สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งแครอทโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

STUDY ON TEMPERATURE AND TIME OF CARROT DRYING BY FLUIDIZED BED TECHNIGUE

T 042323

โดย

นายณรงค์ชัย แซ่โค้ว

นางสาวผาคำ แถมโฮง

นางสาวยุวธิดา พันธุ์ละออ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42323
วัน, เดือน, ปี 17 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งแครอทโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

Study on Temperature and Time of Carrot Drying by Fluidized bed Technique

โดย

นายณรงค์ชัย แซ่โค้ว

นางสาวผาคำ แถมโฮง

นางสาวยุวธิดา พันธุ์ละออ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งแครอทโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

Study on Temperature and Time of Drying for Carrot by Fluidized bed Technique

ผู้จัดทำ

1. นายณรงค์ชัย แซ่โค้ว
2. นางสาวผาคำ แถมโฮง
3. นางสาวยุวธิดา พันธุ์ละออ

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาทิป รัตนภาสกร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งแครอทโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

นายณรงค์ชัย แซ่โค้ว
นางสาวผาคำ แถมโฮง
นางสาวยุวธิดา พันธุ์ละออ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาทิป รัตนภาสกร
(อาจารย์ที่ปรึกษา)
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งแครอทชนิดสี่เหลี่ยมด้านเท่าขนาด 5×5×5 มิลลิเมตร โดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดในเครื่องอบทดลองที่อัตราความเร็วลม 0.09 เมตร/วินาที ความสูงชั้นเบด 5 เซนติเมตร ผลกระทบที่นำมาพิจารณาในการวัดคุณภาพของแครอทอบแห้งความชื้นสุดท้าย 7 เปอร์เซ็นต์ คือ ค่าสี เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำกลับ การทดลองหาอุณหภูมิและเวลา ที่เหมาะสมสามารถหาได้จาก 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเพื่อหาอุณหภูมิเริ่มต้นที่เหมาะสมในการอบแห้ง ซึ่งอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ 6 ระดับ คือ 100, 90, 80, 70, 60 50 องศาเซลเซียส ที่เวลา 5 นาที ถึง 65 นาที พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นที่เหมาะสมในการอบแห้งคือ 80 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10, 15, 20 นาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลา 20, 25, 30 นาที และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10, 15, 20 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง โดยพิจารณาจากค่าสีและเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำกลับ

นอกจากนั้น การอบแห้งหลายขั้นตอน โดยใช้อุณหภูมิสูงในตอนแรก และลดอุณหภูมิต่ำลงมาในขั้นตอนต่อไป ซึ่งการลดอุณหภูมิสามารถแบ่งได้เป็น แบบ 2 ช่วงอุณหภูมิ และ 3 ช่วงอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ จากการทดลองพบว่า สภาวะที่ดีที่สุดในการอบแห้งคือที่ อุณหภูมิ 80, 70, 60 องศาเซลเซียส และที่เวลา 20, 5, 45 นาที ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study on Temperature and Time of Drying for Carrot by Fluidized bed Technique

Mr. Narongchai Saekow
Miss Phakham Thaemhong
Miss Yuwatida Panla-or
Assistance Professor Satip Ratanapaskorn
(Advisor)
2000

Abstract

To study temperature and time for drying Amsterdam Forching Carrot will 5x5x5 mm. dimension was used in the experiment to evaluate the effect of process variables in fluidize drying on quality such as color, percentage of rehydration suitable for drying condition was 7 % final moisture at six levels of air temperature (100, 90, 80, 70, 60, 50 °C) and levels of drying time 5 to 65 minutes at fixed 0.09 m/s air velocity and 5 cm. of a cubic carrot depth. The experiments the results shown that 80°C air temperature with 10, 15, 20 minute drying time or 70 °C air temperature with 20, 25, 30 minutes drying time or 60 °C air with 25, 30, 35 minutes were suitable for drying in the function of good color and rehydration.

Moreover , the multistage of drying by using high air temperature at the first period and lower temperature at the second and third period of drying were evaluated by varying drying time. The experiment found that the good condition of multistage drying was 80°C, 70 °C, 60 °C air temperature with 20, 5, 45 minutes of drying time, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูปภาพ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	3
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแครอท	3
2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอบแห้ง	3
2.3 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล	6
2.4 สีและการวัดค่าของสี	8
2.5 การคืนตัว	9
บทที่ 3 การเตรียมตัวอย่างและวิธีทดลอง	11
3.1 การเตรียมตัวอย่าง	11
3.2 เครื่องอบแห้งแครอทแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ในการทดลอง	11
3.3 อุปกรณ์และสารเคมีในการทดลอง	12
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	12
3.5 การตรวจสอบคุณภาพของแครอทอบแห้ง	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	20
4.1 ผลการทดลอง	20
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	32
5.1 สรุปผลการทดลอง	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก.1	36
ภาคผนวก ก.2	39
ภาคผนวก ข.1	41
ภาคผนวก ข.2	44
ภาคผนวก ค	46
กิตติกรรมประกาศ	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง	4
รูปที่ 2.2	เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	6
รูปที่ 2.3	ปรากฏการณ์ฮีสเทเรซีส	10
รูปที่ 3.1	แผนภาพการทดลองการอบแห้งแครอทขั้นตอนที่ 1	14
รูปที่ 3.2	แผนภาพการทดลองการอบแห้งแครอทการทดลองขั้นตอนที่ 2	16
รูปที่ 3.3	เครื่องอบแห้งแครอทแบบฟลูอิดไดซ์เบด	17
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิต่างๆ	21
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงการประมาณเวลาที่อุณหภูมิ 80,70,60 $^{\circ}$C	22
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 80,70,60 $^{\circ}$C	23
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 80,70,50 $^{\circ}$C	23
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 80,60,50 $^{\circ}$C	24
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 70,60,50 $^{\circ}$C	24
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 80,70 $^{\circ}$C	25
รูปที่ 4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 80,60 $^{\circ}$C	25
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 80,50 $^{\circ}$C	26
รูปที่ 4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 70,60 $^{\circ}$C	26
รูปที่ 4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 70,50 $^{\circ}$C	27
รูปที่ 4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 60,50 $^{\circ}$C	27
รูปที่ 4.13	กลุ่มตัวอย่างแครอทที่ทำการอบแห้งตามขั้นตอนการทดลองที่ 1	29
รูปที่ 4.14	กลุ่มตัวอย่างแครอทที่ทำการเลือกจากขั้นตอนการทดลองที่ 1	30
รูปที่ 4.15	กลุ่มตัวอย่างแครอทที่ทำการอบแห้งตามขั้นตอนการทดลองที่ 2	30
รูปที่ 4.16	แสดงการเปรียบเทียบแครอทก่อนการอบแห้งและแครอทหลังการคืนตัว	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เวลาในการดูดน้ำกลับและสัดส่วนความชื้นของการทำแห้งแบบแช่แข็ง และการสกัดน้ำออกของแครอทก่อนและหลังการดูดน้ำกลับ 9

ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งการทดลองที่ 2 14

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิและเวลาเริ่มต้นในการทดลองขั้นที่ 2 20

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งแบบลดอุณหภูมิ 2 ช่วง และ 3 ช่วง 28

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำ

แครอทเป็นพืชที่มีสีสันน่ารับประทานสามารถนำไปแต่งเติมอาหารชนิดอื่นหรือนำไปประกอบเป็นอาหารโดยตรง แครอทจัดเป็นผักชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางอาหาร เนื่องจากมีสารแคโรทีนในปริมาณสูง มีประโยชน์ช่วยในการมองเห็นและยังช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งได้ การแปรรูปแครอทมีหลายรูปแบบ เช่น การทำน้ำแครอท การทำโยเกิร์ตพร้อมดื่มรสแครอท และปัจจุบันแครอทยังมีการนำไปผสมอาหารในรูปของแครอทอบแห้ง เพื่อช่วยเพิ่มสีสันของอาหารชนิดนั้น เช่น การผสมในลูกชิ้น ส่วนผสมในเครื่องปรุงอาหารกึ่งสำเร็จรูป การอบแห้งแครอทเป็นอุตสาหกรรมที่น่าส่งเสริมเนื่องจากเป็นการเพิ่มผลผลิตให้มีราคาเพิ่มสูงขึ้น ยังช่วยลดผลผลิตที่ล้นตลาดแต่เนื่องจากการอบแห้งแครอทมีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในขณะอบแห้ง เช่น เอนไซม์ในตัวของแครอท สี และการคืนตัวเมื่อนำมาแช่น้ำ ในปัจจุบันโรงงานอบแห้งแครอทใช้เครื่องอบแห้งแบบกะบะในการอบแห้งแครอทซึ่งต้องใช้เวลาอบแห้งนาน และไม่สามารถกำหนดระยะเวลาอบแห้งที่แน่นอน ทำให้แครอทอบแห้งที่ได้มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากแครอทมีความชื้นสูงทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่สม่ำเสมอในเครื่องอบแห้งแบบกะบะ ดังนั้นการศึกษาวิธีการอบแห้งแครอทโดยใช้เครื่องฟลูอิดไดซ์เบดจะเป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้พัฒนาการอบแห้งแครอทอีกวิธีที่ควรได้มีการศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อใช้เป็นแนวทางในการอบแห้งแครอทในระดับการค้าซึ่งมีการอบแห้งจำนวนมาก โดยมี วัตถุประสงค์หลัก ดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ได้แก่

- อุณหภูมิลมร้อน 6 ระดับ คือ 50, 60, 70, 80, 90, 100 องศาเซลเซียส
- ระยะเวลาอบแห้ง 13 ระดับ คือ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 นาที เพื่อหาอุณหภูมิเริ่มต้นที่เหมาะสมในการอบแห้ง

1.2.2 เพื่อหาอุณหภูมิลมร้อน และเวลาในการอบแห้ง โดยการลดอุณหภูมิแบบ 2 ช่วง และ 3 ช่วงอุณหภูมิลมร้อน

1.2.3 วิเคราะห์คุณภาพของแครอทหลังการอบแห้ง ซึ่งผลกระทบที่ใช้วิเคราะห์ ได้แก่

- ความชื้น
- สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การดูดน้ำกลับ
- การเกิดสีน้ำตาล

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษาจะทำการศึกษาเฉพาะในตัวอย่าง ดังนี้

1. ขนาดของแครอท 5×5×5 มิลลิเมตร
2. ความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด เท่ากับ 0.09 เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแครอท (ทศพร แจ้วจรัส, 2531)

แครอท (Carrot) เป็นพืชที่ใช้หัวรับประทาน หัวมีลักษณะเป็นสีส้มถึงสีส้มอมแดง มีชื่อวิทยาศาสตร์ Daucus Carota Linn. อยู่ในตระกูล Umbelliferac มีชื่อเรียกทั่วไปว่า ผักกาดแดง, ผักกาดหัวแครอท มีถิ่นกำเนิดที่ตอนกลางของทวีปเอเชีย

แครอทที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์ Imperator, Gold Spike, Gold Pack ซึ่งให้หัวยาวและผิวเรียบสีของหัวสดใส พันธุ์ที่นิยมมาปลูกในประเทศไทยได้แก่ พันธุ์ Nantes ซึ่งหัวยาวรูปทรงกระบอก นิยมปลูกที่จังหวัดทางภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่

แครอทเป็นพืชหัวที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูงโดยเฉพาะแคโรทีน (Carotene) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ มีประโยชน์ต่อสายตา และเบต้าแคโรทีนสามารถช่วยป้องกันและยับยั้งการเกิดโรคมะเร็งได้

2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอบแห้ง (วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2525)

2.2.1 ความหมายของการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อไล่ความชื้นออก โดยการระเหยโดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย สิ่งสำคัญที่สุดในการทำแห้ง คือการถ่ายเทความร้อนไปยังวัตถุดิบที่ต้องการทำแห้งอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด โดยมีปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการทำแห้งที่สำคัญ 2 ปัจจัยคือ

1. การถ่ายเทความร้อนเพื่อให้ได้ความร้อนเท่ากับความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ
2. การเคลื่อนที่ของน้ำและไอน้ำที่ผ่านวัตถุดิบแล้วแยกออกจากวัตถุดิบสู่สิ่งแวดล้อม

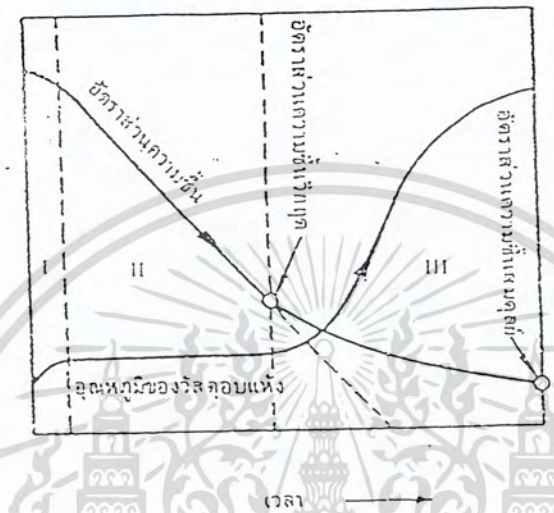
การอบแห้งแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้

I : ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ ที่ผิวของวัสดุที่เปียกชื้น ความชื้นที่ผิวอยู่ในรูปของน้ำ ถ้าเอาวัสดุมาอบแห้งภายใต้เงื่อนไขที่คงที่อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet-bulb temperature) , t_w ของกระแสลมร้อนช่วงเวลาที่วัสดุใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงขั้นค่านี้ คือช่วง I

II : ช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ประมาณ t_w ตราบใดที่ความชื้นเหลืออยู่ในรูปของน้ำที่ผิวของวัสดุความร้อนทั้งหมดที่วัสดุได้รับในช่วงนี้จะถูกใช้ในการระเหยความชื้นเท่านั้นดังเห็นได้จากรูปที่ 2.1 อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย, w ของวัสดุอบแห้งจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในช่วง III ดังนั้น ความเร็วของการระเหยจะมีค่าคงที่ (constant drying rate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III : ช่วงของการอบแห้งที่ความเร็วลดลง ความชื้นในรูปของน้ำที่ผิวของวัสดุอบแห้งจะระเหยไปหมดเพราะการถ่ายเทความชื้นในรูปของน้ำจากในส่วนของวัสดุอบแห้งเกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของน้ำจากผิวของวัสดุอบแห้ง ดังนั้นผิวของวัสดุอบแห้งจะอยู่ในสภาพที่แห้งและอุณหภูมิของวัสดุอบแห้งจะเริ่มสูงขึ้น



