

การศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่
A Study on Rice Powder Processing using Double Drum Dryer



นางสาวดาริกา ลิมาพัฒน์พงศ์
นางสาววรินทร์ศิริ สาสะเดาะห์
นางสาวสิริวิกร ศิริโยชิพันธุ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

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

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

๒๕๔๕
๐๕๔๕
b.....
เลขทะเบียนคดี 49940
วันเดือนปี 2 เม.ย. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สงห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b1197259x

การศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่
A Study on Rice Powder Processing using Double Drum Dryer

โดย

นางสาวดาริกา สิมาพัฒน์พงศ์
นางสาววรินทร์ศิริ สาสะเดาะห์
นางสาวสิริวิกร ศิริโยธินันท์

อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา วิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


เรื่อง การศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่

A Study on Rice Powder Processing using Double Drum Dryer

ผู้จัดทำ

- | | | |
|----------------------|-----------------|-----------------------|
| 1. นางสาวดาริกา | สิมาพัฒน์พงศ์ | รหัสนักศึกษา 42010512 |
| 2. นางสาววรินทร์ศิริ | สาสะเดาะห์ | รหัสนักศึกษา 42010615 |
| 3. นางสาวสิริวิกร | ศิริ โยธิพันธุ์ | รหัสนักศึกษา 42010660 |




(ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่

นางสาวดาริกา ลิมาพัฒน์พงศ์ 42010512
 นางสาววรินทร์ศิริ สาสะเดาะห์ 42010615
 นางสาวสิริวิกร ศิริโยธิพันธุ์ 42010660
 ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

ในงานนี้ได้ศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่ โดยใช้ปลายข้าวกล้องมาหุงต้มเป็นเวลา 20, 30 และ 40 นาที ก่อนปั่น เพื่อป้อนเข้าเครื่องอบแห้งซึ่งมีอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง 105 °C, 115 °C และ 125 °C และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.5, 0.8 และ 1.2 rpm ผลิตรถยนต์ที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์ค่าความชื้น, ค่าความสามารถในการละลายน้ำ, ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ และค่าความหนาแน่นปรากฏ ผลการทดลองถูกนำไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับลักษณะผลิตภัณฑ์ข้าวผงที่ได้โดยวิธี Multiple Regression จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่ศึกษาซึ่งประกอบด้วยเวลาที่ใช้หุงต้ม, อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวผงที่ได้ ดังนั้นในการเลือกผลิตผลิตภัณฑ์ให้ได้ลักษณะข้าวผงตามที่ต้องการ ต้องพิจารณาตัวแปรทั้งสามประกอบกัน ส่วนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบสมการกำลังสองของโพลีโนเมียลที่นำมาใช้สามารถอธิบายผลดังกล่าว และค่าสหสัมพันธ์ทางสถิติที่ได้มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study on Rice Powder Processing using Double Drum Dryer

Darica Simapatanapong

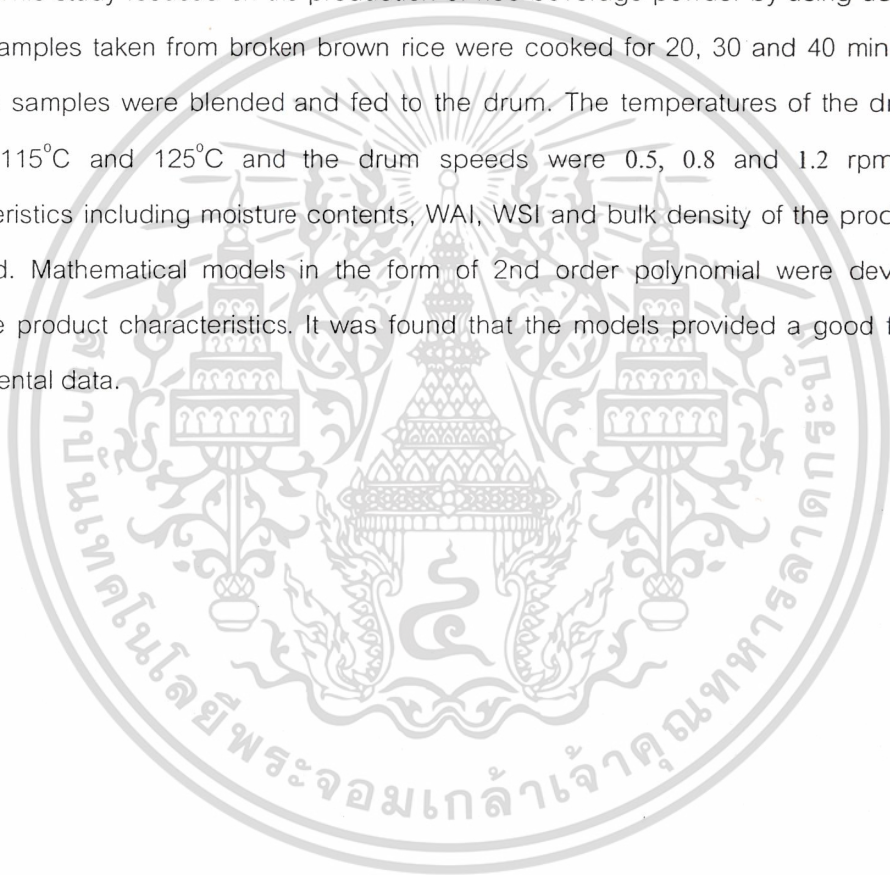
Warinsiri Sasador

Sirivikorn Siriyotiphan

Dr.Maradee Phongpipatpong Advisor

ABSTRACT

This study focused on the production of rice beverage powder by using double drum dryer. Samples taken from broken brown rice were cooked for 20, 30 and 40 minutes. After that, the samples were blended and fed to the drum. The temperatures of the drums were 105°C, 115°C and 125°C and the drum speeds were 0.5, 0.8 and 1.2 rpm. Product characteristics including moisture contents, WAI, WSI and bulk density of the products were analyzed. Mathematical models in the form of 2nd order polynomial were developed to describe product characteristics. It was found that the models provided a good fit with the experimental data.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยนี้สำเร็จด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ควบคุมการวิจัย และกราบขอบพระคุณอาจารย์ รศ.สาทิป รัตนภาสกร รวมทั้งคุณอำนาจ กุตะกู (พี่แมน) ที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ สถาบันค้นคว้าพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและคำแนะนำ ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ พี่และเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจจนปริญญาณิพนธ์เล่มนี้ลุล่วงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ญ
สัญลักษณ์	ฎ

บทที่ 1	บทนำ	
1.1	ความสำคัญและที่มา	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
บทที่ 2	การตรวจเอกสาร	
2.1	ความรู้ทั่วไป	
2.1.1	ข้าวกล้อง	3
2.1.2	การอบแห้ง	6
2.1.3	การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง	6
2.1.4	ความชื้นในอาหาร	10
2.2	ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3	อุปกรณ์และการทดลอง	
3.1	การเตรียมตัวอย่าง	18
3.2	ขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ	18
3.3	การเตรียม Drum dryer	19
3.4	การเก็บตัวอย่าง	19
3.5	การวางแผนการทดลอง	21
3.6	การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวผงที่ได้	24
3.6.1	การทดลองที่ 1 การวิเคราะห์หาความชื้น	24
3.6.2	การทดลองที่ 2 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) และความสามารถในการละลายน้ำ (WSI)	25
3.6.3	การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์หา Bulk density	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7	การวิเคราะห์ผลและการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย		
4.1	ข้อมูลจำเพาะในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง	29
4.2	ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะที่สภาวะต่างๆ ตาม Box Behnken Design	30
4.3	ผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับคุณลักษณะต่างๆ ของข้าวผง	31
4.3.1	ความชื้นของผลิตภัณฑ์	32
4.3.2	ความสามารถในการละลายน้ำ	35
4.3.3	ความสามารถในการดูดซับน้ำ	37
4.3.4	ความหนาแน่นปรากฏ	40
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ		
5.1	สรุปผลการทดลอง	43
5.2	ข้อเสนอแนะ	44
เอกสารอ้างอิง		46
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก	49
	ภาคผนวก ข	52
	ภาคผนวก ค	59
	ภาคผนวก ง	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	แสดงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง	5
ตารางที่ 3.1	แสดงความหมายที่ใช้ ในตาราง Box Behnken Design	21
ตารางที่ 3.2	Box Behnken Design	22
ตารางที่ 3.3	แสดงสภาวะการเตรียมตัวอย่าง	23
ตารางที่ 4.1	แสดงรายละเอียดของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งที่ใช้ในการทดลอง	29
ตารางที่ 4.2	ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง	30
ตารางที่ ก-1	แสดงปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว ในปี พ.ศ.2544-2545	50
ตารางที่ ก-2	ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ทำจากข้าว	51
ตารางที่ ข-1	ค่าสัมประสิทธิ์และผลทางสถิติของตัวแปรที่วิเคราะห์	52
ตารางที่ ข-2	ตารางเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆ ของข้าวผงเมื่อใส่สาร Stabilizer และไม่ใส่สาร Stabilizer	56
ตารางที่ ข-3	แสดงค่าการคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	58
ตารางที่ ค-1	แสดงอัตราส่วนประกอบของน้ำข้าวผงปรุงแต่ง	63
ตารางที่ ค-2	แสดงสภาวะของตัวอย่างแต่ละหมายเลข	63
ตารางที่ ค-3	แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำข้าวผงปรุงแต่ง	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการหมุนของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ และส่วน a	12
รูปที่ 2.2 แสดงการกระจายของอุณหภูมิในการอบแห้งแบบลูกกลิ้ง	13
รูปที่ 3.1 แสดง Flow chart แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง	20
รูปที่ 3.2 แสดงฟอยล์ที่ใช้ในการอบแห้ง และ Desicator	24
รูปที่ 3.3 แสดงภาพการทดลองที่ 2 และเครื่องชั่งที่ใช้	26
รูปที่ 3.4 แสดงภาพเครื่อง Centrifuge	26
รูปที่ 3.5 ภาพแสดงการติดตั้งกรวยก่อนทำการทดลองที่ 3	27
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ (% มาตรฐานเปียก) ที่ได้จากการทดลอง กับ ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ (%มาตรฐานเปียก) ที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	32
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้น (%มาตรฐานเปียก) ของน้ำข้าวผงที่ได้จากสมการ กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ Contour Plot	34
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ได้จากการทดลอง กับ ค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	35
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการละลายน้ำของข้าวผงที่ได้จากสมการ กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ Contour Plot	36
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าความสามารถในการดูดซับน้ำที่ได้จากการทดลอง กับ ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	37
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวผงที่ได้จากสมการ กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ Contour Plot	39
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นปรากฏที่ได้จากการทดลอง กับ ค่าความหนาแน่นปรากฏที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	40
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นปรากฏของข้าวผงที่ได้จากสมการ กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ Contour Plot	42
รูปที่ 5.1 Chamber ช่วยในการป้อนวัตถุดิบ	44
รูปที่ ก-1 แสดงแบบฟอร์มแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส Hedonic Scaling Test	64
รูปที่ ง-1 แสดงเครื่อง Double Drum Dryer ที่ใช้ในการผลิตข้าวผง	66
รูปที่ ง-2 แสดง Boiler แหล่งกำเนิดไอน้ำให้กับ Drum Dryer	67
รูปที่ ง-3 แสดงลักษณะปลายข้าวกล้องหักก่อนการแปรรูป	67
รูปที่ ง-4 แสดงการชวปลายข้าวกล้องหักก่อนการต้ม	67
รูปที่ ง-5 แสดงลักษณะปลายข้าวกล้องหักหลังการต้ม แล้วนำไปปั่น	68

รูปที่ ง-6 แสดงลักษณะการอบแห้งด้วย Drum Dryer	68
รูปที่ ง-7 แสดงการวัดอุณหภูมิขณะการอบแห้ง	68
รูปที่ ง-8 แสดงลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งด้วย Drum Dryer ที่มีลักษณะเป็น Flake	69
รูปที่ ง-9 แสดงลักษณะผลิตภัณฑ์หลังการปั่นแห้ง เพื่อจะได้ข้าวผง	69
รูปที่ ง-10 แสดงลักษณะการเก็บผลิตภัณฑ์ เพื่อนำไปวิเคราะห์	69
รูปที่ ง-11 แสดงลักษณะเครื่อง Centrifuge ที่ใช้ในการวิเคราะห์	70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

A	พื้นที่ผิวลูกกลิ้ง (m^2)
A_B	พื้นที่ผิวลูกกลิ้งที่อาหารเหลวสัมผัส (m^2)
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง (m)
E	อัตราการระเหยของน้ำต่อมวลสารที่ได้หลังการอบแห้ง หรืออัตราการระเหยจำเพาะ
GW	น้ำหนักของส่วนชื้นที่ได้จากการเหวี่ยงแยก
H_{fg}	ค่าความร้อนแฝงของการระเหยของอาหาร (KJ/kg)
L	ระยะทางที่อาหารสัมผัสลูกกลิ้ง (m)
MG	ค่าความชื้นของส่วนชื้นที่ได้จากการเหวี่ยง (%)
M_d	ความชื้นแห้ง (ทศนิยม)
M_w	ความชื้นเปียก (ทศนิยม)
N_w	อัตราการระเหยน้ำ ($kg/m^2.s$)
T	อุณหภูมิอาหารด้านที่สัมผัสกับอากาศ (K)
TS	น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (ไม่รวมค่าความชื้น)
T_A	อุณหภูมิอากาศ (K)
T_a	อุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}C$)
T_D	อุณหภูมิของผิวลูกกลิ้ง (ด้านนอก) ที่สัมผัสอาหาร (K)
T_F	อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งด้านที่สัมผัสกับไอน้ำ (K)
T_f	อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร ($^{\circ}C$)
T_H	อุณหภูมิไอน้ำ (K)
U	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม ($W/m^2.K$)
W	ความยาวลูกกลิ้ง (m)
WAI	ความสามารถในการดูดซับน้ำ
WSI	ความสามารถในการละลายน้ำ
W_d	น้ำหนักแห้งของอาหาร
W_w	น้ำหนักเปียกของอาหาร
X_1	เวลาที่ใช้ในการต้มข้าว (นาที)
X_2	ความเร็วรอบของ Drum Dryer (รอบ/นาที)
X_3	อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง (องศาเซลเซียส)
Y	ลักษณะที่ได้จากการทดลอง คือ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ % มาตรฐานเปียก, ความหนาแน่นรวม, ความสามารถในการละลายน้ำ และความสามารถในการดูดซับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a	ระยะทางที่ของเหลวเริ่มอยู่บนผิวลูกกลิ้งจนถึงที่ขูดออกต่อระยะทางทั้งหมดของลูกกลิ้งที่เคลื่อนที่ได้ 1 รอบ
ai, aii (i = 1, 2, 3)	สัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Regression coefficient)
dw/dt	อัตราการระเหยของน้ำ
h_c	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากอากาศไปยังอาหาร ($W/m^2.K$)
h_{fg}	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (KJ/kg)
h_H	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของไอน้ำไปยังผิวลูกกลิ้ง ($W/m^2.K$)
k_D	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของลูกกลิ้ง ($W/m.K$)
m	อัตราการระเหยน้ำโดยมวล (kg/h)
m_f	น้ำหนักน้ำข้าวก่อนทำการอบแห้ง (kg)
m_p	น้ำหนักของข้าวผง (kg)
t	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (sec.)
t_D	ความหนาของผนังลูกกลิ้ง (m)
t_d	ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (mm)
t_p	ความหนาของแผ่นฟิล์มอาหาร (m)
x	พื้นที่ที่อาหารสัมผัสลูกกลิ้ง
ΔT	ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งกับผลิตภัณฑ์ ($^{\circ}C$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ประเทศไทยได้ส่งออกข้าวปริมาณมาก แต่ในการส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวนั้นกลับมีเพียงเล็กน้อย ดังสถิติการส่งออก ในปี พ.ศ. 2545 ไทยส่งออกข้าวรวม 7,327,005 ตัน แต่ส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวเพียง 133,972 ตัน คิดเป็น 1.8% ของปริมาณส่งออกข้าวเป็นหลักและนารายได้เข้าประเทศ 3,233 ล้านบาท [22] หรือเป็น 4.6 % ของมูลค่าข้าวส่งออก (ส่งออกข้าวรวมมีมูลค่า 70,005 ล้านบาท) ผลิตภัณฑ์ข้าวส่งออกได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวอื่น ๆ และผลิตภัณฑ์เส้น เช่น เส้นหมี่และก๋วยเตี๋ยว แม้ว่าปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์ที่จะมีเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการส่งออกข้าว แต่เมื่อกำหนดเป็นราคาต่อตันพบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวมีราคาสูงกว่าข้าวอย่างเด่นชัด โดยมีราคา 24,133 บาท/ตัน ในขณะที่ราคาข้าวมีราคาเพียง 9,554 บาท/ตัน [22] แม้ในกลุ่มข้าวคุณภาพดีก็ยังคงมีราคาต่ำกว่าราคาผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหากส่งเสริมให้มีการแปรรูปข้าวเป็นผลิตภัณฑ์มากขึ้น ย่อมเป็นการเพิ่มมูลค่าข้าวให้สูงขึ้น และหากผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้รับการส่งเสริมเพื่อการส่งออก ย่อมจะช่วยในการนำเงินตราต่างประเทศ ด้วยเหตุนี้การพัฒนาการเกษตรของประเทศควรมีทิศทางในการสนับสนุนการพัฒนาเกษตรอุตสาหกรรมแปรรูปสินค้าเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวในรูปแบบต่างๆ อาทิเช่น การทำข้าวหนึ่ง แป้งข้าว ผลิตภัณฑ์เส้นและแผ่น แป้งบริสุทธิ์ อาหารประเภทพองกรอบ ข้าวกึ่งสำเร็จรูป รวมทั้งเครื่องดื่มสำเร็จรูปจากข้าว แต่พบว่าการศึกษาการแปรรูปน้ำข้าวพองนั้น ยังมีการศึกษากันน้อยมาก

การอบแห้งวัสดุอาหารเป็นการถนอมรักษาอาหาร และเป็นกรรมวิธีการแปรรูปอาหารวิธีหนึ่ง อาหารที่แห้งแล้วจะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน โดยไม่เสื่อมเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้น้อย รวมทั้งเป็นการลดปริมาณและน้ำหนักลง ทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาและการขนส่ง นอกจากนี้ การอบแห้งยังเป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารจากรูปแบบหนึ่งให้เป็นอีกรูปแบบหนึ่ง ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปได้แล้วสามารถนำไปใช้ประโยชน์ร่วมกับผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่นได้อีก อาจเป็นในรูปของส่วนผสม สำหรับเครื่องมือที่ใช้อบแห้งมีหลายชนิดแตกต่างกัน ไปขึ้นกับคุณลักษณะของอาหารเริ่มต้นและลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ต้องการ ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน (Rotary drum dryer) เหมาะสำหรับทำแห้งอาหารเหลวหรือชิ้นหนืด เมื่อทำแห้งแล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางกรอบ หรือเป็นผง และเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนยังมีจุดเด่นในด้านการใช้เงินลงทุนซึ่งต่ำกว่าเครื่องมือประเภทอื่น [21] ซึ่งทำให้มีโอกาสเป็นไปได้สูงในการลงทุนสำหรับเครื่องมืออบแห้งชนิดนี้

โดยทั่วไปการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งนั้น มีปัจจัยที่ต้องควบคุมในการผลิต คือ อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง, ความเร็วรอบ, เวลา Cooking time, ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง, อุณหภูมิเริ่มต้นของของเหลวก่อนป้อนเข้าเครื่องอบแห้ง, ปริมาณของแข็งในของเหลว, อัตราส่วนความชื้นในของเหลว, อุณหภูมิบรรยากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์, ความหนืดของสารอาหาร และแรงตึงผิว เป็นต้น [27]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการที่ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้เป็นจำนวนมาก การศึกษาเพื่อการแปรรูปข้าวจึงเป็นสิ่ง ที่ควรให้ความสำคัญ ในงานนี้จึงให้ความสนใจศึกษาการผลิตข้าวผง เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเช้า หรือเครื่องดื่มผงจากข้าว โดยใช้หลักการอบแห้งด้วยการใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง หมุนคู่ เพื่อใช้แปรรูปข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูป นับเป็นการเพิ่มมูลค่าของข้าวอีกรูปแบบหนึ่ง

การศึกษาและการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับ ลักษณะผลิตภัณฑ์ข้าวผงที่ได้ จะทำให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำแห้ง ช่วย ให้เข้าใจกระบวนการได้ดียิ่งขึ้นและสามารถทำนายผลการดำเนินงานเพื่อเป็นแนวในกระบวนการผลิตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่
2. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการผลิตข้าวผง
3. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับลักษณะผลิตภัณฑ์ ข้าวผงที่ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ความรู้ทั่วไป

2.1.1 ข้าวกล้อง [28]

การสีข้าวในสมัยก่อน ไม่มีเครื่องจักรช่วยในการสีข้าว ต้องใช้แรงงานคนเพื่อแยกเอาแกลบหรือเปลือกออก ข้าวที่ได้เป็นที่รู้จักกันว่า “ข้าวซ้อมมือ” ปัจจุบันความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพัฒนาก้าวหน้ามาก มีการใช้เครื่องสีข้าวและเครื่องขัดขาวข้าว ที่ได้จะเป็น “ข้าวขาว” ข้าวที่ได้มีคุณค่าทางอาหารต่ำลง เนื่องจากสารอาหารที่เป็นประโยชน์ถูกขัดออกไป แต่อย่างไรก็ตามผู้บริโภคให้ความสำคัญต่อคุณค่าอาหาร เพราะฉะนั้นการใช้เครื่องจักรสีข้าวมาสีเอาแกลบออกแต่เพียงอย่างเดียว โดยไม่ขัดเอารำออก ที่เรียกว่า “ข้าวกล้อง” ย่อมมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าข้าวขาวที่ขัดเอารำออก

เมล็ดข้าวเปลือก ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่ห่อหุ้ม เรียกว่า แกลบ
2. ส่วนที่รับประทานได้ เรียกว่า ข้าวกล้อง

ข้าวกล้อง ประกอบด้วย

เยื่อหุ้มผล	1-2 %
เยื่อหุ้มเมล็ดและเยื่อหุ้มอลูโรน	4-6 %
คัพภะ	2-3 %
ส่วนที่เป็นข้าวสาร(ข้าวขาว)	89-94 %

ก. เยื่อหุ้มผล ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นด้วยกัน คือ ชั้นใน ชั้นกลาง และชั้นนอก เยื่อหุ้มผลมีลักษณะเป็นเส้นใย ผ่องเซลประกอบด้วย โปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

ข. เยื่อหุ้มเมล็ด อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้าไป ประกอบด้วย เนื้อเยื่อ 2 ชั้นเรียงกันเป็นแถว เป็นที่อยู่ของสารประเภทไขมัน

