

การศึกษาผลกระทบของกระบวนการเอนแคปซูเลชันที่มีผลต่อคุณสมบัติของ
น้ำมันรำข้าวโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย

THE EFFECT OF ENCAPSULATION PROCESSING ON THE PROPERTIES OF
SPRAY DRIED RICE BRAN OIL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผลกระทบของกระบวนการเอนแคปซูเลชันที่มีผลต่อคุณสมบัติของ
น้ำมันรำข้าวโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย

THE EFFECT OF ENCAPSULATION PROCESSING ON THE PROPERTIES OF
SPRAY DRIED RICE BRAN OIL



T143912

นายณัฐกิตติ์

ปรีศรี

นางสาววิศรา

จันทร์

นางสาวเอ็อการย์

ทองฤทธิ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 143912
วันเดือนปี 04 ต.ค. 2559

b. 12810289
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE EFFECT OF ENCAPSULATION PROCESSING ON THE
PROPERTIES OF SPRAY DRIED RICE BRAN OIL



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ACADEMIC YEAR 2015

ปริญญานิพนธ์

ปีการศึกษา 2558

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง

การศึกษาผลกระทบของกระบวนการเอนแคปซูเลชันที่มีผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันรำข้าวโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย

The effect of encapsulation processing on the properties of spray dried rice bran oil.

ผู้จัดทำ

นายณัฐกิตติ	ปฐวี	รหัสนักศึกษา	55010351
นางสาววิศรา	จันทร์	รหัสนักศึกษา	55011106
นางสาวเอื้อการย์	ทองฤทธิ์	รหัสนักศึกษา	55011492



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.กนต์กนิษฐ์ ขวัญพฤษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการงาน	การศึกษาผลกระทบของกระบวนการเอนแคปซูเลชั่นที่มีผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันรำข้าวโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย	
นักศึกษา	นายณัฐกิตต์	ปฐวีร์
	นางสาววิศรา	จันทร
	นางสาวเอื้อการย์	ทองฤทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.กนต์กนิษฐ์ ขวัญพุกฤษ์	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	สาขาวิศวกรรมอาหาร	
ปีการศึกษา	2558	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของตัวแปรเอนแคปซูเลชั่นที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติน้ำมันรำข้าวผง โดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม ปัจจัยที่ศึกษามี 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิอากาศในการทำแห้งแบบพ่นฝอย และอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ทรินต่อน้ำมันรำข้าว ในการทดลองแบ่งเป็น ความเข้มข้นของอิมัลชันร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก คงที่ทุกการทดลอง อัตราส่วนระหว่างน้ำมันรำข้าวกับมอลโตเด็กซ์ทริน 3 ระดับคือ 1:2, 1:3 และ 1:4 และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอย 3 ระดับคือ 170, 200 และ 230 องศาเซลเซียส โดยกำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาออกในการทำแห้งเท่ากับ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสตามลำดับ ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ทำการทดลอง 3 ครั้งในทุกสภาวะ และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันรำข้าวผงดังนี้ คือ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ปริมาณไขมัน ค่าเพอร์ออกไซด์ ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชั่น และโครงสร้างจุลภาค ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม Minitab16 พบว่าเมื่อปรับอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นจะทำให้ ปริมาณน้ำอิสระ และ ปริมาณไขมันลดลง แต่ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้และค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น เมื่อปรับอุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้เพิ่มขึ้น และปริมาณความชื้น และ ปริมาณน้ำอิสระลดลง ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยน้ำมันรำข้าวผงคือที่ อัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ทริน 1:3 และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้ง 200 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : ผลิตภัณฑ์ผง, น้ำมันรำข้าว, การอบแห้งแบบพ่นฝอย, กระบวนการห่อหุ้ม

Project Title The Effect of Encapsulation Processing on the Properties of Spray Dried Rice Bran Oil

Student Mr.Nattagitt Purisri
Miss Warissara Chantorn
Miss Ua-karn Tongrid

Advisor Asst.Prof.Dr.Kankanit Khwanpruk

Degree Bachelor's of Engineering

Program Food Engineering

Year 2015

ABSTRACT

This research aim to investigate the effect of oil-in-water emulsion composition and drying air temperature on properties of encapsulated rice bran oil spray dried powder. Maltodextrin (DE 10) was used as wall material. The three-level full factorial design with was applied to this research. Oil phase with the concentration of 40% w/w which varied the weight ratio of oil content to maltodextrin of 1:2, 1:3 and 1:4. The inlet air temperature of 170°C, 200°C and 230°C and controlled the outlet air temperature of 70°C, 80°C and 90°C respectively were examined. All spray drying conditions were performed in triplicate. The influence of spray drying process variable over product yield, moisture content, water activity, fat content, encapsulation efficiency rancidity by peroxide value and microstructure was studied. From analysis of Experimental data was analyzed by analysis of variance (ANOVA) with Minitab16. The result shown that production yield , moisture content and water activity were significantly affected by modifying inlet/outlet air temperature and peroxide value, fat content, moisture content and production yield were significantly affected by modifying the weight ratio of rice bran oil to maltodextrin. The appropriate conditions for spray drying were rice bran oil to maltodextrin by weight of 1:3 and inlet drying air temperature of 200 °C