รูปที่ 2.1 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง (Drying Characteristic Curve)

2.2.2 ชนิดของเครื่องอบแห้ง (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535)

1) เครื่องอบแห้งแบบถาดหรือตู้อบ การอบแห้งชนิดนี้จะใช้ถาดหรือวัสดุอื่นที่สามารถให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับอากาศในห้องปิด ถาดที่วางผลิตภัณฑ์อยู่ในตู้หรือห้องปิดจะสัมผัสกับอากาศร้อนเพื่อทำให้เกิดการทำแห้ง การเคลื่อนที่ของอากาศเหนือผิวผลิตภัณฑ์ด้วยความเร็วค่อนข้างสูงทำให้การถ่ายเทมวลและความร้อนดำเนินไปด้วยประสิทธิภาพสูง

2) เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ เป็นวิธีการอบแห้งที่คล้ายกับการอบแห้งแบบตู้ แต่ตู้มีความยาวมากกว่าทำให้ดูเหมือนอุโมงค์ ภายในอุโมงค์จะมีรถเข็นจำนวนหลายคัน บรรจุถาดซึ่งมีผลิตภัณฑ์วางอยู่ ทุกๆช่วงเวลามีการนำเอารถเข็นที่ผลิตภัณฑ์แห้งดีแล้วออกจากอุโมงค์และพร้อมกันนั้น ก็มีการบรรจุรถเข็นที่ผลิตภัณฑ์ยังเปียกเข้าไปในอุโมงค์

3) เครื่องอบแห้งแบบสายพาน เป็นการอบแห้งบนเครื่องขนถ่ายวัสดุแบบสายพานส่วนมากมักจะอบให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงก่อนนำไปอบแห้ง และมีการกลับทิศของลมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับลมอย่างทั่วถึง การอบแห้งแบบนี้เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นค่อนข้างสูง

4) การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด การอบแห้งชนิดนี้จะมีลักษณะการสัมผัสระหว่างผลิตภัณฑ์และอากาศคือในระหว่างกระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด อากาศจะถูกบังคับผ่านอนุภาคผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภัณฑ์ด้วยความเร็วที่สูงพอที่จะพยุงให้ผลิตภัณฑ์ลอยอยู่ได้ ความเร็วลมที่พยุงให้ผลิตภัณฑ์ลอยอยู่นั้นจะขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์

หลักการในการทำแห้งแบบนี้จะอาศัยลมร้อนที่ผ่านขึ้นไปยังชั้นของวัตถุดิบที่จะทำแห้ง โดยในขณะที่ทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดนี้ สามารถทำได้ทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง รูปแบบของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมีหลายแบบ สามารถแบ่งได้ตามลักษณะดังนี้

4.1) แบบขั้นเดี่ยวหรือหลายขั้น (Single - Stage or Multistage)

4.2) แบบลักษณะการเคลื่อนที่ตามธรรมชาติของอนุภาค

4.3) แบบลักษณะกายภาพของห้องอบแห้ง (ทรงกระบอก ทรงสี่เหลี่ยม ทรงกรวย)

4.4) แบบโม่พร้อมกับการอบแห้งหรือไม่ต้องโม่ก็ได้

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดสามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางทั้งในวัสดุเหลวและวัสดุหนืด ในกรณีวัสดุเหลว วัสดุดิบจะถูกป้อนโดยหัวฉีดแบบท่อเดี่ยวหรือหลายท่อ ส่วนวัสดุหนืดจะใช้การป้อนโดยสกรูลำเลียง การป้อนโดยการสั่นสะเทือน

ข้อดีและข้อเสียของเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด มีดังนี้

ข้อดี

1. การไหลของอนุภาคมีลักษณะคล้ายการไหลของน้ำ เป็นการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งกระบวนการไหลจะถูกควบคุมอย่างต่อเนื่อง โดยวิธีอัตโนมัติด้วยวิธีง่ายๆ

2. การผสมปะปนกันของอนุภาคของแข็งอย่างรวดเร็วนำไปสู่สภาวะอุณหภูมิคงที่ทั่วระบบในเครื่องอบแห้งทำให้สามารถควบคุมกระบวนการได้ง่ายและน่าเชื่อถือ

3. การหมุนเวียนของแข็งระหว่างชั้นของเบด จะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ดี ซึ่งความร้อนเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากหากใช้เครื่องอบที่มีขนาดใหญ่

4. มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในกระบวนการขนาดใหญ่

5. การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างอากาศร้อนกับอนุภาคจะมีค่าสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ

6. อัตราของการถ่ายเทความร้อนระหว่างฟลูอิดไดซ์เบดและวัสดุจะมีค่าสูงดังนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายในฟลูอิดไดซ์เบดจึงต้องการพื้นที่น้อย

ข้อเสีย

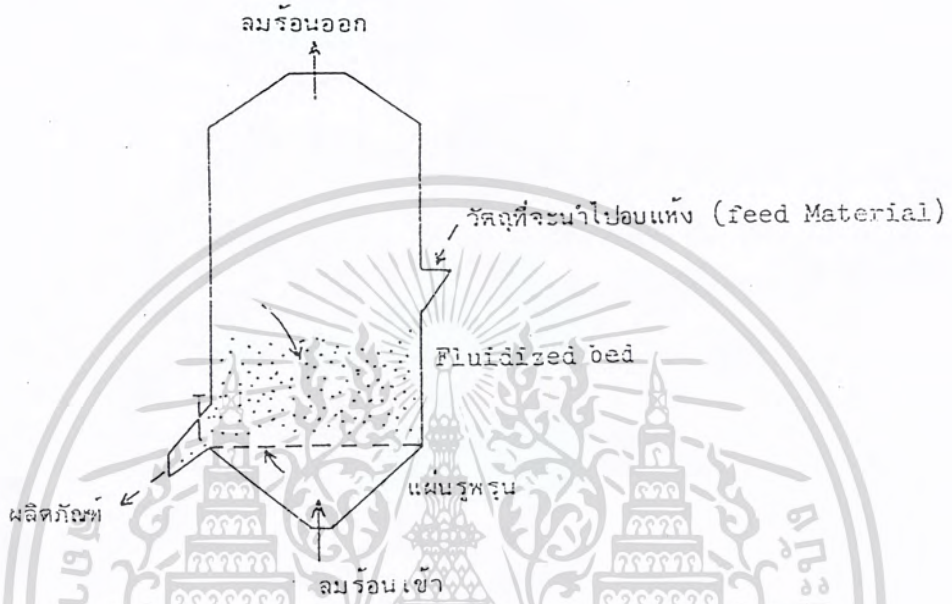
1. ลักษณะการไหลของลมร้อนไม่มีทิศทางที่แน่นอนและเกิดการหักเห เนื่องจากการอุดช่องทางการไหลของลมร้อน ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง

2. การผสมปะปนของอนุภาคของแข็งในเบด จะทำให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งของแข็งในห้องอบไม่คงตัว

3. ของแข็งที่แห้งกรอบจนกลายเป็นผงจะถูกลมร้อนเป่าพ่นออกไปที่ช่องทางออกผลิตภัณฑ์ เพราะฉะนั้นจึงต้องนำวัตถุดิบมาป้อนแทนที่ทันทีเพื่อให้เกิดความต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การสึกหรอของท่อและผนังของตัวเครื่องเนื่องจากการขัดสีอย่างรุนแรงของอนุภาคเมื่ออุณหภูมิของการอบแห้งสูงเกินไป อนุภาคที่ได้จะเกาะรวมตัวกันและไหม้ ฉะนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์บังคับอุณหภูมิของกระบวนการให้ต่ำลง



รูปที่ 2.2 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

5) การอบแห้งแบบแช่เข็ง เป็นการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งมาแล้วภายใต้สภาวะสูญญากาศซึ่งมีขั้นตอนการทำโดยสรุปคือการทำให้อาหารแห้งในขณะที่อยู่ในสภาพที่แข็งตัวจะทำการลดความชื้นเพื่อให้น้ำแข็งภายในผลิตภัณฑ์เกิดการระเหิดกลายเป็นไอ โดยไม่ผ่านการเปลี่ยนสถานะของเหลว ไอน้ำที่เกิดขึ้นจะถูกทำให้เย็นลงกลายเป็นหยดน้ำโดยขดลวดทำความเย็น การอบแห้งแบบนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการผลิตอาหารแห้งที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอาหารไม่เปลี่ยนไปมาก ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งมีโครงสร้างที่ดีซึ่งโครงสร้างเป็นรูพรุนทำให้การกลับคืนสู่รูปเดิมได้ดีและรวดเร็ว มีกลิ่นดี เนื่องจากผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งมีความชื้นต่ำ

2.3 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browninng Reaction) (รัชนี ตัณฑะพานิช, 2532)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเป็นปฏิกิริยาซับซ้อนที่เกิดขึ้นในอาหารระหว่างการแปรรูปซึ่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะทำให้เกิดกลิ่นและรสไม่เป็นที่ยอมรับ การเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นเมื่อผัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลไม้ที่ปอกเปลือกหรือหั่นและสัมผัสกับอากาศที่เกิดจากสารพวกพอลีฟินอลิกซึ่งอยู่ในพืชถูกออกซิไดซ์ด้วยเอนไซม์พินอเลสทำให้เอนไซม์พินอเลสและสารพอลีฟินอลิกมารวมกันเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลขึ้น

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหารมี 2 แบบ ดังนี้

2.3.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (Enzyme browning reaction)

2.3.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (Non-Enzyme browning reaction)

2.3.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในการเกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้เป็นกลุ่มของเอนไซม์ซึ่งเรียกว่า ฟีนอเลส (Phenolese) เช่น phenoloxidase, polyphenoloxidase, phenolase complex ฟีนอลเลส มีอยู่ทั่วไปในสัตว์และพืช ในพืชจะพบในน้ำเต้า ราก ผลไม้จำพวกส้ม กล้วย มะกอก ชา

วิธีควบคุมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ทำได้ดังนี้

1.การต้มหรือนึ่ง สามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจะต้องควบคุมอุณหภูมิและเวลาให้พอเหมาะเพื่อทำลายเอนไซม์ การลวกแครอทลวกที่ 87° C ใช้เวลา 2-4 นาที

2.การใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นสารเคมีที่ใช้ยับยั้งเอนไซม์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะต้องใช้กับผลไม้และผักที่ปอกเปลือกหรือน้ำผลไม้เพื่อที่จะแทรกซึมเข้าไปได้

3.กรดแอสคอร์บิก มักใช้ร่วมกับวิธีอื่น เช่น ผสมกับน้ำตาลเพื่อกำจัดออกซิเจนที่ว่างเหนือกระป๋อง

4.การกำจัดน้ำออกโดยใช้น้ำตาล โดยน้ำจะถูกกำจัดออกจากผลไม้โดยวิธีออสโมซิสในน้ำตาลหรือน้ำเชื่อมจนมีน้ำลดลง 50% หลังจากแช่น้ำเชื่อมออกจากผลไม้แล้วนำไปแช่แข็งหรืออบแห้ง ซึ่งน้ำตาลหรือน้ำเชื่อมช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยการกำจัดน้ำออกและยังช่วยป้องกันการสูญเสียกลิ่น รส ของผลไม้

2.3.2 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง มี 2 ปฏิกิริยา คือ

1.ปฏิกิริยาคาราเมไลเซชั่น (Caramelization)

เมื่อเผาไหม้น้ำตาลในสภาวะแอนไฮดรัส (anhydrous condition) หรือให้น้ำตาลที่มีความเข้มสูงทำปฏิกิริยากับกรดเจือจางจะเกิดคาราเมไลเซชั่นเกิดน้ำตาลแอนไฮโดร รงควัตถุคาราเมลประกอบด้วย เช่น หมู่คาร์บอกซิล หมู่คาร์บอนิล รวมทั้งหมู่ไฮดรอกซิล มีผู้ค้นพบว่า หมู่ฟีนอกลิกไฮดรอกซีล (phenolic hydroxy group) อยู่เพราะเหล็กเป็นตัวทำให้สีของคาราเมลเข้มขึ้นและสารเหล่านี้สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับเหล็กเกิดเป็นสีคล้ำได้ และที่ pH 8 การเกิดคาราเมไลเซชั่นเร็วกว่าที่ pH 5.9 ถึง 10 เท่า แสดงว่า pH มีความสำคัญต่อการเกิดของรงควัตถุ

2.ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดจากอะมิโนและโปรตีนที่มีต่อน้ำตาล ในปี 1912 น้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ซึ่งมีหมู่คาร์บอนิลอิสระมีส่วนสำคัญกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยานี้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะได้เมลานอดิน (Melanoidines) ซึ่งเป็นโพลีเมอร์และโคโพลีมอร์สีน้ำตาลที่ประกอบด้วยไนโตรเจน

2.4 สีและการวัดค่าของสี

สีของผลิตภัณฑ์ เป็นปัจจัยสำคัญมากที่มีผลต่อคุณภาพการยอมรับและไม่ยอมรับของผู้บริโภค ถ้าสีของอาหารผิดปกติ ผู้บริโภคส่วนใหญ่จะไม่ยอมรับ โดยอาจไม่คำนึงถึงคุณภาพด้านอื่น เช่น กลิ่น รสชาติ หรือเนื้อสัมผัสเลย

ระบบค่าของสีที่ใช้และนิยมใช้ในการบอกค่าสีมีดังนี้

1. ระบบค่าสีมันเซลส์ (Munsell Color System) การแทนสีในระบบมันเซลส์ มี 3 ค่า คือ Hue Value และ Chroma

1.1. Hue คือ ค่าสีหลักแบ่งเป็นสีต่างกันทั้งสิ้น 100 สี แบ่งได้ดังนี้

- Principle Hue มี 5 สี คือ แดง (R) เหลือง (Y) เขียว (G) น้ำเงิน (B) และ ม่วง (P) โดยใช้อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เป็นสัญลักษณ์