ค. เยื่ออลูโรน อยู่ต่อจากเยื่อหุ้มเมล็ดห่อหุ้มส่วนที่เป็นแป้ง(ข้าวสาร) และคัพภะ เยื่ออลูโรนมีโปรตีนสูง นอกจากนี้ยังประกอบด้วย น้ำมัน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

ง. ส่วนที่เป็นแป้ง หรือส่วนที่เป็นข้าวสาร อยู่ชั้นในสุดของเมล็ด ประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่และมีโปรตีนอยู่บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. **คัพภะ** อยู่ติดกับส่วนที่เป็นแป้งทางด้านเปลือกใหญ่ เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นต่อไป คัพภะประกอบด้วย ต้นอ่อน รากอ่อน เยื่อหุ้มต้นอ่อน เยื่อหุ้มรากอ่อน ท่อน้ำ ท่ออาหาร และใบเลี้ยง คัพภะเป็นส่วนที่มีโปรตีนและไขมันสูง

ดังนั้น สิ่งที่สุดูหายไประหว่างการขัดสีข้าวกล้องเป็นข้าวขาว คือ รำข้าว ซึ่งประกอบด้วยเยื่อหุ้ม เมล็ดและจมูกข้าว เป็นส่วนที่มีคุณค่าทางอาหาร

สีของข้าวกล้อง

ในเมล็ดข้าว สีของข้าวกล้อง จะแสดงออกที่เยื่อหุ้มผล ส่วนที่เป็นแป้งของข้าวแทบทุกชนิดมีสีขาวเสมอ ถึงแม้ข้าวกล้องจะเป็นสีอื่นๆก็ตาม ข้าวกล้องมีสีต่างๆกัน ตั้งแต่ ขาว แดง น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา และม่วงถึงเกือบดำ ข้าวกล้องที่มีสีแดง และม่วงมีสารพวกเม็ดสีแอนโทไซยานิน (anthocyanin) อยู่

การสีข้าว ประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 4 ขั้นตอน ตามลำดับ

1. การทำความสะอาด เพื่อกำจัดใบข้าว เมล็ดลีบ กรวด หิน ดิน ทราย เมล็ด วัชพืช และสิ่งสกปรกอื่นๆออกจากข้าวเปลือก
2. การกะเทาะ เพื่อให้เปลือกข้าวหลุดออกจากเมล็ด สิ่งที่ได้รับในขั้นนี้ คือ แกลบ และข้าวกล้อง
3. การขัดขาว เพื่อให้รำหลุดออกจากเมล็ดข้าวกล้อง สิ่งที่ได้รับในขั้นนี้ คือ รำ และข้าวสาร
4. การคัดแยก เพื่อแยกข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหักขนาดต่างๆออกจากกัน

สิ่งที่ได้จากการสีข้าว ได้แก่

1. **แกลบ** เป็นส่วนผสมของเปลือกเมล็ด หาง กลีบเลี้ยง และข้าวเมล็ด มีอยู่ประมาณ 20-24 % ของข้าวเปลือก แกลบเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว
2. **รำ** เป็นส่วนผสมของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด เยื่อลูโรน คัพภะ และฝัวนอกๆของข้าวสารมีอยู่ประมาณ 8-10% ของข้าวเปลือก รำมีคุณค่าทางอาหารสูง มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์อยู่มาก เช่น มีโปรตีน 10.6-13.4% ไขมัน 10.1-22.4% สิ่งสกัดได้ที่ปราศจากไนโตรเจน 38.7-44.3% และไวดามีนบี 0.544% รำส่วนใหญ่ใช้เลี้ยงสัตว์ บางส่วนนำไปสกัดน้ำมัน ทำอาหารเด็กอ่อน และอื่นๆ
3. **ข้าวสาร** มีประมาณ 68-70% ของข้าวเปลือก (ประกอบด้วยแป้งประมาณ 90% มีโปรตีนบ้างเล็กน้อย) เป็นส่วนที่มนุษย์นำไปทำอาหารรับประทาน อาจจะหุงทั้งเมล็ดหรือบดเป็นแป้งแล้วแปรรูปเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน หรืออาหารคาวหวานอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวสารทั้งหมดที่ได้จากการขัดขาวจะถูกลำไปคัดแยกเป็นข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าว และข้าวหัก ซึ่งจะได้แค่ส่วนเล็กน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ คุณภาพของข้าวเปลือกก่อนสี ถ้าข้าวเปลือกมีคุณภาพการสีดี ก็จะทำให้ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าวสูง ข้าวหักน้อย

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง

คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง ประกอบด้วย

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ความชื้น	11.3 %
พลังงาน	359 กิโลแคลอรี/100 กรัม
โปรตีน	7.3 %
ไขมัน	2.5 %
คาร์โบไฮเดรต (แป้งและน้ำตาล)	76.9 %
เส้นใย	1.0 %
เถ้า	1.0 %
วิตามินบี 1 (ไทอามีน)	0.41 มิลลิกรัม/100 กรัม
วิตามินบี 2 (ไรโบฟลาวิน)	0.11 มิลลิกรัม/100 กรัม
แคลเซียม	4.0 มิลลิกรัม/100 กรัม
ฟอสฟอรัส	107.0 มิลลิกรัม/100 กรัม

ประโยชน์ของข้าวกล้อง

วิตามิน บี 1 ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา

วิตามิน บี 2 ป้องกันโรคปากนกกระชอก (stomatitis)

วิตามินบีรวม ป้องกันและบรรเทาอาการอ่อนเพลีย ขาไม่มีแรง อาการปวดแสบ ปวดกล้ามเนื้อ ลึ้นแตกหรือมีแผล โรคผิวหนังบางชนิด และยังบำรุงสมอง ทำให้เจริญอาหาร

ไนอะซิน ช่วยรักษาระบบผิวหนังและระบบประสาท ป้องกันโรคเพ็ลเลกรา(pellagra) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดอาการท้องเสีย

ฟอสฟอรัส ช่วยในการเจริญเติบโตของกระดูกและฟัน

แคลเซียม ทำให้กระดูกแข็งแรง ป้องกันไม่ให้เป็นตะคริว

ทองแดง สร้างเม็ดโลหิตและเฮโมโกลบิน

ธาตุเหล็ก ป้องกันโรคโลหิตจาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีน	เสริมสร้างส่วนที่สึกหรอ
ไขมัน	ให้พลังงานแก่ร่างกาย (ไขมันในเมล็ดข้าวไม่มีโคเลสเตอรอล)
คาร์โบไฮเดรต	ให้พลังงานแก่ร่างกาย มีน้อยกว่าข้าวขาว ช่วยลดความอ้วน
กาก	ข้าวกล้องมีกากอาหารมากซึ่งจะทำให้ท้องไม่ผูกและช่วยป้องกันมะเร็งในลำไส้

2.1.2 การอบแห้ง [23]

การอบแห้ง คือกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่ความชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกด้วยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย

ประโยชน์ของการอบแห้ง

1. เพื่อถนอมรักษาอาหาร อาหารที่แห้งแล้วสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน โดยไม่เสียเนื่องจากความชื้นต่ำกว่า 10 % การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะช้ามาก
2. เพื่อลดปริมาตรของน้ำหนัก อาหารที่แห้งแล้วจะมีปริมาตรและน้ำหนักลดลง ทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาและขนส่ง
3. เพื่อช่วยให้ขบวนการผลิตดีขึ้น

หลักการทำแห้ง

การทำแห้ง (Dehydration) หมายถึงขบวนการที่แยกเอาน้ำออกจากอาหารอย่างช้าๆ จนเกือบหมดภายใต้สภาวะที่ควบคุม โดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนให้อาหารได้รับความร้อนเท่ากับความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat of Vaporization) ทำให้มีการเคลื่อนที่ของน้ำหรือไอน้ำจากภายในเนื้ออาหารออกมาที่ผิว แล้วระเหยออกไปจากผิวน้ำอาหาร ความร้อนที่ส่งเข้ายังชิ้นอาหารอาจจะส่งไปในรูปการนำความร้อน การพาความร้อน หรือการแผ่รังสีก็ได้

2.1.3 การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง [5]

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Double dryer) เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้อาหารแห้ง โดยให้อาหารเหลวสัมผัสกับผิวที่ร้อนของลูกกลิ้ง 2 อัน ที่หมุนสวนทางกัน อาหารจะถูกรีดเป็นแผ่นบางๆ และแห้งในระยะเวลาสั้น ประมาณ 2-30 นาที มีใบมีดขูดอาหารแห้งออกมาเป็นแผ่นกรอบ (Flake) ที่มีความหนาบางแล้วแต่การผลิต ซึ่งอาจนำไปบริโภคเป็นอาหารพวงก็ได้ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จากเครื่องมือนี้ ได้แก่ นมผง ชุปผง ผักและผลไม้ผง อาหารเด็ก หรืออาจเป็นรูปอาหารแผ่นกรอบ เพื่อใช้เป็นอาหารว่าง เช่น ผักและผลไม้แผ่นกรอบ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งชนิดเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

การแบ่งชนิดเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง แบ่งโดยใช้จำนวนลูกกลิ้ง ทิศทางการหมุนของลูกกลิ้ง และลักษณะการป้อนสารให้เครื่องมือเป็นหลัก สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว (Single drum dryer)

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว ประกอบด้วยลูกกลิ้งที่ได้รับความร้อนหนึ่งชุด ส่วนใหญ่เป็นแบบที่ทำงานที่ความดันบรรยากาศ โดยการป้อนสารที่ต้องการอบแห้งได้หลายแบบ คือ การป้อนสารแบบจุ่ม (Dip feed) การป้อนสารแบบพู่ย (Splash feed) ข้อเสียเปรียบของทั้งสองวิธีนี้ คือ แผ่นฟิล์มที่ติดบนผิวลูกกลิ้งมีความหนาไม่สม่ำเสมอ และอาจไหม้ได้ จึงมีวิธีการปรับปรุงใช้วิธีการป้อนสารแบบปายคิต (Transfer roll) โดยการเพิ่มลูกกลิ้งอีกหนึ่งหรือสองชุด เพื่อช่วยป้อนของเหลวจากถังบรรจุทำให้แผ่นฟิล์มมีความสม่ำเสมอ หรืออาจใช้การพ่นของเหลว (Spray) ลงบนผิวของลูกกลิ้งโดยตรง

2. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ (Double drum dryer)

ส่วนใหญ่มักเป็นการทำงานที่ความดันบรรยากาศ ประกอบด้วยลูกกลิ้งที่ได้รับความร้อน 2 ชุด หมุนเข้าหากัน ป้อนของเหลวตรงช่องระหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง ซึ่งสามารถปรับให้ชิดห่างกันได้ ข้อเสียของการป้อนระบบนี้ คือ ทำให้ของเหลวมีอุณหภูมิเริ่มต้นสูง และอาจมีผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการพ่นของเหลวลงบนผิวของลูกกลิ้งโดยตรง หรือในกรณีที่ของเหลวมีความหนืดไม่สูงมากนัก อาจป้อนผ่านท่อที่เจาะรูไว้ตรงตำแหน่งเหนือระหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งที่ความดันบรรยากาศนี้ไม่เหมาะกับของเหลวที่มีปริมาณน้ำ หรือตัวทำละลายมากเกินไป แต่ใช้ได้ดีกับของเหลวที่มีความหนืดสูง ในผลิตภัณฑ์บางชนิดที่ไวต่อความร้อนหรือต้องการผลิตภัณฑ์แห้งที่มีคุณภาพดีขึ้นจะต้องทำให้แห้งภายใต้สุญญากาศ (Vacuum drum dryer) เพื่อลดจุดเดือดของน้ำในอาหารลง

3. เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งแฝด (Twin drum dryer)

มีลักษณะการใช้งานคล้ายเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ แต่ลูกกลิ้งทั้งสองหมุนออกจากกัน การออกแบบใช้แก้ปัญหาคายกของระบบ ช่องห่างระหว่างลูกกลิ้งจะไม่มีผลต่อความหนาของแผ่นฟิล์ม แต่ก็สามารถจะปรับได้ โดยใช้แบบจุ่ม คือ ให้ลูกกลิ้งจุ่มลงในถังของเหลว แต่ถ้าของเหลวมีคุณสมบัติที่ไม่เกาะติดกับลูกกลิ้ง แก้ไขโดยวิธี top feed

ระบบการป้อนสารอาหารเหลวที่ต้องการอบแห้ง แบ่งได้ดังนี้

1. การป้อนสารแบบจุ่ม (Dip feed)

เป็นแบบที่ง่ายที่สุดใช้กับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว และบางครั้งใช้กับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งแฝด ระบบนี้ประกอบด้วยถาดที่มีของเหลวที่ต้องการทำให้แห้ง ขณะที่ลูกกลิ้งจุ่มลงในสารละลายที่จะเกิดแผ่นฟิล์มของสาร ผิวลูกกลิ้ง ระดับของเหลวในถาด โดยทั่วไปการป้อนสารแบบจุ่มใช้กับสารละลายซึ่งมีความเข้มข้นสูง และเกาะติดกับผิวลูกกลิ้งที่ร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้มากที่สุดกับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งแผด เมื่อสารที่ทำแห้งเป็นสารละลายขุ่น (Slurry) ระบบนี้ประกอบด้วย Revolving splash roll 2 ตัว ซึ่งมีความยาวเท่ากับความยาวของลูกกลิ้ง จะถูกย่ำด้วยหมุดซึ่งจุ่มลงไปในถาดป้อนสาร และพวยสารละลายของเหลวขุ่นให้มาคนกับด้านล่างของลูกกลิ้ง บางส่วนของของเหลวจะตกกลับลงในถาดป้อนสาร ระดับของสารในถาดป้อนสารอาจทำให้คงที่ด้วยระบบ Over flow โดยการเปลี่ยนความเร็วรอบการหมุนของ Splash roll แลกเปลี่ยนความลึกของหมุดที่จุ่มลงในสารละลาย จะสามารถควบคุมความหนาของสารที่จะอบแห้งบนผิวของลูกกลิ้งทั้งถาดป้อนสารและ Splash roll อาจทำได้ด้วย Stainless steel หรือวัสดุอื่นที่เหมาะสม

3. การป้อนสารแบบปล่อย หรือพ่นสารลงในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง (Nip feed) แบ่งได้ดังนี้

Perforated manifold pipe feed

ใช้กับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เมื่อสารที่จะทำแห้งมีความหนืดปานกลางของแข็งอยู่สภาพสารละลายเครื่องมือการป้อนสารแบบนี้ประกอบด้วย Perforated pipe ติดตั้งขนานอยู่กับลูกกลิ้ง เพื่อให้สารละลายกระจายอย่างสม่ำเสมอลงบนผิวลูกกลิ้งตลอดความยาวของลูกกลิ้ง

Pendulum feed

ใช้กับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ เมื่อสารที่ต้องการทำแห้งมีความหนืดมาก จนไม่สามารถใช้ feed ด้วย Perforated manifold pipe เครื่องมือนี้ประกอบด้วย feed pipe ติดตั้งในแนวตั้งฉากกับตัวลูกกลิ้ง เมื่อทำให้เคลื่อนที่ โดย gear motor pipe จะแกว่งตามความยาวของลูกกลิ้ง และป้อนสารอย่างสม่ำเสมอในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง

4. การป้อนสารแบบป้ายติด (Transfer roll)

ส่วนมากใช้กับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว การป้อนสารแบบป้ายติดจะประกอบด้วยลูกกลิ้งขนาดเล็กจุ่มอยู่ในถาดของเหลวบางส่วน และติดตั้งให้ลูกกลิ้งนี้สัมผัสกับลูกกลิ้งที่ร้อน ในขณะที่ลูกกลิ้งขนาดเล็กหมุนจะนำของเหลวไปสัมผัสติดกับลูกกลิ้งที่ร้อน ตลอดแนวความยาวของลูกกลิ้ง

ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งโดยทั่วไป [27]

1. โครงสร้างของลูกกลิ้ง ตัวลูกกลิ้งสามารถสร้างด้วยเหล็กหล่อเหล็กเหนียว (Stainless steel) หรือวัสดุอื่นซึ่งมีคุณลักษณะที่เหมาะสมกับสารที่ต้องการทำแห้งลูกกลิ้งที่สร้างด้วยเหล็กหล่อมาตรฐานจะสามารถทนความดันได้ถึง 100 psig และอาจจะหนาไม่สม่ำเสมอต้องกลึงผิวให้หนาสม่ำเสมอกัน โดยปกติจะหนาประมาณ 32 ไมโครนิ้วหรือมากกว่าลูกกลิ้งจะมีระบบกัลก้นน้ำอยู่ภายใน เพื่อป้องกันการสะสมของสารควบแน่น

2. ชุดปรับระยะลูกกลิ้ง การปรับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งจะใช้สกรูเป็นตัวปรับดันให้ลูกกลิ้งตัวหนึ่งเคลื่อนเข้าไปหาลูกกลิ้งอีกตัวหนึ่งที่ตั้งอยู่กับที่ การปรับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งจะช่วยให้สามารถควบคุมความหนาของสารที่จะอบแห้ง สกรูที่ใช้ปรับจะติดอยู่กับเบร็จที่รองรับเพลลาของลูกกลิ้ง ดังนั้น เมื่อปรับสกรูให้เคลื่อนที่เบร็จก็จะเคลื่อนที่ด้วยเป็นผลให้ลูกกลิ้งเคลื่อนที่ นอกจากนี้วิธีการปรับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งยังสามารถใช้สปริงในการดันลูกกลิ้งเข้าหากัน แต่วิธีนี้จะปรับช่องว่างได้ในช่วงที่ไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

3. ตัวกักขังสารละลาย (End boards) หน้าที่ของ End boards จะช่วยกักขังสารละลายที่ต้องการอบแห้งให้อยู่ในขอบเขตของลูกกลิ้ง มิให้ไหลออกนอกพื้นผิวของลูกกลิ้ง End board จะตั้งอยู่ที่ปลายทั้งสองข้างของลูกกลิ้ง จะใช้ End board กับเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่แบบ nip feed เท่านั้น โดยปกติ End board ทำด้วย Rein forced phenolic resin ซึ่งสามารถลดอัตราการดูดซึมและป้องกันการเน่าบูดของสารที่จะอบแห้งได้ End board จะต้องอยู่บนลูกกลิ้งได้ โดยอาศัยแรงดันจากสกรูหรือสปริงที่ติดตั้งอยู่บนโครงของเครื่องอบแห้ง

4. ใบมีด (Knife) เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งมักจะมีใบมีดขนาดประมาณ 2.4 มิลลิเมตร ทำด้วย high grade tool steel ที่ผ่านการชุบแข็ง (Tempered) มาแล้ว เพื่อให้มีอายุการใช้งานนาน ใบมีดอาจทำด้วย stainless steel, phosphor bronze, monel laminated fiber หรือพลาสติกตามแต่ละคุณลักษณะของสารที่อบแห้ง ในกรณีที่ลูกกลิ้งมีขนาดยาวมากกว่า 10 ฟุต จะใช้ใบมีดแบบแยกส่วน ใบมีดอาจติดตั้งให้อยู่กับที่หรือติดตั้งให้ปรับเปลี่ยนมุมการขูดสารที่จะอบแห้งให้ได้สารที่มีขนาดสม่ำเสมอ

5. ชุดปรับใบมีด (Knife adjustment) ส่วนนี้จะใช้ Pressure thumb screw ขนาดประมาณ 2 นิ้ว เป็นตัวที่ทำให้ใบมีดสัมผัสกับผิวของลูกกลิ้งอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของลูกกลิ้ง โดยมีความตึงเพียงพอที่จะทำความสะอาดได้ทั่วทั้งผิวลูกกลิ้ง และสามารถปรับใบมีดขึ้นเพื่อลับคม หรือเปลี่ยนได้

6. อุปกรณ์เก็บไอที่มาจากการอบแห้ง (Vapor hoods) ทำด้วย stainless steel, plastics หรือ galvanized vapor hood ใช้สำหรับเก็บและเคลื่อนย้ายไอที่มาจากการอบแห้ง เมื่อใช้กับไอของสารละลาย ควรจะมีการให้ความร้อนกับ hood ด้วย steam tracing เพื่อป้องกันการเกิดสารควบแน่นใน hood จะมีฉนวนป้องกันสารอื่นใน vapor stack มิให้หยดบนเครื่องอบแห้ง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดผลเสียได้

ตัวแปรที่มีผลต่อการทำให้แห้งของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่นี้มีดังนี้

1. ปริมาณความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อน

ถ้าลูกกลิ้งได้รับความร้อนในปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ใหม่ ในทางตรงข้าม ถ้าได้รับปริมาณความร้อนน้อย ผลิตภัณฑ์ก็จะไม่แห้ง

2. ความเร็วของลูกกลิ้ง (Drum speed)

เป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการทำให้แห้ง (Drying time) โดยกำหนดเป็นเวลาที่ใช้ในการหมุนครบหนึ่งรอบหรือจำนวนรอบต่อนาที (rpm) ในการทำให้แห้งถ้าเพิ่มความเร็วมากขึ้นระยะเวลาที่ของเหลวได้รับความร้อนน้อยลง ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะมากขึ้น แต่ถ้าลดความเร็วลงของเหลวได้รับความร้อนเป็นเวลานานอาจไหม้ได้

3. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (Drum clearance)

ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเป็นตัวกำหนดความหนาของแผ่นฟิล์ม เพราะถ้าแผ่นฟิล์มหนาเกินไปการระเหยของไอน้ำจากภายในชิ้นอาหารไปยังผิวทำได้ยาก ถ้าบางเกินไปย่อมเกิดความสูญเสียความร้อน

เอกสารเกี่ยวกับไอน้ำที่ระเหยออกไปมากเกินไป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุณหภูมิเริ่มต้นของของเหลวก่อนป้อนเข้าเครื่อง (Feed temperature)

มีผลต่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งกับอุณหภูมิของของเหลวที่จะทำให้แห้ง ถ้าของเหลวมีอุณหภูมิเริ่มต้นสูง อัตราการระเหยน้ำจะเกิดขึ้นเร็ว ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์แห้งต่ำ แต่ถ้ามีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำเกินไป อัตราการระเหยน้ำจะกลับช้าลง เพราะต้องใช้ความร้อนส่วนหนึ่งไปทำให้ของเหลวมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นในผลิตภัณฑ์แห้งจึงสูง

5. ปริมาณของแข็งในของเหลว (Solid content)

เป็นตัวแสดงความเข้มข้นของของเหลว พบว่า เมื่อใช้ความเร็วของลูกกลิ้งเท่ากันของเหลวที่มีปริมาณแข็งสูงจะมีอัตราการผลิต (Product rate) สูงด้วย แต่ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีความชื้นสูงกว่าพวกที่มีปริมาณของแข็งน้อย

6. อัตราส่วนความชื้นในของเหลว

มีผลต่อแรงดูดต่อลูกกลิ้ง ของเหลวควรมีความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 78-80 เป็นช่วงที่ดีที่สุด ถ้าของเหลวมีความชื้นเป็นร้อยละ 45 หรือต่ำกว่านี้ จะเกิดความเสียหายแก่เซลล์ของผลิตภัณฑ์

