบแห้ง (hr)	ปริมาณน้ำที่ระเหยต่อหน่วยพลังงานที่เวลาใด ๆ จากการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้นต่าง ๆ (ก/MJ)					
	1.5 m/s ตลอดการทดลอง	10 %db	8 %db	6 %db	5 %db	2.0 m/s ตลอดการทดลอง
5.77	-	-	-	-	0.16	
5.97	-	-	-	0.17		
6	0.21	0.20	0.19			
6.29	-	-	0.18			
6.50	-	0.19				
6.62	0.19					



ภาพประกอบ 36 ปริมาณน้ำที่ระเหยต่อหน่วยพลังงาน ที่เวลาใด ๆ ขณะอบแห้ง โดยใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 m/s เป็น 1.5 m/s ที่ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 10, 8, 6 และ 5 %db

หมายเหตุ: ○ = ความเร็วของลมร้อน 1.5 (m/s) ตลอดการทดลอง

■ = ความเร็วของลมร้อน 2.0 (m/s) ตลอดการทดลอง

● = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 10 %db

▽ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 8 %db

▼ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 6 %db

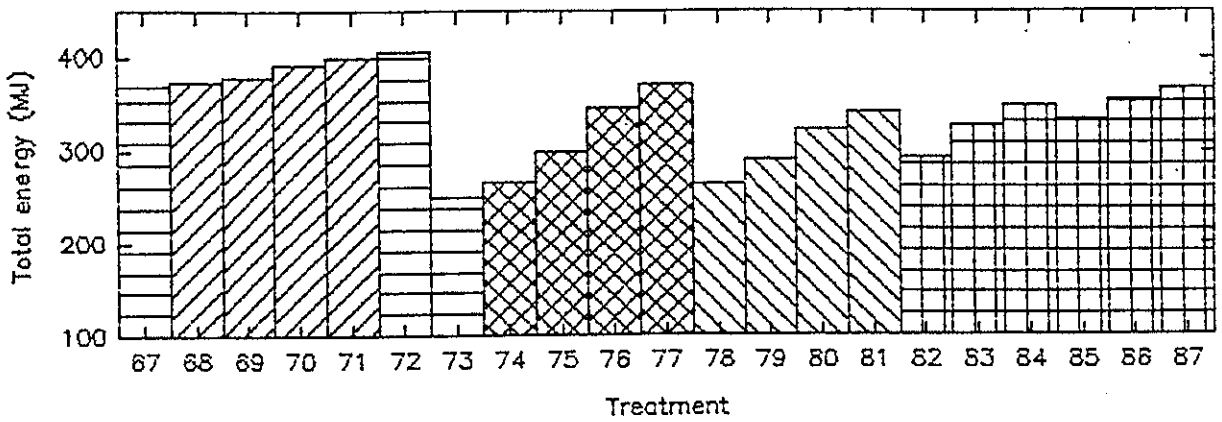
□ = เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้น 5 %db

ตาราง 15 ผลของการใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนต่อเวลาและความสิ้นเปลือง พลังงานในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db ที่อุณหภูมิของลมร้อน 80°c

วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อน	เวลาในการอบแห้ง (hr)	พลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง (MJ)
1.5 m/s ตลอดการทดลอง	6.20	367.93
2.0-->1.5 m/s ที่ 10 %db	6.50	373.33
2.0-->1.5 m/s ที่ 8 %db	6.29	378.12
2.0-->1.5 m/s ที่ 6 %db	5.97	391.19
2.0-->1.5 m/s ที่ 5 %db	5.77	399.44
2.0 m/s ตลอดการทดลอง	5.55	406.39
0.8 m/s ตลอดการทดลอง	8.10	250.43
2.0-->0.8 m/s ที่ 10 %db	7.81	266.48
2.0-->0.8 m/s ที่ 8 %db	7.31	298.62
2.0-->0.8 m/s ที่ 6 %db	6.65	344.78
2.0-->0.8 m/s ที่ 5 %db	6.08	371.68
1.5-->0.8 m/s ที่ 10 %db	7.94	264.05
1.5-->0.8 m/s ที่ 8 %db	7.64	288.66
1.5-->0.8 m/s ที่ 6 %db	7.20	321.78
1.5-->0.8 m/s ที่ 5 %db	6.93	341.58
2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ 10,8 %db	7.52	290.68
2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ 10,6 %db	7.08	326.62
2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ 10,5 %db	6.81	347.82

ตาราง 15 (ต่อ)

วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อน	เวลาในการอบแห้ง (hr)	พลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง (MJ)
2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ 8.6 %db	6.87	333.64
2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ 8.5 %db	6.60	355.98
2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ 6.5 %db	6.28	366.53



ภาพประกอบ 37 ผลของการใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนต่อความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 %db ด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 80°c

หมายเหตุ : 67 = 1.5 m/s ตลอดการทดลอง
68 = 2.0-->1.5 m/s ที่ความชื้น 10 %db
69 = 2.0-->1.5 m/s ที่ความชื้น 8 %db
70 = 2.0-->1.5 m/s ที่ความชื้น 6 %db
71 = 2.0-->1.5 m/s ที่ความชื้น 5 %db
72 = 2.0 m/s ตลอดการทดลอง
73 = 0.8 m/s ตลอดการทดลอง
74 = 2.0-->0.8 m/s ที่ความชื้น 10 %db
75 = 2.0-->0.8 m/s ที่ความชื้น 8 %db
76 = 2.0-->0.8 m/s ที่ความชื้น 6 %db
77 = 2.0-->0.8 m/s ที่ความชื้น 5 %db
78 = 1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 10 %db
79 = 1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 8 %db
80 = 1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 6 %db
81 = 1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 5 %db
82 = 2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 10,8 %db
83 = 2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 10,6 %db
84 = 2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 10,5 %db
85 = 2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 8,6 %db
86 = 2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 8,5 %db
87 = 2.0-->1.5-->0.8 m/s ที่ความชื้น 6,5 %db

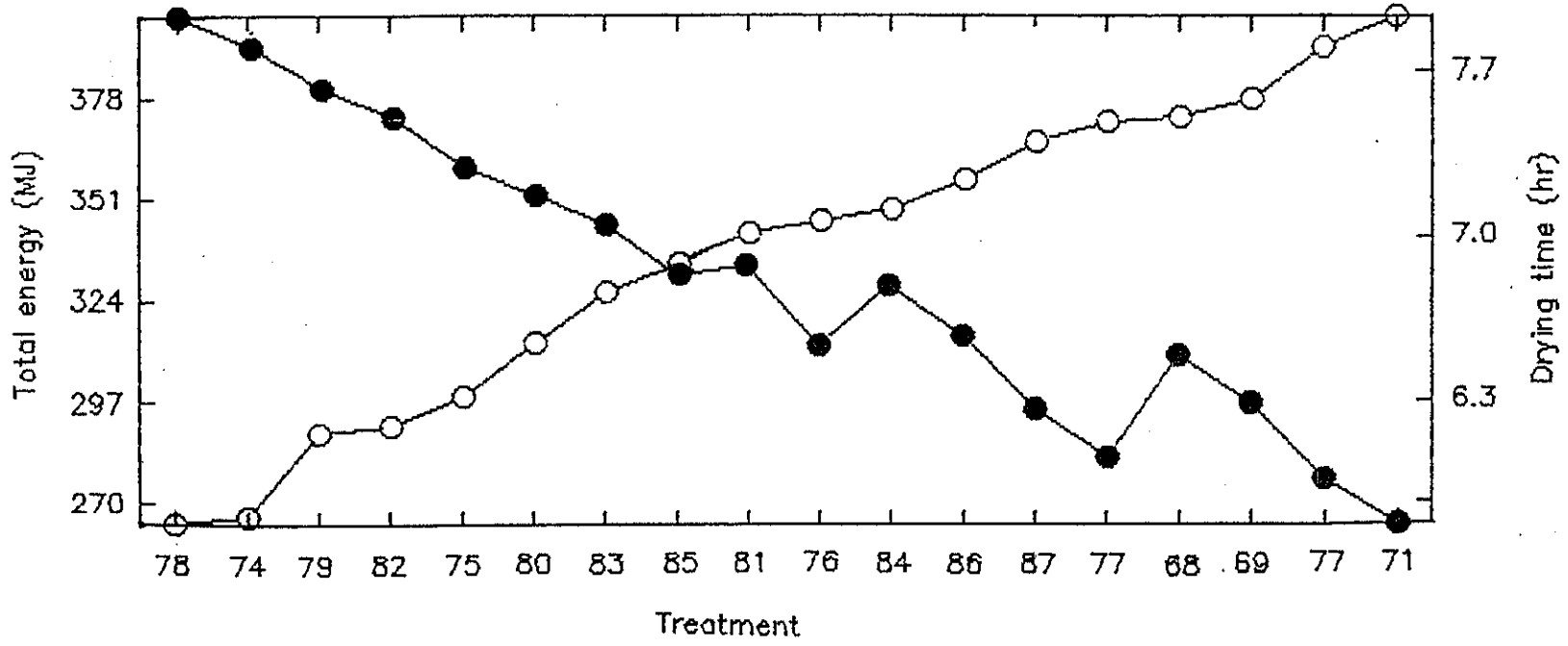
4.3 คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

การใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนขณะอบแห้งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีผิวสัมผัสและความยากง่ายในการกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไม่แตกต่างกันและไม่แตกต่างจากการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์(13 %db) ที่ใช้ความเร็วของลมร้อน 2.0 หรือ 1.5 หรือ 0.8 เมตรต่อวินาที (อุณหภูมิในการอบแห้ง 80 องศาเซลเซียส) เพียงอย่างเดียว ตลอดการทดลอง คือลักษณะผิวสัมผัสเรียบ การกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทำได้ง่าย สี กลิ่น และรสชาติของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งของทุกสภาวะการทดลองไม่แตกต่างกัน โดยผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง มีสีตามธรรมชาติของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการอบแห้ง มีกลิ่นและรสชาติมันไม่สูงมาก

เนื่องจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการหาสภาวะที่เหมาะสมจึงพิจารณาเฉพาะเวลา และความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง จากการพล็อตกราฟ (ภาพประกอบ 38) พบว่า เส้นกราฟทั้งสองตัดกันที่จุดจุดหนึ่ง (ซึ่งใกล้กับการทดลองที่ 85) ในกรณีนี้ หากสมมุติให้ความสำคัญของเวลาและความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งเท่ากัน จุดที่เส้นกราฟตัดกันถือได้ว่าเป็นสภาวะการอบแห้งที่ดีที่สุด แต่ในทางปฏิบัติจริง ตัวแปรทั้งสองมีสัดส่วนความสำคัญที่แตกต่างกันซึ่งจะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวม

การอบแห้งโดยวิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนขณะอบแห้งที่ความชื้นของวัสดุสูงจะสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งน้อยกว่า การเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนขณะอบแห้ง ที่ความชื้นของวัสดุต่ำ จึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานที่ใช้อบแห้ง แต่จะสิ้นเปลืองเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง นั่นคือ ต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าแรงงานเพิ่มขึ้น ดังนั้น การหาสภาวะที่เหมาะสม จึงต้องทราบค่าใช้จ่ายรวมของแต่ละสภาวะการทดลอง โดยต้องทราบค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานและค่าแรงงาน และคำนวณค่าใช้จ่ายรวมโดยใช้สมการต่อไปนี้

ค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) = ค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานที่ใช้อบแห้ง (Energy cost) + (ค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าแรงงาน (Labour cost)



ภาพประกอบ 38 การหาการทดลองที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากเวลาและความสิ้นเปลือง พลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง

หมายเหตุ : ● = เวลาทั้งหมดในการอบแห้ง ○ = พลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง

= พลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง (ค่าพลังงานต่อหนึ่งหน่วย) +
เวลาทั้งหมดในการอบแห้ง (ค่าแรงงานต่อหน่วยเวลา)