- Intermediate Hue มี 5 สี เป็นสีหลัก

- Second Intermediate Hue มี 10 สี เป็นสีผสมระหว่าง Intermediate Hue และ Principle Hue

- Special Intermediate Hue มี 80 สี คือสีที่อยู่ระหว่าง Principle Hue , Intermediate Hue และ Second Intermediate Hue โดยแบ่งเป็นช่วงละ 10 ส่วนเท่ากัน

1.2. Value คือ ค่าแสดงความสว่าง (lightness) บอกสีหรือปริมาณแสงสะท้อนออกมาจากวัตถุ ถ้าปริมาณแสงสว่างสะท้อนออกมามากทำให้เห็นสีสว่าง (light colour) ค่า Value แบ่งเป็น 11 ระดับ ตั้งแต่ 0 ถึง 10 โดย 0 มืดสุด และ 10 สว่างสุด สัญลักษณ์ของ Value แทนด้วย N และตามด้วยเลข เช่น N_0 - N_3 จัดเป็น Dark Value , N_7 - N_{10} จัดเป็น Light Value

1.3. Chroma คือ ค่าแสดงความบริสุทธิ์ (purity) สีที่บริสุทธิ์มากคือสีที่ไม่มีสีเทามาผสม ซึ่งได้แก่ สีหลัก (hue) ทั้ง 100 สี ระดับความบริสุทธิ์มีทั้งหมด 13 ระดับ บอกเป็นตัวเลขตั้งแต่ 1 – 13 สีที่มีค่าบริสุทธิ์น้อยมีค่าเท่ากับ1ในระบบมันเซลส์จะแทนค่าสีด้วยสัญสักษณ์ 3 ค่าเรียงตามลำดับกัน คือ Hue /Value /Chroma

2. ระบบ Hunter (L,a,b) Hunter ได้พัฒนาเครื่องวัดสีระบบ Tristimulus ขึ้นในปี ค.ศ. 1952 ซึ่งแสดงค่าสีด้วยค่า L, a และ b ซึ่งระบบนี้ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร

2.1. ค่า Hunter L (Lightness) เป็นค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่า L เท่ากับ 0 เป็นสีที่มืดที่สุด ค่า L เท่ากับ 100 เป็นค่าที่สว่างที่สุด ซึ่งเปรียบได้กับค่า Y ในระบบ C.I.E.

2.2. ค่า Hunter a เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีแดงหรือสีเขียวโดยค่า Hunter a เป็น บวก แสดงความเป็นสีแดง ค่า Hunter a เป็น ลบ แสดงความเป็นสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. ค่า Hunter b เป็นค่าที่แสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินโดยค่า Hunter b เป็นบวก แสดงความเป็นสีเหลือง ค่า Hunter b เป็น ลบ แสดงความเป็นสีน้ำเงิน

2.5 การคืนตัว

การคืนรูปมักเป็นสิ่งที่แสดงคุณสมบัติโดยเฉพาะผักเมื่อนำไปแช่น้ำร้อนหรือน้ำเย็นควรจะดูดน้ำกลับเข้าไปอย่างน้อยร้อยละ 95 หรือช่วยในการคืนรูปอาหารแห้งอาจทำได้โดยด้วยลูกกลิ้งเพื่อช่วยให้การดูดซึมน้ำกลับหรือช่วยในการคืนรูปได้ดี นอกจากการรีดด้วยลูกกลิ้งแล้วยังอาจใช้การจิ้มชิ้นอาหารด้วยของแหลมเพื่อช่วยให้การดูดซึมน้ำกลับดีขึ้นโดยนำชิ้นอาหารที่ถูกลดความชื้นจนเหลือ 16-30 % มาจิ้มด้วยของแหลมโดยอาจใช้เข็มเล็ก ๆ ติดที่ลูกกลิ้งซึ่งหมุนสวนทางกัน

ตารางที่ 2.1 เวลาในการดูดน้ำกลับและสัดส่วนความชื้นของการทำแห้งแบบแช่แข็งและการสกัดน้ำออกของแครอทก่อนและหลังการดูดน้ำกลับ (Wuhrman et.al,1959)

การแช่แข็งแบบแห้ง (Freeze-dried)

ชนิดผัก	เวลาในการดูดน้ำกลับ (นาที)	สัดส่วนความชื้นก่อนการดูดน้ำกลับ(%)	สัดส่วนความชื้นหลังการดูดน้ำกลับ(%)
แครอท	3	2.4	93.4

การสกัดน้ำออก (Dehydrated)

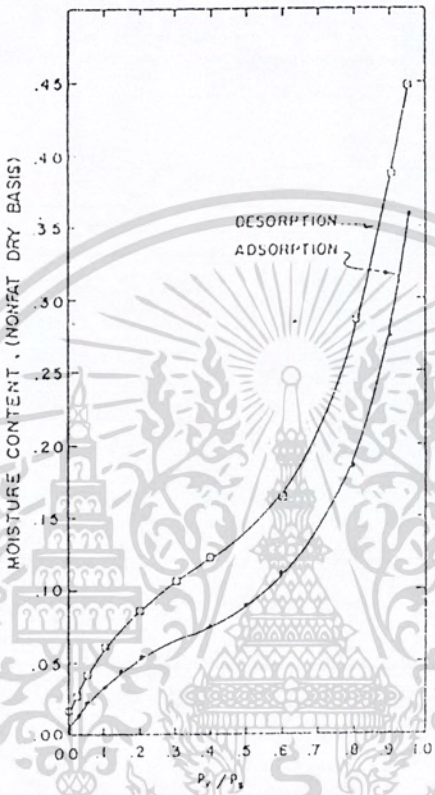
ชนิดผัก	เวลาในการดูดน้ำกลับ (นาที)	สัดส่วนความชื้นก่อนการดูดน้ำกลับ(%)	สัดส่วนความชื้นหลังการดูดน้ำกลับ(%)
แครอท	21	2.89	85

2.5.1 ฮิสเทเรซิส (Hysteresis)

การที่ผลิตภัณฑ์เข้าสู่ความชื้นสมดุลโดยการคายความชื้นจะมีค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์สูงกว่าโดยการดูดซับความชื้นปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ฮิสเทเรซิส ในปัจจุบันยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดมีเพียงแต่ข้อสันนิษฐานที่ตั้งขึ้นมาว่าผลิตภัณฑ์บางชนิดเป็นผลิตภัณฑที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุนเมื่อผลิตภัณฑ์คายความชื้นให้กับอากาศรอบๆ ความชื้นที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์จะแพร่ออกมาที่ผิวได้น้อย น้ำจึงอยู่ภายในผลิตภัณฑ์มากทำให้ความชื้นสูงในขณะที่ผลิตภัณฑ์ดูดซับความชื้นจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศรอบๆ ความชื้นจะแพร่เข้าไปในผลิตภัณฑ์ได้น้อยเช่นกัน จึงทำให้ความชื้นมีค่าน้อยไปด้วย หรือมีการเปลี่ยนโครงสร้างภายในรูพรุนระหว่างการคายหรือดูดซับความชื้น



รูปที่ 2.3 ปรากฏการณ์ฮิสเทเรซิส (Hysteresis)

เมื่อ p_v = ความดันของไอน้ำ (kPa)

p_s = ความดันไออิ่มตัว (kPa)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การเตรียมตัวอย่างและวิธีทดลอง

เพื่อศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งแครอทโดยใช้เทคนิคอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งใช้ความเร็วลมที่อัตรา 0.09 เมตร / วินาที บรรจุแครอทในหอทดลอง (Fixed bed) ให้มีความสูง 5 ซม. โดยศึกษาที่สภาวะอุณหภูมิที่ต่างกัน คือ 50, 60, 70, 80, 90, 100 องศาเซลซียส และเวลาใน การอบแห้งที่ต่างกันคือ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55,60, 65, 80 นาทีโดยลักษณะสำคัญที่มีผลกระทบต่อการอบแห้งแครอท คือ สี ความชื้น การคืนตัวหลังการอบแห้ง และการเกิดสีน้ำตาล

3.1 การเตรียมตัวอย่าง แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

-ขั้นตอนที่ 1 นำแครอทขนาด 5×5×5 มิลลิเมตร จำนวนที่ใช้ 6 กิโลกรัม นำไปแช่สารละลายกรดซิตริก ในอัตราส่วน 1 กรัม/ น้ำ 1 ลิตร ปริมาณสารละลายที่ใช้ 12 ลิตร แช่แครอทในสารละลายกรดซิตริก 1 นาที นำไปลวกที่อุณหภูมิ 87 ° C เป็นเวลา 3 นาที ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 2 นาทีนำไปแช่สารละลาย กลูโคสไซรัป อัตราส่วน 110 กรัม/ น้ำ 1 ลิตร ปริมาณสารละลายกลูโคสไซรัป 20 ลิตร แช่แครอทในสารละลายกลูโคสไซรัป 10 นาทีล้างน้ำให้สะอาด 2 ครั้งทิ้งให้สะเด็ดน้ำ 2 นาที บรรจุตัวอย่างในถุง ถุงละ 100 กรัม ติดฉลากตามเลขหมาย 1-59 เพื่อสะดวกในการสุ่มมาทดสอบ ปิดปากถุงให้สนิทนำไปแช่เย็นที่ห้องเย็นที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาทิ้งไว้ในบรรยากาศ 1 ชั่วโมง เพื่อให้แครอทคลายความเย็น แล้วทำการเป่าลมด้วยเครื่องเป่าลมจนทำให้น้ำหนักกลุ่มตัวอย่างเหลือ 90 กรัม ซึ่งปรับความชื้นให้เท่ากัน แล้วนำไปอบแห้งโดยใช้เทคนิคอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่สภาวะต่างๆ

-ขั้นตอนที่ 2 เมื่อสามารถกำหนดสภาวะเริ่มต้นอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแครอทจากการทดลองขั้นที่1 นำแครอท ขนาด 5×5×5 มิลลิเมตร จำนวนที่ใช้ 3 กิโลกรัม จำนวนตัวอย่าง 30 ตัวอย่าง ทำเช่นเดียวกับการเตรียมตัวอย่างการทดลองขั้นที่1 ติดฉลากหมายเลข 1-30 แล้วนำไปอบแห้งโดยใช้เทคนิคอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่สภาวะต่างๆ

3.2 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้กับวัสดุหรือเมล็ดที่เป็นชิ้นซึ่งทำให้วัสดุนั้นลอยและได้รับความร้อนจากฮีตเตอร์

ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

- มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พัดลม
- ฮีตเตอร์
- ชุดอุปกรณ์ควบคุม
- ห้องอบแห้ง
- ออริฟิส
- วาล์วปรับลมออก
- ทางออกลม

3.3 อุปกรณ์และสารเคมีในการทดลอง

- เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด
- เครื่องเป่าลม
- อินเวอร์เตอร์ (ใช้ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์)
- เครื่องวัดสี
- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- เทอร์โมมิเตอร์
- บีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร
- ตะแกรง
- กรดซิตริก
- กลูโคสไซรัป

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

3.4.1. การทดลองขั้นตอนที่ 1

1. นำตัวอย่างแครอทที่ได้ปรับความชื้นให้เท่ากันจำนวน 59 ตัวอย่าง

2. นำแครอตัวอย่างที่ 1 ไปอบแห้งแบบแช่แข็งจนกระทั่งความชื้นเหลือ 7 เปอร์เซ็นต์ วัดค่าสีแครอทและทำการบันทึกค่าสี

3. นำแครอทตัวอย่างที่ 2 ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่เครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 40 นาที เพื่อให้ได้แครอทที่มีความชื้น 0 เปอร์เซ็นต์ หรือน้ำหนักแห้งของแครอท ทำการชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล

4. นำแครอทตัวอย่างที่ 3 ไปอบแห้งโดยปรับอินเวอร์เตอร์ให้ได้ความถี่ 20 เฮิร์ต จะได้ความเร็วลม 0.09 เมตร/วินาที

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ปรับฮีตเตอร์ให้มีอุณหภูมิลมร้อน 100 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่เป็นเวลา 5 นาที

6. นำแครอทไปอบแห้งแล้วทำการชั่งน้ำหนักและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

7. นำแครอทหลังการอบแห้งเป่าลมที่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งความชื้นเหลือ 7 เปอร์เซ็นต์

8. นำแครอทหลังการอบแห้งไปวิเคราะห์ค่าสี

9. อบแห้งแครอทตัวอย่างที่ 3, 4, 5, 6 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10, 15, 20 ,25 นาที ตามลำดับ

10. อบแห้งแครอทกลุ่มตัวอย่างที่ 7 ถึง 59 ตามอุณหภูมิและเวลาที่ได้กำหนดดังนี้

10.1 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 5,10,15,20,25 นาที

10.2 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55 นาที

10.3 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55 นาที

10.4 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65 นาที

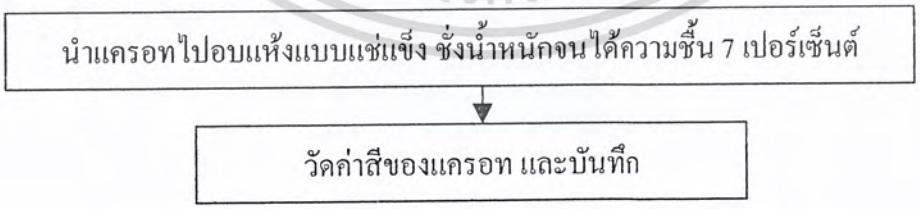
10.5 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65 นาที

11. ชั่งน้ำหนักและคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นของทุกตัวอย่างหลังจากนั้นทำการเป่าลมที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งความชื้นเหลือ 7 เปอร์เซ็นต์ และทำการวัดค่าสี

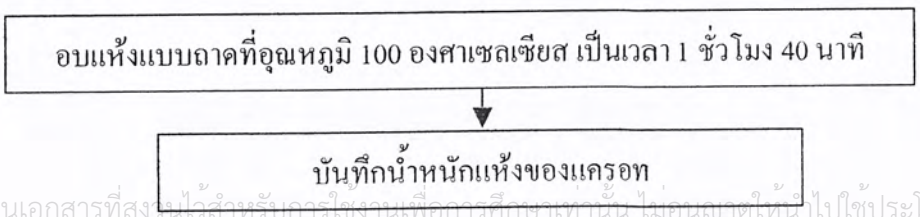
12. เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆโดยการเปรียบเทียบสีกับแครอทอบแห้งแบบแช่แข็งเลือกกลุ่มตัวอย่างที่จะนำไปอบแห้งแบบลดอุณหภูมิและเวลาเป็นช่วงๆ ในขั้นตอนต่อไป