2.1.4 ความชื้นในอาหาร [16]

ความชื้นในอาหารเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพและความปลอดภัยในการเก็บรักษา

การกำหนดค่าความชื้น

การกำหนดค่าความชื้นในอาหาร สามารถแสดงได้ 2 วิธี คือ ความชื้นฐานเปียก และความชื้นฐานแห้ง

1. ความชื้นฐานเปียก (Wet basis) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักน้ำที่อยู่ในอาหารกับน้ำหนักทั้งหมดของอาหาร โดยทั่วไปค่าความชื้นนี้มักแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์

สมการสำหรับความชื้นฐานเปียก คือ

$$M_w = \frac{W_w}{W_w + W_d}$$

2. ความชื้นฐานแห้ง (Dry basis) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักน้ำที่อยู่ในอาหารกับน้ำหนักแห้งของอาหาร ค่าน้ำหนักแห้งของอาหารจะมีค่าคงที่เสมอ

สมการสำหรับความชื้นฐานแห้ง คือ

$$M_d = \frac{W_w}{W_d}$$

ในการเปลี่ยนค่าความชื้นเปียกเป็นแห้งสามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$1 - M_w = 1 - \frac{W_w}{W_w + W_d}$$

จัดรูปสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_d = \frac{M_w}{1 - M_w}$$

ในการเปลี่ยนค่าความชื้นแห้งเป็นเปียกสามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$1 + M_d = 1 + \frac{W_w}{W_d}$$

จัดรูปสมการ

$$M_w = \frac{M_d}{1 + M_d}$$

ค่าความชื้นในอาหารอาจบอกเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ฐานเปียกหรือฐานแห้ง สามารถกระทำได้โดยนำ M_w หรือ M_d คูณด้วย 100

M_d ความชื้นแห้ง (ทศนิยม)

M_w ความชื้นเปียก (ทศนิยม)

W_d น้ำหนักแห้งของอาหาร

W_w น้ำหนักเปียกของอาหาร

วิธีหาความชื้นในอาหาร [23]

การหาความชื้นในอาหารแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีตรงและวิธีอ้อม

1. วิธีตรง เช่น

1.1 การใช้ตู้อบแห้ง โดยการนำอาหารมาบดให้ละเอียดแล้วนำเข้าตู้อบเพื่อให้ความชื้นลดลง และสามารถหาความชื้นในตัวอย่างอาหารได้จากการคำนวณน้ำหนักที่หายไป

ข้อแนะนำสำหรับอาหารบางอย่าง โดยการนำอาหารนั้นมาบดให้ละเอียด และดำเนินการตามวิธี

ต่อไปนี้

ผลไม้แห้ง : 70 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ในตู้อบสุญญากาศ

นมผง : 100 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ในตู้อบสุญญากาศ

1.2 การกลั่น ตัวอย่างอาหารจะถูกใส่ไว้ในน้ำมันและถูกทำให้ร้อน น้ำที่ระเหยออกจะถูกทำให้เย็นลงและกลั่นตัว น้ำส่วนนี้คือปริมาณน้ำที่อยู่ในอาหาร

2. วิธีอ้อม เช่น

การหาความชื้นของอาหารอาจกระทำได้โดยการที่วัสดุคุณสมบัติของอาหารบางอย่างซึ่งสัมพันธ์อยู่กับความชื้น เช่น ความต้านทานไฟฟ้าหรือคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริก (Dielectric) ซึ่งการหาความชื้นด้วยวิธีนี้อาจจะไม่ถูกต้องนัก ถ้าปริมาณของสารที่ได้รับการอบแห้งเมื่อเทียบกับ 1 หน่วยมวลของสารที่ไม่มีน้ำจะเท่ากับ $1 + M_d$

ดังนั้น อัตราการระเหยของน้ำต่อมวลสารที่ได้หลังการอบแห้ง หรืออัตราการระเหยจำเพาะ จะได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

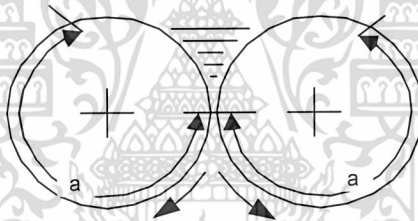
$$E = \frac{M_w - M_d}{1 + M_d}$$

การถ่ายเทความร้อนและมวล [4]

ในกระบวนการอบแห้งสิ่งสำคัญ คือ การไล่ความชื้นออกโดยวิธีการระเหย ซึ่งอาศัยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเป็นเครื่องมืออบแห้งที่อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนจากผิวลูกกลิ้งไปยังอาหารเหลว ซึ่งเกาะติดที่หัวของลูกกลิ้ง โดยไอน้ำ หรือไฟฟ้าเป็นตัวให้ความร้อน

ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง จะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อน คือ ไอน้ำ ไปยังผิวลูกกลิ้งด้านที่สัมผัสไอน้ำ แล้วจะเกิดการนำความร้อนผ่านผนังลูกกลิ้ง และการถ่ายเทไปให้กับอาหารเหลวที่เกาะติดอยู่บนผิวลูกกลิ้ง ความชื้นในอาหารเหลวที่มีอยู่จะระเหยไป และมีการพาความร้อนระหว่างผิวอากาศโดยรอบ

และเมื่อพิจารณาการเกาะติดของอาหารบนลูกกลิ้งประมาณ 2 ใน 3 ของพื้นที่ผิวลูกกลิ้ง ดังรูปโดย a คือ ระยะทางที่ของเหลวเริ่มอยู่บนผิวลูกกลิ้ง จนถึงที่ขูดออก ต่อระยะทางทั้งหมดของลูกกลิ้งที่เคลื่อนที่ได้ 1 รอบ

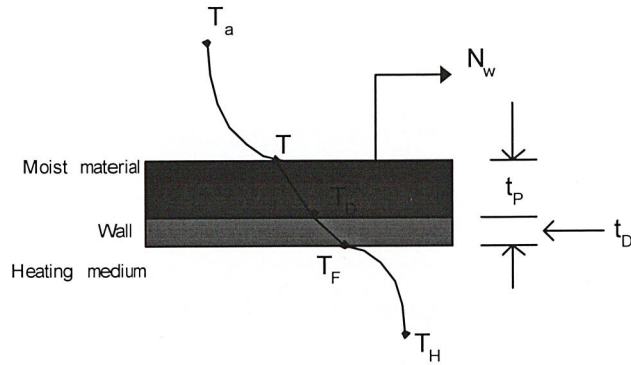


รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการหมุนของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ และส่วน a

จากการศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนของ Keey ได้ทำการศึกษาภายใต้สมมติฐาน [4] ดังนี้

1. ภายใต้อุณหภูมิคงที่
2. ความหนาแน่นของแผ่นฟิล์มคงที่
3. ความหนาของผนังลูกกลิ้งเรียบสม่ำเสมอเท่ากันตลอด
4. ไม่มีช่องว่างของอากาศระหว่างสารที่มีความชื้นกับ heating surface
5. ไม่เกิดการสูญเสียความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านแกนเพลลาของลูกกลิ้ง
6. ไม่เกิดการสูญเสียความร้อนที่ด้านปิดทั้งสองของลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงการกระจายของอุณหภูมิในการอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

จากลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการกำหนดสมมติฐานดังกล่าวจะได้สมดุลความร้อนและมวลดังนี้

สมดุลความร้อนและมวล

$$UA_B(T_H - T) = mh_{fg} + h_c A(T - T_o) \quad (1)$$

$$Ua\pi DW(T_H - T) = mh_{fg} + h_c \pi DW(T - T_o) \quad (2)$$

$$Ua(T_H - T) = \frac{mh_{fg}}{\pi DW} + h_c(T - T_o) \quad (3)$$

$$Ua(T_H - T) = N_w h_{fg} + h_c(T - T_o) \quad (4)$$

$$N_w = \frac{Ua(T_H - T) - h_c(T - T_o)}{h_{fg}} \quad (5)$$

2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wadsworth et.al.[8] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งมันฝรั่งแผ่นบางกรอบ (potato flakes) โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ อัตราการทำแห้งพิจารณาจากปริมาณมันฝรั่งแผ่นบางกรอบที่ผลิตได้ต่อชั่วโมง-ตารางฟุต และพบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการทำแห้ง มีดังนี้

1. ความเร็วในการหมุนของลูกกลิ้ง มีผลต่อเวลาในการทำแห้ง
2. ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง มีผลต่อความหนาของแผ่นฟิล์มมันฝรั่งที่เกาะติดบนผิวลูกกลิ้ง
3. ปริมาณของแข็งของอาหารที่ป้อนมีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปริมาณของแข็งของผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้ มีผลต่อลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้

ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ เป็นดังนี้

1. เมื่อความหนาของแผ่นฟิล์มลดลงโดยเวลาในการทำแห้งคงที่ พบว่าอัตราการทำแห้ง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายลดลงด้วย
2. เมื่อความหนาของแผ่นฟิล์มคงที่ และเวลาในการทำแห้งลดลง พบว่า อัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้น

Jean Ming Hong [3] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการผลิตถั่วเขียวแผ่นบางกรอบ (Mung bean flakes) โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว พบว่า อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง 150°C , 160°C , 170°C และปริมาณแป้งที่เติม 3%, 6%, 9% ไม่มีผลต่ออัตราการผลิต ส่วนความเร็วรอบของลูกกลิ้งมีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตจะพิจารณาจากปริมาณความชื้นของถั่วเขียวแผ่นบางกรอบที่ได้ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.13 - 4.4% โดยความเร็วรอบของลูกกลิ้งมีค่า 2.2 - 3 รอบต่อนาที อัตราการผลิตที่ได้ 0.58 - 0.76 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จะเห็นได้ว่าจากการศึกษากระบวนการอบแห้งที่ผ่านมาเป็นลักษณะของการทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม และนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไปสำหรับอุปกรณ์เฉพาะกรณี หรือเป็นการหาผลของปัจจัยตัวแปรต่างๆ เพื่อให้ได้ทราบผลกระทบอย่างกว้างๆ เท่านั้น จึงไม่สามารถนำไปใช้งานได้ อย่างกว้างขวางมากนัก จะใช้งานได้ดีเฉพาะเครื่องอบแห้งเครื่องนั้นๆ ทำให้มีข้อจำกัดในการนำไปใช้ ดังนั้น จึงมีผู้สนใจศึกษาเรื่องการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน โดยอาศัยความรู้ในเชิงทฤษฎีเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อให้สามารถนำไปทำนายการทำงานของเครื่อง ทำให้สามารถใช้ประโยชน์ในกระบวนการควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น หรือใช้ช่วยในการออกแบบกระบวนการให้เหมาะสมได้

Daud [2] ศึกษาทางทฤษฎีของกระบวนการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน และจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มีความยุ่งยากต่อการนำไปใช้แต่เป็นแนวคิดที่ดีสำหรับการศึกษาต่อไป ซึ่งได้แยกพิจารณากระบวนการอบแห้งเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 พิจารณาให้การเคลื่อนที่ของความชื้นเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิพบว่าเมื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนระหว่างแผ่นฟิล์มอาหารกับอากาศโดยรอบ ค่าอุณหภูมิแหล่งพลังงานความร้อนและลดค่าความหนาของแผ่นฟิล์มอาหารกับอากาศลงมีผลทำให้อัตราการระเหยน้ำของแผ่นฟิล์มอาหารมีค่าสูงขึ้น

กรณีที่ 2 พิจารณาให้การเคลื่อนที่ของความชื้นเกิดจากความแตกต่างของการถ่ายเทมวล พบว่าเมื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลมีผลทำให้อัตราการระเหยสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Somchai & Mantana [7] ได้แนะนำขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตน้ำมันข้าว โดยนำแป้งข้าวเจ้า 100 g เติมน้ำในอัตราส่วน 1:13 โดยน้ำหนัก แล้วให้ความร้อน 100 °C โดยคนทุกๆ 3 นาที จากนั้นเติมน้ำมันถั่วเหลือง 3.5 % แล้วเติมน้ำตาล 2.5% แล้วจากนั้นเข้าเครื่อง Homogenizer 5 นาที แล้วนำไปต้มที่ 100 °C อีก 2 นาที ก็จะได้น้ำมันข้าวและได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติ Gelatinization และ % Amylose ของข้าวชนิดต่างๆ

พรศักดิ์ [17] กล่าวถึงหลักในการปฏิบัติเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ดี อาหารเหล่านี้จะต้องมีความชื้นหนืดและไหลได้พอสมควร เช่น การระเหยน้ำหรือทำให้ปริมาณเนื้ออาหารเหลวร้อนก่อนเข้าเครื่องเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้ง และประหยัดในด้านพลังงานความร้อน เครื่องอบแห้งชนิดนี้เหมาะสมที่จะใช้กับอาหารที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบสูง หากอาหารมีน้ำตาลสูง น้ำตาลจะไหม้ติดลูกกลิ้งได้ อาหารที่มีลักษณะ เช่น น้ำผลไม้ ไม่เหมาะสมที่จะทำแห้ง โดยวิธีนี้ หากอาหารเหลวมีส่วนผสมของไขมัน ควรมีการโฮโมจิไนซ์ เพื่อป้องกันมิให้ไขมันแยกตัว ลูกกลิ้งทรงกระบอกจะต้องมีรูปทรงสม่ำเสมอ ผิวราบเรียบและสะอาดตลอดทั้งความยาวของลูกกลิ้ง ไบมัดที่ใช้ปาดอาหารจะต้องคมควรเป็นไบมัดที่ปรับง่าย และติดตั้งในระยะห่างจากลูกกลิ้งเท่ากันตลอดลำของไบมัดกับความยาวของลูกกลิ้ง ความเร็วของการหมุนของลูกกลิ้งจะขึ้นกับอุณหภูมิ เส้นผ่านศูนย์กลางและช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง

งามชื่น คงเสรี [11] ศึกษาหาขบวนการที่ดีที่สุดในการผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูป โดยข้าวกล้องสำเร็จรูปที่เป็นที่ยอมรับจะต้องใช้เวลาหุงต้มไม่เกิน 5 นาที และวิธีการหุงต้มต้องสะดวกและไม่ยุ่งยาก เมื่อสุกผลิตภัณฑ์ที่ได้จะต้องมีกลิ่น รส และเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับข้าวสุกทั่วไป ซึ่งได้ใช้ข้าวขาวพันธุ์ กข21 กข23 และเหลืองประทิว123 ซึ่งเป็นข้าวชนิดอมิโลสต่ำ ปานกลางและสูง (17, 23 และ28%) ตามลำดับ

ซึ่งดำเนินการทดลองผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูป โดยใช้การผลิต 4 กระบวนการ คือ

1. ต้มข้าวในน้ำเดือดจนสุก เกลี่ยในถาดสแตนเลสและอบแห้ง (tray drying) ที่ 70 °C นาน 2 ชม.
2. แช่ข้าวในน้ำเดือดจนสุก เกลี่ยในถาดสแตนเลสและอบแห้ง ที่ 70 °C นาน 2 ชม.
3. แช่ข้าวในสารละลายผสมระหว่างโซเดียมซัลเฟตและแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 1 % อัตรา 1:1 นาน 15 นาที ต้มข้าวให้สุกแล้วเกลี่ยในถาดสแตนเลสและอบแห้งที่ 70 °C นาน 2 ชม.
4. หุงข้าวโดยใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้าโดยใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ คือ 1:1.8, 1:2.1 และ 1:2.3 โดยน้ำหนักข้าว สำหรับข้าวพันธุ์ กข21 กข23 และเหลืองประทิว123 ตามลำดับ แล้วจึงนำข้าวที่สุกมา เกลี่ยในถาดสแตนเลสและอบแห้งที่ 70 °C นาน 2 ชม.

และได้ปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดระยะเวลาคืนรูปให้สั้นลง โดยใช้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แทน กข21(คุณสมบัติใกล้เคียงกัน) โดยใช้เทคนิคการแช่แข็ง (freeze-thaw process) เข้าช่วย กล่าวคือ ภายหลังจากที่ต้มข้าวจนสุกและจะลดอุณหภูมิโดยลี้ยงน้ำเย็นแล้วจึงแช่แข็งที่ 15°C นาน 2 ชม. หลังจากนั้นจึงละลายน้ำแข็ง และอบแห้งที่ 70 °C นาน 2 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผู้จัดทำได้สรุปผลการทดลอง ดังนั้นงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การพัฒนาข้าวกล้องสำเร็จรูปโดยวิธีแช่ข้าวขาวก่อนต้มข้าวให้สุกแล้วอบแห้งในถาด (tray drying) ที่ 70°C ผลผลิตแห้งที่ได้ใช้เวลาคืนรูปนานถึง 12 นาที และวัตถุดิบต้องเป็นข้าวอมิโลสต่ำ
2. การใช้เทคนิคการแช่แข็งและละลายน้ำแข็ง (freeze-thaw process) ช่วยลดระยะเวลาคืนรูปลงเหลือ 7 นาที
3. ชนิดข้าวที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูป คือ ข้าวอมิโลส ปานกลาง แม้ว่าผลผลิตแห้งจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะมีคุณภาพดีกว่าเล็กน้อย แต่ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ใช้ในการผลิตข้าวหอมมะลิที่มีตลาดคืออยู่แล้ว

มณีวรรณ เจริญชน [18] ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ในการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพอาหารเด็กอ่อน โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ โดยได้ทำการศึกษาการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ ดังนี้

ความดันไอน้ำ 20-50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ความเร็วลูกกลิ้ง 2,3,4 รอบต่อนาที

ปริมาณของแข็งเริ่มต้น 14-18 เปอร์เซ็นต์

อุณหภูมิตัวอย่างอาหาร 30-90 องศาเซลเซียส

จากการศึกษา พบว่า

1. เมื่อความดันไอน้ำเพิ่มขึ้น ความชื้นสุดท้ายของอาหารจะลดลง การลดลงของความชื้นในระยะต้นจะมีอัตราการลดลงสูงกว่าในช่วงหลังของการอบแห้ง และเมื่อใช้ความดันไอน้ำเพิ่มขึ้น ความชื้นสุดท้ายจะใกล้เคียงกัน ไม่ว่าความเร็วลูกกลิ้งจะเท่าใด

2. การศึกษาผลของความเร็วรอบ เมื่อกำหนดให้ความชื้นผลิตแห้งสุดท้ายไม่เกิน 5 % พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของลูกกลิ้ง จำเป็นต้องเพิ่มความดันไอน้ำภายในลูกกลิ้งควบคู่กันไป

3. การศึกษาพบว่าปริมาณของแข็งเริ่มต้นในตัวอย่างอาหารในช่วง 14-18% ทำให้ปริมาณความชื้นสุดท้ายแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

และได้สรุปว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตอาหารเด็กอ่อน คือ

ความดันไอน้ำ 35 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ความเร็วลูกกลิ้ง 3 รอบต่อนาที

อุณหภูมิของอาหารที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้ง 50°C

ปริมาณของแข็งในอาหารเริ่มต้น 18 %

โดยอาหารที่ผลิตได้ มีความชื้นประมาณ 4 % และวิตามินซีถูกทำลายระหว่างการทำแห้งประมาณ 40 %

จะเห็นได้ว่า ข้อสรุปของมณีวรรณ สามารถนำไปใช้งานได้เฉพาะในสภาวะที่ทำการทดลองโดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเท่านั้น และให้ข้อมูลการอบแห้งบางประการ โดยไม่ได้มีเป้าหมายที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการอบแห้งโดยวิธีการนี้ในมุมที่กว้างขวางขึ้น เช่น การเสนอหลักการขยายขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อรพิน เกิดชูชื่น[26] ศึกษาการผลิตเครื่องดื่มเลียนแบบนมจากธัญพืช โดยนำแป้งจากธัญพืชทั้ง 5 ชนิดที่ได้จากการโม่ คือ แป้งข้าวกล้องเจ้า แป้งข้าวกล้องเหนียว แป้งลูกเดี๋ย แป้งเมล็ดบัว และแป้งข้าวฟ่าง มาใช้ผลิตเครื่องดื่มเลียนแบบนมโดยใช้แป้งดังกล่าวร้อยละ 11, 8, 7 และ 2 โดยน้ำหนักตามลำดับ และใช้แป้งผสมในอัตราส่วนแป้ง : น้ำ เท่ากับ 6 : 94 เติมน้ำตาลร้อยละ 6 และน้ำมันร้อยละ 6

โดยได้ทำการศึกษาข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ศึกษาปรับปรุงลักษณะปรากฏด้านความคงตัว โดยใช้สาร emulsifiers และ stabilizers

พบว่า การเติม emulsifier และ stabilizer ทำให้ความหนืดของเครื่องดื่มเลียนแบบนมสูงขึ้น แต่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดลดลง โดยจะเห็นได้ว่าการใช้ emulsifier (TOPCITHIN 50) ร้อยละ 0.12 และ stabilizer (FLANOGENOCA43) ร้อยละ 0.09 เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพด้านความคงตัวของเครื่องดื่มเลียนแบบนมธัญพืช

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการโฮโมจีไนซ์และพาสเจอไรซ์

พบว่า การใช้ความเร็วรอบการโฮโมจีไนซ์สูง 20,500 รอบต่อนาที นาน 15 นาที และ 20 นาที ทำให้ความคงตัวของชั้นแป้งและน้ำมันมีการแยกชั้นปานกลาง ได้คะแนนความชอบสูงสุด แต่ควรมีการใช้ความดันช่วยให้เม็ดไขมันแตกตัวกระจายได้ดีขึ้น

และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการพาสเจอไรซ์ คือ 65 °C นาน 15 นาที เพราะเป็นช่วงที่มีปริมาณจุลินทรีย์ตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์พาสเจอไรซ์ และมีความหนืดที่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

3. ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

พบว่า มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.60 ซึ่งต่ำกว่าข้อกำหนด(ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก) มีปริมาณแคลเซียม 1.2 มิลลิกรัม ปริมาณเหล็ก 0.22 มิลลิกรัม (ซึ่งมากกว่านมวัว) และมีปริมาณไขมันมากกว่าร้อยละ 2

4. ศึกษาชนิดของสารแต่งกลิ่นรสและปริมาณสีที่เหมาะสม

พบว่า เครื่องดื่มเลียนแบบนมที่ไม่เติมสารแต่งกลิ่นรส (Natural imitation milk) ได้คะแนนความชอบมากที่สุด และรองลงมา คือการแต่งกลิ่นรสด้วย Strawberry 102484 L ร้อยละ 0.02

ผู้วิจัย ได้สรุปว่า

การผลิตเครื่องดื่มเลียนแบบนมจากธัญพืชเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภคที่ และสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงาน เนื่องจากมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง และอาจมีการเติมโปรตีนจากแหล่งอื่น เช่น casein ทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และการทดลอง