บทที่ 5

บทสรุป

สรุป

1. จากการศึกษากลไกการอบแห้งของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ในเครื่องอบแห้งแบบถาด พบว่า ทุกสภาวะของการอบแห้งมีกลไกในการอบแห้งที่คล้ายกันกล่าวคือ ในช่วงแรกเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สูญเสียความชื้นไปกับลมร้อนอย่างรวดเร็ว และค่อย ๆ ลดลง หรือกล่าวได้ว่า อัตราการอบแห้งในช่วงแรกสูงมาก และค่อย ๆ ลดลงในช่วงท้ายของการอบแห้ง พบว่า อัตราการอบแห้งมีเฉพาะช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น

2. จากการศึกษาตัวแปรต่างๆ ต่อการอบแห้งพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนสูงให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนต่ำ ความเร็วของลมร้อนและความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีผลต่ออัตราการอบแห้งในลักษณะเดียวกับผลของอุณหภูมิลมร้อน การเพิ่มจำนวนถาดในการอบแห้งไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ในขณะที่การใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนขณะอบแห้งมีผลต่อต่ออัตราการอบแห้ง

3. ความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งขึ้นอยู่กับสภาวะในการอบแห้ง คือการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนสูง สิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งน้อยกว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนต่ำ การอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อนสูงสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่ความเร็วของลมร้อนต่ำ ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ให้ผลเช่นเดียวกับผลของความเร็วของลมร้อน การเพิ่มจำนวนถาดในการอบแห้งแทบจะไม่มีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง การอบแห้งโดยการใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนขณะอบแห้ง ที่ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต่ำ สิ้นเปลืองพลังงานทั้งหมดในการอบแห้งสูงกว่า การอบแห้งที่มีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนที่ความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สูง

4. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิของลมร้อนสูง

หรือเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูง จะให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีสีเข้ม สีของผลิตภัณฑ์จะเด่นชัดขึ้นเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนสูง และใช้เวลาในการอบแห้งนาน นอกจากนี้ การอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนสูงยังให้ลักษณะผิวสัมผัสที่ขรุขระ และยากต่อการกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อใน กลิ่นของผลิตภัณฑ์เริ่มจะพัฒนาดีขึ้น เมื่ออบแห้งในเมล็ดมะม่วง-หิมพานต์ด้วยอุณหภูมิของลมร้อนที่สูงกว่า 85 องศาเซลเซียส และพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส ทำให้เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีรสชาติมันมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 85-90 องศาเซลเซียส การเพิ่มจำนวนถาดในการอบแห้งไม่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง คุณภาพผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งโดยการใช้วิธีการเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนไม่แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการอบแห้ง โดยการใช้ความเร็วของลมร้อนคงที่ตลอดการทดลอง(ที่อุณหภูมิและความชื้นเริ่มต้นเดียวกัน)

5. การพิจารณาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม จำเป็นต้องทราบค่าใช้จ่ายรวม ของแต่ละสภาวะ โดยที่

ค่าใช้จ่ายรวม (Total cost) = ค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานที่ใช้อบแห้ง (Energy cost) + ค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าแรงงาน (Labour cost)

จากนั้น จึงพิจารณาสภาวะที่เหมาะสม โดยควรพิจารณาควบคู่ไปกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. ควรควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง เพื่อให้การเปรียบเทียบผลการทดลองดีขึ้น แต่วิธีนี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

2. เพื่อลดการสูญเสียความร้อนไปกับอากาศที่ออกจากตู้อบแห้ง ควรศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำลมร้อนกลับมาใช้ใหม่ การศึกษาชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้ง ตลอดจนการออกแบบเครื่องอบแห้งก็เป็นหนทางหนึ่งที่ช่วยลดต้นทุนของกระบวนการผลิตได้เช่นกัน

บรรณานุกรม

ณรงค์ โฉมเฉลา. 2518. "พืชอุตสาหกรรม II มะม่วงหิมพานต์", วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 8(4), 293-294.

ทักษิณา ลอยจิรากุล. 2526. "ลักษณะสมบัติของการอบแห้งของผลิตภัณฑ์เกษตรบางชนิดในประเทศไทย", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธงไชย ศรีนพคุณ. 2530. "สมการอบแห้งและแบบจำลองความชื้นสมดุลย์ของผลิตภัณฑ์เกษตร", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เพ็ญพรรณ์ ทะสยโส. 2532. "การศึกษาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสมของมะละกอแช่อิ่ม", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก. 2529. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. สงขลา : ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

รัชนี ตันทพานิชกุล. 2533. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

วิไล ตันติคุณ. 2522. "การผลิตและการค้าเมล็ดมะม่วงหิมพานต์", วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมควร อินทรพาณิชย์. 2532. "การแปรรูปมะม่วงหิมพานต์". วารสารแก่นเกษตร. 4(7), 201-206.

สมชาย ฉินสกลธนากร และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2533. "การศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกในถังเก็บ(ระยะที่ 3) ความสิ้นเปลืองพลังงาน คุณภาพข้าว และการปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์". วิศวกรรมสารเกษตรศาสตร์. 24(24), 92-101.

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2535. การอบแห้งเมล็ดธัญพืช. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศิวช อัจฉริยวิริยะ. 2531. "การศึกษาหาพารามิเตอร์และการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งมะละกอแช่อิ่ม". วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. U.S.A. : The Association of Official Analytical Chemists Inc.

Borgstrom, G. 1968. Principle of Food. London : Collier Macmillan Limited.

Brennan, J.G., Butters, J.R., Cowell, N.D. and Lilly, A.E.V. 1986. Food Engineering Operations. London : Applied Science Publishers Ltd.

Cruess, W.V. 1958. Commercial Fruit and Vegetable Product. U.S.A. : McGraw-Hill Book Company.

Cruz, E. 1988. "Producer gas-fired mechanical dryer for copra", In Alternative energy application for drying. May 16-19.

Hall, C.W. 1980. Drying and Storage of Agricultural Crops. U.S.A. : The AVI Publishing Company, Inc.

Heldman, D.R. and Singh, R.P. 1981. Food Process Engineering. U.S.A. : The AVI Publishing Company,Inc.

--------, 1981. Food Process Engineering. U.S.A. : The AVI Publishing Company,Inc. , quoting Forrest, J.C. 1968. Drying Processes in biochemical and biological Engineering Science. New York : Academic Press.

Hield, J.L. and Josly, M.A. 1967. Fundamentals of Food Processing Operations. U.S.A. : The AVI Publishing Company, Inc.

Kelchick, S.J. 1981. "On farm corn drying comparison", Paper No. 81-3001. Trans. ASAE. 562-567.

Karel, M. 1973. "Fundamental of Dehydration Process", In Advanced Preconcention and Dehydration of Foods. London : Applied Scienced Publishers Ltd.

Keey, R.B. 1972. Drying : Principles and Practice. London : Pergamon Press.

--------. 1978. Introduction to Industrial Drying Operations. England : Willien Clowes and Sons Limited.

Levi, A., Gagel. S. and Juven, B. 1983. "Intermediate Moisture Tropical Fruit Products for Developing Countries I. Technological Data on Papaya", Jour of Food Technology, 18, 667-685.

Maryanto, M. 1986. "Drying of Mango Slices with Heated Air" Thesis for the Degree of Master of Engineering, Thailand : Asian Institute of Technology.

Mazza, G. and Leamaguer, M. 1980. "Dehydration of Onion: Some Theoretical and Practical Consideration", Journal of Food Technology, 181-194.

Morey, R.V. 1978. "Energy requirements for high-low temperature drying", Trans. ASAE, 562-567.

Muhlbauer, W. 1981. "High-low temperature drying of corn", ASAE, St. Joseph, MI.

Nair, M.K., Bhaskara, E.V.V.R., Nambiar, K.K.N. and Nambiar, M.C. 1979. Cashew (Anacardium occidentale L.). India : Central Plantation Crops Research Institute, Kerala

Nonhebel, G. and Moss, A.A.H. 1971. Drying of Solid in the Chemical Industry. London : Butterworth and Co. Lit.

Ohler, J.G. 1979. Cashew. Netherlands : Koninklijk Instituut vorrde tropen.

--------, 1979. Cashew. Koninklijk Instituut vorrde tropen, Amsterdam Netherlands. , quoting Shivashanker, S., et al. 1975, "Storage aspects of processed cashew nuts", Indian Cashew Journal, 10(2), 7-10.

Potter, N. 1978. Food Science. Connecticut : AVI, Westport.

Purseglore, J.W. 1977. Tropical Crops Dicotyledon. London : Longman Group.

Somogyi, L.P. and Lun, B.S. 1986. "Dehydration of Food" In Commercial Fruit Processing. ed. Woodroof, J.G. and Lun, B.S., U.S.A. : The AVI Publishing Company, Inc.

Soponronnarit, S. 1988. "Energy Model of Grain Drying System," Asean Journal on Science and Technology for Development. 5(2), 46-68.

Soponronnarit, S., Dussadee, N., Hirunlabh, J., Nemprakai, P. and Thepa, S. 1992. "Computer simulation of solar-assisted fruit cabinet dryer", RERIC International Energy Journal. 14(1), 59-70.

Soponronnarit, S. and Chinsakolotanakorn, S. 1986. "Energy consumption patterns in drying paddy by various drying strategies:", Proc. of Regional Seminar on Alternative Energy Appl. Chiang Mai University.

Tia, W. and Soponronnarit , S. 1988. "Estimate of cost of paddy drying", Paper presented at the 11th ASEAN Technical Seminar on Grain Post-Harvest Technology. Kuala Lumpur.

Wilcke, W.F. and Bern, C.J. 1986. "Natural-air corn drying with stirring : II dryer performance", Trans. ASAE 29(3), 860-867.

Williams, A.G. 1976. Industrial Drying. England : Billing and Sons Ltd.

ภาคผนวก ก. รายละเอียดข้อมูลการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

การทดลองที่ 1

อุณหภูมิของลมร้อน 70 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	989.74	11.84	656.65
0.50	985.25	11.33	287.36
0.75	982.23	10.99	193.28
1	979.48	10.68	176.00
1.50	974.99	10.17	143.68
2	971.01	9.72	127.36
3	964.47	8.99	104.64
4	958.97	8.36	88.00
5	954.03	7.81	79.04
6	949.75	7.32	68.48
7	945.73	6.87	64.32
8	941.98	6.44	60.00
9	938.46	6.05	56.32
10	935.38	5.70	49.28
11	931.97	5.31	54.56

การทดลองที่ 1 (ต่อ)

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
12	928.95	4.97	48.32
13	926.04	4.64	46.56
14	923.25	4.33	44.64
15	920.56	4.02	43.04
15.08	920.36	4.00	42.48

การทดลองที่ 2

อุณหภูมิของลมร้อน 75 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	988.05	11.65	764.81
0.50	983.10	11.09	316.80
0.75	979.30	10.66	243.20
1	975.95	10.28	214.40
1.50	970.68	9.69	168.64
2	966.20	9.18	143.36
3	958.61	8.32	121.44
4	952.31	7.61	100.80
5	946.56	6.96	92.00
6	941.46	6.38	81.60
7	936.77	5.86	75.04
8	932.41	5.36	69.76
9	929.00	4.98	54.56
10	924.44	4.46	72.96
10.79	920.36	4.00	82.88

การทดลองที่ 3

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	986.20	11.44	883.21
0.50	980.25	10.77	380.80
0.75	976.10	10.30	265.60
1	972.40	9.88	236.80
1.50	966.20	9.18	198.40
2	960.80	8.57	172.80
3	952.20	7.60	137.60
4	944.80	6.76	118.40
5	938.18	6.02	105.92
6	932.40	5.36	92.48
7	925.80	4.62	105.60
8.00	920.36	4.00	87.04