แผนภาพการทดลองขั้นตอนที่ 1 แบ่งแครอทออกเป็น 59 กลุ่ม กลุ่มละ 90 กรัม

แครอทกลุ่มตัวอย่างที่ 1 เพื่อหาค่าสีใช้เป็นตัวอย่างมาตรฐาน

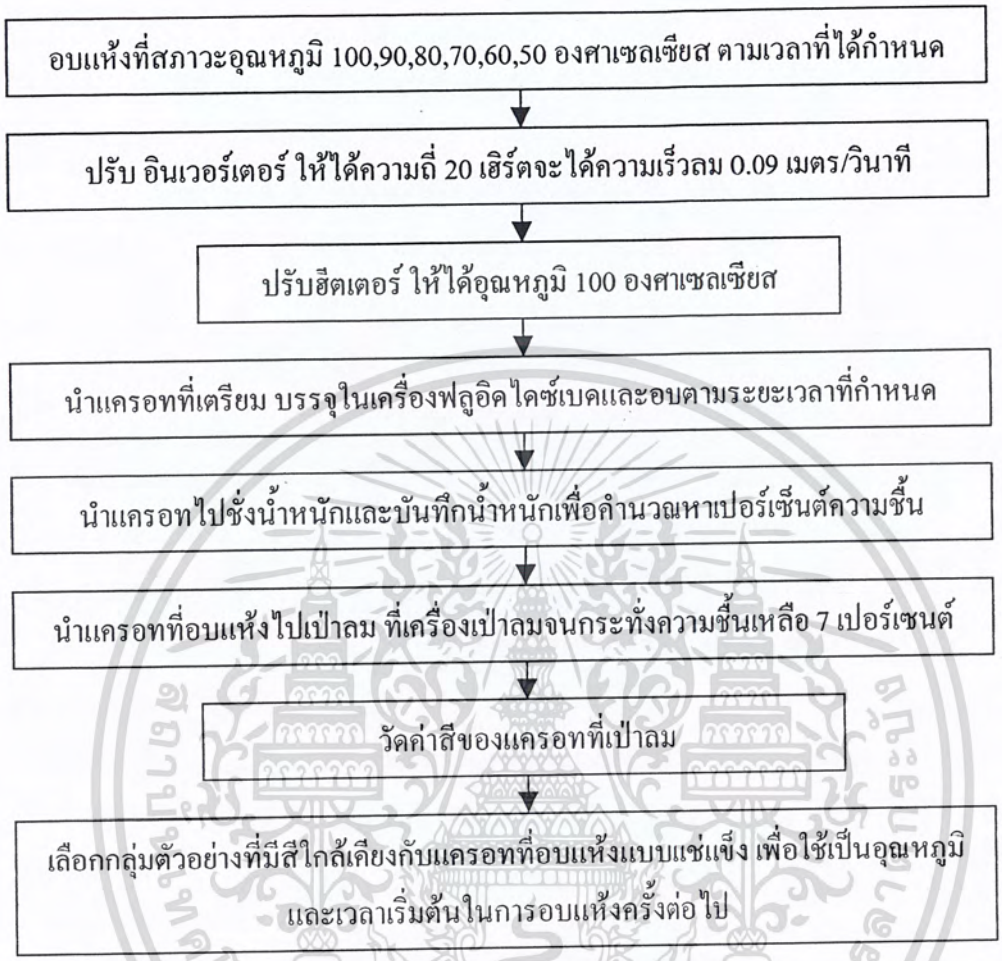


แครอทกลุ่มตัวอย่างที่ 2 เพื่อหาน้ำหนักแห้งของแครอทหลังการอบแห้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แครอทตัวอย่างที่ 3 ถึง 59 เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาเริ่มต้นที่เหมาะสมในการทดลองขั้นตอนที่ 2



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทดลองการอบแห้งแครอทการทดลองขั้นตอนที่ 1

ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแครอทในขั้นตอนที่ 2

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
80, 70, 60	10, 15, 45
80, 70, 60	15, 10, 45
80, 70, 60	20, 5, 45
80, 70, 50	10, 15, 60
80, 70, 50	15, 10, 55
80, 70, 50	20, 5, 55
80, 60, 50	10, 25, 55
80, 60, 50	15, 15, 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
80, 60, 50	20, 10, 50
70, 60, 50	20, 15, 60
70, 60, 50	25, 10, 50
70, 60, 50	30, 5, 50
80, 70	10, 60
80, 70	15, 55
80, 70	20, 45
80, 60	10, 70
80, 60	15, 60
80, 60	20, 55
80, 50	10, 80
80, 50	15, 70
80, 50	20, 65
70, 60	20, 70
70, 60	25, 55
70, 60	30, 45
70, 50	20, 75
70, 50	25, 60
70, 50	30, 50
60, 50	25, 80
60, 50	30, 60
60, 50	35, 50

3.4.2 การทดลองขั้นตอนที่ 2

1.เลือกช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการอบแห้งแครอท จากการทดลองขั้นตอนที่ 1 เลือกอุณหภูมิอบแห้งเริ่มต้น 60, 70, 80 องศาเซลเซียส

2.หาระยะเวลาในการอบแห้งโดยใช้กราฟความชื้นและเวลาเพื่อประมาณเวลาในการอบแห้งจากผลการทดลองขั้นตอนที่ 1

3. ทำการอบแห้งตามอุณหภูมิและเวลาที่เลือกดังตารางที่ 3.1

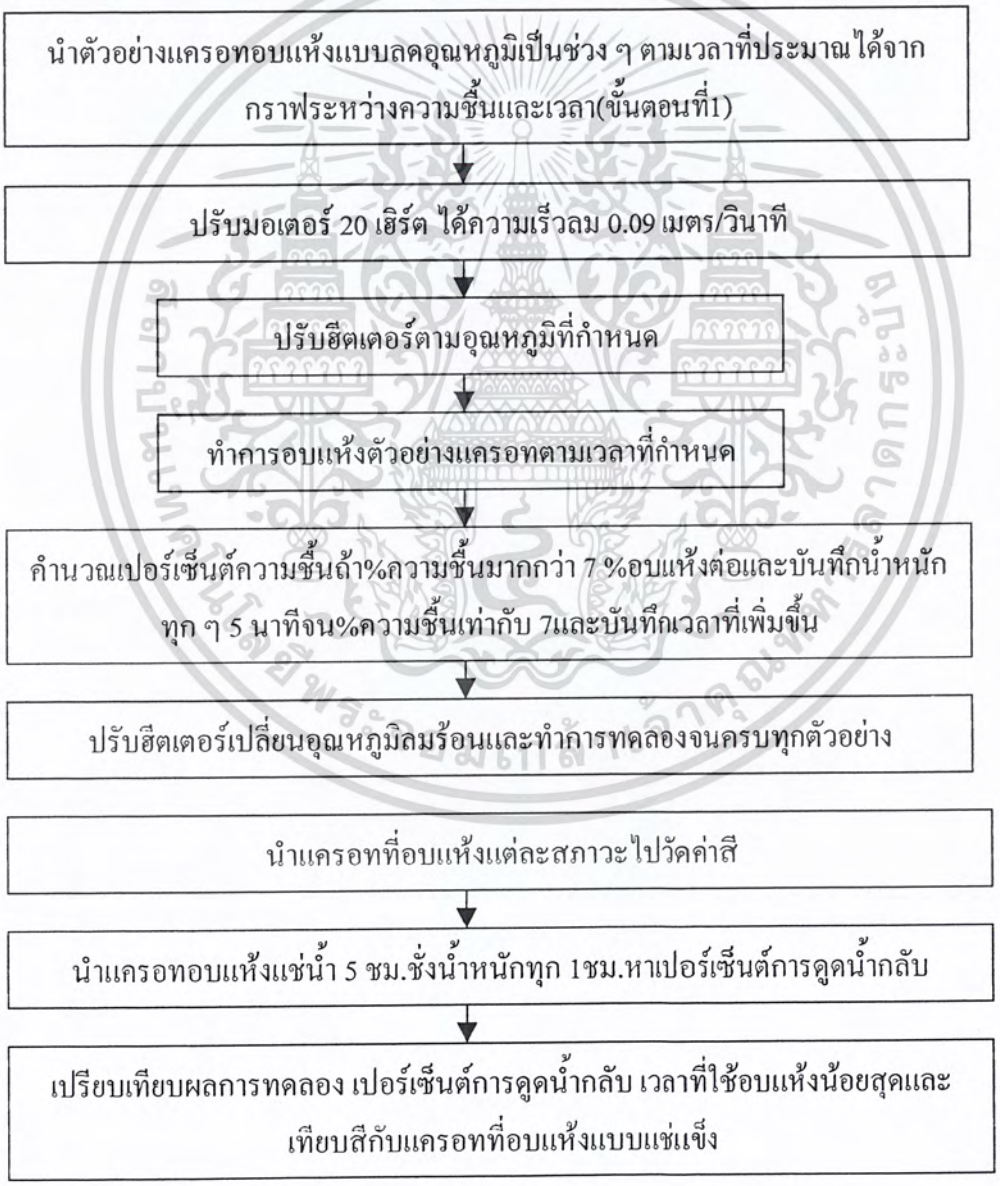
4.นำแครอทอบแห้งที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นและเมื่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นไม่ถึง 7 เปอร์เซ็นต์ทำการอบแห้งต่อไปและบันทึกน้ำหนักทุกๆ 5 นาทีจนกระทั่งความชื้นที่ 7 เปอร์เซ็นต์บันทึกเวลาที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.นำแครอทอบแห้งไปวิเคราะห์คุณภาพโดยการวัดค่าสีและคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำกลับ

6.เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ โดยเปรียบเทียบค่าสีกับแครอทที่อบแห้งแบบแช่เข็ง เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแครอท และเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำกลับ

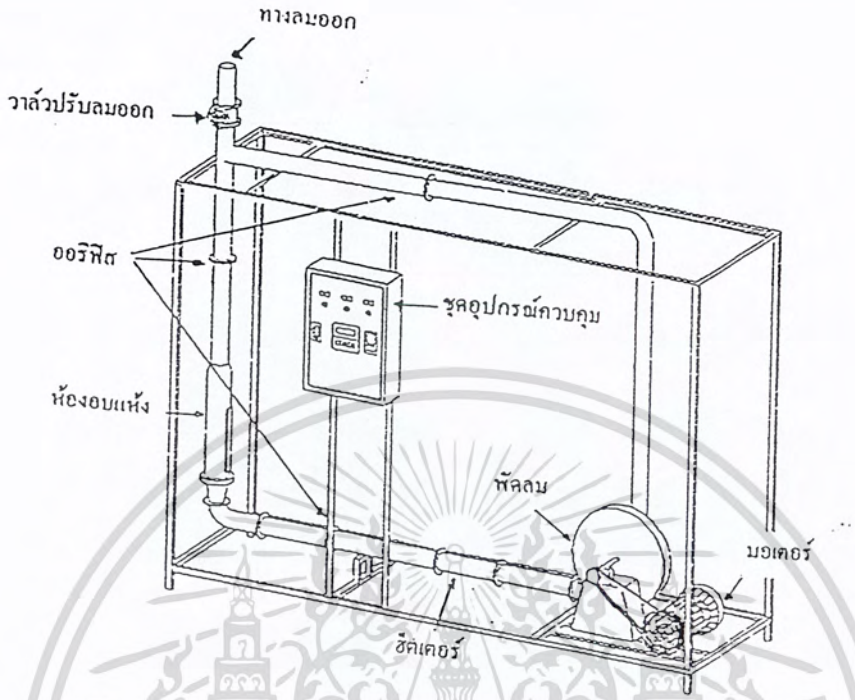
แผนภาพการทดลองขั้นตอนที่ 2
เพื่อหาอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งที่ดีที่สุด



รูปที่ 3.2 แผนภาพการทดลองการอบแห้งแครอทการทดลองขั้นตอนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.3 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ในการทดลอง

3.5 การตรวจสอบคุณภาพของแครอทอบแห้ง

3.5.1 การวิเคราะห์หาค่าสี

เครื่องมือ

1. เครื่องวัดสี

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องวัดสี
2. เข้าโปรแกรมการวัดสี
3. เลือกคำสั่ง MEASUREMENT
4. เปิดตัวเครื่องวัดสี เลื่อนแถบกั้นแสงไปกั้นแสง จากนั้นนำ Light Tap Block วางครอบช่องวัดสีของตัวอย่าง
5. กด F1
6. ใส่แผ่นมาตรฐานที่เป็นแป้งขาว และนำ Light Tap Block วางครอบช่องวัดสีของตัวอย่าง จากนั้นเปิดเครื่องวัดสีเลื่อนแถบกั้นแสงเข้าที่เดิม ไม่ให้กั้นแสง
7. กด F1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42323

8. เครื่องวัดสีจะอ่านค่าแผ่นมาตรฐานและแสดงผลค่า L*, a*, b* บนหน้าจอ
9. นำแผ่นมาตรฐานออกจากช่องวัดสีแล้วนำแครอทอบแห้งที่เป็นมาตรฐานไปวางบนช่องวัดสี และนำ Light Tap Block วางครอบช่องวัดสี
10. กด F1
11. บันทึกค่า L, a, b และ ค่า H V C บนหน้าจอ ลงตารางบันทึกผลการทดลอง
12. นำแครอทที่เป็นมาตรฐานออกจากช่องวัดสีแล้วนำแครอทอบแห้งที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ไปวางบนช่องวัดสี และนำ Light Tap Block วางครอบช่องวัดสี
13. กด F1
14. บันทึกค่า L, a, b และ ค่า H V C บนหน้าจอ ลงตารางบันทึกผลการทดลอง

3.5.2 การวิเคราะห์การคืนตัว

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. นาฬิกาจับเวลา
3. บีกเกอร์ ขนาด 1000 มิลลิลิตร
4. ตะแกรง