Keywords: powder, rice bran oil and spray drying, encapsulation

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทเล่มนี้จะสำเร็จขึ้นไม่ได้ ถ้าขาดความกรุณาจาก ผศ.ดร.กันต์กนิษฐ์ ขวัญพฤษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะ และให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่างๆ อีกทั้งยังให้ความรู้ และประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบพระคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์และคุณอำนาจ คูตะคุ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา แนะนำตลอดจนขอชี้แนะในการทดลองและอำนวยความสะดวกในการเบิกใช้อุปกรณ์ต่างๆ อีกทั้งให้กำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอมา

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้ปกครอง ซึ่งเป็นบุคคลเลื่องคุณ อบรม สั่งสอน จนเติบโตและให้การสนับสนุนในการศึกษาตลอดมา สูดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาวิศวกรรมอาหาร รุ่น 17 ทุกคน ที่ให้กำลังใจและให้คำปรึกษา แนะนำ ในระหว่างการทำงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ

นายณัฐกิตติ์	ปรีศรี
นางสาววิศรา	จันทร์
นางสาวเอื้อการย์	ทองฤทธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของข้าว	3
2.1.1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว	3
2.1.2 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันรำข้าว	4
2.1.3 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันรำข้าว	4
2.1.4 การสกัดน้ำมันรำข้าว	4
2.1.5 ประโยชน์ของน้ำมันรำข้าว	5
2.2 กระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation)	6
2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน	6
2.2.2 วัตถุประสงค์ของกระบวนการห่อหุ้ม	7
2.2.3 ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน	9
2.2.4 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation techniques)	9
2.2.5 Glass transition	13
2.3 โฮโมจีไนเซชัน (Homogenization)	15
2.3.1 ทฤษฎีของโฮโมจีไนเซชัน	15
2.3.2 ประเภทและหลักการทำงานของ Homogenizer	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 การนำ Homogenizer ไปใช้ประโยชน์ในระดับโรงงานอุตสาหกรรม	17
2.3.4 การแตกเซลล์	18
2.4 อิมัลชัน (Emulsion)	18
2.4.1 แรงตึงผิว (interfacial tension)	19
2.4.2 สารอิมัลซิไฟอิง (emulsifying agents)	20
2.4.3 หลักการทั่วไปในการทำให้เกิดอิมัลชัน	20
2.5 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying)	21
2.5.1 หลักการทำงาน	21
2.5.2 ห้องทำแห้ง	22
2.5.3 หัวอัดฉีด	23
2.5.4 ไซโคลน (Cyclone)	25
2.5.5 อาหารที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย	25
2.5.6 ปัจจัยในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 วัตถุประสงค์	30
3.2 วัสดุและอุปกรณ์	30
3.3 สารเคมี	31
3.4 วิธีการทดลอง	31
3.4.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิมัลชันน้ำมันรำข้าว	31
3.4.2 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	32
3.4.3 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย	34
3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผง	35
3.5.1 ปริมาณความชื้น	35
3.5.2 ปริมาณน้ำอิสระ (aw)	35
3.5.3 ปริมาณของผงผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Solid Yield)	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.4 ค่าเพอร์ออกไซด์	36
3.5.5 ปริมาณไขมัน	37
3.5.6 ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชัน	38
3.5.7 โครงสร้างจุลภาค	38
3.6 การวางแผนการทดลอง	39
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 การทำแห้งแบบพ่นฝอย	40
4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผง	40
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น	42
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ	44
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้	46
4.2.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน	48
4.2.5 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์	50
4.2.6 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชัน	52
4.2.7 โครงสร้างจุลภาคของน้ำมันรำข้าวผง	54
บทที่ 5 สรุปและการวิจารณ์ผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 ปัญหาที่พบ	55
5.3 ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ผลของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผง	
ภาคผนวก ข. ภาพอุปกรณ์ วัสดุ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง	
ภาคผนวก ค. การคำนวณหาอัตราการไหล	
ภาคผนวก ง. ตารางการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการทอหุ้ม	9
ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	14
ตารางที่ 3.1 ปริมาณของส่วนผสมสารละลายอิมัลชันจำนวน 1000 กรัม	32
ตารางที่ 3.2 การออกแบบการทดลองแบบแฟคโทเรียล	39
ตารางที่ 4.1 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามเงื่อนไขการทดลอง	40
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ	41
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น	42
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ	44
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้	46
ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน	48
ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์	50
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชัน	52