การทดลองที่ 4

อุณหภูมิของลมร้อน 85 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	984.67	11.27	981.13
0.50	978.32	10.55	406.40
0.75	973.44	10.00	312.32
1	969.34	9.54	262.40
1.50	962.76	8.79	210.56
2	956.68	8.10	194.56
3	946.90	7.00	156.48
4	938.68	6.07	131.52
5	931.44	5.25	115.84
6	924.50	4.47	111.04
6.61	920.36	4.00	108.91

การทดลองที่ 5

อุณหภูมิของลมร้อน 90 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	982.86	11.06	1096.97
0.50	975.55	10.24	467.84
0.75	970.31	9.64	335.36
1	965.72	9.13	293.76
1.50	958.02	8.26	246.40
2	951.42	7.51	211.20
3	940.63	6.29	172.64
4	931.45	5.25	146.88
5	923.36	4.34	129.44
5.40	920.36	4.00	120.50

การทดลองที่ 6

อุณหภูมิของลมร้อน 70 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	988.53	11.70	734.09
0.50	983.78	11.17	304.00
0.75	980.14	10.76	232.96
1	977.07	10.41	196.48
1.50	971.92	9.83	164.80
2	967.67	9.35	136.00
3	960.29	8.51	118.08
4	954.14	7.82	98.40
5	948.73	7.21	86.56
6	943.84	6.65	78.24
7	938.22	6.02	89.92
8	935.15	5.67	49.12
9	931.22	5.23	62.88
10	927.50	4.81	59.52
11	923.76	4.38	59.84
12.00	920.36	4.00	54.40

การทดลองที่ 7

อุณหภูมิของลมร้อน 75 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	986.64	11.49	855.05
0.50	980.92	10.84	366.08
0.75	976.86	10.38	259.84
1	973.28	9.98	229.12
1.50	967.28	9.30	192.00
2	962.15	8.72	164.16
3	953.72	7.77	134.88
4	946.57	6.96	114.40
5	940.36	6.26	99.36
6	934.56	5.61	92.80
7	929.25	5.01	84.96
8	924.44	4.46	76.96
9.00	920.36	4.00	65.28

การทดลองที่ 8

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	984.57	11.26	987.53
0.50	978.19	10.54	408.32
0.75	973.28	9.98	314.24
1	968.97	9.49	275.84
1.50	961.85	8.69	227.84
2	956.38	8.07	175.04
3	946.58	6.96	156.80
4	938.31	6.03	132.32
5	931.03	5.21	116.48
6	924.45	4.46	105.28
6.67	920.36	4.00	97.95

การทดลองที่ 9

อุณหภูมิของลมร้อน 85 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	982.86	11.06	1096.97
0.50	975.56	10.24	467.20
0.75	970.31	9.64	336.00
1	965.72	9.13	293.76
1.50	958.11	8.27	243.52
2	951.52	7.52	210.88
3	940.63	6.29	174.24
4	931.44	5.25	147.04
5	923.36	4.34	129.28
5.40	920.36	4.00	120.50

การทดลองที่ 10

อุณหภูมิของลมร้อน 90 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	980.83	10.83	1226.89
0.50	972.90	9.94	507.52
0.75	966.81	9.25	389.76
1.	961.60	8.66	333.44
1.50	953.06	7.70	273.28
2	945.80	6.88	232.32
3	933.78	5.52	192.32
4	923.35	4.34	166.88
4.32	920.36	4.00	150.09

การทดลองที่ 11

อุณหภูมิของลมร้อน 70 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	987.44	11.58	803.85
0.50	982.03	10.97	346.24
0.75	978.25	10.54	241.92
1	974.88	10.16	215.68
1.50	969.39	9.54	175.68
2	964.48	8.99	157.12
3	956.31	8.06	130.72
4	949.77	7.32	104.64
5	943.84	6.65	94.88
6	938.52	6.05	85.12
7	933.56	5.49	79.36
8	927.77	4.84	92.64
9	924.66	4.49	49.76
10	920.56	4.02	65.60
10.06	920.36	4.00	56.64

การทดลองที่ 12

อุณหภูมิของลมร้อน 75 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	985.36	11.35	936.97
0.50	979.30	10.66	387.84
0.75	974.39	10.11	314.24
1	970.73	9.69	234.24
1.50	964.16	8.95	210.24
2	958.62	8.32	177.28
3	949.32	7.27	148.80
4	941.48	6.39	125.44
5	934.86	5.64	105.92
6	928.32	4.90	104.64
7	922.88	4.29	87.04
7.48	920.36	4.00	84.40

การทดลองที่ 13

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	983.10	11.09	1081.61
0.50	976.11	10.30	447.36
0.75	970.74	9.69	343.68
1	966.22	9.18	289.28
1.50	958.62	8.32	243.20
2	952.01	7.58	211.52
3	941.49	6.39	168.32
4	932.44	5.37	144.80
5	923.66	4.37	140.48
5.51	920.36	4.00	103.89

การทดลองที่ 14

อุณหภูมิของลมร้อน 85 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	981.22	10.88	1201.93
0.50	973.14	9.96	517.12
0.75	967.48	9.33	362.24
1	962.45	8.76	321.92
1.50	953.98	7.80	271.04
2	946.90	7.00	226.56
3	934.97	5.65	190.88
4	924.91	4.52	160.96
4.50	920.36	4.00	145.98

การทดลองที่ 15

อุณหภูมิของลมร้อน 90 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	979.00	10.63	1344.02
0.50	970.02	9.61	574.73
0.75	963.64	8.89	408.32
1	957.96	8.25	363.52
1.50	948.58	7.19	300.16
2	940.77	6.31	249.92
3	927.28	4.78	215.84
3.60	920.35	4.00	184.58

การทดลองที่ 16

อุณหภูมิของลมร้อน 70 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	16	
0.25	988.56	14.67	732.16
0.50	983.46	14.08	326.40
0.75	980.19	13.70	209.28
1	977.12	13.34	196.48
1.50	971.85	12.73	168.64
2	967.65	12.25	134.40
3	960.32	11.40	117.28
4	954.25	10.69	97.12
5	948.85	10.07	86.40
6	944.01	9.52	77.44
7	939.48	8.98	72.48
8	935.30	8.49	66.88
9	931.39	8.04	62.56
10	927.66	7.61	59.68
11	924.13	7.20	56.48
12	920.63	6.79	56.00
13	917.52	6.43	49.76

การทดลองที่ 16 (ต่อ)

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
14	914.41	6.07	49.76
15	911.01	5.68	54.40
16	908.50	5.38	40.16
17	906.01	5.10	39.84
18	903.22	4.77	44.64
19	899.88	4.39	53.44
20	896.67	4.01	51.36
20.04	896.55	3.99	46.99

การทดลองที่ 17

อุณหภูมิของลมร้อน 75 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	16	
0.25	986.68	14.45	852.48
0.50	981.16	13.81	353.28
0.75	976.93	13.32	270.72
1	973.35	12.91	229.12
1.50	967.36	12.21	191.68
2	962.31	11.63	161.60
3	953.81	10.64	136.00
4	946.70	9.82	113.76
5	940.41	9.09	100.64
6	934.72	8.43	91.04
7	929.52	7.82	83.20
8	924.63	7.26	78.24
9	920.06	6.73	73.12
10	915.63	6.21	70.88
11	911.72	5.76	62.56
12	907.25	5.24	71.52
13	903.92	4.85	53.28

การทดลองที่ 17 (ต่อ)

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
14	900.29	4.43	58.08
15	896.78	4.03	56.16
15.07	896.55	3.99	52.02

การทดลองที่ 18

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	16	
0.25	984.61	14.21	984.96
0.50	977.43	13.38	459.52
0.75	973.35	12.91	261.12
1	969.23	12.43	263.68
1.50	962.11	11.60	227.84
2	956.49	10.95	179.84
3	946.70	9.82	156.64
4	938.45	8.86	132.00
5	931.03	8.00	118.72
6	924.62	7.26	102.56
7	918.58	6.56	96.64
8	912.96	5.90	89.92
9	907.76	5.30	83.20
10	902.68	4.71	81.28
11	897.94	4.16	75.84
11.35	896.55	3.99	63.41

การทดลองที่ 19

อุณหภูมิของลมร้อน 85 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	16	
0.25	982.90	14.02	1094.40
0.50	975.82	13.20	453.12
0.75	969.89	12.51	379.52
1	965.83	12.04	259.84
1.50	958.12	11.14	246.72
2	951.64	10.39	207.36
3	940.77	9.13	173.92
4	931.60	8.06	146.72
5	923.42	7.12	130.88
6	916.23	6.28	115.04
7	909.52	5.50	107.36
8	902.88	4.73	106.24
9.00	896.55	3.99	101.28

การทดลองที่ 20

อุณหภูมิของลมร้อน 90 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000	16	
0.25	980.88	13.78	1223.68
0.50	972.96	12.86	506.88
0.75	966.89	12.16	388.48
1	961.73	11.56	330.24
1.50	953.17	10.57	273.92
2	945.93	9.73	231.68
3	933.92	8.33	192.16
4	923.53	7.13	166.24
5	914.15	6.04	150.08
6	906.34	5.14	124.96
7	898.92	4.27	118.72
7.32	896.55	3.99	118.36

การทดลองที่ 21

อุณหภูมิของลมร้อน 70 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	16	
0.25	987.21	14.52	818.56
0.50	981.52	13.86	364.16
0.75	977.85	13.43	234.88
1	974.42	13.03	219.52
1.50	968.78	12.38	180.48
2	963.80	11.80	159.36
3	955.70	10.86	129.60
4	948.85	10.07	109.60
5	942.92	9.38	94.88
6	937.35	8.73	89.12
7	932.33	8.15	80.32
8	927.36	7.57	79.52
9	923.28	7.10	65.28
10	919.12	6.62	66.56
11	915.17	6.16	63.20
12	910.52	5.62	74.40
13	907.78	5.30	43.84

การทดลองที่ 21 (ต่อ)

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
14	904.30	4.90	55.68
15	900.85	4.50	55.20
16	987.66	4.13	51.04
16.36	896.55	3.99	49.20

การทดลองที่ 22

อุณหภูมิของลมร้อน 75 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	16	
0.25	985.10	14.27	953.60
0.50	978.93	13.56	394.88
0.75	974.19	13.01	303.36
1	970.20	12.54	255.36
1.50	963.48	11.76	215.04
2	957.86	11.11	179.84
3	948.38	10.01	151.68
4	940.51	9.10	125.92
5	933.36	8.27	114.40
6	927.00	7.53	101.76
7	920.88	6.82	97.92
8	915.71	6.22	82.72
9	910.60	5.63	81.76
10	905.79	5.07	76.96
11	901.55	4.58	67.84
12	897.01	4.05	72.64
12.12	896.55	3.99	60.92

การทดลองที่ 23

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงตารางเมตร)
0	1000.00	16	
0.25	982.80	14.00	1100.80
0.50	975.67	13.18	456.32
0.75	969.91	12.51	368.64
1	965.60	12.01	275.84
1.50	958.02	11.13	242.56
2	951.34	10.36	213.76
3	940.24	9.07	177.60
4	931.19	8.02	144.80
5	923.07	7.08	129.92
6	915.88	6.24	115.04
7	908.98	5.44	110.40
8	902.45	4.68	104.48
9.00	896.55	3.99	94.40

การทดลองที่ 24

อุณหภูมิของลมร้อน 85 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	16	
0.25	980.88	13.78	1223.68
0.50	972.88	12.85	512.00
0.75	966.89	12.16	383.36
1	961.76	11.56	328.32
1.50	953.06	10.55	278.40
2	945.93	9.73	228.16
3	933.79	8.32	194.24
4	923.53	7.13	164.16
5	914.15	6.04	150.08
6	906.34	5.14	124.96
7	898.99	4.28	117.60
7.32	896.55	3.99	121.85

การทดลองที่ 25

อุณหภูมิของลมร้อน 90 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	16	
0.25	978.63	13.52	1367.68
0.50	969.77	12.49	567.04
0.75	962.98	11.70	434.56
1	956.92	11.00	387.84
1.50	947.45	9.90	303.04
2	939.55	8.99	252.80
3	925.96	7.41	217.44
4	914.51	6.08	183.20
5	904.00	4.86	168.16
5.86	896.55	3.99	137.93