วิธีการวิเคราะห์

1. เติมน้ำลงในบีกเกอร์ ประมาณ 300 มิลลิลิตร และชั่งน้ำหนักแครอทอบแห้ง
2. นำแครอทไปแช่น้ำในบีกเกอร์
3. นำแครอทไปชั่งน้ำหนักทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 ชั่วโมง
4. นำแครอทไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำกลับ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำกลับ} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักหลังอบแห้ง})}{(\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักหลังอบแห้ง})} \times 100$$

3.5.3 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้น} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักแห้ง})}{\text{น้ำหนักก่อนอบแห้ง}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังอบแห้ง} - \text{น้ำหนักแห้ง})}{\text{น้ำหนักหลังอบแห้ง}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ น้ำหนักแห้ง คือ น้ำหนักแครอทอบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 40 นาที
น้ำหนักหลังอบแห้ง คือ น้ำหนักแครอทที่อบแห้งที่สภาวะที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองขั้นตอนที่ 1

การทดลองขั้นตอนที่ 1 ด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดที่ความเร็วลม 0.09 เมตร/วินาที และความสูงของชั้นเบด 5 เซนติเมตร เป็นการทดลองการอบแห้งที่อุณหภูมิและเวลาดังนี้

อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 5, 10, 15, 20, 25 นาที

อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30 นาที

อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 นาที

อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 นาที

อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 นาที

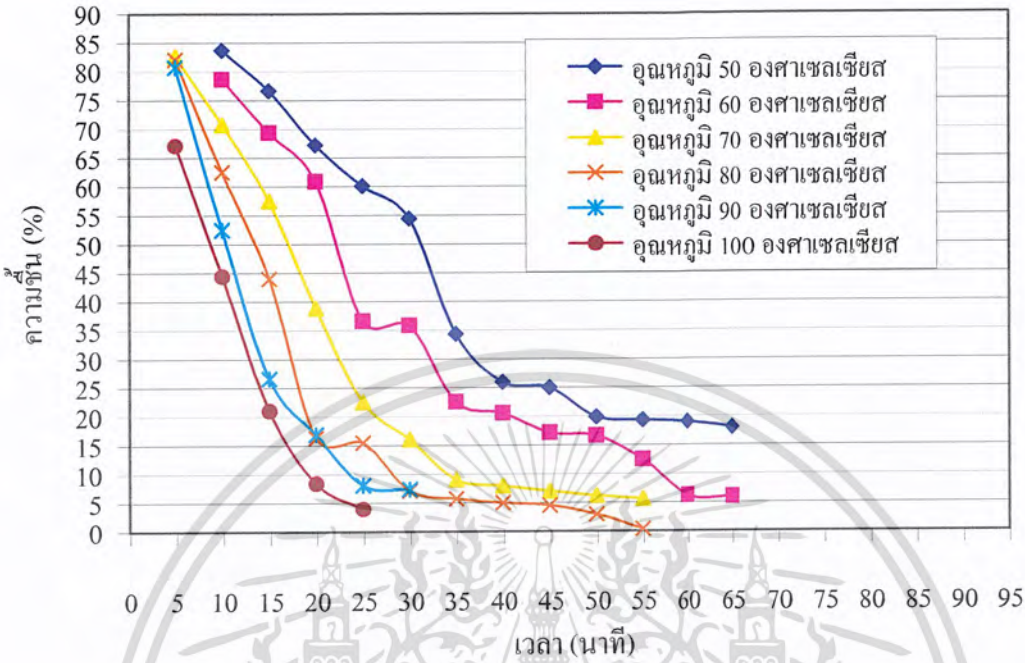
อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 นาที

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาของการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าการอบแห้งแครอทที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจาก การอบแห้งที่อุณหภูมิสูง อัตราการอบแห้งจะเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังกราฟในรูปที่ 4.1 โดยเปรียบเทียบกับแครอทอบแห้งที่ได้กับแครอทอบแห้งแบบแช่แข็งพบว่าที่อุณหภูมิ 90, 100 องศาเซลเซียส แครอทมีสีน้ำตาลไหม้ และผิวมีลักษณะโป่งพอง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาในการอบแห้งนานและแครอทอบแห้งมีสีซีด ไม่เหมาะสมในการใช้เป็นอุณหภูมิเริ่มต้นในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60, 70, 80 องศาเซลเซียส ค่าสีมีค่าใกล้เคียงกับสีของแครอทอบแห้งแบบแช่แข็ง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิและเวลาเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองขั้นตอนที่ 2

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
80	10, 15, 20
70	20, 25, 30
60	25, 30, 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

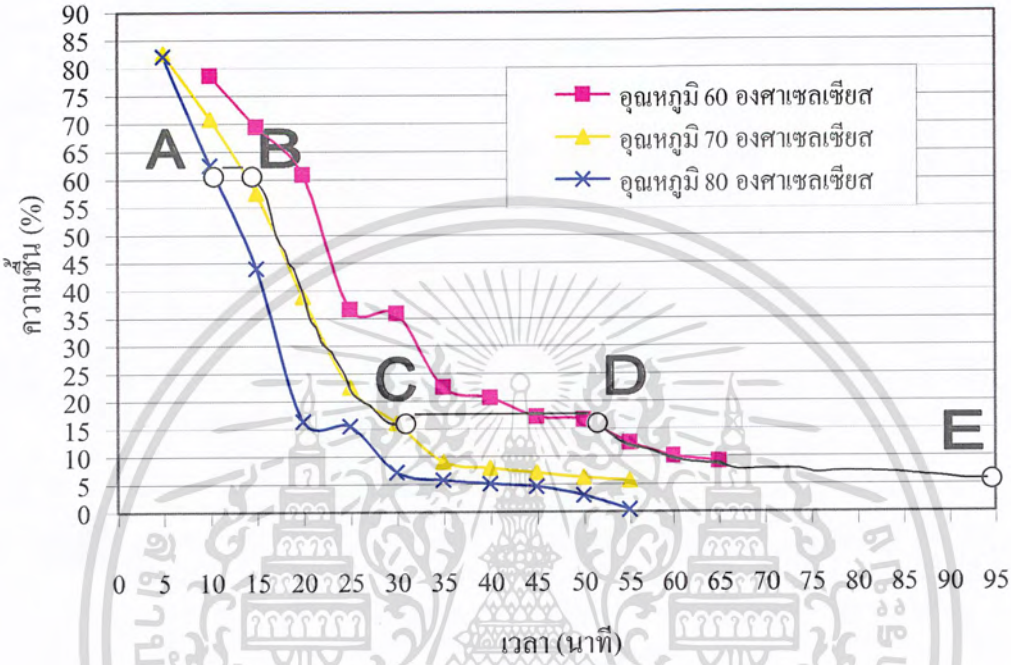


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

การประมาณเวลาในการอบแห้งแครอทในการทดลองขั้นตอนที่ 2 ซึ่งเป็นการอบแห้งแบบลดช่วงอุณหภูมิแบบ 2 และ 3 ช่วงอุณหภูมิ การประมาณเวลาหาได้จากกราฟที่ 4.2 โดยประมาณเวลาที่ใช้ในการอบแห้งใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาโดยการทดลองขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้มีการลดอุณหภูมิเป็น 2 ช่วง และ 3 ช่วงอุณหภูมิ ดังนี้ เช่นการลดอุณหภูมิ 3 ช่วง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ลดลงที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ลดลงที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิเริ่มต้นในการอบแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และลดอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส ลำดับตาม สามารถหาเวลาที่ใช้ในการอบแห้งได้ โดยที่เส้นอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส ที่จุด 10 นาที จุด A ลากเส้นไปตัดที่เส้นอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส คือ ที่จุด B และลากลงมาตามเส้น 70 องศาเซลเซียส จนถึงที่จุดเวลา 30 นาทีคือจุด C (เวลาสูงสุดที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยไม่ทำให้คุณภาพแครอทเสียไป) สามารถหาเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแครอทที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ได้จากเวลาที่จุด C หักออกจากเวลาที่จุด B จากนั้นลากเส้นจากจุด C ไปตามเส้นความชื้นคงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส คือจุด D แล้วลากเส้นไปตามเส้นอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งถึงจุด E ที่ความชื้น 7 เปอร์เซ็นต์ จะได้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากเวลาที่จุด E หักออกจากเวลาที่จุด D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ทำการอบแห้งแบบลดอุณหภูมิเป็น 2 ช่วง สามารถหาเวลาในการอบแห้งโดยใช้วิธีเช่นเดียวกับ การอบแห้งแบบลดอุณหภูมิเป็น 3 ช่วง

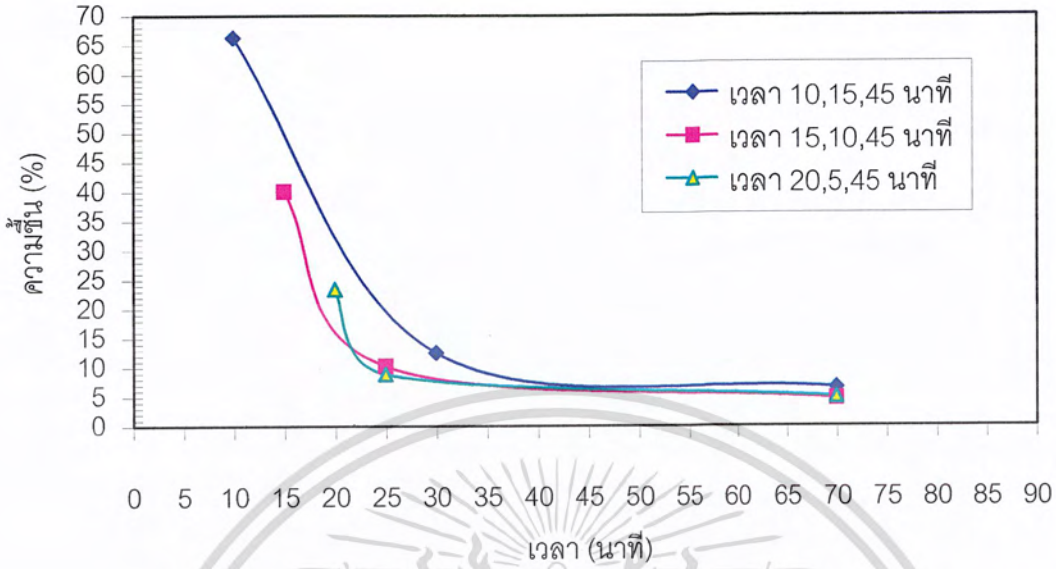


รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 80,70,60 องศาเซลเซียส

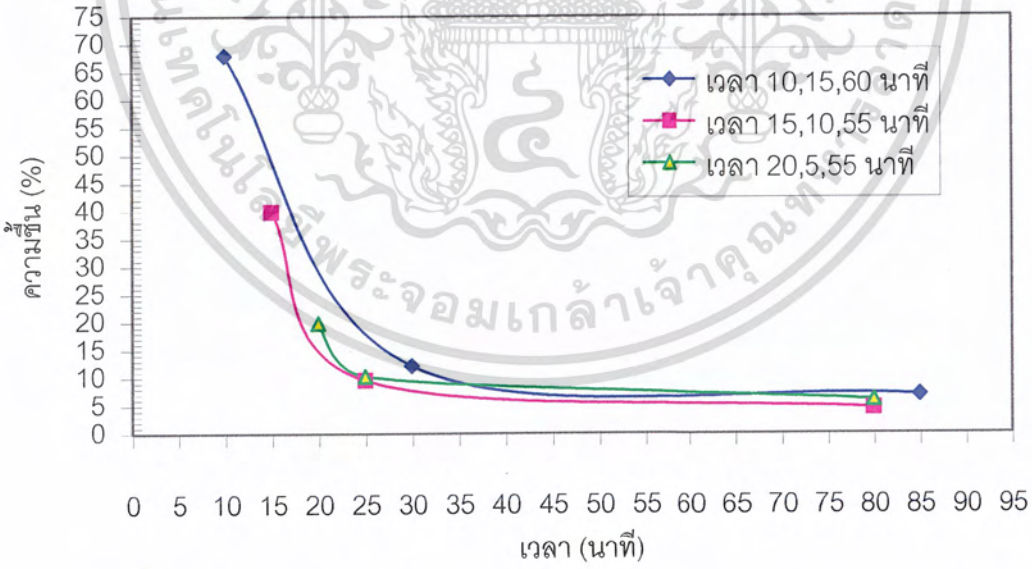
4.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองขั้นตอนที่ 2

แสดงผลการทดลองที่อุณหภูมิและเวลาในกราฟรูปที่ 4.3 – 4.12 ซึ่งเป็นเส้นโค้งคุณลักษณะของการอบแห้งของแครอทที่การลดอุณหภูมิแบบ 2 ช่วงและ 3 ช่วงอุณหภูมิ เมื่อใช้อุณหภูมิเริ่มต้นสูงใน การอบแห้งจะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าใช้อุณหภูมิเริ่มต้นต่ำ ซึ่งที่อุณหภูมิเริ่มต้นสูงจะทำให้น้ำระเหยได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิเริ่มต้นต่ำที่ระยะเวลาเท่ากัน โดยสรุปผลดังในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