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

วัตถุดิบ

- 1) ปลายข้าวกล้อง
- 2) น้ำสะอาด

วัสดุและเครื่องมือ

- 1) เครื่องอบแห้งชนิดลูกกลิ้งคู่ และถาดรอง 2 ใบ
- 2) เตาแก๊ส
- 3) เครื่องปั่น
- 4) เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 5) Feeler Gauge
- 6) หม้อสเตนเลส
- 7) ทัพพีสเตนเลส
- 8) เครื่องวัดอุณหภูมิที่ผิว Drum dryer และเทอร์โมมิเตอร์
- 9) ถูพลาสติก
- 10) เครื่องซีล
- 11) นาฬิกาจับเวลา

3.2 ขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ

เตรียมปลายข้าวกล้องที่ใช้ซึ่งเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 8 °C กับน้ำสะอาด ในอัตราส่วน 1:5 ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ปลายข้าวหัก 800 กรัม นำไปช้วนน้ำ 3 ครั้ง ทั้งให้สะเด็ดน้ำ 3 นาที ผสมกับน้ำ 4000 กรัม ใน หม้อสเตนเลส

นำไปต้มให้ความร้อนแล้วจับเวลาที่ใช้ในการหุงต้ม 3 ช่วงเวลาตามตารางการเตรียมตัวอย่าง ซึ่ง เวลาที่ใช้ในการหุงต้ม ที่ได้กำหนดไว้ คือ 20, 30 และ 40 นาที

จากนั้นเมื่อครบเวลาการตามที่กำหนด หยุดให้ความร้อนแล้วทิ้งให้เย็น จากนั้นชั่งน้ำหนัก

นำข้าวที่ต้มแล้วดังกล่าว ไปปั่น

ชั่งน้ำหนัก รอการอบแห้งต่อไป

หมายเหตุ : ตลอดเวลาตั้งแต่เริ่มใส่ข้าวลงไปต้องใช้ทัพพีสเตนเลสคนไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียม Drum dryer [25]

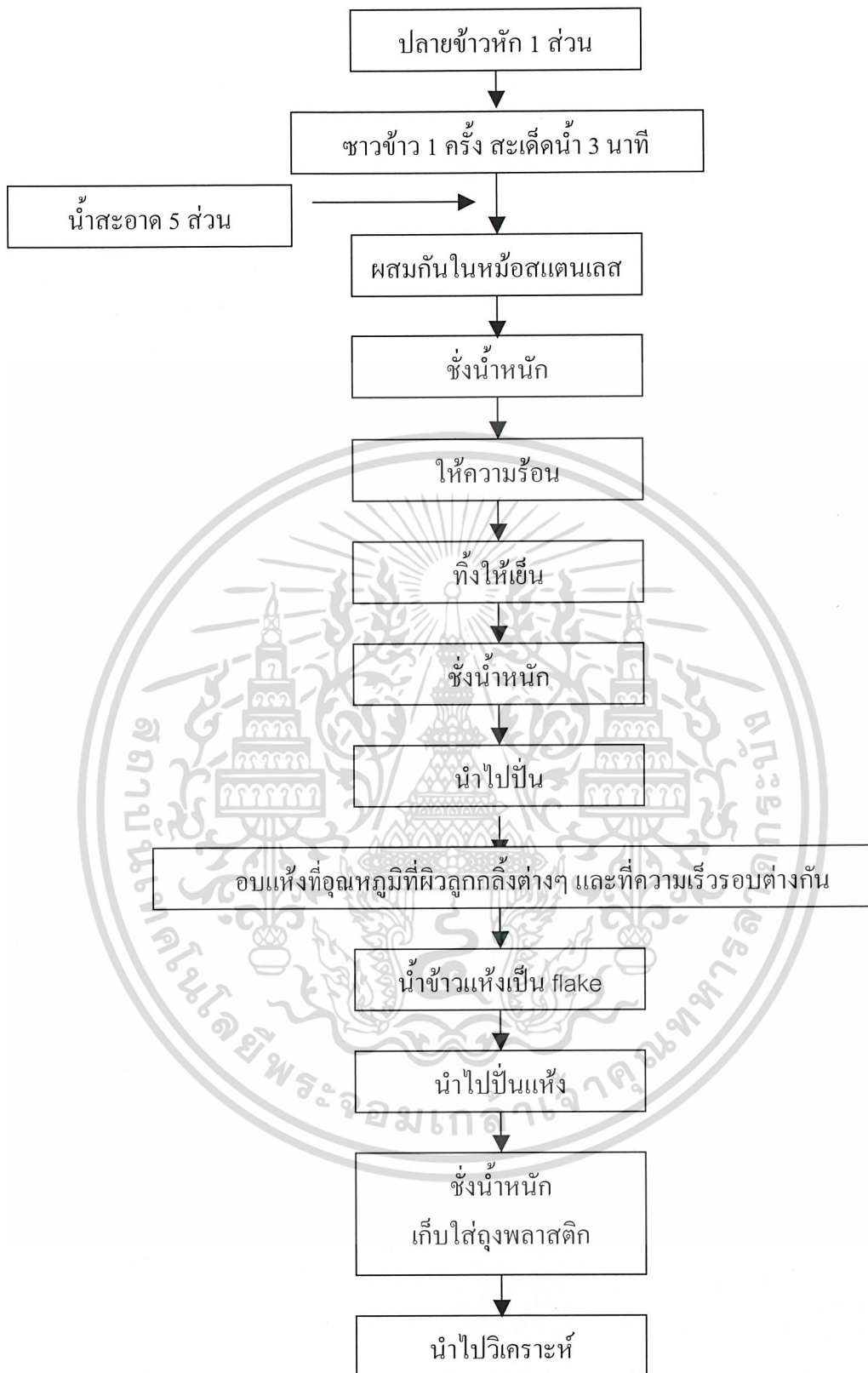
ทำการเตรียมเครื่องอบแห้งดังนี้

- 3.3.1 คลายชุดใบมีดที่ติดอยู่กับผิวลูกกลิ้ง
- 3.3.2 เปิดสวิตช์หมุนเครื่องอบแห้ง ปรับความเร็วรอบให้ได้ความเร็ว 3 ระดับที่ต้องการ คือ 5, 7.5 และ 10 Hz ตามตารางการเตรียมตัวอย่าง
- 3.3.3 ค่อยๆเปิดวาล์วไอน้ำเพื่อให้ความร้อนกับลูกกลิ้งทั้งสอง (เปิดไอน้ำในขณะที่ลูกกลิ้งยังหมุน)
- 3.3.4 เปิดท่อน้ำทิ้งของคอนเดนเสท เพื่อไล่น้ำที่ค้างอยู่ภายในเครื่อง จนกระทั่งเริ่มมีไอน้ำออก จึงค่อยปิดวาล์วคอนเดนเสท
- 3.3.5 บันทึกค่าความดันของไอน้ำที่ใช้
- 3.3.6 เมื่อลูกกลิ้งร้อนอย่างสม่ำเสมอจึงปิดวาล์วไอน้ำ และเปิดวาล์วคอนเดนเสทเพื่อลดความดันในลูกกลิ้ง
- 3.3.7 ปิดสวิตช์การหมุนของลูกกลิ้ง เพื่อปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้สม่ำเสมอโดยใช้ Feeler Gauge
- 3.3.8 ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 2.8 มิลลิเมตร เริ่มการทำงานของเครื่องต่อไป เปิดสวิตช์การหมุนและวาล์วไอน้ำ ปรับวาล์วไอน้ำเพื่อให้ได้อุณหภูมิ 3 ระดับตามที่ต้องการ คือ 105°C , 115°C และ 125°C ตามตารางการเตรียมตัวอย่าง

3.4 การเก็บตัวอย่าง

- 3.4.1 เมื่อทำการเตรียม Drum dryer แล้วจึงทำการป้อนวัตถุดิบจากขั้นตอนที่ 1
- 3.4.2 บันทึกอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง Drum dryer ทุกๆ 10 นาที เพื่อที่จะควบคุมอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งให้คงที่
- 3.4.3 เมื่ออบแห้งเสร็จแล้ว เก็บตัวอย่างนั้น ไปชั่งน้ำหนัก แล้วเก็บเข้าถุงพลาสติก จากนั้นปิดปากถุงให้สนิท เพื่อรอนำไปสู่กระบวนการวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดง Flow chart แสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวางแผนการทดลอง

ในการศึกษาการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวพวงแบบลูกกลิ้งคู่ ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ เวลาในการต้มข้าว, ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง และ อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง ส่วนผลตอบสนองที่ได้ หรือคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความชื้นของผลิตภัณฑ์, ความสามารถในการละลาย, ความสามารถในการดูดซับ และ ความหนาแน่นปรากฏ อาศัยการวางแผนการทดลองแบบ Box Behnken Design ซึ่งประกอบด้วย 15 การทดลอง และมีการแบ่งค่าของตัวแปรออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

ตัวแปรที่ต้องการศึกษา คือ

1. เวลาที่ใช้ในการต้มข้าว (Cooking time)

1.1) 20 นาที

1.2) 30 นาที

1.3) 40 นาที

2. ความเร็วรอบลูกกลิ้ง

2.1) 5 Hz

2.2) 7.5 Hz

2.3) 10 Hz

3. อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง

3.1) 105 °C

3.2) 115 °C

3.3) 125 °C

ตารางที่ 3.1 แสดงความหมายที่ใช้ในตาราง Box Behnken Design

ตัวแปร	สัญลักษณ์ตัวแปร	-1	0	+1
เวลาที่ใช้ในการต้มข้าว (นาที)	X_1	20	30	40
ความเร็วรอบลูกกลิ้ง (Hz)	X_2	5	7.5	10
อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง (°C)	X_2	105	115	125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 Box Behnken Design

การทดลองที่	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	0
2	-1	+1	0
3	+1	-1	0
4	+1	+1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	+1
7	+1	0	-1
8	+1	0	+1
9	0	-1	-1
10	0	-1	+1
11	0	+1	-1
12	0	+1	+1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงสภาวะการเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างที่	เวลาที่ใช้ในการต้มข้าว (min)	ความเร็วรอบ (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)	อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง ($^{\circ}\text{C}$)
1	20	5	0.5263	115
2	20	10	1.1538	115
3	40	5	0.5263	115
4	40	10	1.1538	115
5	20	7.5	0.8219	105
6	20	7.5	0.8219	125
7	40	7.5	0.8219	105
8	40	7.5	0.8219	125
9	30	5	0.5263	105
10	30	5	0.5263	125
11	30	10	1.1538	105
12	30	10	1.1538	125
13	30	7.5	0.8219	115
14	30	7.5	0.8219	115
15	30	7.5	0.8219	115

จากตารางที่ 3.3 แสดงถึงสภาวะการผลิตข้าวผงที่ประกอบด้วยเวลาที่ใช้ในการต้มข้าว, ความเร็วรอบลูกกลิ้ง และอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง ทั้ง 15 สภาวะการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ข้าวผงที่ได้

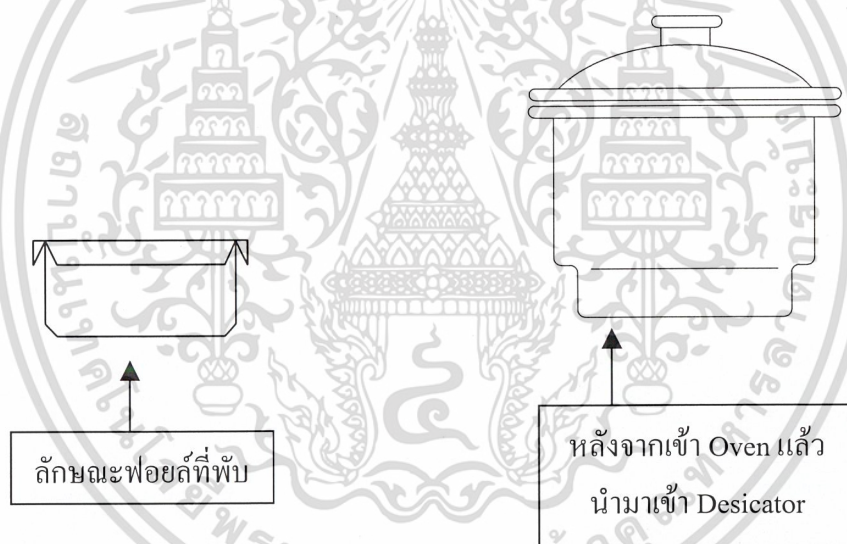
3.6.1 การทดลองที่ 1 การวิเคราะห์หาความชื้น [1]

วัสดุและอุปกรณ์

- 1) ตัวอย่าง
- 2) Oven
- 3) desicator
- 4) ตัวอย่างที่ได้ 15 ตัวอย่าง
- 5) อลูมิเนียมฟอยล์
- 6) เครื่องชั่งน้ำหนัก

วิธีการทดลอง

1. เปิดตู้อบ ที่ 120°C ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
2. พับอลูมิเนียมฟอยล์เป็นถ้วย 45 ถ้วย จากนั้นนำเข้าตู้อบ 1 ชั่วโมง
3. เอาเข้าไปไว้ใน desicator จนกว่าอุณหภูมิคงที่



รูปที่ 3.2 แสดงฟอยล์ที่ใช้ในการอบแห้ง และ Desicator

4. นำฟอยล์มาชั่งน้ำหนัก พร้อมกับติดหมายเลข บันทึกรหัส
5. ใส่ตัวอย่างที่ 1 ลงในฟอยล์ 2 กรัม 3 ถ้วย และใส่ตัวอย่างที่เหลือ ตัวอย่างละ 3 ถ้วย เช่นกัน
6. นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
7. จากนั้นนำเข้าตู้อบ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
8. เอาเข้าไปไว้ใน desicator จนกว่าอุณหภูมิคงที่
9. ชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
10. การคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%wb = \frac{\text{น้ำหนักก่อนเข้าสู่ตู้อบ} - \text{น้ำหนักหลังเข้าสู่ desicator}}{\text{น้ำหนักก่อนเข้าสู่ตู้อบ}} \times 100$$

* %wb. คือ ร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์ (มาตรฐานเปียก)

3.6.2 การทดลองที่ 2 การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAI) และความสามารถในการละลายน้ำ (WSI) [14]

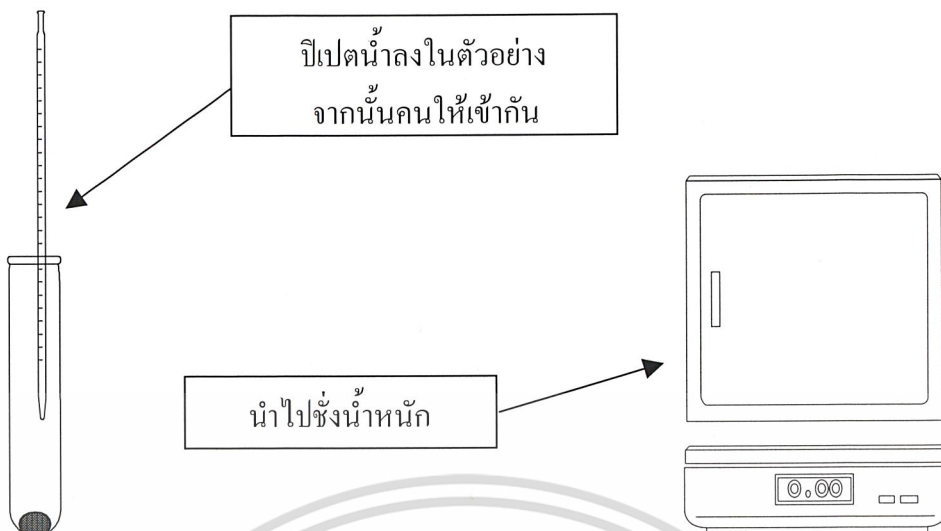
วัสดุและอุปกรณ์

- 1) ตัวอย่าง
- 2) เครื่องชั่ง
- 3) หลอดทดลอง
- 4) แท่งแก้วคนสาร
- 5) เครื่อง Centrifuge
- 6) อะลูมิเนียมฟอยล์
- 7) Oven
- 8) ปิเปต

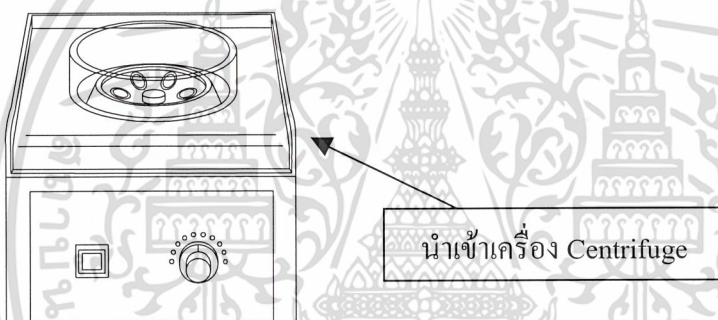
วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักหลอดทดลอง
2. นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก 0.5 กรัม ใส่หลอดทดลอง
3. จากนั้นปิเปตน้ำใส่เข้าไป 9.5 มิลลิลิตร
4. ใช้แท่งแก้วคนให้ตัวอย่างละลายเข้ากันกับน้ำ 1 นาที
5. นำหลอดทดลองที่ได้ใส่เครื่อง Centrifuge โดย Set เครื่องที่ 4000 rpm. ใช้เวลา 13 นาที เปิดให้เครื่องทำงาน
6. เมื่อเครื่อง Centrifuge ทำงานเสร็จ นำหลอดทดลองมาชั่งน้ำหนักรวม
7. เทแยกส่วนใส และ ส่วนขึ้น แล้วชั่งน้ำหนักแต่ละส่วนที่ได้
8. นำไปหาค่าความชื้นตามวิธีการทดลองที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงภาพการทดลองที่ 2 และเครื่องชั่งที่ใช้



รูปที่ 3.4 แสดงภาพเครื่อง Centrifuge

9. การคำนวณ

$$WAI = \frac{MG}{(100 - MG)}$$

$$WSI = \frac{\left[\left(TS - \frac{GW}{1 + WAI} \right) \times 100 \right]}{TS}$$

โดยที่ WAI = ความสามารถในการดูดซับน้ำ

WSI = ความสามารถในการละลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TS = น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (ไม่รวมค่าความชื้น)

GW = น้ำหนักของส่วนชื้นที่ได้จากการเหวี่ยงแยก

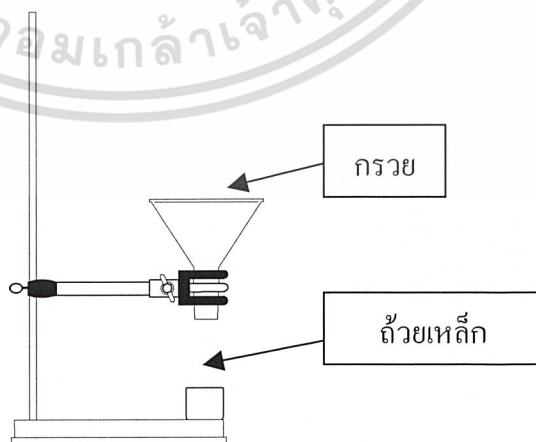
3.6.3 การทดลองที่ 3 การวิเคราะห์หา Bulk density [15]

วัสดุและอุปกรณ์

- 1) ตัวอย่าง
- 2) ถ้วยเหล็ก
- 3) ไม้บรรทัด
- 4) เครื่องชั่ง
- 5) กรวย

วิธีการทดลอง

1. ตัดตั้งกรวยตามภาพ
2. ชั่งน้ำหนักถ้วยเหล็กเปล่า
3. หาปริมาตรของถ้วยเหล็ก โดยใช้ไม้บรรทัด
4. นำเอาตัวอย่างใส่ลงไปถ้วยเหล็กให้เต็ม อย่ากด หรืออัดตัวอย่างลงไป ค่อยๆ ไล่แล้วเคาะ 5 ครั้ง ไล่ตัวอย่างลงไปอีก จนท่วมปากถ้วย
5. ใช้ไม้บรรทัดปาดตัวอย่างดังกล่าว โดยวางไม้บรรทัดขนานกับปากถ้วยแล้วค่อยๆ ปาด
6. นำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
7. การคำนวณ
$$\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรถ้วยเหล็ก}} = \text{Bulk density}$$
 , น้ำหนักตัวอย่างต้องลบออก
8. ทำซ้ำอีก 2 ครั้งเช่นเดิม แล้วหาค่าเฉลี่ย
9. ตัวอย่างที่เหลือก็ทำเช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.5 ภาพแสดงการติดตั้งกรวยก่อนทำการทดลองที่ 3

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การวิเคราะห์ผลและการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์และหาความสัมพันธ์ โดยตัวแปรที่ใช้ศึกษานี้คือ เวลาที่ใช้ในการต้มข้าว (Cooking time) ความเร็วรอบของเครื่องอบแห้ง และอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง ส่วนคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละการทดลอง คือ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ % มาตรฐานเปียก ความหนาแน่นรวม ความสามารถในการละลายน้ำ และความสามารถในการดูดซับน้ำ ถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา รูปแบบของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คือ 2rd Order polynomial [13] แสดงไว้ดังนี้

$$Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_{11} X_1^2 + a_{22} X_2^2 + a_{33} X_3^2 + a_{12} X_1 X_2 + a_{13} X_1 X_3 + a_{23} X_2 X_3$$

โดยให้ X_1 = เวลาที่ใช้ในการต้มข้าว, นาที
 X_2 = ความเร็วรอบของ Drum Dryer, รอบ/นาที
 X_3 = อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง, องศาเซลเซียส
 Y = ลักษณะที่ได้จากการทดลอง คือ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ % มาตรฐานเปียก, ความหนาแน่นรวม, ความสามารถในการละลายน้ำ และความสามารถในการดูดซับน้ำ
 a_i, a_{ii} ($i = 1, 2, 3$) = สัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Regression coefficient)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

4.1 ข้อมูลจำเพาะในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

จากการทดลองข้อมูลจำเพาะที่ใช้ในการคำนวณ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งที่ใช้ในการทดลอง

รายละเอียดตัวพารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้
อุณหภูมิอากาศ (T_a)	29°C
อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร (T_p)	29°C
ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (t_r)	2.8 (mm)
เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง (d)	0.28 (m)
พื้นที่ที่อาหารสัมผัสลูกกลิ้ง (x)	3/4 ของพื้นที่ผิวของลูกกลิ้ง
ระยะทางที่อาหารสัมผัสลูกกลิ้ง (L)	0.66 (m)
ความยาวลูกกลิ้ง (W)	0.46 (m)
พื้นที่ผิวลูกกลิ้งที่สัมผัสอาหาร (A)	0.306 x 2 (m ²)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะที่สภาวะต่างๆ ตาม Box Behnken Design

จากการดำเนินการทดลองด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่สภาวะต่างๆ ที่กำหนดนั้น ให้ผลของคุณลักษณะต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง

เวลาที่ใช้ในการต้ม (นาที)	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง (°C)	ความชื้น % มาตรฐานเปียก	ความสามารถในการละลาย น้ำ	ความสามารถในการดูดซับ น้ำ	ความหนาแน่นปรากฏ (กรัม/ลิตร)
20	0.5263	115	0.9131	1.1563	7.0278	639.6
20	1.1538	115	1.6512	52.5888	4.1579	599.5
40	0.5263	115	1.6728	1.8913	7.1898	614.5
40	1.1538	115	2.9678	22.7155	6.3539	621.7
20	0.8219	105	7.5496	-1.2007	7.9661	680.3
20	0.8219	125	2.7445	55.7383	4.7767	578.6
40	0.8219	105	3.3611	4.0889	7.8050	679.6
40	0.8219	125	4.1591	53.4463	4.6768	592.6
30	0.5263	105	3.5497	2.9237	8.0568	656.0
30	0.5263	125	2.0187	25.4769	7.4541	586.7
30	1.1538	105	5.5106	3.4487	7.6570	707.9
30	1.1538	125	1.4755	47.7063	5.0790	578.7
30	0.8219	115	1.6864	-0.6709	7.6587	578.1
30	0.8219	115	1.8978	3.9254	7.6224	635.7
30	0.8219	115	1.8711	0.969	7.9989	612.2

จากตารางการทดลองค่าความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะ เวลาในการหุงต้ม 20 นาที ความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่ 0.8219 รอบ/นาที และที่อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้ง 105 °C กับสภาวะ เวลาในการหุงต้ม 30 นาที ความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่ 0.8219 รอบ/นาที และที่อุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้ง 115 °C พบว่าความสามารถในการละลาย จากการสังเกตมีค่าน้อยมาก เมื่อทำการวิเคราะห์ปรากฏว่า ค่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เป็นลบ การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการวิเคราะห์หาค่าดังกล่าว อาจมีความคลาดเคลื่อนจากการแยกส่วน
ชั้นกับส่วนใส

ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ข้าวผงที่ได้จากการทดลองพบว่า ถ้าใช้อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งคองที่ ที่
อุณหภูมิ 125 °C การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของลูกกลิ้งไม่ว่าจะเป็น 0.5263, 0.8219 และ 1.1538 รอบ/
นาทิต ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเบาและฟู และมีสีขาวกว่าสถานะอื่นๆ แต่ถ้าใช้อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งต่ำ
กว่า 125 °C ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความชื้นสูงขึ้น สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีน้ำตาลอ่อนๆ ส่วนการใช้เวลา
ในการหุงต้ม 30 นาที กับ 40 นาที ความหนืดน้ำข้าวที่ต้มได้จะมีความหนืดมากกว่าที่เวลาในการหุงต้ม 20
นาที อย่างเด่นชัด

4.3 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับคุณลักษณะต่างๆ ของข้าวผงที่ได้

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะต่างๆ ที่ศึกษากับตัวแปรที่
ศึกษาโดยใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ โดยใช้หลักของ Multiple Regression ในรูปแบบ 2nd order
polynomial โดยค่าสหสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการ และค่าความสัมพันธ์ทางสถิติต่างๆ แสดงได้ดังนี้

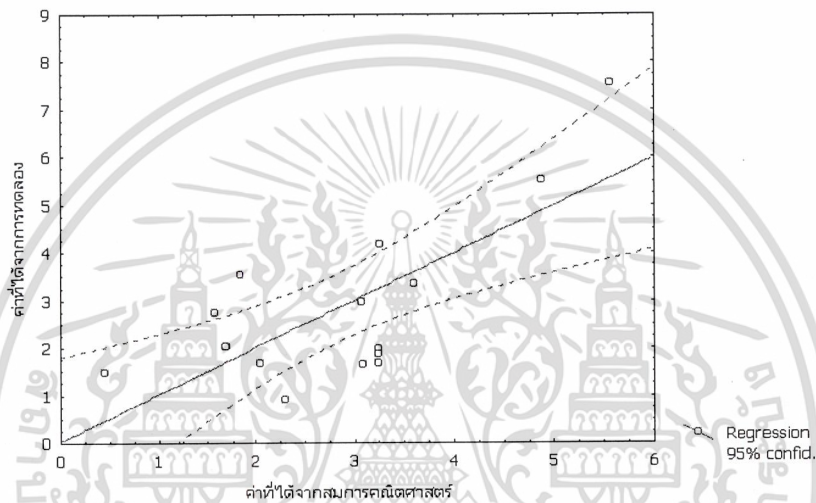


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ความชื้นของผลิตภัณฑ์

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์กับค่าเวลาที่ใช้ในการต้ม, ความเร็วรอบลูกกลิ้ง และอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความชื้นของผลิตภัณฑ์} &= -1.27211X_1 + 56.77002X_2 + 0.07969X_3 + 0.00339X_1^2 \\ &\quad - 9.95126X_2^2 - 0.00079X_3^2 + 0.01946X_1X_2 + 0.00909X_1X_3 \\ &\quad - 0.34079X_2X_3 \\ R^2 &= 0.87668785, \quad \text{Std. Error of estimate} = 1.8571 \end{aligned}$$



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ (% มาตรฐานเปียก) ที่ได้จากการทดลอง กับ ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ (%มาตรฐานเปียก) ที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากสมการกับค่าที่ได้จากการทดลองจะเห็นว่ ลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ค่า R^2 และ ค่า Std. Error อยู่ในเกณฑ์ดี

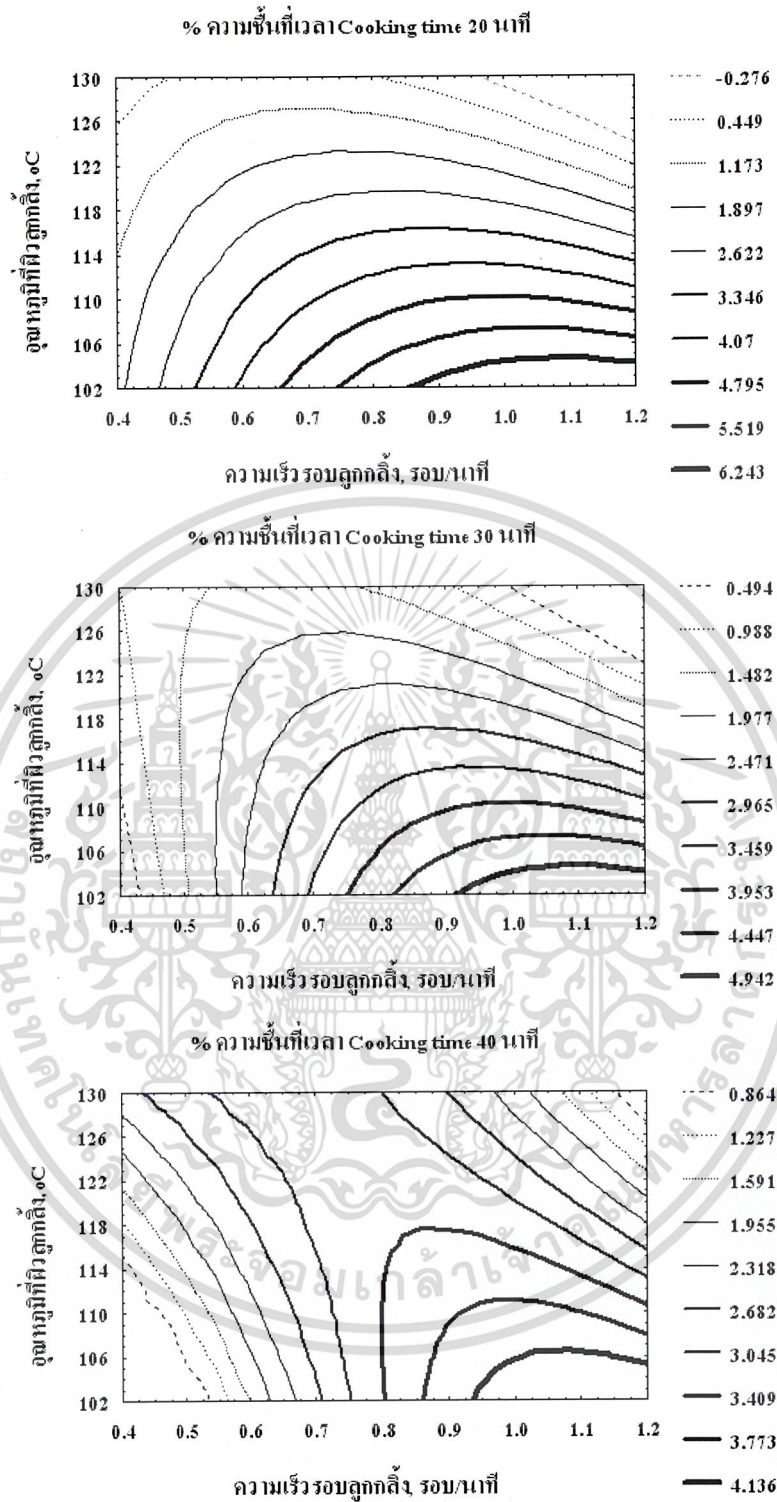
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้น (%มาตรฐานเปียก) ของน้ำข้าวพองที่ได้ กับตัวแปรที่ศึกษา ที่เวลาที่ใช้ในการต้ม 20, 30 และ 40 นาที ตามลำดับจะเห็นว่าที่เวลา 20 นาที และ 30 นาที จะมีแนวโน้มคล้ายกัน คือ การเพิ่มความเร็วรอบของลูกกลิ้ง ในขณะที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งคงที่นั้น มีผลให้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่ามากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนในเวลาที่สั้นลง และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วของลูกกลิ้งคงที่ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้ง จะมีผลให้ ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง ส่วนที่เวลาที่ใช้ในการต้ม 40 นาที พบว่า ช่วงความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.4-0.7 รอบ/นาที ถ้าให้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งนี้คงที่ การเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งจะทำให้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่ามากขึ้น การที่มีแนวโน้มเช่นนี้ อาจจะเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดภาวะ Gelatinization [24] ทำให้เม็ดแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งการเชิงงานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.8-1.2 รอบ/นาที ถ้าให้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งนี้คงที่ การเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง จะทำให้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลง ผลของเวลาที่ใช้ในการต้ม จะพบว่าที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งต่ำกว่า 115°C โดยถ้าเพิ่มเวลาที่ใช้ในการต้ม ขณะที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งคงที่ ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะมีค่าต่ำลง และทางตรงกันข้าม ที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งสูงกว่า 115°C ขึ้นไป เมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการต้ม โดยอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งคงที่ ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะมีแนวโน้มสูงขึ้น จากปรากฏการณ์ดังกล่าว พบว่า ภาวะที่เม็ดแป้งเกิดการพองตัวจะส่งผลต่อค่าความชื้นในผลิตภัณฑ์ โดยเวลาที่ใช้ในการหุงต้มที่นาน หรือการใช้อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งที่สูง รวมทั้งการใช้ความเร็วรอบที่ต่ำ จะมีผลต่อเม็ดแป้งในข้าวนั้นพองตัวได้ง่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



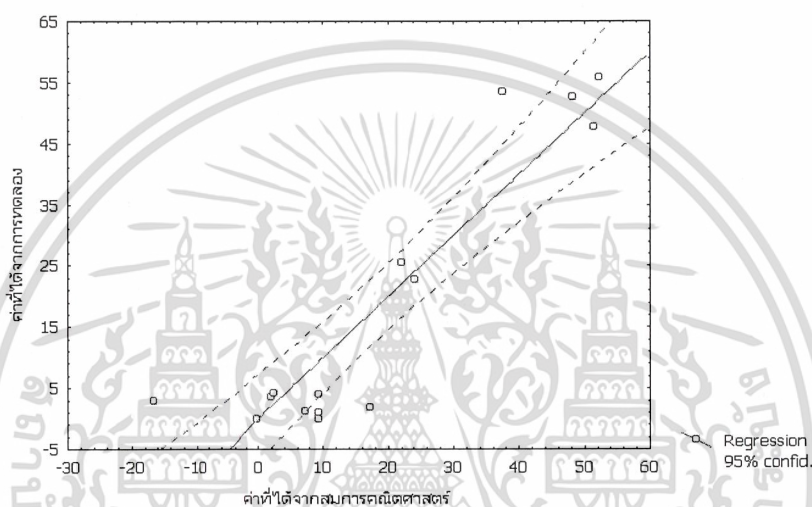
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้น (%มาตรฐานเปียก) ของน้ำข้าวผง
ที่ได้จากสมการ กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปแบบของ Contour Plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ความสามารถในการละลายน้ำ

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างความสามารถในการละลายน้ำของผลิตภัณฑ์กับค่าเวลาที่ใช้ในการต้ม, ความเร็วรอบลูกกลิ้ง และอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความสามารถในการละลายน้ำ} &= -0.0333X_1 - 24.71X_2 - 2.0251X_3 + 0.1155X_1^2 \\ &\quad + 26.2173X_2^2 + 0.0208X_3^2 - 2.7064X_1X_2 - 0.0433X_1X_3 \\ &\quad + 0.8704X_2X_3 \\ R^2 &= 0.90542, \quad \text{Std. Error of estimate.} = 13.884 \end{aligned}$$

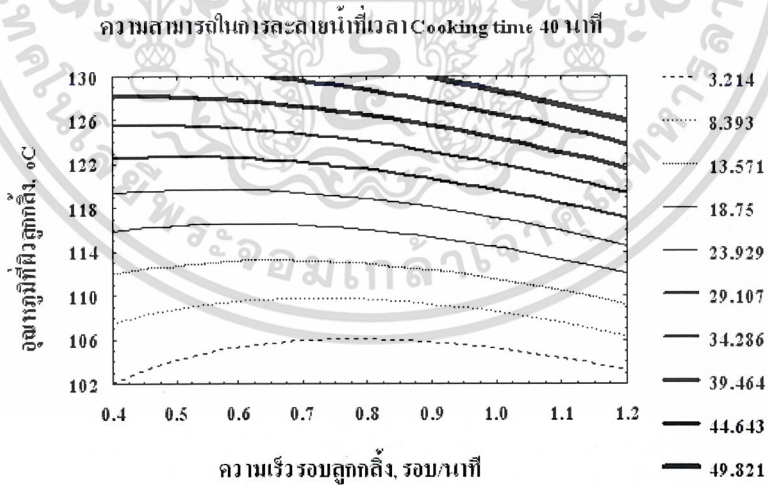
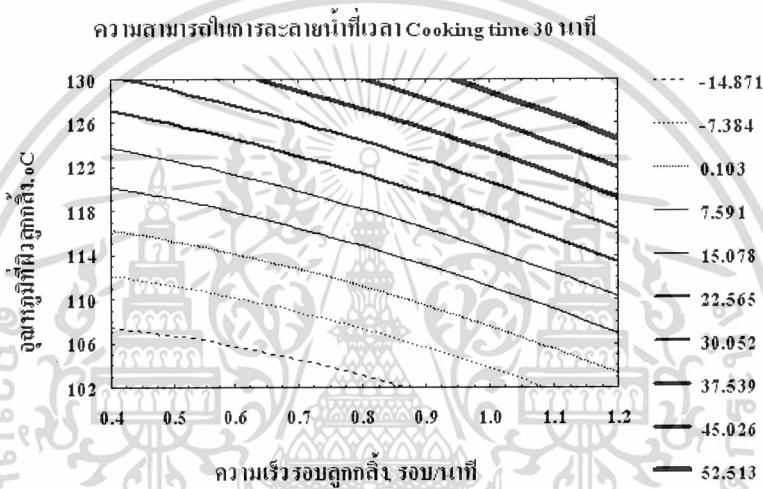
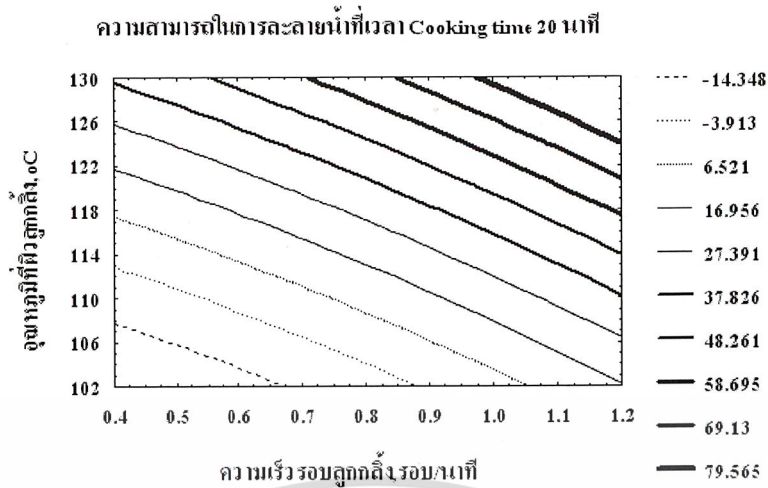


รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ได้จากการทดลอง กับ ค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากรูปที่ 4.3 พบว่าค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ได้จากสมการคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่จะใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง และค่า R^2 และค่า Std. Error อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

จากรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการละลายน้ำของข้าวผงที่ได้จากการต้มกับตัวแปรที่ศึกษาที่เวลาที่ใช้ในการต้ม 20 นาที, 30 นาที และ 40 นาที พบว่าเมื่อความเร็วรอบของลูกกลิ้งคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง จะมีผลให้ค่าความสามารถในการละลายน้ำมีค่าสูงขึ้น และถ้าให้อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งคงที่ การเพิ่มความเร็วรอบของลูกกลิ้ง มีผลให้ค่าความสามารถในการละลายน้ำมีค่าสูงขึ้นด้วย ถ้าพิจารณาผลของเวลาที่ใช้ในการต้ม จะพบว่า ถ้าใช้เวลาที่ใช้ในการต้มที่ 20 นาที ค่าความสามารถในการละลายน้ำมีค่ามากกว่าการใช้เวลาที่ใช้ในการต้มที่ 30 นาที แต่เวลาที่ใช้ในการต้ม 30 นาที ค่าความสามารถในการละลายน้ำมีค่าน้อยกว่าการใช้เวลาที่ใช้ในการต้มที่ 40 นาที และเมื่อพิจารณาใช้เวลาที่ใช้ในการต้มนาน 40 นาที พบว่า การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบไม่ค่อยมีผลต่อความสามารถในการละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



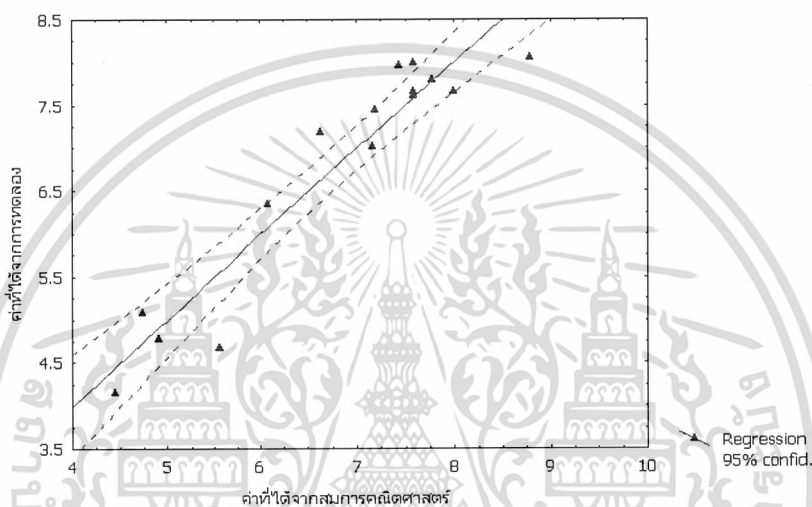
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการละลายน้ำของข้าวผง
ที่ได้จากสมการ กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ Contour Plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ความสามารถในการดูดซับน้ำ

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์กับค่าเวลาที่ใช้ในการต้ม, ความเร็วรอบลูกกลิ้ง และอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความสามารถในการดูดซับน้ำ} &= 0.47322X_1 + 13.17704X_2 + 0.04415X_3 - 0.0113X_1^2 \\ &\quad - 3.37053X_2^2 - 0.00033X_3^2 + 0.17229X_1X_2 + 0.00076X_1X_3 \\ &\quad - 0.13281X_2X_3 \\ R^2 &= 0.99640839, \quad \text{Std. Error of estimate} = 0.65351 \end{aligned}$$



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าความสามารถในการดูดซับน้ำที่ได้จากการทดลอง กับ ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากรูปที่ 4.5 พบว่าค่าที่ได้จากสมการนั้นใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง ค่า R^2 และ Std.Err. อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

จากรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวผงที่ได้จากสมการ กับตัวแปรที่ศึกษา ที่เวลาที่ใช้ในการต้มที่ 20 นาที และ 30 นาที เมื่อให้อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งคงที่ และเพิ่มความเร็วรอบของลูกกลิ้ง พบว่า ค่าความสามารถในการดูดซับมีค่าลดลง และถ้าความเร็วรอบของลูกกลิ้งคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้ง จะมีผลให้ค่าความสามารถในการดูดซับลดลง ส่วนที่เวลาที่ใช้ในการต้มที่ 40 นาที เมื่อให้อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งคงที่นั้น แต่เพิ่มความเร็วรอบของลูกกลิ้งให้มากขึ้นพบว่าในช่วงแรกของการเพิ่มความเร็วรอบของลูกกลิ้ง ค่าความสามารถในการดูดซับมีค่ามากขึ้น แต่ที่ความเร็วรอบมากกว่า 0.7 รอบ/นาที พบว่าการเพิ่มความเร็วรอบของลูกกลิ้งมากขึ้น จะมีผลให้ค่าความสามารถในการดูดซับก็จะลดลง คล้ายกับแนวโน้มของเวลาที่ใช้ในการต้มที่ 20 นาที และ 30 นาที ถ้าพิจารณาผลของเวลาที่ใช้ในการต้ม จะพบว่า ถ้าใช้เวลาที่ใช้ในการต้มที่ 20 นาที ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมีค่าน้อย