การทดลองที่ 26

อุณหภูมิของลมร้อน 70 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	16	
0.25	985.99	14.37	896.64
0.50	980.02	13.68	382.08
0.75	975.74	13.18	273.92
1	971.99	12.75	240.00
1.50	965.89	12.04	195.20
2	960.39	11.40	176.00
3	951.48	10.37	142.56
4	943.98	9.50	120.00
5	937.53	8.75	103.20
6	931.39	8.04	98.24
7	925.89	7.40	88.00
8	920.77	6.81	81.92
9	915.97	6.25	76.80
10	911.42	5.72	72.80
11	907.10	5.22	69.12
12	902.44	4.68	74.56
13	898.01	4.17	70.88
13.64	896.55	3.99	36.42

การทดลองที่ 27

อุณหภูมิของลมร้อน 75 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	16	
0.25	983.68	14.11	1044.48
0.50	976.92	13.32	432.64
0.75	971.73	12.72	332.16
1	967.15	12.19	293.12
1.50	960.02	11.36	228.16
2	953.65	10.62	203.84
3	943.45	9.44	163.20
4	934.70	8.42	140.00
5	926.99	7.53	123.36
6	918.44	6.54	136.80
7	913.62	5.98	77.12
8	907.66	5.29	95.36
9	902.05	4.64	89.76
10.00	896.55	3.99	88.00

การทดลองที่ 28

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	16	
0.25	981.15	13.81	1206.40
0.50	973.34	12.91	499.84
0.75	967.22	12.20	391.68
1	962.30	11.63	314.88
1.50	954.11	10.68	262.08
2	946.86	9.84	232.00
3	934.70	8.42	194.56
4	924.60	7.25	161.60
5	915.11	6.15	151.84
6	907.66	5.29	119.20
7	899.99	4.40	122.72
7.53	896.55	3.99	103.76

การทดลองที่ 29

อุณหภูมิของลมร้อน 85 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	16	
0.25	979.06	13.57	1340.16
0.50	970.38	12.56	555.52
0.75	963.73	11.79	425.60
1	958.12	11.14	359.04
1.50	948.65	10.04	303.04
2	940.77	9.13	252.16
3	927.45	7.58	213.12
4	916.23	6.28	179.52
5	906.34	5.14	158.24
6	897.40	4.10	143.04
6.10	896.55	3.99	135.59

การทดลองที่ 30

อุณหภูมิของลมร้อน 90 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	16	
0.25	976.59	13.28	1498.24
0.50	966.75	12.14	629.76
0.75	959.45	11.30	467.20
1	953.00	10.55	412.80
1.50	942.65	9.35	331.20
2	933.78	8.32	283.84
3	918.59	6.56	243.04
4	906.34	5.14	196.00
4.88	896.55	3.99	177.95

การทดลองที่ 31

อุณหภูมิของลมร้อน 70 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	20	
0.25	987.51	18.50	799.36
0.50	982.34	17.88	330.88
0.75	978.37	17.40	254.08
1	975.02	17.00	214.40
1.50	969.41	16.33	179.52
2	964.68	15.76	151.36
3	956.74	14.81	127.04
4	950.04	14.00	107.20
5	944.04	13.28	96.00
6	938.82	12.66	83.52
7	933.92	12.07	78.40
8	929.45	11.53	71.52
9	925.07	11.01	70.08
10	921.02	10.52	64.80
11	917.16	10.06	61.76
12	913.38	9.61	60.48
13	909.95	9.19	54.88

การทดลองที่ 31 (ต่อ)

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
14	906.55	8.79	54.40
15	903.29	8.40	52.16
16	900.09	8.01	51.20
17	897.02	7.64	49.12
18	894.03	7.28	47.84
19	891.13	6.94	46.40
20	888.33	6.60	44.80
21	885.54	6.26	44.64
22	882.85	5.94	43.04
23	879.86	5.58	47.84
24	877.64	5.32	35.52
25	875.12	5.01	40.32
26	872.11	4.65	48.16
27	869.22	4.31	46.24
28.00	866.66	3.99	40.96

การทดลองที่ 32

อุณหภูมิของลมร้อน 75 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	20	
0.25	985.60	18.27	921.60
0.50	979.63	17.56	382.08
0.75	974.88	16.99	304.00
1	971.20	16.54	235.52
1.50	964.97	15.80	199.36
2	959.27	15.11	182.40
3	950.12	14.01	146.40
4	942.40	13.09	123.52
5	935.65	12.28	108.00
6	929.46	11.54	99.04
7	923.81	10.86	90.40
8	918.55	10.23	84.16
9	913.61	9.63	79.04
10	908.81	9.06	76.80
11	904.49	8.54	69.12
12	900.24	8.03	68.00
13	896.17	7.54	65.12

การทดลองที่ 32 (ต่อ)

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงตารางเมตร)
14	892.25	7.07	62.72
15	887.77	6.53	71.68
16	884.81	6.18	47.36
17	881.27	5.75	56.64
18	878.03	5.36	51.84
19	874.48	4.94	56.80
20	871.22	4.55	52.16
21	868.04	4.16	50.88
21.44	866.66	3.99	50.06

การทดลองที่ 33

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	20	
0.25	983.20	17.98	1075.20
0.50	976.24	17.15	445.44
0.75	970.90	16.51	341.76
1	966.40	15.97	288.00
1.50	958.85	15.06	241.60
2	952.48	14.30	203.84
3	941.80	13.02	170.88
4	932.80	11.94	144.00
5	924.87	10.98	126.88
6	917.39	10.09	119.68
7	911.10	9.33	100.64
8	904.97	8.60	98.08
9	899.20	7.90	92.32
10	893.75	7.25	87.20
11	888.62	6.63	82.08
12	883.61	6.03	80.16
13	878.86	5.46	76.00

การทดลองที่ 33 (ต่อ)

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงตารางเมตร)
14	884.28	4.91	73.28
15	869.87	4.38	70.56
15.75	866.66	3.99	68.41

การทดลองที่ 34

อุณหภูมิของลมร้อน 85 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	20	
0.25	981.32	17.76	1195.52
0.50	973.43	16.81	504.96
0.75	967.66	16.12	369.28
1	962.65	15.52	320.64
1.50	645.62	14.55	256.96
2	948.18	13.66	238.08
3	935.32	12.24	189.76
4	925.13	11.02	163.04
5	916.50	9.98	138.08
6	908.53	9.02	127.52
7	901.20	8.14	117.28
8	894.38	7.33	109.12
9	888.08	6.57	100.80
10	881.91	5.83	98.72
11	876.14	5.14	92.32
12	871.22	4.55	78.72
13	867.02	4.04	67.20
13.11	866.66	3.99	51.88

การทดลองที่ 35

อุณหภูมิของลมร้อน 90 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	20	
0.25	979.12	17.49	1336.32
0.50	970.25	16.43	567.68
0.75	963.84	15.66	410.24
1	958.24	14.99	358.40
1.50	948.99	13.88	296.00
2	940.65	12.88	266.88
3	927.68	11.32	207.52
4	916.51	9.98	178.72
5	906.64	8.80	157.92
6	897.73	7.73	142.56
7	889.15	6.80	137.28
8	881.91	5.83	115.84
9	874.76	4.97	114.40
10	867.97	4.16	108.64
10.20	866.66	3.99	104.53

การทดลองที่ 36

อุณหภูมิของลมร้อน 70 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	20	
0.25	986.03	18.32	894.08
0.50	979.66	17.56	407.68
0.75	975.81	17.10	246.40
1	972.07	16.65	239.36
1.50	966.02	15.92	193.60
2	960.50	15.26	176.64
3	951.63	14.20	141.92
4	944.19	13.30	119.04
5	937.56	12.51	106.08
6	931.60	11.79	95.36
7	925.95	11.11	90.40
8	921.02	10.52	78.88
9	916.22	9.95	76.80
10	911.72	9.41	72.00
11	907.38	8.89	69.44
12	903.55	8.43	61.28
13	899.32	7.92	67.68

การทดลองที่ 36 (ต่อ)

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
14	895.51	7.46	60.96
15	891.85	7.02	58.56
16	888.30	6.60	56.80
17	884.76	6.17	56.64
18	881.52	5.78	51.84
19	878.28	5.39	51.84
20	875.55	5.07	43.68
21	872.03	4.64	56.32
22	869.02	4.24	48.16
23.00	866.66	3.99	37.76

การทดลองที่ 37

อุณหภูมิของลมร้อน 75 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	20	
0.25	983.76	18.05	1039.36
0.50	977.03	17.24	430.72
0.75	971.87	16.62	330.24
1	967.03	16.04	309.76
1.50	960.21	15.22	218.24
2	954.06	14.49	196.80
3	943.74	13.25	165.12
4	935.03	12.20	139.36
5	927.26	11.27	124.32
6	920.43	10.45	109.28
7	914.06	9.69	101.92
8	908.12	8.98	95.04
9	902.55	8.31	89.12
10	897.03	7.64	88.32
11	892.27	7.07	76.16
12	887.86	6.54	70.56
13	882.88	5.96	79.68

การทดลองที่ 37 (ต่อ)

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
14	878.58	5.43	68.80
15	874.20	4.90	70.08
16	870.22	4.43	63.68
16.85	866.66	3.99	66.95

การทดลองที่ 38

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	20	
0.25	981.22	17.75	1201.92
0.50	973.44	16.81	497.92
0.75	967.47	16.10	382.08
1	962.43	15.49	322.56
1.50	954.33	14.52	259.20
2	946.88	13.63	238.40
3	934.94	12.19	191.04
4	925.22	11.03	155.52
5	916.00	9.92	147.52
6	907.99	8.96	128.16
7	900.34	8.04	122.40
8	893.76	7.25	105.28
9	887.31	6.48	103.20
10	881.22	5.75	97.44
11	875.42	5.05	92.80
12	869.66	4.36	92.16
12.53	866.66	3.99	90.46

การทดลองที่ 39

อุณหภูมิของลมร้อน 85 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000	20	
0.25	979.12	17.49	1336.32
0.50	970.47	16.46	553.60
0.75	963.68	15.64	434.56
1	958.24	14.99	348.16
1.50	948.86	13.86	300.16
2	940.95	12.91	253.12
3	927.68	11.32	212.32
4	916.50	9.98	178.88
5	906.03	8.72	167.52
6	897.73	7.73	132.80
7	889.54	6.74	131.04
8	882.12	5.85	118.72
9	874.74	4.97	118.08
10	867.97	4.16	108.32
10.20	866.66	3.99	104.53

การทดลองที่ 40

อุณหภูมิของลมร้อน 90 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	20	
0.25	976.66	17.20	1493.76
0.50	966.53	15.98	648.32
0.75	959.58	15.15	444.80
1	953.32	14.40	400.64
1.50	943.13	13.18	326.08
2	933.99	12.08	292.48
3	918.88	10.27	241.76
4	906.65	8.80	195.68
5	895.63	7.48	176.32
6	885.05	6.21	169.28
7	876.51	5.18	136.64
8	867.99	4.16	136.32
8.16	866.66	3.99	132.67

การทดลองที่ 41

อุณหภูมิของลมร้อน 70 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	20	
0.25	984.70	18.16	979.20
0.50	978.37	17.40	405.12
0.75	972.89	16.75	350.72
1	969.41	16.33	222.72
1.50	962.98	15.55	205.76
2	956.74	14.81	199.68
3	947.11	13.65	154.08
4	938.82	12.66	132.64
5	931.60	11.79	115.52
6	924.78	10.97	109.12
7	919.07	10.29	91.36
8	913.48	9.62	89.44
9	908.23	8.99	84.00
10	903.27	8.39	79.36
11	898.12	7.77	82.40
12	894.03	7.28	65.44
13	889.71	6.76	69.12

การทดลองที่ 41 (ต่อ)

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
14	884.78	6.17	78.88
15	881.53	5.78	52.00
16	887.64	5.32	62.24
17	873.88	4.87	60.16
18	870.01	4.40	61.92
19.00	866.66	3.99	53.60