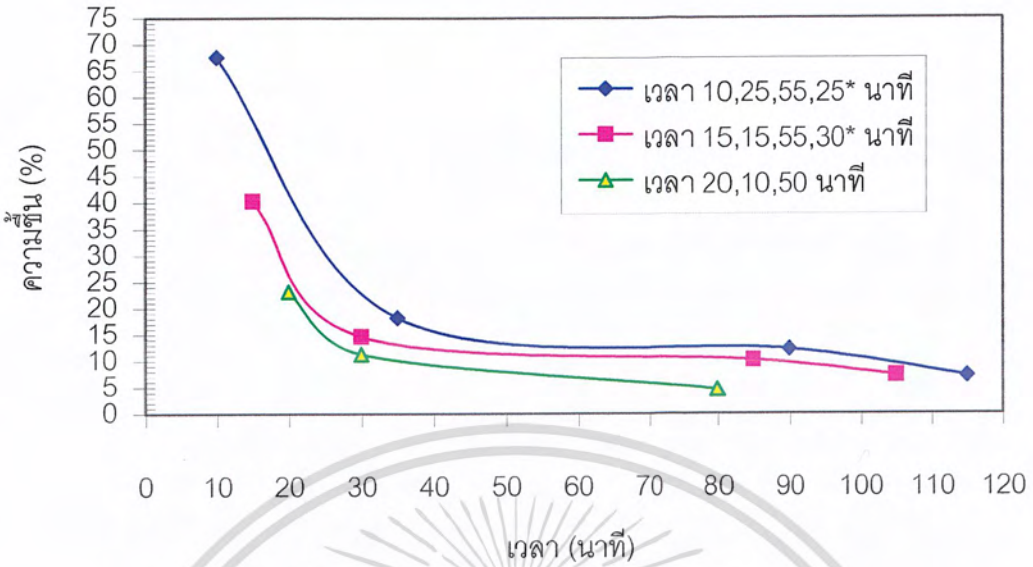


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 80,70,60 องศาเซลเซียส

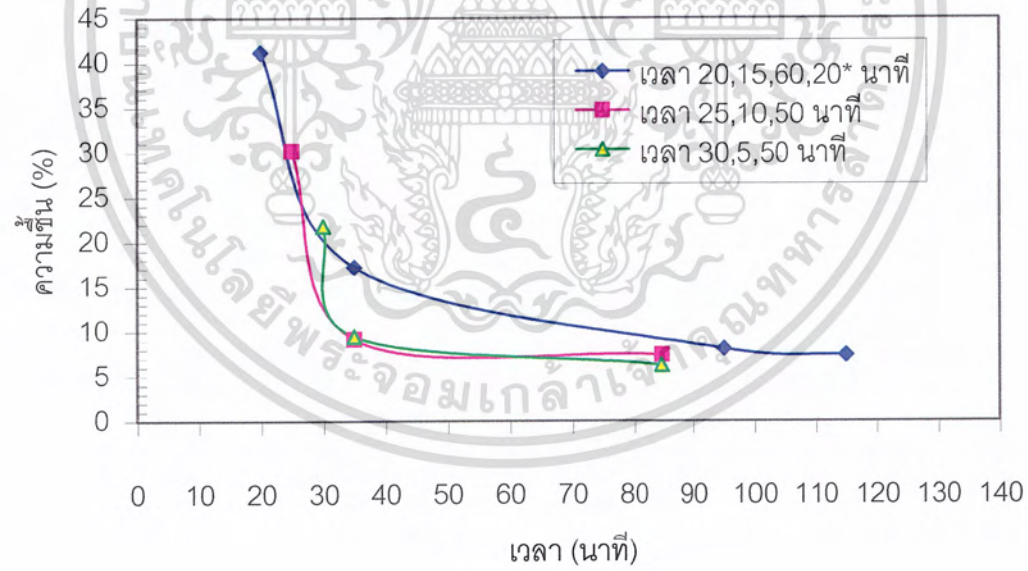


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 80,70,50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

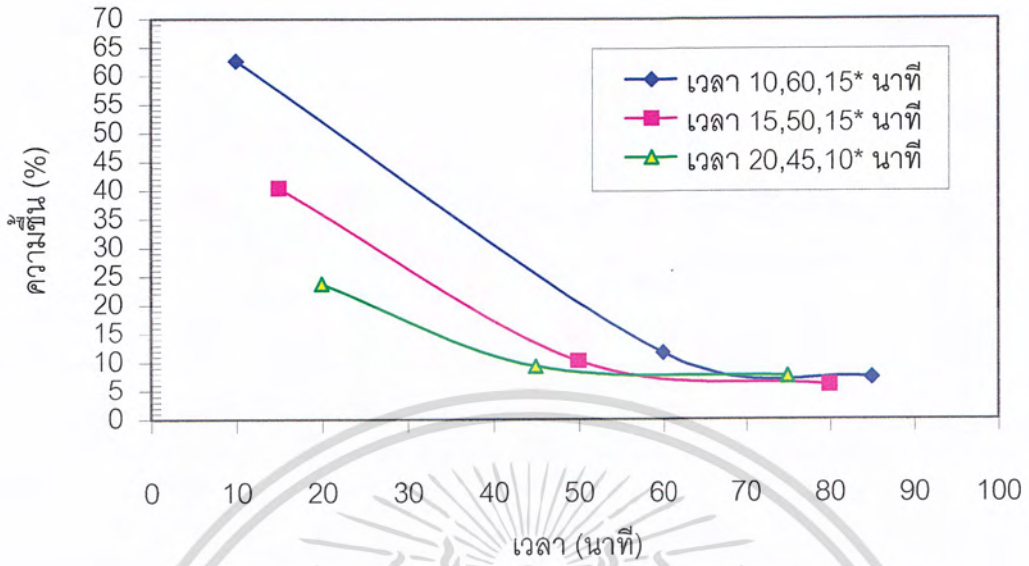


รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 80,60,50 องศาเซลเซียส

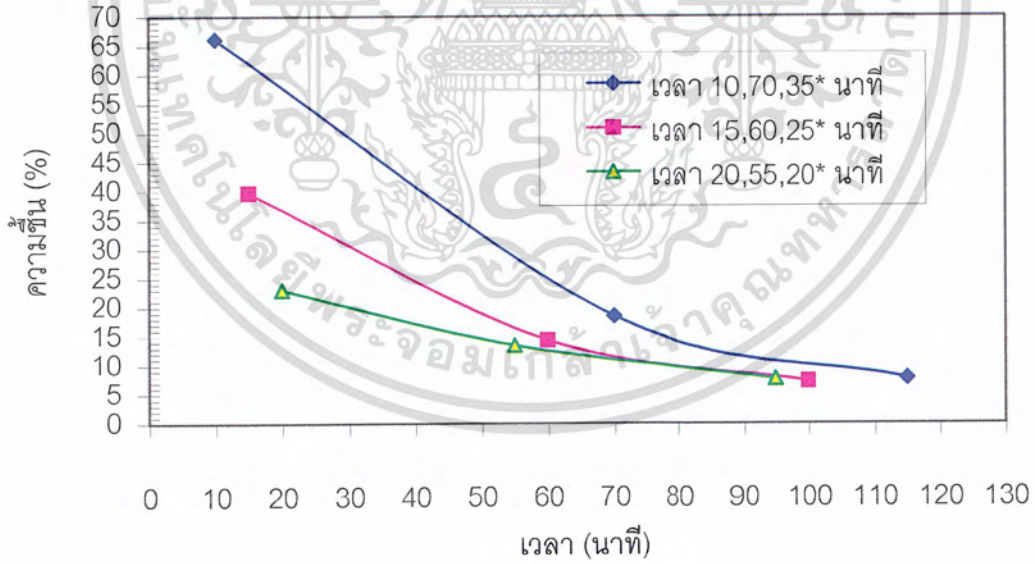


รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 70,60,50 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

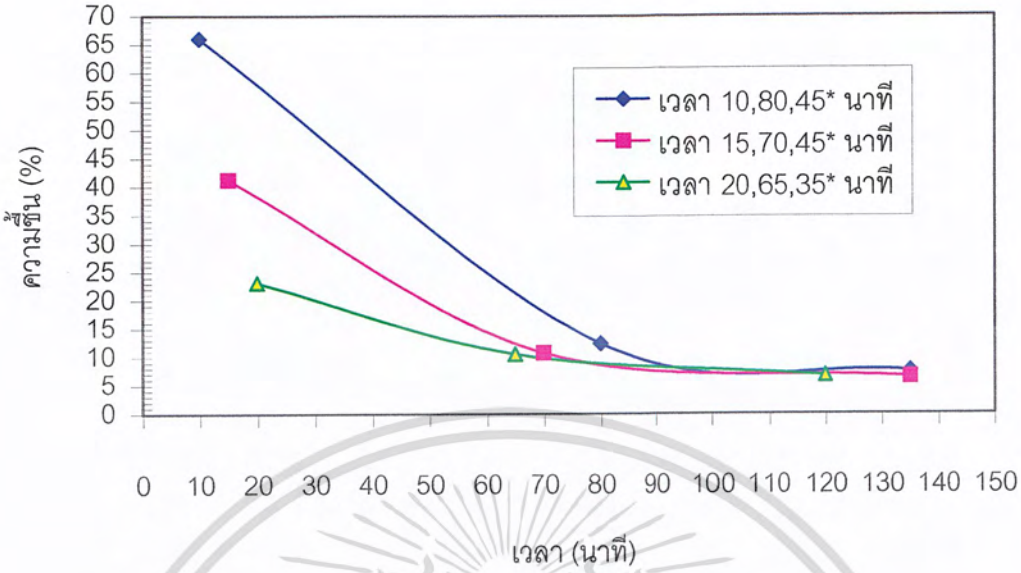


รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 80,70 องศาเซลเซียส

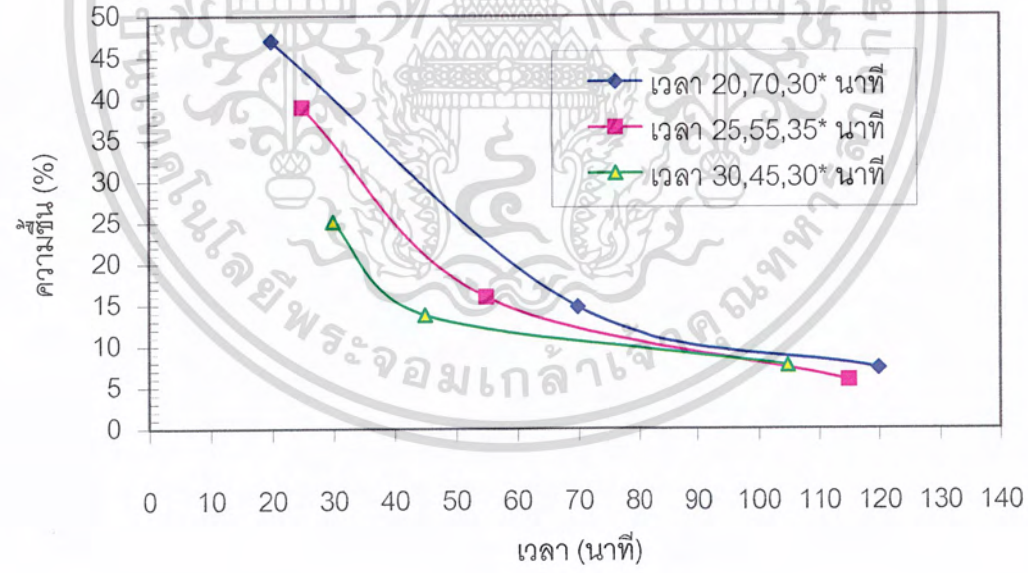


รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 80,60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

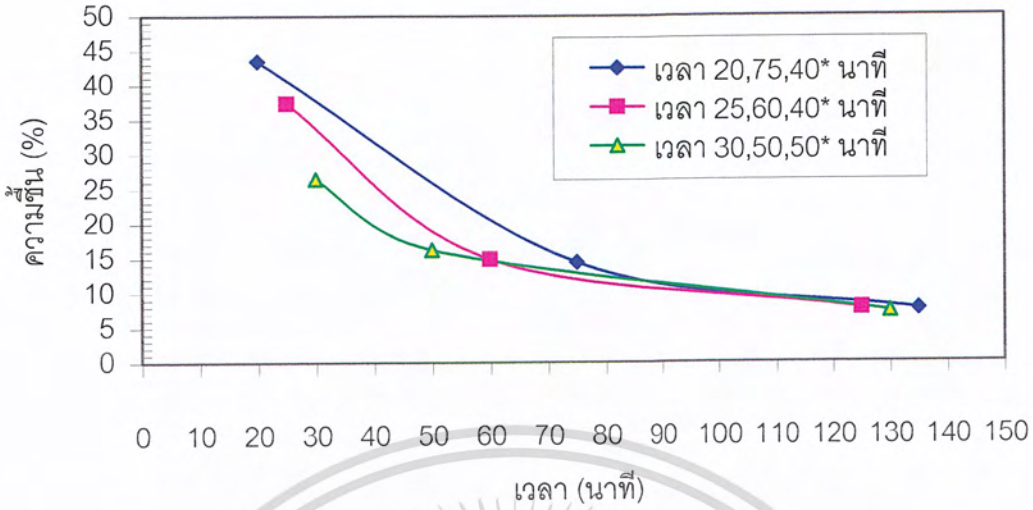


รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 80,50 องศาเซลเซียส

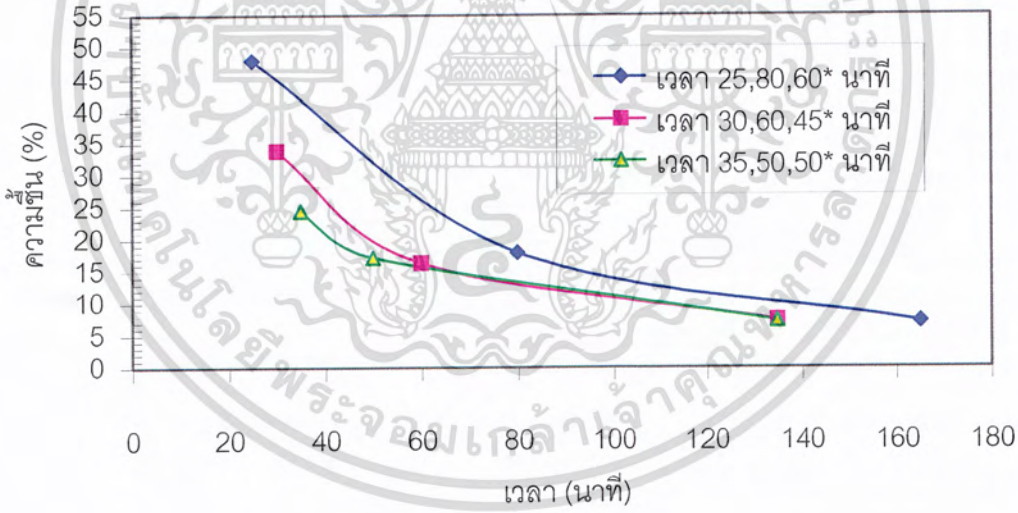


รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 70,60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 70,50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่อุณหภูมิ 60,50 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ * คือเวลาที่ใช้เพิ่มในการอบแห้งเพื่อให้แครอทเหลือความชื้น 7 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งแบบลดอุณหภูมิ 2 ช่วงและ 3 ช่วงอุณหภูมิ