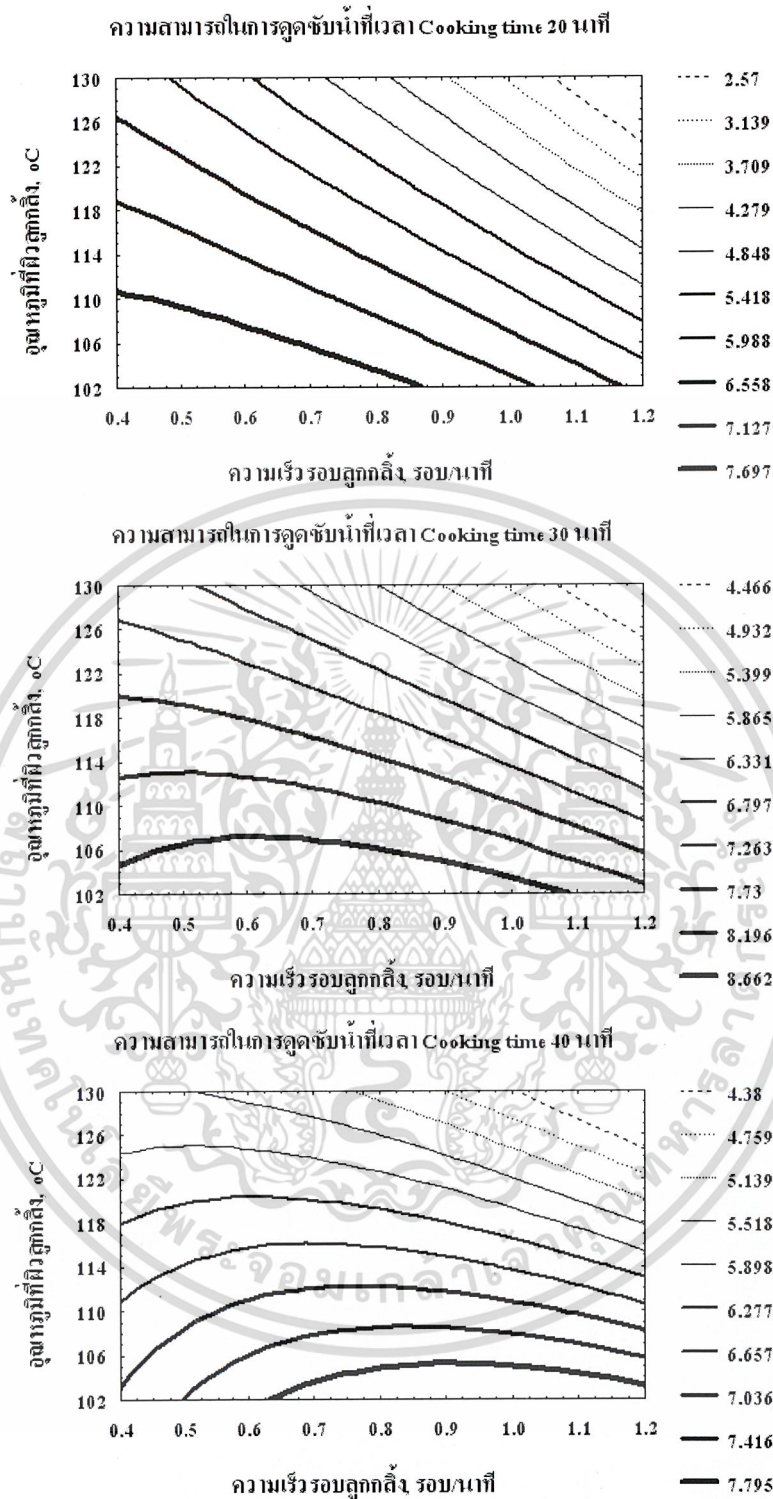
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดให้เนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าการใช้เวลาที่ใช้ในการต้มที่ 30 นาที แต่เวลาที่ใช้ในการต้ม 30 นาที ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมีค่ามากกว่าการใช้เวลาที่ใช้ในการต้มที่ 40 นาที นอกจากนี้ สังเกตได้ว่าผลของความสามารถในการดูดซับน้ำจะตรงข้ามกับผลของความสามารถในการละลายน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการดูระดับน้ำของข้าวผง
 ที่ได้จากสมการ กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ Contour Plot

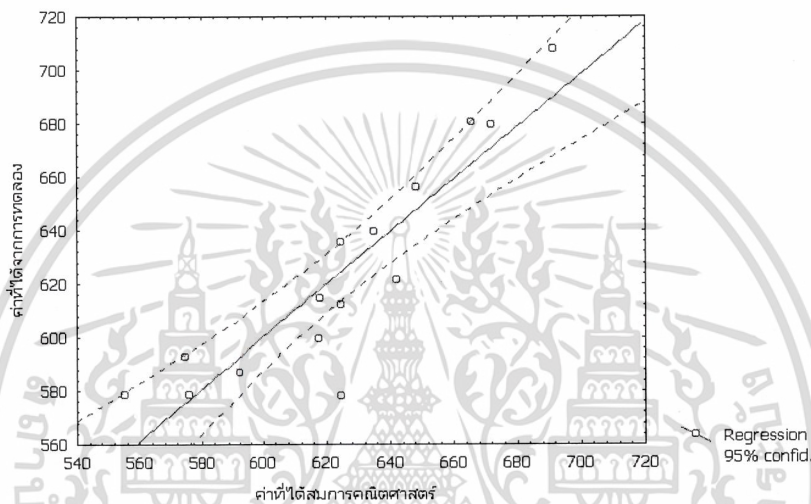
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ความหนาแน่นปรากฏ

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์กับค่าเวลาที่ใช้ในการต้ม, ความเร็วรอบลูกกลิ้ง และอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่นปรากฏ} &= -1.5623X_1 + 607.916X_2 + 11.5478X_3 + 0.0195X_1^2 \\ &+ 17.2976X_2^2 - 0.0454X_3^2 + 3.3154X_1X_2 \\ &- 0.0192X_1X_3 - 6.3589X_2X_3 \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.99919422, \quad \text{Std. Error of estimate} = 28.070$$



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นปรากฏที่ได้จากการทดลอง กับ ค่าความหนาแน่นปรากฏที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากรูปที่ 4.7 พบว่าค่าที่ได้จากสมการกับค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ยิ่งไปกว่านั้น ค่า R^2 และ Std. Error แล้วให้ผลที่ดีมาก

จากรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นปรากฏของข้าวผงที่ได้จากสมการ กับ ตัวแปรที่ศึกษา ที่เวลาที่ใช้ในการหุงต้ม 20 นาที จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งสูงถึงค่าหนึ่ง จะเปลี่ยนแนวโน้มของกราฟ ดังเช่น พิจารณาที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งต่ำกว่า 110°C การเพิ่มความเร็วรอบลูกกลิ้ง โดยอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งคงที่ จะทำให้ค่าความหนาแน่นปรากฏมีค่าสูงมากขึ้น แต่ถ้าในกรณีที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งสูงกว่า 110°C การเพิ่มความเร็วรอบจะมีผลให้ค่าความหนาแน่นปรากฏกลับมีค่าต่ำลง ส่วนที่เวลาที่ใช้ในการหุงต้ม 30 นาที และ 40 นาที ก็มีแนวโน้มคล้าย เพียงแต่ว่า อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งที่เป็นจุดเปลี่ยนแนวโน้มของกราฟ จะมีค่ามากขึ้น และพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง โดยที่ความเร็วรอบของลูกกลิ้งคงที่ มีผลให้ค่าความหนาแน่นปรากฏของผลิตภัณฑ์ลดลง นอกจากนี้ที่ความเร็วรอบของลูกกลิ้งน้อยกว่า 0.8 rpm. เมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการหุงต้ม ขณะที่ความเร็วรอบของลูกกลิ้งคงที่ ค่าความหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

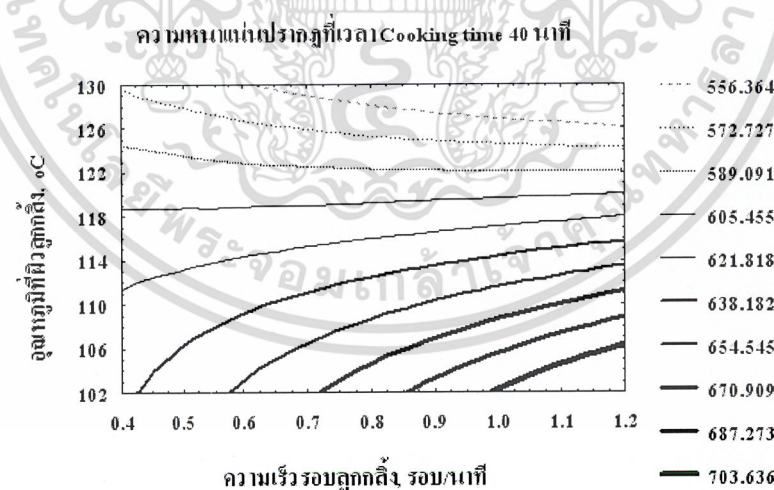
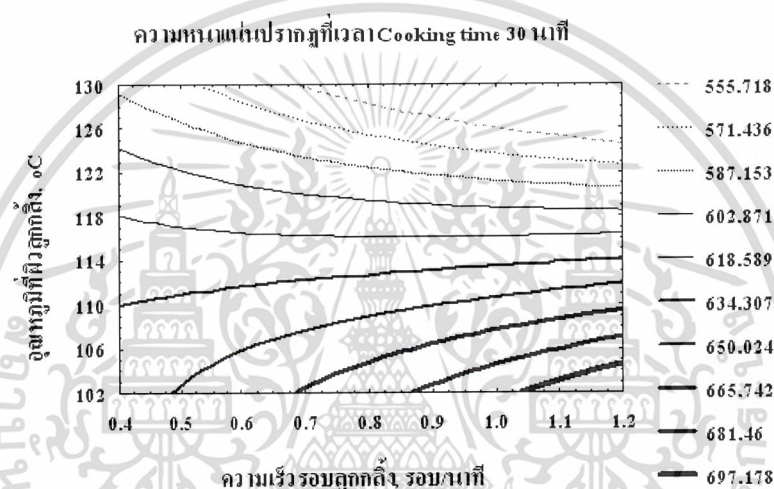
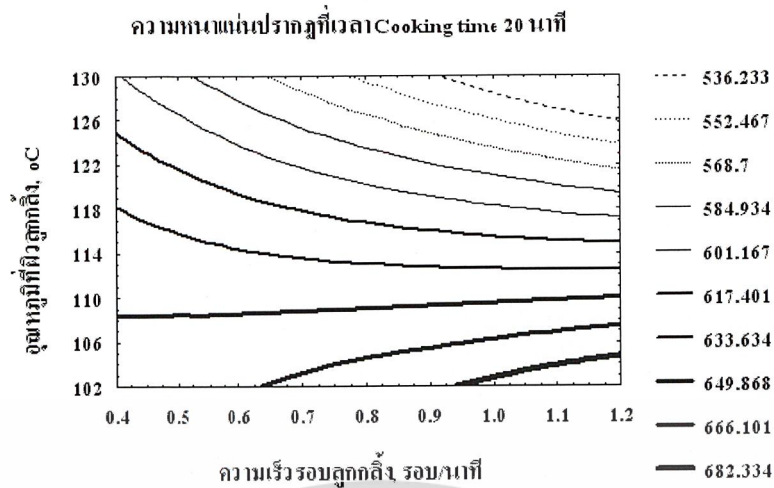
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แน่นปรากฏของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง และเมื่อที่ความเร็วรอบของลูกกลิ้งมากกว่า 0.8 rpm. เพิ่มเวลาที่ใช้ในการหุงต้ม ขณะที่ความเร็วรอบของลูกกลิ้งคงที่ ค่าความหนาแน่นปรากฏของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น

เมื่อใช้อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งที่สูง ความชื้นของผลิตภัณฑ์ระเหยออกอย่างรวดเร็ว ผิวของผลิตภัณฑ์จะแข็ง ปริมาตรจะคงที่อยู่ตัว โครงสร้างของผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะที่โปร่งพรุน จะมีผลให้ความหนาแน่นปรากฏมีค่าน้อย และมีผลให้ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำสูง โดยค่าความสามารถในการละลายมีค่าต่ำในทางตรงกันข้าม เมื่อใช้อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งที่ต่ำความชื้นของผลิตภัณฑ์ระเหยออกอย่างช้าๆ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัว ปริมาตรมีการเปลี่ยนแปลง เป็นผลให้ความหนาแน่นปรากฏมีค่าสูง และมีผลให้ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำ มีค่าความสามารถในการละลายสูง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับคำอธิบายของกิตติพงษ์ [9]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นปรากฏของข้าวผง
ที่ได้จากสมการ กับปัจจัยที่ศึกษาในรูปของ Contour Plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

- การใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนคู่สามารถนำมาใช้ในการผลิตข้าวผงได้จริง ซึ่งการอบแห้งดังกล่าวช่วยลดปริมาณและน้ำหนักของข้าวผงที่ผลิตได้ ทำให้การเก็บรักษาใช้เนื้อที่น้อย และยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง [17]
- ความชื้นของข้าวผงที่ได้ มีค่าความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 6 [19] ซึ่งเป็นคุณลักษณะตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยกเว้นสถานะการทดลองที่ใช้อุณหภูมิผิวลูกกลิ้งที่ 105 °C ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 0.8219 rpm. และเวลาที่ใช้ในการหุงต้ม 20 นาที ความชื้นของข้าวผงที่ได้ประมาณร้อยละ 7.5
- ผลของอุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง ความเร็วรอบลูกกลิ้ง และเวลาที่ใช้ในการหุงต้ม ที่มีต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ ความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำ และความหนาแน่นปรากฏ สามารถแสดงด้วยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ในรูปแบบของสมการ 2nd order polynomial ได้ดี ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับลักษณะผลิตภัณฑ์ข้าวผงที่ได้จากการทดลอง มีดังนี้

$$5.1.1 \text{ ความชื้นของผลิตภัณฑ์} = -1.27211X_1 + 56.77002X_2 + 0.07969X_3 + 0.00339X_1^2 \\ - 9.95126X_2^2 - 0.00079X_3^2 + 0.01946X_1X_2 + 0.00909X_1X_3 \\ - 0.34079X_2X_3$$

$$R^2 = 0.87668785, \quad \text{Std. Error of estimate.} = 1.8571$$

$$5.1.2 \text{ ความสามารถในการละลายน้ำ} = -0.0333X_1 - 24.71X_2 - 2.0251X_3 + 0.1155X_1^2 \\ + 26.2173X_2^2 + 0.0208X_3^2 - 2.7064X_1X_2 - 0.0433X_1X_3 \\ + 0.8704X_2X_3$$

$$R^2 = 0.90542, \quad \text{Std. Error of estimate.} = 13.884$$

$$5.1.3 \text{ ความสามารถในการดูดซับน้ำ} = 0.47322X_1 + 13.17704X_2 + 0.04415X_3 - 0.0113X_1^2 \\ - 3.37053X_2^2 - 0.00033X_3^2 + 0.17229X_1X_2 + 0.00076X_1X_3 \\ - 0.13281X_2X_3$$

$$R^2 = 0.99640839, \quad \text{Std. Error of estimate.} = 0.65351$$

$$5.1.4 \text{ ความหนาแน่นปรากฏ} = -1.5623X_1 + 607.916X_2 + 11.5478X_3 + 0.0195X_1^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาร่วมกัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &+ 17.2976X_2^2 - 0.0454X_3^2 + 3.3154X_1X_2 \\
 &- 0.0192X_1X_3 - 6.3589X_2X_3 \\
 R^2 &= 0.99919422, \quad \text{Std. Error of estimate.} = 28.070
 \end{aligned}$$

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการทดลองนั้นใช้การป้อนวัตถุดิบ (น้ำข้าว) โดยใช้มือป้อน ทำให้เราไม่สามารถควบคุมอัตราการป้อนวัตถุดิบได้ ดังนั้นเพื่อเป็นประโยชน์ในการศึกษา จึงควรที่จะมีชุดเครื่องมือเพื่อควบคุมการป้อนวัตถุดิบให้เป็นมาตรฐาน เช่น ปุ่มของเหลวหนืดและอุปกรณ์ในการป้อนวัตถุดิบ แต่อุปกรณ์ชุดนี้อาจมีราคาแพงมากเกินไป ดังนั้นเราอาจใช้ Chamber ช่วยในการป้อนวัตถุดิบเพื่อให้มีอัตราการป้อนที่คงที่ และควรที่จะมีเครื่องกวนวัตถุดิบด้วย เนื่องจากเมื่อทิ้งไว้ในอากาศนานๆ วัตถุดิบอาจเกิดการจับตัวแข็งตามขอบภาชนะหรืออาจเกิดการแยกชั้นระหว่างส่วนผสมได้ ตัวอย่างของ Chamber ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 Chamber ช่วยในการป้อนวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ข้าวผงที่ได้นั้นเมื่อนำมาละลายในน้ำร้อนแล้ว ผงข้าวจะรวมตัวกันเป็นก้อนทำให้ยากต่อการละลาย ดังนั้นจึงควรมีการเติมสารบางอย่างเพื่อช่วยลดการรวมตัวกันของข้าวผงและทำให้ละลายได้ง่ายขึ้น

5.2.3 การทดลองไม่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องสีของผลิตภัณฑ์ ความหนืดของน้ำข้าว ซึ่งผู้วิจัยคิดว่าอาจจะมีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ประกอบกับช่วงของอุณหภูมิ, เวลา Cooking time และความเร็วรอบที่ศึกษาอาจจะแคบเกินไป ดังนั้นถ้ามีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวแล้ว อาจจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะที่ดีกว่านี้ นอกจากนี้ควรมีการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการผลิตด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. AOAC, Official Method of Analysis of AOAC International, 16th Edition, Volume 2.
2. Daud, W.R.B.W, 1988, "Theoretical Investigation on the Conductive Drying of Thin Tilm of Starch Gel," First National Conference on Thermal Engineering, April, Malaysia, pp. 226-253.
3. Jean Ming Hong, 1989m "Dehydrated flakes production from mungbean slurry, A research thesis submitted in partial fullillment of the requirments for the degree of Master of Engineering, Bangkok, Thailand, Asian Institute of Technology, pp.21-55.
4. Keey, R.B., 1978, Introduction to Industrial Drying Operation, London, William Clowes and Sons Ltd., pp. 221-228.
5. Nobehel, G. and Moss, A.A.H. 1971, Drying of Solids in the Chemical Industry, London, Butter Worth Co.Ltd., pp.158-179.
6. Powerplant Technology, 1984, M.M.El-Wakil, McGraw-Hill Company.
7. Somchai and Mantana, 1998, "Rice product : Rice milk and instant rice," Bangkok, Thailand, Kasesart University, pp. 19-34.
8. Wadsworth, J.I.,Kolton, S.P. and Gallo, A.S., 1996. "Instant Sweet Potato Flakes Factor Affecting Drying Rate on Double Drum Dryer," Food Technology, Vol.20, No.6, pp. 111-114.
9. กิตติพงษ์ ห่วงรั้งษ์, 2545, กระบวนการแปรรูปอาหาร, ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร, คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน้า 505-521.
10. คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2539, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
11. งามชื่น คงเสรี, ละม้ายมาศ ยังสุข, สุรินทร์ วงศ์ปิยชน และ พูลศรี สว่างจิต. การผลิตข้าวกล้องสำเร็จรูป. รายงานประจำปี 2542-2543, สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, หน้า 32-47.
12. ทรงกลด บางยี่ขัน, สีสันสินคำข้าว, ข้าว : อาหารและการค้า, 2545, เอกสารเผยแพร่ ลำดับที่ 2 ของมูลนิธิข้าวไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ กรกฎาคม, หน้า 43-54.
13. ทรงศิริ แต่สมบัติ, 2542, การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis), พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
14. ประชา บุญญศิริกุล, มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, จุฬาลักษณ์ จารุณูช, ตวิษา โลหะนะ และวาโยห์ สนเทศ ผลของความชื้นและขนาดอนุภาคของข้าวโพดบดที่มีต่อคุณลักษณะบางประการของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์แบบสกรูคู่, รายงานค้นคว้าวิจัย ประจำปี 2535-2538, สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน้า 47-59.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. ผ.ศ. ปานมนัส ศิริสมบุญ. อ.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ อ.สาทิป รัตนภาสกร, สมบัติทางกายภาพของชีววัสดุ, กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร.
16. ผ.ศ. สาทิป รัตนภาสกร, การอบแห้งและเก็บรักษามะลิคพีช, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร.
17. พรศักดิ์ มนต์ศิริเพ็ญ, 2534, การทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก, วารสารอาหาร ปีที่ 21 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน, หน้า 178-181.
18. มณีวรรณ เจริญวโน. 2524, อิทธิพลของตัวแปรต่างๆในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพอาหารเด็กอ่อนโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า40-75.
19. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 462-2533. “ซูปกึ่งสำเร็จรูป”. หน้า 2-6.
20. วรรณานาวิกมูล และ ทรงกลด บางยี่ขัน, 2545, อาหารและการค้า : ข้าว, เอกสารเผยแพร่ของมูลนิธิข้าวไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, พิมพ์ครั้งที่ 1, หน้า 43-54.
21. วิมลรัตน์ โพธิ์เตี้ย, 2535, การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
22. ส่วนทะเบียนการเกษตรและฐานข้อมูล สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2546.
23. สมบูรณ์ อูรานุกูล และคณะ, 2527, เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
24. สมฤดี วิบูลพัฒพงศ์, 2540, การผลิตเครื่องต้มเลียนแบบนมจากปลายข้าวเจ้า, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
25. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร, “ปฏิบัติการเรื่อง การอบแห้งด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอก (Drum drying)” เอกสารประกอบการสอนวิชา Unit Operation in Food Engineering.
26. อรพิน เกิดชูชื่น, ณัฐชา เลาทกุลจิตต์, พร้อมลักษณ์ สรรพอคำ และ สุภัทร์ จันทร์วรชัยกุล, 2545, การผลิตเครื่องต้มเลียนแบบนมจากข้าวพีช. วารสารอาหาร ปีที่ 32 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน, หน้า 200-212.
27. อรัญญา พรหมทอง และ ชีรัชย์ อุดมอิทธิพงศ์, 2534, การศึกษาเปรียบเทียบอุปกรณ์อบแห้งสำหรับสารชีวภาพ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 45-51.
28. เอกสงวน ชูวิสิษฐกุล, 2542, ข้าวกล้อง, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยี สถาบันวิจัย

เอกสารนี้เป็นข่าวสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ก.1 การกำหนดมาตรฐานข้าวสำหรับโรงสี และตลาดข้าว [24]

การกำหนดมาตรฐานข้าวมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการค้าข้าว ประการแรก คือ การซื้อขายข้าวที่มีมาตรฐานแน่นอนจะสะดวกในการสั่งซื้อ การส่งมอบข้าว และการตกลงราคาข้าว ประการที่สอง คือ สะดวกในการขนส่ง เพราะข้าวที่มีมาตรฐานเดียวกันส่งร่วมกันได้ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายและสิ้นเปลืองน้อย ประการที่สาม คือ สะดวกทั้งผู้ซื้อ และผู้ขาย ในการแจ้งราคาข้าว เพราะการที่แจ้งราคาข้าวร่วมกันไปย่อมยากที่จะพิจารณาราคาข้าว นอกจากนี้ยังสะดวกในการเปรียบเทียบราคาข้าวที่มีอยู่ในท้องตลาด หรือระยะเวลาที่ต่างกัน และประการสุดท้าย ทำให้สะดวกในการเป็นหลักประกันเงินกู้