การทดลองที่ 42

อุณหภูมิของลมร้อน 75 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	20	
0.25	982.18	17.86	1140.48
0.50	974.22	16.91	509.44
0.75	969.14	16.30	325.12
1	964.36	15.72	305.92
1.50	956.83	14.82	240.96
2	949.88	13.99	222.40
3	938.28	12.59	185.60
4	928.68	11.44	153.60
5	920.32	10.44	133.76
6	912.71	9.52	121.76
7	906.04	8.72	106.72
8	899.21	7.90	109.28
9	893.09	7.17	97.92
10	887.31	6.48	92.48
11	881.26	5.75	96.80
12	876.56	5.19	75.20
13	871.52	4.58	80.64
14.00	866.66	3.99	77.76

การทดลองที่ 43

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	20	
0.25	979.42	17.53	1317.12
0.50	970.90	16.51	545.28
0.75	964.36	15.72	418.56
1	958.85	15.06	352.64
1.50	949.60	13.95	296.00
2	941.88	13.03	247.04
3	928.73	11.45	210.40
4	917.70	10.12	176.48
5	907.85	8.94	157.60
6	899.21	7.90	138.24
7	891.18	6.94	128.48
8	883.62	6.03	120.96
9	876.88	5.23	107.84
10	869.88	4.39	112.00
10.50	866.66	3.99	102.93

การทดลองที่ 44

อุณหภูมิของลมร้อน 85 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	20	
0.25	977.13	17.26	1463.68
0.50	967.66	16.12	606.08
0.75	959.77	15.17	504.96
1	954.26	14.51	352.64
1.50	944.01	13.28	328.00
2	935.32	12.24	278.08
3	920.08	10.41	243.84
4	908.53	9.02	184.80
5	897.73	7.73	172.80
6	887.23	6.47	168.00
7	878.99	5.48	131.84
8	870.64	4.48	133.60
8.50	866.66	3.99	127.25

การทดลองที่ 45

อุณหภูมิของลมร้อน 90 องศาเซลเซียส

ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 20 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	20	
0.25	974.43	16.93	1636.48
0.50	963.84	15.66	677.76
0.75	955.71	14.68	520.32
1	948.86	13.86	438.40
1.50	937.37	12.48	367.68
2	927.98	11.36	300.48
3	911.43	9.37	264.80
4	897.73	7.73	219.20
5	884.55	6.15	210.88
6	874.74	4.97	156.96
6.80	866.66	3.99	161.53

การทดลองที่ 46

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 333.33 กรัม/ถาด จำนวน 1 ถาด ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	333.33	13	
0.25	328.45	11.35	312.32
0.50	326.01	10.52	156.16
0.75	324.61	10.04	89.60
1	323.30	9.60	83.84
1.50	321.15	8.87	68.80
2	319.10	8.18	65.60
3	316.20	7.19	46.40
4	313.21	6.18	47.84
5	310.50	5.26	43.36
6	308.69	4.65	28.96
6.97	306.78	4.00	31.52

การทดลองที่ 47

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 333.33 กรัม/ถาด จำนวน 2 ถาด ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	666.67	13	
0.25	656.63	11.30	321.27
0.50	652.47	10.59	133.12
0.75	649.15	10.03	106.24
1	646.59	9.60	81.92
1.50	642.26	8.86	69.28
2	638.28	8.19	63.68
3	631.90	7.11	51.14
4	626.77	6.24	41.04
5	621.33	5.32	43.52
6	617.51	4.67	30.56
7.00	613.57	4.00	31.52

การทดลองที่ 48

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 333.33 กรัม/ถาด จำนวน 3 ถาด ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	985.22	11.33	315.30
0.50	978.56	10.58	142.08
0.75	974.22	10.09	92.58
1	969.97	9.61	90.66
1.50	963.22	8.84	72.00
2	957.55	8.20	60.47
3	948.00	7.12	50.93
4	939.95	6.22	42.93
5	932.87	5.42	37.76
6	926.46	4.69	34.19
7	920.80	4.05	30.19
7.08	920.36	4.00	30.15

การทดลองที่ 49

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 500 กรัม/ถาด จำนวน 1 ถาด ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	500.00	13	
0.25	492.77	11.36	462.72
0.50	489.60	10.65	202.88
0.75	487.48	10.17	135.68
1	485.44	9.71	130.56
1.50	482.35	9.10	98.88
2	479.55	8.38	89.60
3	474.95	7.34	73.60
4	471.07	6.46	62.08
5	467.99	5.76	49.28
6	464.57	4.99	54.72
7	461.73	4.35	45.44
7.68	460.18	4.00	36.49

การทดลองที่ 50

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 500 กรัม/ถาด จำนวน 2 ถาด ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	986.01	11.42	447.68
0.50	979.26	10.65	216.00
0.75	974.97	10.17	137.28
1	971.02	9.73	126.40
1.50	964.61	9.00	102.56
2	959.01	8.37	89.60
3	950.10	7.36	71.28
4	942.21	6.47	63.12
5	935.39	5.70	54.56
6	929.22	5.00	49.36
7	923.98	4.41	41.92
7.60	920.36	4.00	48.42

การทดลองที่ 51

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 500 กรัม/ถาด จำนวน 3 ถาด ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1500.00	13	
0.25	1478.39	11.37	461.02
0.50	1469.45	10.70	190.72
0.75	1463.02	10.21	137.17
1	1456.80	9.74	132.69
1.50	1447.09	9.01	103.57
2	1439.22	8.42	83.95
3	1425.17	7.36	74.93
4	1413.60	6.49	61.71
5	1403.00	5.69	56.53
6	1394.44	5.05	45.65
7	1385.71	4.40	46.56
7.65	1380.53	4.00	42.52

การทดลองที่ 52

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 1000 กรัม/ถาด จำนวน 1 ถาด ความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	985.86	11.40	904.97
0.50	979.80	10.72	387.84
0.75	975.00	10.18	307.20
1	971.73	9.81	209.28
1.50	965.38	9.09	203.20
2	959.20	8.39	197.76
3	951.04	7.47	130.56
4	943.46	6.61	121.28
5	936.79	5.86	106.72
6	930.10	5.10	107.04
7	925.21	4.55	78.24
7.94	920.36	4.00	82.76

การทดลองที่ 53

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 333.33 กรัม/ถาด จำนวน 1 ถาด ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	333.33	13	
0.25	327.81	11.13	353.28
0.50	325.40	10.31	154.24
0.75	323.78	9.76	103.68
1	322.35	9.28	91.52
1.50	319.86	8.43	79.68
2	317.73	7.71	68.16
3	314.23	6.52	56.00
4	311.59	5.63	42.24
5	308.67	4.64	46.72
5.80	306.78	4.00	37.82

การทดลองที่ 54

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 333.33 กรัม/ถาด จำนวน 2 ถาด ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	666.67	13	
0.25	655.81	11.60	347.51
0.50	650.90	10.33	157.12
0.75	647.65	9.78	104.00
1	644.71	9.28	94.08
1.50	639.99	8.49	75.52
2	635.62	7.74	69.92
3	628.45	6.52	57.36
4	622.99	5.60	43.68
5	617.57	4.68	43.36
5.85	613.57	4.00	37.66

การทดลองที่ 55

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงพิมพานต์ 333.33 กรัม/ถาด จำนวน 3 ถาด ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	983.55	11.14	350.93
0.50	976.90	10.39	141.86
0.75	971.52	9.78	114.77
1	967.30	9.30	90.02
1.50	960.28	8.51	74.88
2	953.50	7.75	72.32
3	943.80	6.65	51.73
4	934.15	5.56	51.47
5	926.52	4.70	40.69
5.87	920.36	4.00	37.83

การทดลองที่ 56

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 500 กรัม/ถาด จำนวน 1 ถาด

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และ ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	500.00	13	
0.25	492.26	11.25	495.36
0.50	488.45	10.39	243.84
0.75	486.29	9.90	138.24
1	484.13	9.41	138.24
1.50	480.57	8.61	113.92
2	477.39	7.89	101.76
3	472.52	6.79	77.92
4	468.27	5.83	68.00
5	464.69	5.02	57.28
6	461.14	4.22	56.80
6.40	460.18	4.00	38.42

การทดลองที่ 57

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 500 กรัม/ถาด จำนวน 2 ถาด ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	984.17	11.21	506.56
0.50	977.62	10.47	209.60
0.75	972.66	9.91	158.72
1	968.55	9.45	131.52
1.50	961.25	8.62	116.80
2	955.55	7.80	90.20
3	945.20	6.81	82.80
4	936.66	5.84	68.32
5	929.26	5.00	59.21
6	922.51	4.24	54.00
6.34	920.36	4.00	50.87

การทดลองที่ 58

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 500 กรัม/ถาด จำนวน 3 ถาด

ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และ

ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1500.00	13	
0.25	1476.66	11.24	497.92
0.50	1466.18	10.45	223.58
0.75	1458.97	9.91	153.81
1	1452.90	9.45	129.49
1.50	1441.56	8.60	120.96
2	1433.00	7.95	91.31
3	1417.94	6.82	80.32
4	1405.46	5.89	66.56
5	1393.56	4.98	63.47
6	1383.95	4.26	51.25
6.36	1380.53	4.00	50.70

การทดลองที่ 59

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 1000 กรัม/ถาด จำนวน 1 ถาด ความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	984.49	11.25	992.65
0.50	978.07	10.52	410.88
0.75	973.04	9.95	321.92
1	968.99	9.50	259.20
1.50	962.02	8.71	223.04
2	956.15	8.04	187.84
3	946.02	6.90	162.08
4	937.99	5.99	128.48
5	930.67	5.17	117.12
6	924.05	4.42	105.92
6.60	920.36	4.00	98.71

การทดลองที่ 60

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 333.33 กรัม/ถาด จำนวน 1 ถาด ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	333.33	13	
0.25	327.32	10.96	384.64
0.50	324.75	10.09	164.48
0.75	322.65	9.38	134.40
1	321.19	8.88	93.44
1.50	318.47	7.96	87.04
2	316.32	7.23	68.80
3	312.31	5.88	64.16
4	309.06	4.77	52.00
4.79	306.78	4.00	46.19

การทดลองที่ 61

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงพิมพานต์ 333.33 กรัม/ถาด จำนวน 2 ถาด ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	666.67	13	
0.25	654.58	10.95	386.87
0.50	649.87	10.15	150.72
0.75	645.74	9.45	132.16
1	642.16	8.84	114.56
1.50	637.35	8.03	76.96
2	632.49	7.21	77.76
3	624.78	5.90	61.68
4	618.50	4.84	50.24
4.88	613.57	4.00	44.83

การทดลองที่ 62

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 333.33 กรัม/ถาด จำนวน 3 ถาด ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	982.30	11.00	377.60
0.50	974.15	10.08	173.86
0.75	968.67	9.46	116.90
1	963.90	8.92	101.76
1.50	955.70	7.99	87.46
2	948.55	7.19	76.26
3	937.70	5.96	57.87
4	927.66	4.83	53.55
4.85	920.36	4.00	45.88

การทดลองที่ 63

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 500 กรัม/ถาด จำนวน 1 ถาด ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	500.00	13	
0.25	491.70	11.12	531.35
0.50	487.41	10.15	274.56
0.75	484.86	9.58	163.20
1	482.50	9.04	151.04
1.50	478.28	8.09	135.04
2	475.45	7.45	90.56
3	469.69	6.15	92.16
4	465.25	5.15	71.04
5	460.87	4.16	70.08
5.18	460.18	4.00	61.40

การทดลองที่ 64

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 500 กรัม/ถาด จำนวน 2 ถาด ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	982.58	11.03	557.45
0.50	975.55	10.24	224.96
0.75	969.38	9.54	197.44
1	965.16	9.06	135.04
1.50	957.34	8.18	125.12
2	951.21	7.49	98.08
3	939.67	6.18	92.32
4	930.01	5.09	77.28
5	922.23	4.21	62.24
5.23	920.36	4.00	65.47