กราฟรูปที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	รวมเวลา (นาที)
4.3	80, 70, 60	10, 15, 45	70
4.3	80, 70, 60	15, 10, 45	70
4.3	80, 70, 60	20, 5, 45	70
4.4	80, 70, 50	10, 15, 60	85
4.4	80, 70, 50	15, 10, 55	80
4.4	80, 70, 50	20, 5, 55	80
4.5	80, 60, 50	10, 25, 55, 25*	115
4.5	80, 60, 50	15, 15, 55, 30*	105
4.5	80, 60, 50	20, 10, 50	80
4.6	70, 60, 50	20, 15, 60, 20*	115
4.6	70, 60, 50	25, 10, 50	95
4.6	70, 60, 50	30, 5, 50	85
4.7	80, 70	10, 60, 15*	85
4.7	80, 70	15, 50, 15*	80
4.7	80, 70	20, 45, 10*	75
4.8	80, 60	10, 70, 35*	115
4.8	80, 60	15, 60, 25*	100
4.8	80, 60	20, 55, 20*	95
4.9	80, 50	10, 80, 45*	135
4.9	80, 50	15, 70, 45*	135
4.9	80, 50	20, 65, 35*	120
4.10	70, 60	20, 70, 30*	120
4.10	70, 60	25, 55, 35*	115
4.10	70, 60	30, 45, 30*	105
4.11	70, 50	20, 75, 40*	135
4.11	70, 50	25, 60, 40*	125
4.11	70, 50	30, 50, 50*	130

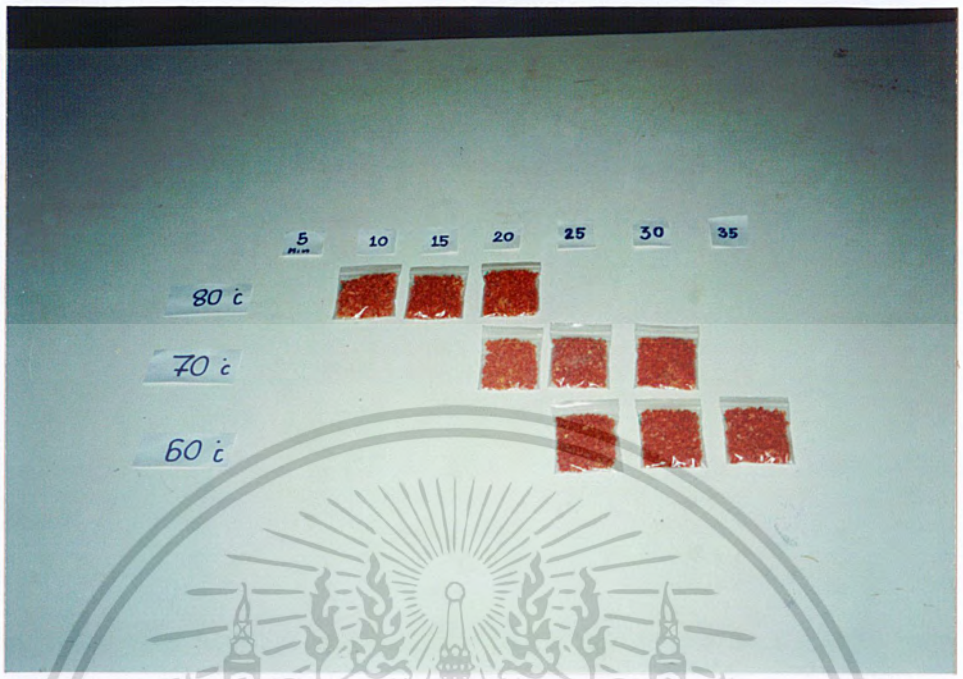
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	รวมเวลา (นาที)
4.12	60, 50	25, 80, 60*	165
4.12	60, 50	30, 60, 45*	135
4.12	60, 50	35, 50, 50*	135

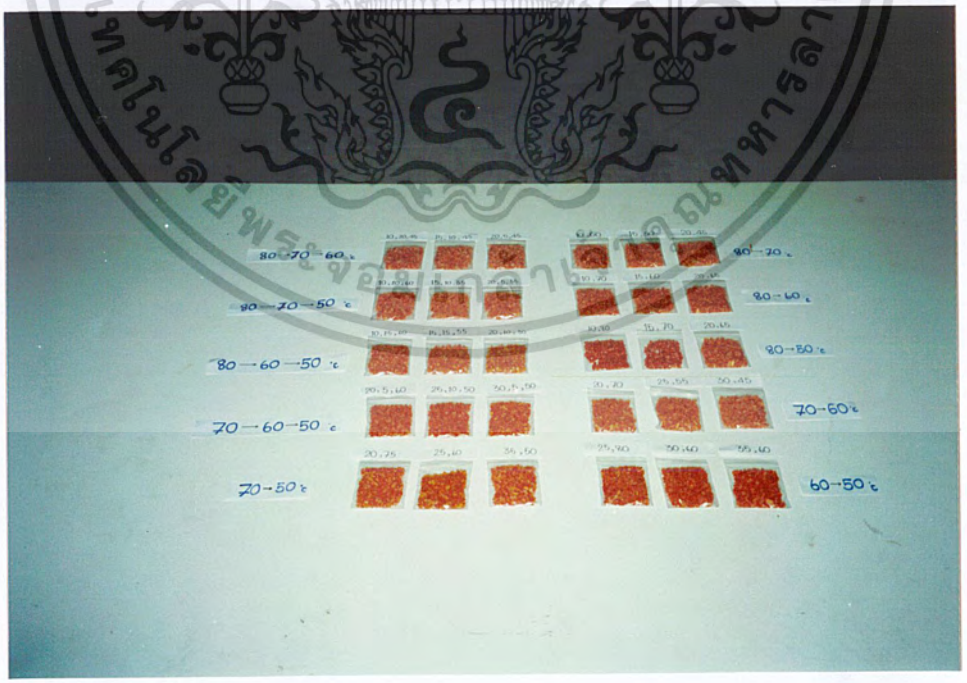
หมายเหตุ * คือเวลาที่ใช้เพิ่มในการอบแห้งเพื่อให้แครอทเหลือความชื้น 7 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.13 กลุ่มตัวอย่างแครอทที่ทำการอบแห้งตามขั้นตอนการทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

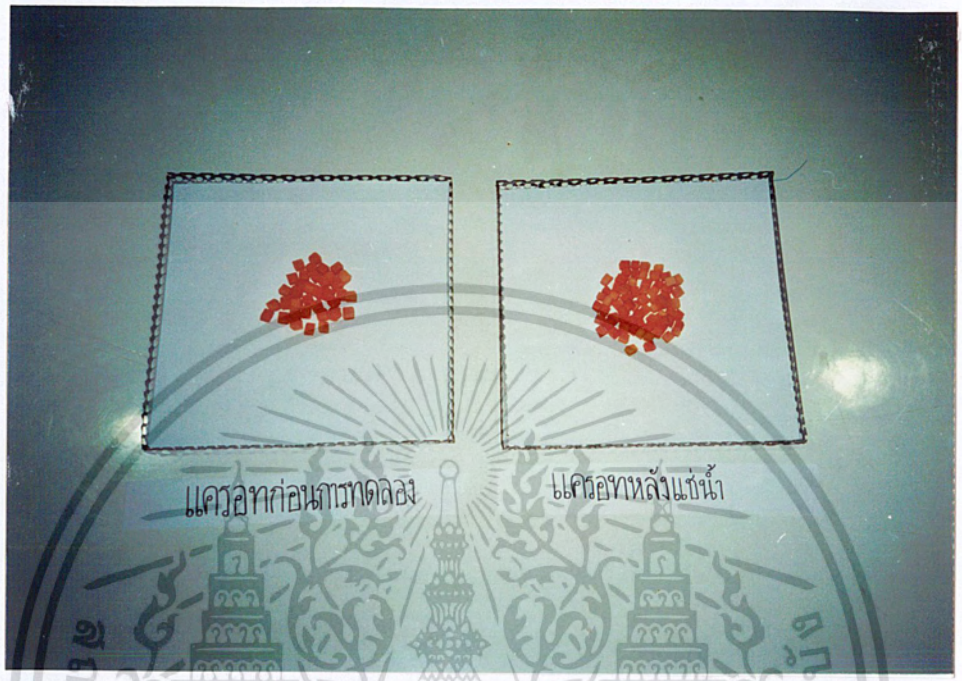


รูปที่ 4.14 กลุ่มตัวอย่างแครอทที่ทำการเลือกจากขั้นตอนการทดลองที่ 1



รูปที่ 4.15 กลุ่มตัวอย่างแครอทที่ทำการอบแห้งตามขั้นตอนการทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบแครอทก่อนการอบแห้งและแครอทอบแห้งหลังการคืนตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาการอบแห้งโดยการลดอุณหภูมิและเวลาอย่างเป็นช่วงๆ โดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดซึ่งใช้ความเร็วลมที่อัตรา 0.09 เมตร/วินาที บรรจุแครอทในหอทดลอง (Fixed bed) ให้มีความสูง 5 เซนติเมตร เพื่อให้ได้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้ง ปัจจัยที่นำมาพิจารณาคือ สี ความชื้น การดูดน้ำกลับและการเกิดสีน้ำตาล การหาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสามารถหาได้โดยการทำการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน

จากการทดลองขั้นตอนที่ 1 เป็นการหาอุณหภูมิเริ่มต้นที่เหมาะสมในการอบแห้งแครอทโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดพบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นที่เหมาะสมในการอบแห้งแครอทโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดโดยการเปรียบเทียบสีกับแครอทที่ได้จากการอบแห้งแบบแช่แข็ง คือ

อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่เวลา 10, 15, 20 นาที

อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลา 20, 25, 30 นาที

อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่เวลา 25, 30, 35 นาที

อุณหภูมิ 90, 100 องศาเซลเซียส แครอทมีสีน้ำตาลไหม้และผิวมีลักษณะโป่งพอง ที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซียส ต้องใช้เวลาในการอบแห้งนาน ทำให้แครอทอบแห้งมีสีซีไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นอุณหภูมิเริ่มต้นในการอบแห้ง

การทดลองขั้นตอนที่ 2 เมื่อได้อุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการอบแห้งทำการประมาณเวลาในการอบแห้งจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลา กำหนดช่วงการลดอุณหภูมิในการอบแห้งได้ 2 ช่วง 3 ช่วงอุณหภูมิ เปรียบเทียบคุณสมบัติหลังการอบแห้งของแครอทกับสีของแครอทที่ได้จากการอบแห้งแบบแช่แข็งเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำกลับและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด

จากการทดลองขั้นตอนที่ 2 พบว่าสภาวะในการอบแห้งแครอทที่เหมาะสมที่สุดคือ ที่ช่วงอุณหภูมิ 80, 70, 60 องศาเซลเซียส ที่เวลา 20, 5, 45 นาที รวมเวลาในการอบแห้ง 70 นาที เปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้าย 6.83 เปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด ค่าสีมีค่าใกล้เคียงกับแครอทอบแห้งแบบแช่แข็งมากที่สุด ส่วนเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำกลับทุกชุดตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกันโดยเฉลี่ยที่ 77 เปอร์เซ็นต์ จึงไม่ใช้เป็นปัจจัยหลักในการนำมาพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเพิ่มการทดลองซ้ำมากขึ้นอาจให้ผลการทดลองที่มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น
2. เนื่องจากการทดลองครั้งนี้เป็นการพิจารณาคุณภาพแครอทหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ โดยเน้นที่ด้านการประหยัดพลังงานซึ่งใช้ค่าความเร็วลมค่าเดียว ถ้าหากต้องการทดลองที่สภาวะความเร็วลมค่าอื่น ๆ อาจทำให้ได้ผลการทดลองที่แตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. จริงแท้ ศิริพานิช, 2541, "สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้" ภาควิชาพืชสวนคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน.
2. โชคชัย ธีรกุลเกียรติ, 2539,"การถนอมอาหารและการแปรรูปอาหาร" สาขาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย สุโขทัยธรรมาธิราช.
3. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์, พิมเพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ สาทิป รัตนภาสกร, 2532,"สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมชีววัสดุ"ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
4. รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2532," เคมีอาหาร" มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพมหานคร.
5. รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535, "วิศวกรรมแปรรูปอาหาร การถนอมอาหาร" โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮ้าส์. ภาคอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
6. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2525, "อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม" ภาพพิมพ์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
7. ไอริณ กาลวิบูลย์, พลเอก ตั้งเจริญ และ เอกสิทธิ์ ศรีธรรม, 2541, "การออกแบบและศึกษาเครื่องอบแห้งทดลองสำหรับพริกไทยขาว โดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
8. A. Quintero-Ramos, M.C. Bourne, and A. Anzaldua-Morales, " Texture and Rehydration of Dehydrated Carrots as Affected by low Temperature Blanching " Journal of food science.Vol. 57, No.5, 1992,Page 1127.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.1 ผลการทดลองขั้นตอนที่ 1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นแครอทอบแห้ง

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	น้ำหนักก่อนการอบแห้ง (g)	น้ำหนักหลังการอบแห้ง (g)	% ความชื้น
50	10	90	46.10	83.73
	15	90	32.19	76.70
	20	90	22.90	67.25
	25	90	18.80	60.11
	30	90	16.47	54.46
	35	90	11.43	34.38
	40	90	10.14	26.04
	45	90	10.00	25.00
	50	90	9.36	19.87
	55	90	9.30	19.35
	60	90	9.26	19.01
	65	90	9.15	18.03
60	10	90	35.18	78.68
	15	90	24.56	69.46
	20	90	19.18	60.90
	25	90	11.84	36.66
	30	90	11.70	35.90
	35	90	9.69	22.60
	40	90	9.45	20.63
	45	90	9.06	17.22
	50	90	9.00	16.67
	55	90	8.57	12.49
	60	90	8.34	10.07
	65	90	8.25	9.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	น้ำหนักก่อนการอบแห้ง (g)	น้ำหนักหลังการอบแห้ง (g)	% ความชื้น
70	5	90	43.32	82.69
	10	90	25.72	70.84
	15	90	17.67	57.56
	20	90	12.28	38.93
	25	90	9.69	22.60
	30	90	8.94	16.11
	35	90	8.25	9.09
	40	90	8.15	7.98
	45	90	8.07	7.06
	50	90	8.00	6.25
	55	90	7.95	5.66
80	5	90	41.93	82.11
	10	90	20.02	62.54
	15	90	13.40	44.03
	20	90	8.97	16.39
	25	90	8.88	15.54
	30	90	8.08	7.18
	35	90	7.96	5.78
	40	90	7.90	5.06
	45	90	7.86	4.58
	50	90	7.73	2.98
	55	90	7.53	0.40
90	5	90	38.92	80.73
	10	90	15.78	52.47
	15	90	10.22	26.61
	20	90	9.03	16.94
	25	90	8.16	8.09
	30	90	8.10	7.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	น้ำหนักก่อนการอบแห้ง (g)	น้ำหนักหลังการอบแห้ง (g)	% ความชื้น
100	5	90	22.80	67.11
	10	90	13.50	44.44
	15	90	9.50	21.05
	20	90	8.19	8.42
	25	90	7.81	3.97