คำจำกัดความที่ใช้กำหนดมาตรฐาน คือ

1. พันข้าว คือ ข้าวสารแต่ละชนิดที่นำมาผสมกันเข้าตามส่วน เพื่อให้ได้ข้าวสารแต่ละชนิดซึ่งกำหนดไว้ในมาตรฐาน
2. ข้าวสาร คือ ข้าวเต็มเมล็ด หรือ ไม่เต็มเมล็ด ที่ได้ผ่านการสีซึ่งได้แยกเอาแกลบ หรือรำออกทั้งหมด หรือบางส่วนออกแล้ว ข้าวสารมี 2 ชนิด คือ ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว
3. ขนาดของเมล็ดข้าวสาร แบ่งออกได้ 3 ขนาด ได้แก่
 - 3.1 ข้าวสารเต็มเมล็ด (head-rice) คือ เมล็ดข้าวสารที่มีความยาวตั้งแต่ 8 ส่วนขึ้นไป ตามมาตรฐานของข้าวที่กำหนดไว้
 - 3.2 คั้นข้าว (big-broken) คือ ข้าวสารที่มีความยาวตั้งแต่ 5 ส่วนขึ้นไป ตามมาตรฐานของข้าวที่กำหนดไว้ แต่ไม่ถึงความยาวของข้าวเต็มเมล็ด
 - 3.3 ปลายข้าว (broken) คือ เมล็ดข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 2 ส่วนขึ้นไปตามมาตรฐานของข้าวที่กำหนดไว้ แต่ไม่ถึงความยาวขั้นต่ำของข้าวขนาดมาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับข้าวชนิดนั้น มีขนาดอย่างต่ำไม่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 6 (ขนาดรู 0.055 นิ้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 แสดงปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว ในปี พ.ศ.2544-2545

ชนิด	2544		2545	
	ปริมาณ (เมตริกตัน)	มูลค่า (1000 บาท)	ปริมาณ (เมตริกตัน)	มูลค่า (1000 บาท)
ข้าว (รวม)	7,685,050	70,122,977	7,327,005	70,005,464
ข้าวเจ้าขาว	5,026,706	47,831,845	5,314,158	50,631,670
ข้าวเหนียว	209,944	2,079,420	229,011	2,626,598
ข้าวกล้อง	118,042	1,312,544	91,546	986,217
ข้าวนึ่ง	2,323,448	18,827,009	1,689,295	15,728,259
ปลายข้าวนึ่ง	3,587	23,439	1,255	7,905
ข้าวอื่นๆ	3,323	48,720	1,740	24,813
ผลิตภัณฑ์ข้าว(รวม)	146,100	3,060,271	133,972	3,233,233
แป้งข้าวเจ้า	24,880	435,082	26,755	450,975
แป้งข้าวเหนียว	62,856	1,304,162	69,471	1,576,549
แป้งข้าวอื่นๆ	21,063	26,196	1,132	25,227
เส้นหมี่-ก๋วยเตี๋ยว	37,301	1,294,831	36,614	1,180,482

แหล่งข้อมูล : ส่วนทะเบียนการเกษตรกรรมและฐานข้อมูล สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [22]

มูลนิธิข้าวไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ [12] ได้จัดทำเอกสารประมวลผลการสำรวจ (พ.ศ.2544-2545)

“ฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์จากข้าวที่ผลิตในประเทศไทย” โดยจัดสินค้าข้าวที่สำรวจพบไว้เป็น 6 กลุ่ม คือ

1. ผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากข้าว 54 รายการ (ข้าวสำเร็จรูปพร้อมรับประทานชนิดต่างๆ)
2. ผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำจากแป้งข้าว ทั้งข้าวขาว ข้าวกล้อง 41 รายการ (เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ ก๋วยจั๊บ เส้นขนมจีนสด/แห้ง เส้นพาสต้า สปาเก็ตตี้ โยเมียง ผงแป้งสำหรับผลิตยา)
3. ผลิตภัณฑ์น้ำมันพืชจากข้าว 26 รายการ (น้ำมันรำข้าว)
4. ผลิตภัณฑ์ขนมที่ทำจากข้าว 23 รายการ (ขนมทอด อบ อบกรอบชนิดต่างๆ ไอศกรีม)
5. ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ทำจากข้าว 16 รายการ (น้ำนมข้าว น้ำนมข้าวอายุ ชาใบข้าว เครื่องดื่มทดแทนกาแฟ ัญญาอาหารสำหรับขงดื่ม)
6. ผลิตภัณฑ์อื่นๆที่ทำจากข้าว 10 รายการ (อาหารเสริม แชมพู สบู่ น้ำมันนวด ครีมนำรุงผิว ถ่าน แกลบ ปู๋หมัก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำที่ทำจากข้าว [20]

ลำดับที่	เครื่องหมายการค้า	ประเภทสินค้า	หมายเหตุ
1	ศรีเรือน ฟิตโต	เครื่องดื่มนมข้าวยาสูบเพื่อสุขภาพ	ยังไม่ได้วางตลาดเพื่อการค้า เจ้าของลิขสิทธิ์คือ ศูนย์พันธุ วิศวกรรมศาสตร์และ เทคโนโลยีแห่งชาติ วิจัยโดย คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ
2	ศรีเรือน ฟิตโต	เครื่องดื่มนมข้าวยาสูบชนิดผง	
3	เลดี้สิริณ	นมข้าวพร้อมดื่ม	
4	อยู่ในระหว่างการตั้งชื่อ	น้ำนมจากข้าว	
5	เลดี้สิริณ	น้ำนมข้าวชนิดผง	ยังไม่มี การวางจำหน่ายอย่าง เป็นทางการ ผลิตโดยเครือข่าย ป่าตะวันออก
6	วี-พีท	น้ำนมข้าวยาสูบ	
7	หมีเจียง	น้ำข้าวกล้องผสมธัญพืช	
8	โกลเด้นไรซ์ (Golden Rice)	ข้าวกล้องปรุงสำเร็จ (ใช้ขงดื่ม)	
9	เขาค้อทะเลภู	ธัญพืชทดแทนกาแฟ ปราศจาก คาเฟอีน	
10	โคฟีโน (Cofeeno)	เครื่องดื่มธัญพืชที่มีรสชาติและ กลิ่นหอมของกาแฟ	
11	-	ชาใบข้าว	
12	เลดี้สิริณ	ไวน์ข้าว	
13	ฟิตเนฟลัส	ธัญญาหารปรุงสำเร็จ กลิ่นวานิล ลา (เครื่องดื่ม)	
14	ลิโก้	ธัญญาหารปรุงสำเร็จ กลิ่นวานิล ลาชนิดผง (เครื่องดื่ม)	
15	นกสูก	ธัญญาหารปรุงสำเร็จ กลิ่นวานิล ลา (เครื่องดื่ม)	
16	เวิลด์	ธัญญาหารปรุงสำเร็จ กลิ่นวานิล ลาชนิดผง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในชั้นเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข.1 ข้อมูลแสดงค่าสัมประสิทธิ์ผลทางสถิติของตัวแปรที่วิเคราะห์

ตารางที่ ข-1 ค่าสัมประสิทธิ์และผลทางสถิติของตัวแปรที่วิเคราะห์

Independent Variable	BETA	B	St. Err. of B	t-value	p-level	คุณลักษณะ
X_1	-11.74325	-1.272107	1.1928247	-1.066466	0.3272339	ความชื้น
X_2	14.641287	56.770025	37.734766	1.5044488	0.1831668	
X_3	2.7455885	0.0796932	0.4156527	0.1917304	0.8542774	
X_1^2	1.0647983	0.0033906	0.0095753	0.3540952	0.735379	
X_2^2	-2.499917	-9.951262	9.7820145	-1.017302	0.3482628	
X_3^2	-3.146148	-0.000786	0.00322	-0.244169	0.8152354	
$X_1 \times X_2$	0.1549228	0.0194582	0.2952684	0.0659	0.9495984	
$X_1 \times X_3$	9.6746182	0.009095	0.0090249	1.0077589	0.3524684	
$X_2 \times X_3$	-10.12779	-0.340791	0.289268	-1.178115	0.2833556	

โดยที่

ความชื้น	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-level
Regress.	147.11330	9	16.34592	4.73967	0.03591
Residual	20.69249	6	3.44875		
Total	167.80580				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ค่าสัมประสิทธิ์และผลทางสถิติของตัวแปรที่วิเคราะห์ (ต่อ)

Independent Variable	BETA	B	St. Err. of B	t-value	p-level	คุณลักษณะ
X_1	-0.03597	-0.0333	8.9177	-0.00373	0.997145	การละลายน้ำ
X_2	-0.74654	-24.7100	282.1093	-0.08759	0.933052	
X_3	-8.17307	-2.0251	3.1075	-0.65169	0.538745	
X_1^2	4.24991	0.1155	0.0716	1.61375	0.157710	
X_2^2	0.77154	26.2173	73.1314	0.35850	0.732248	
X_3^2	9.77307	0.0208	0.0241	0.86605	0.419740	
$X_1 \times X_2$	-2.5242	-2.7064	2.2075	-1.22602	0.266123	
$X_1 \times X_3$	-5.39506	-0.0433	0.0675	-0.64168	0.544797	
$X_2 \times X_3$	3.03000	0.8704	2.1626	0.40246	0.701295	

โดยที่

การละลายน้ำ	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-level
Regress.	11071.677	9	1230.1863	6.3820138	0.017564876
Residual	1156.55	6	192.75833		
Total	12228.227				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ค่าสัมประสิทธิ์และผลทางสถิติของตัวแปรที่วิเคราะห์ (ต่อ)

Independent Variable	BETA	B	St. Err. of B	t-value	p-level	คุณลักษณะ
X_1	2.118604	0.4732205	0.4197559	1.1273708	0.3026418	การดูดซับน้ำ
X_2	1.6481616	13.177042	13.278891	0.9923301	0.3593538	
X_3	0.73772	0.0441526	0.1462685	0.3018597	0.7729484	
X_1^2	-1.721178	-0.011301	0.0033695	-3.353797	0.015347	
X_2^2	-0.410645	-3.370527	3.4422978	-0.97915	0.3653197	
X_3^2	-0.644537	-0.000332	0.0011331	-0.2931	0.7793184	
$X_1 \times X_2$	0.6652582	0.1722884	0.1039052	1.658131	0.1483646	
$X_1 \times X_3$	0.3930037	0.0007618	0.0031759	0.2398709	0.818415	
$X_2 \times X_3$	-1.914191	-0.132812	0.1017936	-1.304717	0.2397946	

โดยที่

การดูดซับน้ำ	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-level
Regress.	710.8876	9.0000	78.9875	184.9510	1.23057E-06
Residual	2.5624	6.0000	0.4271		
Total	713.4501				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ค่าสัมประสิทธิ์และผลทางสถิติของตัวแปรที่วิเคราะห์ (ต่อ)

Independent Variable	BETA	B	St. Err. of B	t-value	p-level	คุณลักษณะ
X_1	-0.07713	-1.562291	18.029417	-0.086652	0.9337673	ความหนาแน่น ปรากฏ
X_2	0.8384997	607.91598	570.35691	1.0658519	0.32749	
X_3	2.1277133	11.547819	6.2825456	1.8380796	0.1156856	
X_1^2	0.0327055	0.0194727	0.1447294	0.1345455	0.8973711	
X_2^2	0.0232398	17.297584	147.85409	0.1169909	0.9106851	
X_3^2	-0.97094	-0.045369	0.0486697	-0.932177	0.3872182	
$X_1 \times X_2$	0.1411726	3.31542	4.4629506	0.7428762	0.4856141	
$X_1 \times X_3$	-0.109168	-0.019189	0.1364109	-0.140674	0.8927318	
$X_2 \times X_3$	-1.010667	-6.358899	4.3722544	-1.454375	0.1960751	

โดยที่

ความหนาแน่นปรากฏ	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-level
Regress.	5862171	9	651352.34	826.6931	0.00000014
Residual	4727	6	787.90		
Total	5866898				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 ผลของการเติมสาร Stabilizer

ได้ทำการเพื่อศึกษาผลของสาร Stabilizer ต่อคุณลักษณะต่างๆของข้าวผง โดยการเติมสาร Stabilizer (FLANOGEN OCA 43) ในปริมาณ 0.1% โดยน้ำหนัก ซึ่งเติมลงในข้าวก่อนทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง และใช้เวลาในการหุงต้ม 30 นาที, ความเร็วรอบ Drum dryer 0.8219 รอบ/นาที และอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง 115 °C โดยผลของคุณลักษณะต่างๆ สามารถเปรียบเทียบได้กับเมื่อไม่ใส่สาร Stabilizer ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ ข-2 ตารางเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆ ของข้าวผงเมื่อใส่สาร Stabilizer และไม่ใส่สาร Stabilizer

คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์	ค่าเฉลี่ยไม่ใส่สาร stabilizer	เติม 0.1 % สาร Stabilizer
ความชื้น, % มาตรฐานเปียก	1.84843	6.37
ความสามารถในการละลายน้ำ	1.4078	0.5472
ความสามารถในการดูดซับน้ำ	7.76	7.9611
ความหนาแน่นรวม, กรัม/ลิตร	608.7	617.1

ข.3 การคำนวณหาอัตราการระเหยของน้ำและคุณสมบัติของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

จากการทดลองเราสามารถหาค่าอัตราการระเหยได้ดังแสดงในสมการที่ (ข.1)

$$\text{อัตราการระเหย (kg/s)} = \frac{dw}{dt} = \frac{m_r - m_p}{t} \quad (\text{ข.1})$$

โดย m_r = น้ำหนักข้าวที่ปั่นแล้วก่อนทำการอบแห้ง, kg
 m_p = น้ำหนักข้าวผงที่ได้, kg
 t = เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง, s

และจากค่าอัตราการระเหยที่ได้เราสามารถนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม (U) ได้จากสมมูลความร้อน ดังสมการที่ (ข.2)

$$\frac{dw}{dt} = \frac{UA\Delta T}{H_{fg}} \quad (\text{ข.2})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้	U	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
	A	=	พื้นที่ผิวของลูกกลิ้งที่สัมผัสกับอาหาร, ตารางเมตร
	ΔT	=	ผลต่างของอุณหภูมิของไอน้ำกับอุณหภูมิอาหาร, $^\circ C$
	H_{fg}	=	ค่าความร้อนแฝงของการระเหย, J/kg

จากสถานะที่ เวลาที่ใช้ในการหุงต้ม 40 นาที ความเร็วรอบ 0.8219 rpm. (7.5 Hz) และที่อุณหภูมิผิวลูกกลิ้ง $125^\circ C$ คำนวณได้ ดังนี้

$$\frac{dw}{dt} = \frac{4.00 - 0.63}{1.13} = 2.98 \text{ kg/hr}$$

$$U = \frac{2.98 \times 2316420}{0.6122(121.70 - 29)} = 33.71 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$$

* ค่าความร้อนแฝงในการระเหย = $2,316,420 \text{ J/kg}$ [6]

โดยจากสมการที่ (ข.2) ค่า H_{fg} ที่นำมาใช้นั้นเป็นค่าความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำที่อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิอาหารกับอุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งคือ $29^\circ C$ และ $125^\circ C$ ซึ่งจากสมการที่ (ข.1) สามารถหาค่าอัตราการระเหยในการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 2.60 kg/hr และเมื่อนำค่าอัตราการระเหยที่ได้ไปแทนในสมการที่ (ข.2) นำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยรวมที่ถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำในเครื่องอบแห้งจนถึงอาหาร ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยเป็น $33.93 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 แสดงค่าการคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

สภาวะ การทดลอง	m_f (kg)	m_p (kg)	น้ำ ระเหย (kg)	t (hr)	dw/dt (kg/hr)	อุณหภูมิ ไอน้ำ (°C)	H_{fg} (kJ/kg)	U (W/m ² ·°C)
40 นาที 0.8219 rpm 125 °C	4.0	0.63	3.37	1.13	2.98	121.70	2316.42	33.71
40 นาที 1.1538 rpm 115 °C	4.0	0.65	3.35	1.23	2.72	113.30	2329.00	33.84
20 นาที 1.1538 rpm 115 °C	4.2	0.67	3.53	1.23	2.87	113.30	2329.00	35.87
30 นาที 1.1538 rpm 105 °C	4.3	0.70	3.60	1.53	2.35	99.64	2341.40	35.31
40 นาที 0.5263 rpm 115 °C	4.2	0.63	3.57	1.47	2.43	113.30	2329.00	30.49
40 นาที 0.8219 rpm 105 °C	3.9	0.67	3.23	1.42	2.27	99.64	2341.40	34.34
	ค่าเฉลี่ย			1.34	2.60		ค่าเฉลี่ย	33.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ก.1 คุณภาพอาหารและการควบคุมคุณภาพอาหารโดยการตรวจสอบ [10]

คุณภาพ คือ ลักษณะและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้ผู้บริโภคเกิดความพึงพอใจเมื่อนำไปใช้ การจะผลิตสินค้าที่มีคุณภาพดีนั้น ผู้ผลิตจะต้องทราบความต้องการของผู้ซื้อหรือผู้บริโภค แล้วจึงทำการออกแบบผลิตภัณฑ์และวางแผนการผลิต อีกทั้งกำหนดมาตรฐานคุณภาพของวัตถุดิบของขั้นตอนการผลิตและของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ในการดำเนินการผลิตจึงต้องทำการควบคุมและตรวจสอบเพื่อให้บรรลุจุดประสงค์ตามแผนและมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

การควบคุมคุณภาพ คือการปฏิบัติใดๆ ซึ่งก่อให้เกิดผลในการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่ให้เปลี่ยนแปลงไปจากมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้นการควบคุมคุณภาพจึงต้องเริ่มตั้งแต่การจัดองค์กรและระบบการทำงานอย่างเหมาะสม ลำดับต่อมาคือการเตรียมแผนและออกแบบก่อนการผลิตจริง การกำหนดมาตรฐานเพื่อการผลิตการควบคุมและตรวจสอบในระหว่างการผลิต ตลอดจนถึงการให้การศึกษอบรมบุคลากรทุกระดับชั้น ให้มีความรู้ความสามารถที่จะปฏิบัติงานของตนได้อย่างเหมาะสม

คุณสมบัติของอาหารซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณภาพ มี 4 ประการ คือ

1. คุณสมบัติทางเคมี เช่น ปริมาณความชื้นในอาหาร
2. คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ขนาด รูปทรง ความหนาแน่น
3. คุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัส
4. คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา เช่น ปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดในอาหาร

ในการผลิตพบว่าหากคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างของวัตถุดิบไม่สม่ำเสมอส่งผลให้เกิดความไม่สม่ำเสมอในคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายด้วย หรือถ้าไม่สามารถควบคุมขั้นตอนการผลิตให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ย่อมแปรปรวนไปได้ ดังนั้นในการผลิตซึ่งต้องการความสม่ำเสมอของคุณภาพผลิตภัณฑ์ จึงต้องทำการควบคุมและตรวจสอบคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างดังกล่าวข้างต้น ซึ่งการประเมินคุณภาพอาหารและผลิตภัณฑ์ทำได้หลายวิธีดังนี้ คือ

1. การประเมินคุณภาพโดยใช้ประสาทสัมผัส
2. การประเมินคุณภาพโดยใช้เครื่องมือทดสอบ
3. การประเมินคุณภาพโดยวิธีทางเคมี
4. การประเมินคุณภาพโดยวิธีทางจุลชีววิทยา

ก.2 การประเมินคุณภาพด้วยประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

การประเมินคุณภาพด้วยประสาทสัมผัส หมายถึง การใช้คนซึ่งมีประสาทสัมผัสทั้งห้าในการบอกคุณภาพของอาหาร การใช้ประสาทสัมผัสนี้อาจใช้พร้อมๆกัน หรืออย่างใดอย่างหนึ่งแล้วแต่ลักษณะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคุณภาพที่ต้องการทราบ ความรู้สึกจากการสัมผัสด้วยมือหรือภายในช่องปาก การดมกลิ่น การเคี้ยว การไต่ยีน มีความสำคัญในการบอกคุณภาพของอาหาร คือ

1. ใช้บอกลักษณะคุณภาพของอาหารที่เครื่องมือบอกไม่ได้ หรือต้องใช้เครื่องมือช่วยยก
2. ใช้บอกความรู้สึกของผู้บริโภคที่มีต่ออาหารนั้น
3. ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างการยอมรับของผู้บริโภค กับค่าที่วัดได้ด้วยเครื่องมือ เพื่อใช้เครื่องมือในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพในโอกาสต่อไป

ก.3 ผู้ประเมิน

การประเมินคุณภาพจะแบ่งเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ ลักษณะการใช้แทนเครื่องมือเป็นการหาระดับความเข้มของคุณลักษณะใดลักษณะหนึ่ง เช่น หวานมาก-หวานน้อย กลิ่นแรงมาก-กลิ่นแรงน้อย และลักษณะการใช้แทนความรู้สึกของผู้บริโภคว่าชอบหรือไม่ชอบอาหารนี้ ชอบมากแค่ไหน ลักษณะการใช้ที่แตกต่างกันทำให้ต้องใช้ผู้ประเมินต่างกันและแบบสอบถามต่างกัน ผู้ชิมแบบแรกจะต้องมีการฝึกฝนมาก่อน มีความสามารถในการบอกความแตกต่างของคุณลักษณะต่างๆได้ และภายในกลุ่มผู้ประเมินมีความเข้าใจในเรื่องของกลิ่นรสและระดับของ ความเข้มเป็นอย่างเดียวกัน จำนวนผู้ประเมินอาจมีได้ตั้งแต่ 1 คนขึ้นไป ส่วนผู้ประเมินกลุ่มหลังจะเป็นตัวแทนผู้บริโภค จึงเป็นกลุ่มบุคคลที่ไม่ต้องมีการฝึกฝนมาก่อนและจะต้องมีจำนวนมาก และมีคุณสมบัติตรงกับผู้บริโภคจริงๆ ข้อมูลที่ได้จึงน่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตามผู้ประเมินไม่ว่าจะเป็นการประเมินในลักษณะไหนควรมีคุณสมบัติพื้นฐาน คือ มีความเต็มใจในการประเมิน ไม่รังเกียจอาหารที่ชิม กล้าแสดงความคิดเห็นและไม่ใจผู้เตรียมอาหารหรือผู้ที่เกี่ยวข้องโดยตรง

ก.4 แบบการทดสอบ

แบบการทดสอบมีหลายชนิดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมและวัตถุประสงค์ของการทดสอบ โดยต้องการทราบความแตกต่างหรือระดับของความแตกต่าง ความชอบหรือระดับของความชอบ

1.แบบสามเหลี่ยม (Triangle Test)

ใช้ทดสอบความแตกต่างของอาหาร 2 อย่าง ให้ตัวอย่างอาหารสองตัวอย่างเหมือนกันและอีกตัวอย่างหนึ่งแตกต่างออกไป แล้วให้เลือกว่าตัวอย่างไหนแตกต่างจากอีกสองตัวอย่าง (หรือให้เลือกว่าตัวอย่างไหนเป็นตัวอย่างเดี่ยว สองตัวอย่างไหนเป็นสองตัวอย่างคู่) เช่น เราเสนอตัวอย่างเป็น ก ก ข ถ้าผู้ประเมินเลือกแยก ข ออกจาก ก ได้ถูกต้องทุกคน ก็แสดงว่าตัวอย่าง ก และตัวอย่าง ข แตกต่างกันได้