การทดลองที่ 65

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 500 กรัม/ถาด จำนวน 3 ถาด ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1500.00	13	
0.25	1474.55	11.08	542.94
0.50	1463.00	10.21	246.40
0.75	1454.84	9.60	174.08
1	1447.98	9.08	146.35
1.50	1436.13	8.19	126.40
2	1426.01	7.43	107.95
3	1409.96	6.22	85.60
4	1395.50	5.13	77.12
5	1383.80	4.25	62.40
5.25	1380.53	4.00	69.83

การทดลองที่ 66

น้ำหนักของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 1000 กรัม/ถาด จำนวน 1 ถาด ความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ด 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	982.95	11.07	1091.21
0.50	975.55	10.24	473.60
0.75	970.48	9.66	324.48
1	965.91	9.15	292.48
1.50	958.25	8.28	245.12
2	951.79	7.55	206.72
3	940.96	6.33	173.28
4	931.55	5.26	150.56
5	923.78	4.39	124.32
5.46	923.36	4.00	119.37

การทดลองที่ 67

อบแห้งด้วยความเร็วของลมร้อน 1.5 เมตรต่อวินาที ตลอดการทดลอง อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	984.52	11.25	990.73
0.50	978.50	10.57	385.28
0.75	973.18	9.97	340.48
1	969.29	9.53	248.96
1.50	962.08	8.71	230.72
2	956.22	8.05	187.52
3	946.80	6.99	150.72
4	938.19	6.01	137.76
5	931.00	5.20	115.04
6	924.17	4.43	109.28
6.62	920.36	4.00	98.64

การทดลองที่ 68

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาทีเป็น 1.5 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 10 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	984.00	11.19	1024.01
0.50	975.98	10.29	513.28
0.61	973.45	10.00	369.46
0.75	971.14	9.74	262.86
1	967.22	9.30	250.88
1.50	960.62	8.55	211.20
2	954.91	7.90	182.72
3	945.35	6.82	152.96
4	937.20	5.90	130.40
5	929.97	5.09	115.68
6	923.45	4.35	104.32
6.50	920.36	4.00	99.26

การทดลองที่ 69

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาทีเป็น 1.5 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 8 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	982.97	11.08	1089.93
0.50	975.89	10.28	453.12
0.75	970.80	9.70	325.76
1	966.01	9.16	306.56
1.50	958.58	8.32	237.76
1.71	955.76	8.00	214.56
2	952.71	7.66	168.28
3	943.52	6.62	147.04
4	935.59	5.72	126.88
5	928.50	4.92	113.44
6	922.13	4.20	101.92
6.29	920.36	4.00	98.33

การทดลองที่ 70

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาทีเป็น 1.5 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 6 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	983.80	11.17	1036.81
0.50	976.30	10.32	480.00
0.75	970.75	9.70	355.20
1	966.20	9.18	291.20
1.50	959.00	8.37	230.40
2	952.20	7.60	217.60
3	942.00	6.45	163.20
3.35	938.06	6.00	180.57
4	933.23	5.46	118.65
5	926.45	4.69	108.48
5.97	920.36	4.00	100.65

การทดลองที่ 71

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาทีเป็น 1.5 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	982.98	11.08	1089.29
0.50	976.50	10.34	414.72
0.75	971.00	9.72	352.00
1	966.50	9.22	288.00
1.50	958.56	8.32	254.08
2	952.02	7.58	209.28
3	941.44	6.38	169.28
4	932.10	5.33	149.44
4.38	929.21	5.00	122.11
5	925.12	4.54	105.29
5.77	920.36	4.00	99.15

การทดลองที่ 72

อบแห้งด้วยความเร็วของลมร้อน 2.0 เมตรต่อวินาที ตลอดการทดลอง

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	983.09	11.09	1082.05
0.50	976.42	10.34	426.88
0.75	970.77	9.70	361.60
1	966.19	9.18	293.12
1.50	958.80	8.34	236.48
2	952.19	7.60	211.52
3	941.70	6.41	167.84
4	932.50	5.37	147.20
5	924.40	4.46	129.60
5.55	920.36	4.00	117.88

การทดลองที่ 73

อบแห้งด้วยความเร็วของลมร้อน 0.8 เมตรต่อวินาที ตลอดการทดลอง

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	986.00	11.43	896.01
0.50	980.50	10.80	352.00
0.75	975.76	10.26	303.36
1	972.00	9.84	240.64
1.50	965.72	9.13	200.96
2	960.80	8.57	157.44
3	951.52	7.52	148.48
4	943.89	6.66	122.08
5	937.41	5.93	103.68
6	931.80	5.29	89.76
7	925.95	4.63	93.60
8	920.60	4.03	85.60
8.10	920.36	4.00	40.35

การทดลองที่ 74

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาทีเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 10 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	983.15	11.20	1078.41
0.50	976.51	10.37	424.96
0.63	973.45	10.00	376.62
0.75	971.48	9.78	262.67
1	968.25	9.41	206.72
1.50	962.59	8.77	181.12
2	957.64	8.21	158.40
3	949.23	7.26	134.56
4	942.06	6.45	114.72
5	935.65	5.73	102.56
6	929.80	5.07	93.60
7	924.41	4.46	86.24
7.81	920.36	4.00	80.24

การทดลองที่ 75

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาทีเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 8 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	983.71	11.60	1042.57
0.50	976.09	10.30	487.68
0.75	971.00	9.72	325.76
1	966.21	9.18	306.56
1.50	959.00	8.37	230.72
1.74	955.76	8.00	216.00
2	953.27	7.72	153.23
3	945.54	6.85	123.68
4	938.78	6.08	180.16
5	932.63	5.39	98.40
6	927.05	4.76	89.28
7	921.92	4.18	82.08
7.31	920.36	4.00	81.12

การทดลองที่ 76

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาทีเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 6 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	982.98	11.08	1089.29
0.50	975.89	10.28	453.76
0.75	970.76	9.70	328.32
1	966.21	9.18	291.20
1.50	958.88	8.35	234.56
2	952.21	7.60	213.44
3	940.00	6.22	195.36
3.37	938.06	6.00	83.89
4	934.11	5.56	100.32
5	928.42	4.91	84.32
6	923.15	4.32	79.72
6.56	920.36	4.00	80.05

การทดลองที่ 77

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาทีเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	983.87	11.18	1032.33
0.50	976.00	10.29	503.68
0.75	970.89	9.71	327.04
1	966.17	9.18	302.08
1.50	958.85	8.35	234.24
2	952.00	7.58	219.20
3	940.50	6.28	184.00
4	932.36	5.36	130.24
4.35	929.21	5.00	144.00
5	925.85	4.62	82.71
6	920.74	4.04	81.76
6.08	920.36	4.00	78.41

การทดลองที่ 78

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 1.5 เมตรต่อวินาทีเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 10 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	983.99	11.19	1024.65
0.50	978.63	10.59	343.04
0.74	973.45	10.00	345.34
0.75	973.25	9.98	320.00
1	969.80	9.59	220.80
1.50	963.89	8.92	189.12
2	958.82	8.35	162.24
3	950.21	7.37	137.76
4	942.88	6.55	117.28
5	936.40	5.82	103.68
6	930.51	5.15	94.24
7	925.09	4.54	86.72
7.94	920.36	4.00	80.71

การทดลองที่ 79

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 1.5 เมตรต่อวินาทีเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 8 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	984.50	11.25	992.01
0.50	978.18	10.54	404.48
0.75	973.20	9.97	318.72
1	969.30	9.53	249.60
1.50	962.37	8.75	221.76
2	956.20	8.05	197.44
2.04	955.76	8.00	176.00
3	947.96	7.12	130.00
4	940.91	6.32	112.80
5	934.62	5.61	100.64
6	928.88	4.96	91.84
7	923.58	4.36	84.80
7.64	920.36	4.00	80.80

การทดลองที่ 80

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 1.5 เมตรต่อวินาทีเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 6 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	984.78	11.28	974.09
0.50	978.12	10.53	426.24
0.75	973.46	10.00	298.24
1	968.98	9.50	286.72
1.50	962.11	8.72	219.84
2	956.33	8.07	184.96
3	946.50	6.96	157.28
4	938.11	6.01	134.24
4.01	938.06	6.00	80.00
5	932.05	5.32	97.13
6	926.51	4.70	88.64
7	921.36	4.11	82.40
7.20	920.36	4.00	80.99

การทดลองที่ 81

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 1.5 เมตรต่อวินาทีเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	984.56	11.26	988.17
0.50	977.89	10.50	426.88
0.75	973.19	9.97	300.80
1	969.05	9.50	264.96
1.50	962.21	8.73	218.88
2	956.39	8.07	186.24
3	946.39	6.94	160.00
4	938.27	6.02	129.92
5	930.79	5.18	119.68
5.23	929.21	5.00	109.91
6	925.06	4.53	86.23
6.93	920.36	4.00	81.06

การทดลองที่ 82

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาทีเป็น 1.5 เมตรต่อวินาที และเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนอีกครั้งเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 10 และ 8 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ตามลำดับ

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	982.97	11.08	1089.93
0.50	976.20	10.31	433.28
0.61	973.45	11.00	440.00
0.75	971.19	9.74	241.07
1	967.32	9.31	247.68
1.50	960.76	8.57	209.92
1.92	955.76	8.00	190.48
2	955.08	7.92	136.00
3	947.08	7.02	128.00
4	940.13	6.24	111.20
5	933.91	5.53	99.52
6	928.23	4.89	90.88
7	922.97	4.30	84.16
7.52	920.36	4.00	80.68

การทดลองที่ 83

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาทีเป็น 1.5 เมตรต่อวินาที และเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนอีกครั้งเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 10 และ 6 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ตามลำดับ

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	983.68	11.16	1044.49
0.50	976.80	10.38	440.32
0.65	973.45	10.00	357.34
0.75	971.50	9.78	312.00
1	967.00	9.27	288.00
1.50	960.64	8.55	203.52
2	955.21	7.94	173.76
3	945.30	6.82	158.56
3.89	938.06	6.00	130.16
4	937.33	5.92	106.18
5	931.36	5.24	95.52
6	925.88	4.62	87.68
7	920.77	4.05	81.76
7.08	920.36	4.00	84.42

การทดลองที่ 84

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาทีเป็น 1.5 เมตรต่อวินาที และเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนอีกครั้งเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 10 และ 5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ตามลำดับ

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	983.00	11.08	1088.01
0.50	976.26	10.32	431.36
0.63	973.45	10.00	345.85
0.75	971.09	9.73	314.67
1	967.49	9.33	230.40
1.50	960.59	8.55	220.80
2	954.90	7.90	182.08
3	945.60	6.85	148.80
4	937.16	5.90	135.04
5	929.93	5.08	115.68
5.11	929.21	5.00	104.73
6	924.44	4.46	85.75
6.81	920.36	4.00	80.83

การทดลองที่ 85

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาทีเป็น 1.5 เมตรต่อวินาที และเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนอีกครั้งเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 8 และ 6 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ตามลำดับ

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	983.46	11.13	1058.57
0.50	976.03	10.29	475.52
0.75	970.73	9.69	339.20
1	966.39	9.20	277.76
1.50	958.60	8.32	249.28
1.73	955.76	8.00	197.57
2	952.91	7.68	168.89
3	943.55	6.62	149.76
3.67	938.06	6.00	131.10
4	936.02	5.77	98.91
5	930.17	5.11	93.60
6	924.77	4.50	86.40
6.87	920.36	4.00	81.33

การทดลองที่ 86

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาทีเป็น 1.5 เมตรต่อวินาที และเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนอีกครั้งเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 8 และ 5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ตามลำดับ