น้ำหนักแครอทที่ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 40 นาที โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด เพื่อหาน้ำหนักแห้งของแครอท มีน้ำหนัก 7.46 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.2 ผลการทดลองขั้นตอนที่ 2 เปอร์เซ็นต์ความชื้นแครอทอบแห้ง

อุณหภูมิ (^{0}c)	เวลา (นาที)	น้ำหนักก่อนอบแห้ง (กรัม)	น้ำ หนักหลังอบแห้ง (กรัม)			ความชื้น (%)	เวลาที่ใช้เพิ่ม (นาที)	เวลาที่ใช้ทั้งหมด (นาที)	น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	ความชื้น (%)
80,70,60	10,15,45	90.00	22.25	8.58	8.03	6.54		70		
	15,10,45	90.00	12.52	8.36	7.87	4.70		70		
	20,5,45	90.00	9.79	8.23	8.05	6.83		70		
80,70,50	10,15,60	90.00	23.44	8.54	8.06	6.89		85		
	15,10,55	90.00	12.48	8.30	7.86	4.52		80		
	20,5,55	90.00	9.36	8.36	7.98	6.02		80		
80,60,50	10,25,55	90.00	23.16	9.18	8.55	12.23	25	115	8.08	7.17
	15,15,55	90.00	12.57	8.79	8.35	10.18	30	105	8.09	7.29
	20,10,50	90.00	9.76	8.46	7.86	4.58		80		
70,60,50	20,15,60	90.00	12.75	9.06	8.16	8.09	20	115	8.1	7.4
	25,10,50	90.00	10.75	8.26	8.10	7.41		95		
	30,5,50	90.00	9.59	8.29	8.00	6.25		85		

อุณหภูมิ (^{0}c)	เวลา (นาที)	น้ำหนักก่อนอบแห้ง (กรัม)	น้ำหนักหลังอบแห้ง (กรัม)			ความชื้น (%)	เวลาที่ใช้เพิ่ม (นาที)	เวลาที่ใช้ทั้งหมด (นาที)	น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	ความชื้น (%)
80,70	10,60	90.00	20.06	8.50	-	11.71	15	85	8.09	7.29
	15,50	90.00	12.60	8.36	-	10.29	15	80	7.98	6.02
	20,45	90.00	9.84	8.27	-	9.26	10	75	8.11	7.53
80,60	10,70	90.00	22.17	9.20	-	18.48	35	115	8.13	7.75
	15,60	90.00	12.45	8.76	-	14.33	25	100	8.08	7.18
	20,55	90.00	9.75	8.67	-	13.44	20	95	8.12	7.64
80,50	10,80	90.00	22.06	8.56	-	12.38	45	135	8.11	7.52
	15,75	90.00	12.77	8.41	-	10.77	45	135	8.02	6.48
	20,65	90.00	9.76	8.39	-	10.55	35	120	8.04	6.72
70,60	20,70	90.00	14.16	8.80	-	14.77	30	120	8.09	7.29
	25,55	90.00	12.30	8.93	-	16.01	35	115	8.13	7.75
	30,45	90.00	10.02	8.70	-	13.79	30	105	8.12	7.64
70,50	20,75	90.00	13.27	8.77	-	14.43	40	135	8.12	7.64
	25,60	90.00	11.98	8.82	-	14.92	40	125	8.13	7.75
	30,50	90.00	10.20	8.96	-	16.25	50	130	8.09	7.29
60,50	25,80	90.00	14.39	9.15	-	17.99	60	165	8.08	7.18
	30,60	90.00	11.35	8.97	-	16.34	45	135	8.1	7.41
	35,50	90.00	9.94	9.06	-	17.17	50	135	8.09	7.29

ภาคผนวก ข.1 ค่าสีที่วัดได้ของแครอทอบแห้งของการทดลองขั้นตอนที่ 1

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	L	a	b	H	V	C
50	10	42.01	27.13	17.54	9.64R	4.66	7.95
	15	41.69	28.06	17.29	9.70R	4.82	7.93
	20	42.38	27.94	18.17	9.74R	4.70	8.12
	25	42.74	28.31	18.53	9.72R	4.90	8.06
	30	43.01	28.09	18.14	9.86R	4.56	8.26
	35	42.56	28.85	18.06	9.45R	4.72	8.18
	40	42.31	29.38	19.10	9.62R	4.79	8.36
	45	43.42	28.96	19.63	9.72R	4.70	8.41
	50	43.96	29.08	18.79	9.84R	4.94	8.44
	55	43.96	28.27	18.76	9.82R	4.95	8.37
	60	41.63	29.42	18.92	9.93R	4.72	8.76
	65	44.73	29.96	20.07	9.98R	5.03	8.87
60	10	41.69	26.31	17.87	0.21YR	4.83	7.94
	15	43.22	26.58	18.46	0.18YR	4.98	7.68
	20	43.83	26.42	18.98	0.48YR	4.94	8.09
	25	43.30	26.47	18.97	0.08YR	4.98	8.08
	30	44.89	26.74	18.73	0.17YR	5.04	8.31
	35	43.52	27.66	18.93	0.20YR	5.02	9.18
	40	45.08	29.47	20.12	0.18YR	4.91	9.56
	45	44.52	30.51	20.06	0.24YR	5.06	9.71
	50	44.71	32.11	21.58	0.22YR	5.03	9.60
	55	45.23	30.30	20.83	0.25YR	5.08	9.09
	60	42.50	29.81	19.32	9.92R	4.81	8.86
	65	44.39	33.11	21.52	9.98R	4.99	9.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	L	a	b	H	V	C
70	5	37.29	23.04	16.59	0.47YR	4.28	7.19
	10	37.61	22.75	16.46	1.03YR	4.31	7.31
	15	44.61	30.28	20.37	0.07YR	5.02	9.01
	20	40.12	27.17	19.63	9.87R	4.57	8.57
	25	41.74	27.23	19.68	0.20YR	4.73	8.69
	30	43.27	28.87	20.16	9.61R	4.88	8.64
	35	41.65	31.58	20.14	0.03YR	4.72	9.03
	40	42.52	32.09	19.41	9.43R	4.81	9.32
	45	43.30	28.39	21.59	1.43YR	4.89	9.16
	50	43.41	28.94	21.53	1.23YR	4.90	9.22
	55	47.31	29.87	22.46	1.00YR	5.28	9.32
80	5	44.67	24.64	18.53	0.71YR	5.02	7.64
	10	45.68	26.93	19.89	0.64YR	5.12	8.28
	15	45.43	26.68	21.15	0.01YR	4.77	8.36
	20	46.05	27.64	22.07	1.09YR	4.86	8.44
	25	45.15	28.13	21.11	0.68YR	4.77	8.80
	30	45.78	27.07	21.94	1.21YR	4.83	8.59
	35	45.35	27.95	20.62	0.92YR	4.79	8.56
	40	45.27	26.66	20.29	0.99YR	5.08	8.36
	45	46.29	29.61	22.54	1.23YR	5.18	9.37
	50	46.52	25.88	21.82	1.93YR	5.20	8.52
	55	46.81	25.07	20.55	1.50YR	5.23	8.07
90	5	44.22	25.38	17.89	0.13YR	4.98	7.64
	10	40.69	31.15	20.46	0.45YR	4.62	9.54
	15	41.41	28.70	21.63	1.62YR	4.70	9.44
	20	41.74	25.61	21.48	2.42YR	4.73	8.84
	25	42.60	22.75	21.76	3.35YR	4.82	8.42
	30	40.28	19.95	19.14	3.79YR	4.48	7.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	L	a	b	H	V	C
100	5	41.99	30.19	20.01	0.45YR	4.75	9.11
	10	42.24	27.21	17.35	1.62YR	4.78	8.02
	15	39.54	22.16	20.07	2.42YR	4.51	8.11
	20	38.09	15.47	17.77	3.35YR	4.36	6.40
	25	35.22	13.53	14.90	3.79YR	4.06	5.43

แครอทที่ทำการอบแห้งแบบแช่แข็ง จะมีค่าสีดังนี้

L = 49.49 , a = 26.40 , b = 18.89 , H = 9.91R , V = 5.49 , C = 7.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.2 ค่าสีที่วัดได้ของแครอทอบแห้งของการทดลองขั้นตอนที่ 2

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	L	a	b	H	V	C
80,70,60	10,15,45	43.22	28.32	17.80	9.39R	4.88	8.26
	15,10,45	45.19	27.39	19.32	0.34YR	5.07	8.30
	20,5,45	46.13	25.96	19.14	0.71YR	5.26	8.02
80,70,50	10,15,60	43.26	27.81	19.14	0.25YR	4.88	8.41
	15,10,55	44.14	29.01	19.23	9.86R	4.97	8.58
	20,5,55	44.29	25.91	18.64	0.38YR	4.98	7.89
80,60,50	10,25,60	45.86	28.40	18.91	9.66R	5.14	8.35
	15,15,55	43.93	27.78	18.69	9.91R	4.95	8.26
	20,10,50	46.50	26.85	18.05	9.59R	5.20	7.89
70,60,50	20,15,60	41.66	30.08	20.84	0.78YR	4.72	9.38
	25,10,50	40.10	29.68	19.71	0.50YR	4.56	9.14
	30,5,50	42.13	29.40	21.54	1.28YR	4.77	9.43
80,70	10,60	44.48	27.06	19.57	0.55YR	5.00	8.29
	15,50	45.48	28.46	21.87	1.30YR	5.10	9.06
	20,45	46.64	28.37	18.44	9.36R	5.21	8.25
80,60	10,70	42.76	29.18	18.59	9.66R	4.83	8.59
	15,60	41.04	29.64	17.79	9.33R	4.66	8.64
	20,55	43.18	30.14	19.19	9.68R	4.87	8.85
80,50	10,90	39.56	28.46	19.35	0.71YR	4.51	8.90
	15,70	38.42	26.35	17.71	0.53YR	4.39	8.19
	20,65	41.58	30.17	19.12	9.85R	4.71	8.95
70,60	20,70	44.22	28.19	20.32	0.68YR	4.98	8.69
	25,55	44.94	28.10	18.95	9.84R	5.05	8.32
	30,45	45.19	28.22	21.46	1.18YR	5.07	8.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	L	a	b	H	V	C
70,50	20,75	44.73	29.84	21.44	0.76YR	5.03	9.22
	25,60	42.54	25.26	19.06	1.08YR	4.81	8.01
	30,50	45.00	30.57	21.75	0.69YR	5.05	9.40
60,50	25,80	41.75	29.06	20.14	0.67YR	4.73	9.00
	30,60	41.04	31.94	20.52	0.24YR	4.66	9.64
	35,50	40.46	30.02	19.65	0.32YR	4.60	9.14

แครอทที่ทำการอบแห้งแบบแช่แข็ง จะมีค่าสีดังนี้

L = 49.49 , a = 26.40 , b = 18.89 , H = 9.91R , V = 5.49 , C = 7.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.1 เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำกลับของแครอทหลังอบแห้งที่ช่วงอุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	น้ำหนักก่อนการแช่น้ำ (g)	น้ำหนักหลังการแช่น้ำ (g)	% การดูดน้ำกลับ
80,70,60	10,15,45	7.96	72.02	78.08
	15,10,45	7.57	70.72	76.61
	20,5,45	7.91	72.12	78.22
80,70,50	10,15,60	8.07	69.86	75.42
	15,10,55	7.82	70.48	76.25
	20,5,55	8.06	72.08	78.13
80,60,50	10,25,60	8.52	73.10	79.26
	15,15,55	8.34	71.32	77.12
	20,10,50	7.85	69.30	74.80
70,60,50	20,15,60	7.68	74.84	81.58
	25,10,50	8.10	72.52	78.66
	30,5,50	8.02	72.02	78.07
80,70	10,60	8.00	69.96	75.56
	15,50	8.77	73.76	80.01
	20,45	8.75	75.80	82.52
80,60	10,70	9.18	71.90	77.60
	15,60	7.70	60.72	64.42
	20,55	8.70	69.18	74.39
80,50	10,90	8.51	64.88	69.17
	15,70	8.20	61.34	64.96
	20,65	8.38	64.60	68.88
70,60	20,70	8.82	69.58	74.85
	25,55	8.92	73.26	79.35
	30,45	8.70	72.72	78.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (นาที)	น้ำหนักก่อนการแช่น้ำ (g)	น้ำหนักหลังการแช่น้ำ (g)	% การดูดน้ำกลับ
70,50	20,75	8.71	69.26	74.49
	25,60	8.77	78.62	85.99
	30,50	9.01	73.60	79.75
60,50	25,80	8.18	80.04	87.83
	30,60	7.91	77.10	84.29
	35,50	8.05	79.86	87.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอบพระคุณผู้มีส่วนช่วยเหลือและให้คำปรึกษาต่างๆ ในโครงงาน ดังต่อไปนี้

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาทิป รัตนภาสกร ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของโครงงาน ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ตลอดการทำโครงงานนี้
- ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ในการทำโครงงานนี้
- ช่างเทคนิคภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ในการทำโครงงานนี้
- คุณ จันทิมา ภูงามเงิน ที่ช่วยเหลือในเรื่องการพิมพ์
- คุณ วารีรัตน์ ทรงคำ ที่ช่วยเหลือในเรื่องการพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้