2.แบบสองสาม (Duo-Trio Test)

ใช้ทดสอบความแตกต่างของอาหาร 2 อย่าง ให้ตัวอย่างหนึ่งเป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ และให้ตัวอย่างทดสอบ 2 ตัวอย่าง แล้วกำหนดให้เลือกว่าตัวอย่างไหนเหมือนกับตัวอย่างเปรียบเทียบ วิธีนี้จะให้ความสะดวกแก่ผู้ชิมมากกว่าวิธีแรก ถ้าผู้ประเมินเลือกถูกต้องทุกคนแสดงว่าตัวอย่าง 2 ตัวอย่างนั้นแตกต่างกัน คือ ตัวอย่างหนึ่งเหมือนตัวอย่างเปรียบเทียบและอีกตัวอย่างหนึ่งไม่เหมือนกับตัวอย่างเปรียบเทียบ

3.แบบเปรียบเทียบคู่ (Paired Comparison Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ทดสอบความแตกต่างหรือความชอบของอาหาร 2 อย่างเช่นเดียวกับการทดสอบ 2 แบบแรก ให้ตัวอย่าง 2 ตัวอย่างเปรียบเทียบกัน แล้วกำหนดให้เลือกตัวอย่างที่มีลักษณะที่สนใจเด่นชัดกว่า กลิ่นหอมกว่าหรือชอบมากกว่า ถ้าทุกคนมีความเห็นเหมือนกัน ก็สรุปผลได้ทันทีว่ามีความแตกต่างกันตามลักษณะที่ถามนั้น

4.แบบเปรียบเทียบหลายตัวอย่าง (Multiple Comparison Test)

ใช้ทดสอบความแตกต่างและความชอบโดยเปรียบเทียบตัวอย่างทดสอบกับตัวอย่างมาตรฐาน แล้วบอกเป็นระดับความแตกต่างหรือระดับความชอบ เช่น หวานมากกว่า หวานน้อยกว่า หรือชอบมากกว่า ชอบน้อยกว่า

5.แบบจัดอันดับ (Ranking Test)

ใช้ทดสอบระดับความแตกต่างหรือความชอบโดยการให้ตัวอย่างหลายตัวอย่าง แล้วให้จัดอันดับตามความเข้มของลักษณะที่สนใจ หรือจัดอันดับตามความชอบ

6.แบบให้คะแนน (Scoring Test)

ใช้ทดสอบระดับความแตกต่างหรือความชอบ ในกรณีทดสอบความชอบมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Hedonic test ให้ตัวอย่างอาหารซึ่งอาจเป็นตัวอย่างเดียวหรือหลายตัวอย่าง แล้วให้ผู้ประเมินให้คะแนนตามระดับความเข้มของคุณลักษณะที่ทดสอบ (ซึ่งกำหนดไว้เป็นคะแนนมาตรฐานเป็นที่เข้าใจในกลุ่มผู้ประเมินแล้ว) หรือให้คะแนนตามระดับความชอบ (แต่ทุกคนมีความรู้สึกของตนเอง) ถ้าใช้คะแนนที่มีมาตรฐานเดียวกันแล้วก็สามารถนำผลคะแนนของแต่ละตัวอย่างมาเปรียบเทียบกันได้

7.แบบให้รายละเอียด(Profile Test)

ใช้บอกคุณลักษณะเฉพาะของอาหารชนิดหนึ่งๆ โดยการให้ผู้ประเมินที่มีความชำนาญพิเศษแยกแยะว่าอาหารนั้นมีคุณลักษณะตามสเกลมาตรฐาน แล้วจัดทำเป็นบันทึกในรูปแบบแผนผังคล้ายใยแมงมุมที่อธิบายคุณลักษณะของอาหารนั้น

ก.5 การวิเคราะห์ผล

ผู้ประเมินที่มีความชำนาญพิเศษจะให้ผลของการประเมินเป็นที่เชื่อถือได้ ถึงแม้ว่าจะให้ผู้ประเมินเพียงคนเดียว เช่น การชิมเหล้า แต่โดยทั่วไปการเพิ่มจำนวนผู้ชิมจะทำให้ผลการชิมน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามความคิดเห็นของผู้ประเมินอาจไม่เป็นเอกฉันท์หรือคะแนนเฉลี่ยที่ตัวอย่างอาหารได้รับมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่สามารถตัดสินใจได้ว่าตัวอย่างมีความแตกต่างกันจริงหรือไม่ ทำให้มีความจำเป็นในการนำสถิติมาช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งการวิเคราะห์ทางสถิติจะแบ่ง ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1. กลุ่มการทดสอบแบบที่ 1 ถึงแบบที่ 3 ใช้การทดสอบแบบ Chi-square และมีตารางสำเร็จรูปให้ใช้เพื่อความสะดวก โดยตรวจคำตอบจากผู้ประเมินว่าตอบถูกหรือตอบเหมือนกันเป็นจำนวนเท่าไร ถ้าตอบถูกเท่ากันหรือมากกว่าที่ให้ไว้ในตาราง ก็แสดงว่าตัวอย่างทั้งสองที่ทดสอบนั้นมีความแตกต่างกัน

2. กลุ่มการทดสอบแบบที่ 4 ถึงแบบที่ 6 ใช้การทดสอบแบบ analysis of variance ก่อน โดยการเปรียบเทียบค่าคะแนนเฉลี่ยของตัวอย่างต่างๆว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ และถ้ามีความแตกต่างก็จะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบต่อไปด้วย Duncan's multiple range test หรือ Least significant difference test ว่าตัวอย่างไหนแตกต่างจากตัวอย่างไหน

ก.6 การประเมิน

การใช้คนทั้งในลักษณะแทนเครื่องมือเพื่อบอกความแตกต่างและชี้ระดับความแตกต่างของความเข้มของคุณลักษณะและในลักษณะเป็นตัวแทนบอกความรู้สึกของผู้บริโภคนั้น มีโอกาสผิดพลาดได้ง่าย เนื่องจากคนมีอารมณ์เข้ามาเกี่ยวข้องกับความคิดเห็น จึงต้องพยายามรักษาสถานการณ์ให้ผู้ประเมินเกิดความลำเอียงน้อยที่สุดหรือเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด คือ

1. สถานที่ประเมิน จะต้องเงียบสงบไม่พลุกพล่าน ไม่เดินผ่านบริเวณเตรียมอาหาร ไม่มีกลิ่นรบกวน มีความเป็นส่วนตัว

2. ความสม่ำเสมอของการประเมิน อาจมีการจัดเตรียมตัวอย่างสำหรับให้ชิมไม่พร้อมกัน จึงจึงมีวิธีการจัดเตรียมที่เป็นมาตรฐาน ทำให้แน่ใจว่าตัวอย่างทุกตัวอย่างไม่มีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยไม่ได้ตั้งใจ ที่อาจเกิดขึ้นจากวิธีการจัดเตรียมที่ไม่เหมือนกัน ควรทดลองจัดเตรียมตัวอย่างและการประเมินให้ชำนาญก่อน

3. ข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่าง ควรให้ข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่างให้น้อยที่สุด เพราะข้อมูลเหล่านี้อาจมีผลในการชักจูงการตัดสินใจ

4. ความสม่ำเสมอของตัวอย่าง ควรให้ตัวอย่างอาหารมีความสม่ำเสมอทั้งในตัวอย่างเดียวกันและตัวอย่างต่างกัน เช่น ขนาดชิ้น ปริมาณที่ให้ชิม สี และอุณหภูมิ

5. จำนวนตัวอย่างที่ให้ชิมในแต่ละคราว ไม่มากเกินไปจนผู้ชิมสับสน

6. การให้ชิม โดยปกติจะให้ผู้ประเมินนั่งประจำที่และนำตัวอย่างอาหารพร้อมน้ำเปล่ามาให้ แต่ในกรณีที่มีตัวอย่างปริมาณน้อยไม่พอที่จะแบ่งได้อาจให้ผู้ประเมินเดินตัก โดยแบ่งอาหารแต่ละตัวอย่างเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งสำหรับคุณลักษณะทั่วไปในสภาพสมบูรณ์ และอีกส่วนหนึ่งให้ตักชิม โดยวิธีนี้ผู้ประเมินมีโอกาสสนทนากันได้ จึงต้องเตือนล่วงหน้าไม่ให้สนทนาแสดงความคิดเห็นระหว่างชิม

7. การจัดลำดับอาหารในการชิม ลำดับการให้ชิมมีผลต่อการตัดสินใจ เช่น ตัวอย่างเหมือนกันชิมก่อนจะได้คะแนนดีกว่า หรือชิมตัวอย่างดีก่อน ทำให้ตัวอย่างที่ด้อยกว่าและชิมทีหลังได้คะแนนน้อยลงไปกว่าที่ควร กรณีนี้กับที่ผู้ประเมินมักจะชิมตัวอย่างจากซ้ายไปขวา ดังนั้นเราจึงต้องจัดลำดับตัวอย่างลงถาดในลักษณะต่างๆไม่ให้ซ้ำกัน โดยการใช้ตารางเลขสลับ เพื่อให้ผู้ประเมินแต่ละคนได้ลำดับการชิม (จากซ้ายไปขวา) ไม่เหมือนกัน

8. การให้รหัสตัวเลข ตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะต้องมีชื่อ แต่การเรียกชื่อตัวอย่าง 1 2 3 หรือ ก ข ค อาจทำให้เกิดความรู้สึกลำเอียง เช่น คิดว่าตัวอย่างที่ 1 หรือ ก ต้องเป็นตัวอย่างที่ดีที่สุด จึงนิยมเรียกชื่อเป็นตัวเลข 3 หน่วย เช่น 479, 512 อาจกำหนดตัวเลขขึ้นมาเองหรือใช้ตารางเลขสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. แบบสอบถาม จะต้องง่ายและทำให้ผู้ประเมินมีความเข้าใจในแบบสอบถามก่อนจึงจะตอบได้ตรงคำถาม อาจมีการทดสอบแบบสอบถามไปพร้อมๆกับการทดลองจัดเตรียมการชิม ดูว่าผู้ประเมินมีความเข้าใจแบบสอบถามได้ถูกต้องหรือไม่

ก.7 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำข้าวผงปรุงแต่ง

ตารางที่ ก-1 แสดงอัตราส่วนประกอบของน้ำข้าวผงปรุงแต่ง

ส่วนประกอบ	ปริมาณ % โดยน้ำหนัก
ตัวอย่าง	7
นมผงชนิดจืด	5
น้ำตาล	6
น้ำ	82

ตารางที่ ก-2 แสดงสถานะของตัวอย่างแต่ละหมายเลข

ตัวอย่างหมายเลข	เวลาที่ใช้ในการหุงต้ม (นาที)	ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง (rpm.)	อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง (°C)
No.138	30	0.5263	125
No.724	30	0.8219	115
No.517	40	0.8219	105
No.954	30	1.1538	105
No.610	40	0.8219	125
No.385	20	1.1538	115
No.461*	30	0.8219	115 + สาร Stabilizer

คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติ สี และการยอมรับ ของน้ำข้าวผงปรุงแต่ง (แบบ Hedonic 9 Scale) โดยวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ วิธี ANOVA ซึ่งแผนการทดลองที่ใช้ คือ CRD (ไม่คำนึงถึงผู้ทดสอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

Hedonic Scaling Test

ชื่อผู้ทดสอบ _____

วันที่ _____

ประเมินตัวอย่างเหล่านี้ทางประสาทสัมผัส และให้คะแนนในข้อที่ท่านคิดว่าเหมาะสมกับแต่ละตัวอย่าง ตามความหมายรู้สึกทางด้านประสาทสัมผัสของท่าน

ตารางแสดงความหมายของการให้คะแนน

หมายเลข	ความหมาย	หมายเลข	ความหมาย
9	ชอบมากที่สุด	4	ไม่ชอบเล็กน้อย
8	ชอบมาก	3	ไม่ชอบปานกลาง
7	ชอบปานกลาง	2	ไม่ชอบมาก
6	ชอบเล็กน้อย	1	ไม่ชอบมากที่สุด
5	รู้สึกเฉย ๆ	-	-

คุณสมบัติ	ตัวอย่าง						
	No.138	No.724	No.517	No.954	No.610	No.385	No.461
เนื้อสัมผัส							
กลิ่น							
รสชาติ							
สี							
ความพึงพอใจ							
ข้อเสนอแนะ							

รูปที่ ก-1 แสดงแบบฟอร์มแบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

Hedonic Scaling Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำข้าวผงปรุงแต่ง

ตัวอย่าง	คะแนนเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	เนื้อสัมผัส	กลิ่น	รสชาติ	สี	ความพึงพอใจ
138	5.8 \pm 2.3476 ^a	5.5 \pm 1.5092 ^a	5.6 \pm 1.5055 ^{ab}	4.0 \pm 1.9437 ^c	4.5 \pm 2.3688 ^{ab}
724	5.6 \pm 2.1187 ^{ab}	5.8 \pm 1.6193 ^a	5.6 \pm 2.4585 ^{ab}	4.1 \pm 2.2828 ^c	5.1 \pm 2.8460 ^{ab}
517	3.4 \pm 1.5776 ^c	4.8 \pm 1.7512 ^a	3.6 \pm 2.6331 ^b	3.8 \pm 2.7809 ^c	3.4 \pm 2.3664 ^b
954	3.6 \pm 2.4585 ^{bc}	5.1 \pm 2.2336 ^a	3.8 \pm 2.6162 ^b	3.9 \pm 2.0790 ^c	3.9 \pm 2.6437 ^b
610	6.8 \pm 1.6193 ^a	5.7 \pm 2.3594 ^a	6.3 \pm 1.7029 ^a	7.7 \pm 1.1595 ^a	6.9 \pm 2.0248 ^a
385	5.6 \pm 2.9136 ^{ab}	5.2 \pm 2.3944 ^a	5.4 \pm 2.8752 ^{ab}	7.0 \pm 1.6330 ^{ab}	5.1 \pm 2.8848 ^{ab}
461	5.5 \pm 2.0683 ^{ab}	5.7 \pm 1.5670 ^a	5.9 \pm 1.8529 ^{ab}	5.4 \pm 2.2706 ^{bc}	4.9 \pm 2.4698 ^{ab}

a, b, c, ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

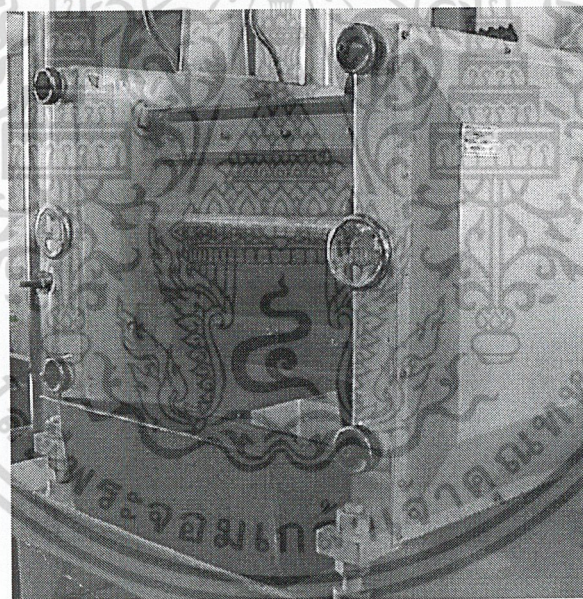
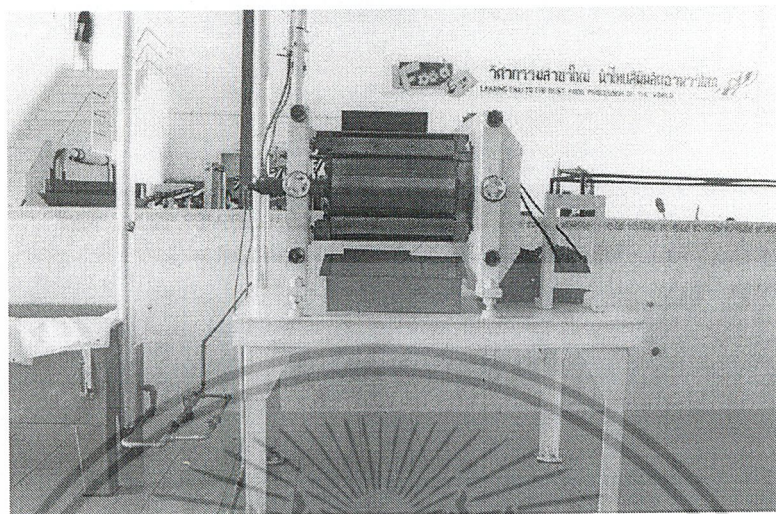
จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ สามารถพิจารณาได้ว่า

- ด้านเนื้อสัมผัส ตัวอย่างที่ 610 และ 138 ได้รับการยอมรับสูงสุดซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างที่ 954 และ 517 แต่ตัวอย่างที่ 610 มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 138 จึงสามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างที่ 610 ได้รับการยอมรับสูงสุด
- ด้านกลิ่น ทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกัน แต่สามารถเลือกตัวอย่างที่ 724 ได้ เพราะมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด
- ด้านรสชาติ และความพึงพอใจ ตัวอย่างที่ 610 ได้รับการยอมรับสูงสุดซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างที่ 954 และ 517
- ด้านสี ตัวอย่างที่ 610 ได้รับการยอมรับสูงสุดซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างที่ 461, 724, 138, 954 และ 517

ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว จึงสามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างที่ 610 ได้รับการยอมรับด้านเนื้อสัมผัส รสชาติ สี และความพึงพอใจสูงที่สุด แม้ว่าด้านกลิ่นนั้น ตัวอย่างที่ 610 ได้รับการยอมรับ น้อยกว่าตัวอย่างที่ 724 แต่ก็ไม่แตกต่างมากนัก

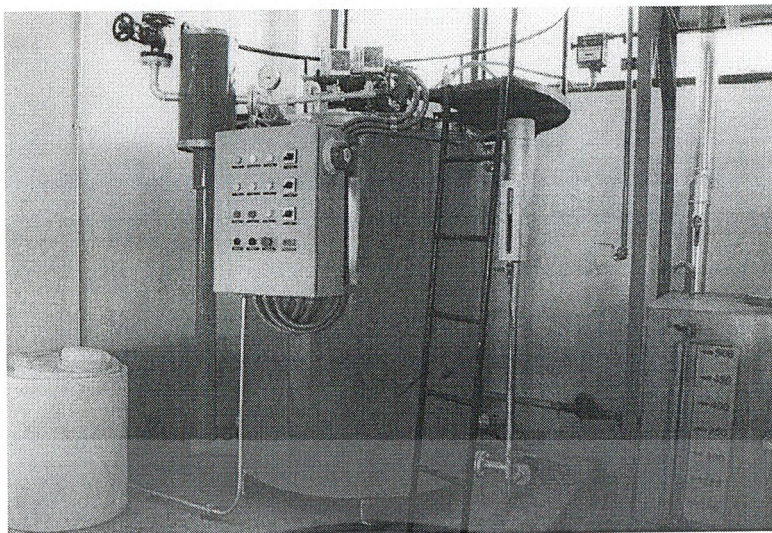
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

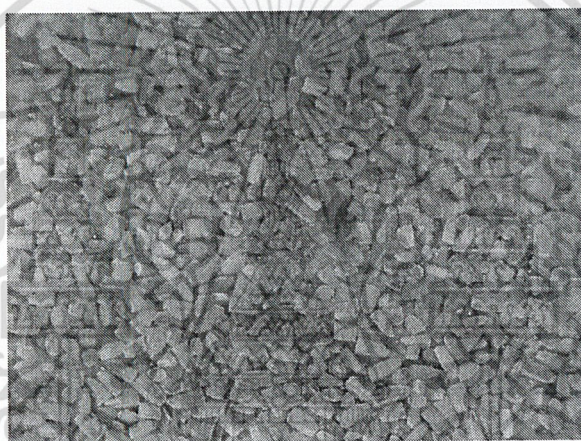


รูปที่ ง-1 แสดงเครื่อง Double Drum Dryer ที่ใช้ในการผลิตข้าวผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-2 แสดง Boiler แหล่งกำเนิดไอน้ำให้กับ Drum Dryer



รูปที่ ง-3 แสดงลักษณะปลายข้าวกลิ้งหักก่อนการแปรรูป

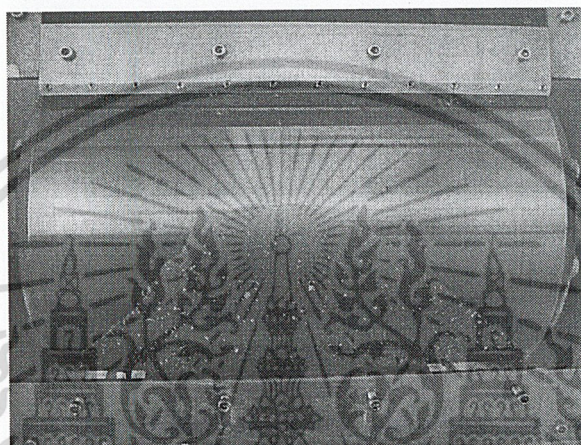


รูปที่ ง-4 แสดงการชาวปลายข้าวกลิ้งหักก่อนการต้ม

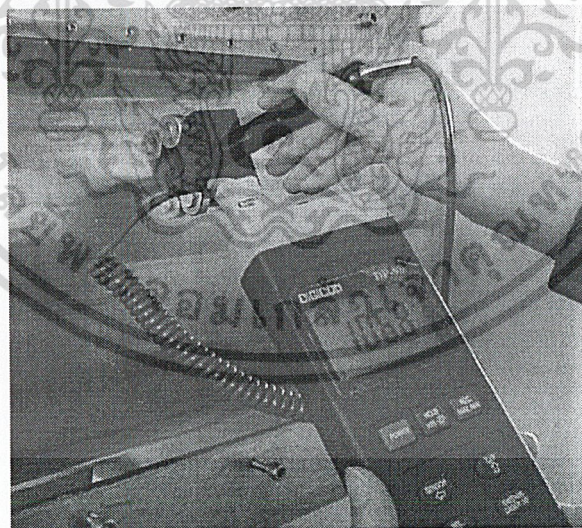
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๖-5 แสดงลักษณะปลายข้าวกล้องหักหลังการต้ม แล้วนำไปปั่น



รูปที่ ๖-6 แสดงลักษณะการอบแห้งด้วย Drum Dryer



รูปที่ ๖-7 แสดงการวัดอุณหภูมิขณะการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๘-8 แสดงลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งด้วย Drum Dryer ที่มีลักษณะเป็น Flake



รูปที่ ๘-9 แสดงลักษณะผลิตภัณฑ์หลังการป็นแห้ง เพื่อจะได้ข้าวผง



รูปที่ ๘-10 แสดงลักษณะการเก็บผลิตภัณฑ์ เพื่อนำไปวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-11 แสดงลักษณะเครื่อง Centrifuge ที่ใช้ในการวิเคราะห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้