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	983.42	11.13	1061.13
0.50	976.32	10.32	454.40
0.75	971.01	9.72	339.84
1	966.15	9.18	311.04
1.50	958.46	8.31	246.08
1.75	955.76	8.00	172.81
2	953.20	7.71	163.84
3	943.89	6.66	148.96
4	935.55	5.72	133.44
4.90	929.21	5.00	112.71
5	928.65	4.94	98.60
6	923.36	4.34	84.64
6.60	920.36	4.00	80.33

การทดลองที่ 87

เปลี่ยนความเร็วของลมร้อนจาก 2.0 เมตรต่อวินาทีเป็น 1.5 เมตรต่อวินาที และเปลี่ยนความเร็วของลมร้อนอีกครั้งเป็น 0.8 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นขณะอบแห้ง 6 และ 5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ตามลำดับ

อุณหภูมิของลมร้อน 80 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 13 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	น้ำหนัก (กรัม)	ความชื้น (% มาตรฐานแห้ง)	อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร)
0	1000.00	13	
0.25	983.83	11.17	1034.89
0.50	976.36	10.33	478.08
0.75	971.04	9.73	340.48
1	966.17	9.18	311.68
1.50	958.79	8.34	236.16
2	952.03	7.58	216.32
3	941.21	6.36	173.12
3.32	938.06	6.00	157.50
4	933.11	5.44	116.47
4.58	929.21	5.00	107.59
5	926.93	4.74	86.86
6	921.60	4.14	85.28
6.28	920.36	4.00	71.56

ภาคผนวก ข. ประสิทธิภาพในการอบแห้ง

ตารางผนวก ข1 ผลของอุณหภูมิของลมร้อนต่อประสิทธิภาพในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 13 %db ด้วยลมร้อนที่มีความเร็ว 0.8 m/s

อุณหภูมิลมร้อน (°c)	เวลาในการอบแห้ง (hr)	พลังงานทั้งหมด (MJ)	พลังงานในการระเหยน้ำ(MJ)	ประสิทธิภาพในการอบแห้ง(%) x10^{-2}
70	15.08	391.79	0.2760	7.04
75	10.79	305.25	0.2862	9.38
80	8.00	247.41	0.2962	11.97
85	6.61	216.42	0.3061	14.14
90	5.48	193.72	0.3160	16.31

ตารางผนวก ข2 ผลของความเร็วของลมร้อน ต่อประสิทธิภาพในการอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 13 %db ด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 70°c

อุณหภูมิลมร้อน (°c)	เวลาในการอบแห้ง (hr)	พลังงานทั้งหมด (MJ)	พลังงานในการระเหยน้ำ(MJ)	ประสิทธิภาพในการอบแห้ง(%) x10^{-2}
0.8	15.08	391.79	0.2760	7.04
1.5	12.00	556.90	0.2760	4.96
2.0	10.06	614.36	0.2760	4.49

ภาคผนวก ค. กระบวนการผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

เนื่องจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์กำลังเป็นที่ต้องการของท้องตลาด จึงมีการพัฒนาการแปรรูปให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ปัญหาหลักของการกระเทาะเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์คือ ลักษณะของเมล็ดไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต ธรรมชาติของเปลือกที่เหนียว ทำให้ยากต่อการกระเทาะและการมีน้ำมัน (Cashew nut shell liquid, CNSL) ที่เปลือกซึ่งต้องระมัดระวังในขณะกระเทาะเปลือก ในระหว่างการแปรรูปจะให้น้ำมันปนเปื้อนเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไม่ได้ เนื่องจากธรรมชาติของน้ำมันชนิดนี้ทำให้เกิดการระคายเคือง ไหม้ที่ปาก และบริเวณลำคอหากบริโภคเข้าไป วิธีการแก้ปัญหาคือ การเผาเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบเป็นระยะเวลาสั้น ๆ เพื่อให้เปลือกชั้นนอกและน้ำมันถูกเผา แต่จะไม่มีผลต่อเนื้อในเมล็ดมากนัก ในกระบวนการแปรรูปด้วยวิธีนี้จะใช้สำหรับการผลิตเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมหรือบริโภคในครัวเรือน

จากที่กล่าวมาของกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์อย่างย่อ ๆ ลักษณะของกระบวนการแปรรูประดับเชิงการค้าก็คล้ายคลึงกัน แต่ลักษณะการลำเลียงวัตถุดิบจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งของกระบวนการแปรรูประดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ จะใช้สายพานแทน บางโรงงานอาจใช้สายพานช่วยทุกขั้นตอนของการแปรรูปก็ได้ กระบวนการแปรรูปที่ดีควรได้ลัดส่วนของเนื้อในเมล็ดต่อเปลือกนอกอยู่ในระดับที่ผู้ผลิตต้องการ ควรได้เปอร์เซนต์ของเนื้อในเมล็ดเกือบเท่าหรือเท่ากับตอนเริ่มต้น จึงถือว่าเป็นกระบวนการแปรรูปที่ดี โดยปกติเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ได้มักอยู่ในช่วง 22-24 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักรวมเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบ น้ำหนักที่หายไปอาจเป็นเพราะการมีเมล็ดในที่ผิดปกติ เมล็ดฝ่อ หรือสูญเสียในระหว่างการกระเทาะเปลือก หลังการกระเทาะเมล็ดพบว่ามีส่วนของเปลือกอยู่ระหว่าง 55-88 เปอร์เซนต์ ขึ้นอยู่กับวิธีการแปรรูป และการจัดการของโรงงานนั้น ๆ แต่โดยเฉลี่ยแล้วระดับที่โรงงานยอมรับคือ 65 เปอร์เซนต์ จาก ตารางผนวก ค1 แสดงให้เห็นกรรมวิธีทั้งหมดในกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ปัจจุบันอาจมีขั้นตอนที่ถูกตัดออกหรือเพิ่มเข้ามา

1) การทำความสะอาดขั้นต้น (Preliminary cleaning)

หลังการเก็บเกี่ยวเมล็ด มะม่วงหิมพานต์มีการปนเปื้อนด้วยทรายและฝุ่น บาง

ตารางผนวก ค1 กรรมวิธีทั้งหมดในกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

กระบวนการ	ผลิตภัณฑ์หลัก	ผลิตภัณฑ์รอง	ของเสีย
การทำความสะอาดขั้นต้น			เมล็ดฝ่อหรือผิดปรกติ
การคัดขนาด			
การปรับปริมาณความชื้น			
การทำให้สุก	น้ำมัน CNSL		
การทำความสะอาดครั้งที่สอง	น้ำมัน CNSL		
การลดอุณหภูมิ			
การคัดขนาดครั้งที่ 2			
การกระเทาะเปลือกนอก		เปลือกนอก	
การแยก			
การคัดคุณภาพขั้นต้น			
การอบแห้ง			
การกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ด		เยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ด	
การคัดคุณภาพ	เนื้อในเมล็ด	เนื้อในเมล็ดผง	
การปรับปริมาณความชื้นใหม่			
การบรรจุ			

ที่มา : Ohler (1979)

ครั้งอาจมีก้อนหิน เศษไม้และอื่นๆปะปนมา การแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดมะม่วงหิมพานต์อาจใช้ Preforate drum สิ่งแปลกปลอมที่มีขนาดใหญ่อาจกำจัดออกโดยใช้มือหยิบ ส่วนฝุ่นและทรายเล็กๆ จะถูกกำจัดออกในขั้นตอนการปรับปริมาณความชื้น

2) การคัดขนาด (Calibration)

เนื่องจากเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีหลายขนาด จะนำไปปรับปริมาณความชื้นหรือคั่วรวมกันไม่ได้ จึงจำเป็นต้องมีการคัดขนาด ซึ่งจำเป็นต้องคัดขนาดออกหลายกลุ่ม โดยปรกติมักจะคัดขนาดเป็น 3 กลุ่ม เกณฑ์ในการคัดขนาดคือ ความกว้างและความหนาของเมล็ด (ไม่พิจารณาความยาว)

3) การปรับปริมาณความชื้น (Humidifying or conditioning)

ก่อนกระบวนการทำให้สุก ควรปรับปริมาณความชื้นให้ได้ประมาณ 16 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง เมื่อปริมาณความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สูงขึ้น เนื้อในเมล็ดจะอ่อนตัวซึ่งจะช่วยลดการการแตกหักในขั้นตอนการกระเทาะเปลือก และการเกิดสีผิดปกติ (Scorching) ในขั้นตอนการทำให้สุก อย่างไรก็ตามขั้นตอนนี้ไม่ควรปรับปริมาณความชื้นให้สูงเกินไป ไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงเกินกว่า 30 องศาเซลเซียส มิฉะนั้นแทนนิน (Tannin) ซึ่งอยู่ที่เยื่อหุ้มเมล็ดจะละลายน้ำและซึมผ่านเข้าไปในเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ อาจเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกริยาสีฟ้า (Bluish colour reaction)

การปรับปริมาณความชื้นเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีหลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดคือ การใส่เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในกล่องซึ่งวางบนพื้น แล้วพรมน้ำเป็นระยะๆ พื้นควรมีลักษณะเอียงเพื่อให้น้ำไหลออกได้สะดวก จากนั้นคลุมด้วยผ้า เก็บเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไว้ในกล่องนี้เป็นเวลา 1-2 วัน ก่อนจะนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป หรืออีกวิธีหนึ่งคือ การจุ่มเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ลงในถังบรรจุน้ำ หลังจากนั้นถ่ายน้ำออก น้ำจะถูกปล่อยออกทางรูที่อยู่ด้างล่าง การนำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาผ่านไอน้ำเป็นระยะเวลา 8-10 นาที ก็เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ปรับปริมาณความชื้น วิธีนี้ทำได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง

4) การทำให้สุก (Roasting)

ระยะแรกจะใช้กระทะเจาะรู (Open pan) คั่วเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง เปลวไฟจะสัมผัสกับเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยตรง น้ำมันที่เปลือกจะออกมาลุกติดไฟ บางส่วนก็ไหลออกทางรูกระทะออกไป ควันที่เกิดจากการลุกไหม้มีสารที่ทำให้เกิด

การระคายเคืองจึงควรระวัง ควรคั่วให้สม่ำเสมอทั่วทั้งกะทะ ต่อมาอีก 2-3 นาทีให้พรมน้ำลงไปเล็กน้อย หลังจากนั้นเทเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ลงบนพื้นแล้วปล่อยให้เย็น ในปี 1932 มีการปรับปรุงการคั่วเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยคั่วใน Drum roasting ซึ่งเครื่องมือมีลักษณะทรงกระบอกหมุนได้ยาว 3.5 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร วางเครื่องมือนี้เหนือเตาให้ความร้อน เมล็ดมะม่วงหิมพานต์จะถูกป้อนเข้ามาทางด้านบนของเครื่อง เมล็ดจะถูกเผาเมื่อเคลื่อนที่ผ่านทรงกระบอกที่ด้านล่างของเครื่อง เมื่อคั่วได้ที่แล้วจากนั้นจึงสเปรย์น้ำลงมา วิธีนี้ไม่สามารถนำน้ำมัน CNSL มาใช้ใหม่ได้

ปี ค.ศ.1935 มีการใช้วิธีการใหม่ในการคั่วเมล็ดมะม่วงหิมพานต์คือ Hot oil bath วิธีนี้ทำโดยนำเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ปรับความชื้นแล้วใส่ในตะกร้าซึ่งทำด้วยตะแกรงลวด จากนั้นจุ่มตะกร้าลงในถังที่บรรจุน้ำมัน CNSL ซึ่งมีอุณหภูมิ 170-200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที เวลาและอุณหภูมิอาจแตกต่างกันไปจากเดิมเล็กน้อย เนื่องจากเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีขนาดต่างกัน ด้านล่างของตะกร้าควรเป็นลวดแสตนเลส ซึ่งทนต่อน้ำมัน CNSL ที่มีอุณหภูมิสูง ในระบบการทำงานอย่างต่อเนื่องเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จะถูกส่งผ่านน้ำมัน CNSL ซึ่งร้อนจัดด้วยสายพาน ความเร็วของการเคลื่อนที่จะถูกปรับให้เหมาะสมปริมาตรน้ำมัน CNSL ต่อเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ อยู่ในช่วง 30 ต่อ 1 ถึง 50 ต่อ 1 หากปริมาณน้ำมัน CNSL มากเกินไปจะถูกปล่อยออกทางท่อ ปริมาณน้ำมัน CNSL ที่ได้โดยวิธีนี้ประมาณ 6-8 เปอร์เซนต์ น้ำมัน CNSL ที่อยู่ใน Hot oil bath ควรได้รับการคนตลอดเวลาเพื่อป้องกันการเกิดความร้อนบริเวณหนึ่งบริเวณใดสูงเกินไปและป้องกันกระบวนการเกิดโพลีเมอไรเซชั่น ข้อได้เปรียบของวิธีนี้คือ การคั่วเกิดขึ้นได้อย่างทั่วถึงทุกตำแหน่งในภาชนะและได้เมล็ดมะม่วงหิมพานต์สีขาว นั่นคือวิธีนี้ป้องกันเมล็ดมะม่วงหิมพานต์หลังการทำให้สุกมีสีน้ำตาลหรือมีบางส่วนของเมล็ดถูกเผานานเกินไป

5) การลดอุณหภูมิและการทำความสะอาดครั้งที่สอง (Cooling and seond cleaning)

เมื่อเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ถูกจุ่มลงใน Hot oil bath น้ำมัน CNSL ยังติดอยู่ที่เปลือกหุ้มชั้นนอกเพื่อป้องกันหรือหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนน้ำมัน CNSL กับเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ควรจะเหวี่ยงแยกเอาน้ำมันที่ติดอยู่ออกไป ในระหว่างการเหวี่ยงแยกอาจให้ความร้อนเพื่อทำให้น้ำมันหลุดออกจากเปลือกได้ง่ายขึ้น แต่อุณหภูมิไม่ควรสูงเกินไป มิฉะนั้นจะทำ

ให้สีของเมล็ดผิดปกติ หลังจากแยกน้ำมัน CNSL ออกแล้วจึงลดอุณหภูมิโดยการเป่าอากาศผ่าน อีกวิธีหนึ่งคือ การผ่านเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ไปผสมกับ Saw dust ซึ่งอยู่ในดรัม

6) การคัดขนาดครั้งที่ 2 (Second cleaning)

ก่อนการกระเทาะเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ควรจะคัดขนาดออกเป็นกลุ่ม 5-7 กลุ่ม เนื่องจากเครื่องกระเทาะเปลือกจะทำงานเฉพาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีขนาดไม่แตกต่างกันมากนัก หากใช้เมล็ดขนาดไม่ตรงกับเครื่องกระเทาะจะทำให้กระเทาะยาก และมีเปอร์เซนต์แตกหักสูง

7) การกระเทาะเปลือก (Shelling)

การกระเทาะเปลือกจัดเป็นขั้นตอนที่เป็นปัญหาหลักของกระบวนการแปรรูปเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ กระบวนการกระเทาะเปลือกด้วยมือทำโดยวางเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ลงบนหินที่มีลักษณะเป็นแท่ง จากนั้นใช้ไม้ทุบเบา ๆ เนื่องจากน้ำมัน CNSL บางส่วนยังคงหลงเหลืออยู่ในเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ผู้กระเทาะเปลือกจึงต้องป้องกันโดยการใส่ถุงมือ โดยเฉลี่ยแล้ว คนงานสามารถกระเทาะเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ออกภายในเวลา 6 วินาทีต่อเมล็ด ในวัน (เวลาทำงาน 8 ชั่วโมง) สามารถกระเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ 4800 เมล็ด หรือประมาณ 5 กิโลกรัม สำหรับผู้ที่ชำนาญแล้วสามารถกระเทาะเปลือกได้วันละ 21 กิโลกรัมเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบ หรือปีละ 7 ตัน

ในประเทศบราซิล มีการกระเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยใช้เครื่องมือช่วยมาเป็นระยะเวลานาน ทำโดยการใช้ใบมีดคู่ซึ่งจะโค้งตามรูปร่างของเมล็ด เมื่อใบมีดถูกกดลงมาบนเมล็ดทั้งสองข้างโดยใช้เท้าช่วย เปลือกจะถูกผ่าโดยรอบแต่ไม่ถูกเนื้อในเมล็ด คนงานอีกคนหนึ่งจะเป็นผู้แกะเอาเปลือกนอกออก ดังนั้นต้องใช้คนงาน 2 คนต่อเครื่องกระเทาะเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ 1 เครื่อง สามารถกระเทาะเนื้อในเมล็ดได้ 15 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งวิธีนี้จะให้ปริมาณเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เท่ากับการกระเทาะด้วยมือ

8) การแยก (Separation)

หลังจากกระเทาะเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แล้ว มีบางส่วนของเปลือกที่ติดมากับเนื้อในเมล็ด หรือมีเมล็ดบางส่วนที่ไม่ได้กระเทาะเปลือกติดมาด้วย ดังนั้นต้องนำมาไปกระเทาะเปลือกใหม่ ในการแยกชิ้นเปลือกเล็กๆ ออกจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ อาจใช้เครื่องเขย่า (Shaker) และพัดลมเป่าออก ปัญหาใหญ่ของขั้นตอนนี้คือ การเอา

เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่กระเทาะเปลือกไม่หมดออก ซึ่งมักใช้มือหยิบออก ส่วนที่ถูกตรวจสอบแล้วถูกสายพานลำเลียงไปยังขั้นตอนต่อไป

9) การคัดคุณภาพขั้นต้น (Pre-grading)

ขั้นตอนนี้สามารถทำก่อนการอบแห้ง หรือหลังการอบแห้งก็ได้ สามารถทำโดยใช้เครื่องจักร คัดแยกเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่สมบูรณ์ และเนื้อในเมล็ดที่เมล็ดที่แตกหักออกไป หรือบางครั้งถ้าขนาดยังแตกต่างกันมากอาจคัดขนาดตรงขั้นตอนนี้อีกครั้งเพื่อลดภาระการคัดขนาดคุณภาพในขั้นตอนสุดท้าย

10) การอบแห้ง (Drying)

เนื่องจากปริมาณความชื้นของเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สูงกว่า 6 เปอร์เซนต์ จึงจำเป็นต้องมีการอบแห้งเพื่อป้องกันเชื้อราเจริญเติบโตและสัตว์มากัดแทะ และยังช่วยให้การกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดทำได้ง่ายขึ้น เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ซึ่งมีเยื่อหุ้มอยู่จะถูกอบแห้งจนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 3 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง ซึ่งที่ความชื้นระดับนี้มีผลให้เยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดสามารถกระเทาะออกได้ง่าย ไม่ควรอบแห้งเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จนมีความชื้นน้อยเกินไป เพราะจะทำให้เปราะและแตกหักง่ายในกระบวนการแปรรูปขั้นตอนต่อไป

ลักษณะของตู้อบแห้งจะมีผลต่อการอบแห้งอย่างมาก ในการอบแห้งนั้นจะบรรจุเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในถาด จากนั้นเกลี่ยให้เป็นชั้นบางๆ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งคือ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ปัญหาที่สำคัญของขั้นตอนนี้คือ อุณหภูมิไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งถาด หรือทั้งตู้อบแห้ง ถาดที่วางไว้ด้านบนตู้อาจมีอุณหภูมิสูงกว่าถาดที่อยู่ด้านล่าง เพราะฉะนั้นการทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีควรมีการสลับตำแหน่งของถาดบรรจุวัสดุอบแห้ง

11) การกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Peeling)

การแยกเอาเปลือกหุ้มเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมะพานต์ออกทำได้โดยใช้มีดที่ทำด้วยไม้ไผ่ การแกะควรแกะเบาๆ ไม่ให้ใบมีดไปกระทบเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์อย่างแรง เพราะจะทำให้เนื้อในเมล็ดมีตำหนิ คุณภาพต่ำ คนงานหนึ่งคนสามารถกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดได้ 10-12 กิโลกรัมต่อวัน การกระเทาะเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดโดยใช้เครื่องจักรนั้น จะใช้ลมเป่า เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่ยังมีเยื่อหุ้มเมล็ดหลงเหลืออยู่จะใช้มือ

หยิบออกหรือใช้เครื่องจักรอิเลคทรอนิกหรืออาจนำไปเป่าซ้ำ

12) การคัดคุณภาพ (Grading)

หลังจากเอาเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ออกแล้ว ก็จะล่าเลียงไปยังขั้นตอนของการคัดคุณภาพ สิ่งแรกที่ทำคือการคัดขนาดด้วยเครื่องจักรอีกครั้งหนึ่ง เพื่อแยกเอาเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีขนาดเล็กกว่าออกไป การคัดขนาดครั้งสุดท้ายจะพิจารณาทั้งขนาดและสีสันของเมล็ดด้วย ซึ่งขั้นตอนนี้จำเป็นต้องใช้คนงาน แม้ว่าขณะนี้จะมีเครื่อง Electronic sorting ก็ตาม เครื่องนี้สามารถแยกเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีสีอื่นที่ไม่ใช่สีขาวออกไปได้เท่านั้น เครื่องมือนี้ราคาแพงมากและมักเสียบ่อย จึงแตกต่างจากผู้คัดคุณภาพที่มีประสบการณ์มาเป็นเวลานาน สามารถคัดคุณภาพเนื้อในเมล็ดมะมวงหิมพานต์ได้โดยเฉลี่ย 65 กิโลกรัมต่อวัน

13) การปรับปริมาณความชื้นใหม่ (Re-humidification)

ก่อนการบรรจุเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ จำเป็นต้องปรับปริมาณความชื้นอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้ความชื้นประมาณ 5 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง มิฉะนั้นอาจทำให้แตกหักได้ง่าย เช่น ในขั้นตอนการขนส่ง การเก็บรักษา แม้ว่าในขณะทำการแยกเยื่อหุ้มเนื้อในเมล็ดออกและการคัดคุณภาพ จะมีการดูดซับความชื้นปริมาณหนึ่ง แต่เนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ยังคงมีปริมาณความชื้นน้อยเกินไป จำเป็นต้องนำมาเก็บไว้ในที่ที่มีการควบคุมความชื้น โดยจะเก็บไว้จนความชื้นของเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เพิ่มขึ้นถึง 5 เปอร์เซนต์

14) การบรรจุ (Packing)

การบรรจุที่ง่ายที่ที่ทำกันในประเทศอินเดียเพื่อส่งออกไปยังสหรัฐอเมริกาคือการบรรจุในลังไม้ บุด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ เนื่องจากเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เหม็นหืนและขึ้นราได้ง่าย เพราะฉะนั้นควรใช้ภาชนะที่สามารถกันความชื้นที่จะแพร่เข้าไปในภาชนะได้ดี ในช่วงของการบรรจุ เมื่อบรรจุเนื้อในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์แล้วอาจจะดูดอากาศออกจากถังหรือภาชนะเกือบหมด หรืออาจแทนที่ด้วยกาซคาร์บอนไดออกไซด์ Shivashanker และคณะ (1975) : อ้างจาก Ohler (1979) ศึกษาการเก็บเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบและเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่อบแห้งแล้วที่อุณหภูมิห้อง (15-30 องศาเซลเซียส)และที่อุณหภูมิคงที่ 37 องศาเซลเซียส พบว่า เมล็ดยังคงอยู่ในสภาพดีตลอดอายุการเก็บเป็นเวลา 1 ปี ทั้งในสภาพการเก็บที่บรรจุและไม่บรรจุ กาซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ถ้าเมล็ดมะม่วง

หิมพานต์ที่มีแมลงและไข่ของแมลง การเก็บภายใต้กาซคาร์บอนไดออกไซด์จะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของแมลงได้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายกิตติวัฒน์ วงศ์พิศาล

วัน เดือน ปีเกิด 30 มีนาคม 2513

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2535