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว	3
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของไมโครแคปซูล	6
รูปที่ 2.3 การเกิดโครงสร้างอณูฐานและความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาสมดุลและไม่สมดุล	14
รูปที่ 2.4 ชนิดของอิมัลชัน	19
รูปที่ 2.5 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลสวนทางกัน	22
รูปที่ 2.6 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน	23
รูปที่ 2.7 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน	23
รูปที่ 2.8 หัวฉีดแรงดันสูง (Centrifugal Pressure Nozzle)	24
รูปที่ 2.9 หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง (Rotary Atomizers)	25
รูปที่ 3.1 น้ำมันรำข้าว	30
รูปที่ 3.2 (ก) สารละลายอิมัลชันก่อนเข้าเครื่องโฮโมจีไนซ์ (ข) สารละลายอิมัลชันหลังเข้าเครื่องโฮโมจีไนซ์	32
รูปที่ 3.3 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	33
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันรำข้าวผงด้วยกรรมวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย	34
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus)	37
รูปที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	38
รูปที่ 4.1 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก ต่อปริมาณความชื้น	42
รูปที่ 4.2 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก ต่อปริมาณความชื้นจากการวิเคราะห์ทางสถิติ 3	43
รูปที่ 4.3 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก ต่อปริมาณน้ำอิสระ	44
รูปที่ 4.4 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก ต่อปริมาณน้ำอิสระจากการวิเคราะห์ทางสถิติ	45
รูปที่ 4.5 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก ต่อปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้	46
รูปที่ 4.6 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก ต่อปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก ต่อปริมาณไขมัน	48
รูปที่ 4.8 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก ต่อปริมาณไขมันจากการวิเคราะห์ทางสถิติ	49
รูปที่ 4.9 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก ต่อค่าเพอร์ออกไซด์	50
รูปที่ 4.10 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก ต่อค่าเพอร์ออกไซด์จากการวิเคราะห์ทางสถิติ	51
รูปที่ 4.11 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก ต่อประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชัน	52
รูปที่ 4.12 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก ต่อประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันจากการวิเคราะห์ทางสถิติ	53
รูปที่ 4.13 แสดงโครงสร้างจุลภาคของน้ำมันรำข้าว	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในประเทศไทยข้าวเป็นพืชอาหารหลักที่สำคัญ นอกจากนี้ข้าวยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่ส่งออกเป็นอันดับ 1 ของโลกติดต่อกันเป็นเวลาหลายปี ในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยผลิตข้าว 38.00 ล้านตัน ข้าวเปลือก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) เมื่อนำไปแปรสภาพจะได้แกลบประมาณ 7.129 ล้านตัน เป็นข้าวกล้องประมาณ 28.517 ล้านตัน เมื่อนำไปขัดสีจะได้รำข้าวประมาณ 3.213 ล้านตัน ซึ่งรำข้าวเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการขัดสีข้าวกล้องประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว ได้แก่ เยื่อหุ้มผล (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) เยื่อออลูโรน (aleurone layer) รวมถึงส่วนคัพภะ (embryo หรือ germ) ดังนั้น จะเห็นได้ว่าในรำข้าวมีสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการค่อนข้างสูง ไม่ว่าจะเป็นโปรตีน ไขมัน โยใยอาหาร และเกลือแร่ แต่รำข้าวจะมีการเสื่อมเสียได้ง่าย เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส และยังเกิดกระบวนการออกซิเดชัน และrancidity ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระและกลิ่นหืนตามมา

น้ำมันรำข้าว คือ น้ำมันพืชที่ผลิตจากน้ำมันรำข้าวดิบ ซึ่งสกัดจากรำข้าว มีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินอี ในกลุ่มโทโคฟีรอลประมาณ 19-40% และกลุ่มโทโคไตรอีนอล 51-81% และโอรีซานอล (Oryzanol) ซึ่งสามารถต้านอนุมูลอิสระได้เช่นกัน มีกรดไขมันอิ่มตัว 18% กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated Fatty Acid : MUFA) 45% กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated Fatty Acid : PUFA) 37% น้ำมันรำข้าวเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการลดคอเลสเตอรอลที่ไม่ดี (LDL-C) นอกจากนี้ น้ำมันรำข้าวยังคอเลสเตอรอลต่ำมาก ดังนั้นน้ำมันรำข้าวจึงเป็นน้ำมันที่เหมาะสมสำหรับการบริโภค มีการใช้ประโยชน์จากรำข้าว โดยการนำไปสกัดเป็นน้ำมันรำข้าวเพื่อการบริโภคเชิงพาณิชย์ ประโยชน์ของน้ำมันรำข้าวที่มีคุณค่าสูงต่อร่างกายมนุษย์หลายชนิด เช่น กลุ่มสารฟอสโฟไลพิด (Phospholipids) เช่น เลซิธิน (Lecithin) เซฟฟาลิน (Cephalin) ไลโซเลซิธิน (Lysolecithin) ซึ่งมีความสำคัญในการนำไปสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของเซลล์ประสาทสมอง และช่วยป้องกันเซลล์ประสาท จากสารที่เป็นพิษและอนุมูลอิสระต่างๆ ช่วยลดความเครียดและช่วยเสริมสร้างในด้านความจำ กลุ่มกรดไขมันไลโนเลอิก (Linoleic Acid) หรือโอเมก้า 6 และ กรดไลโนเลอิก (Linoleic Acid) หรือโอเมก้า 3 ที่เป็นกรดไขมันจำเป็น โดยมีอยู่ประมาณ 33% กลุ่มวิตามิน B-Complex ซึ่งช่วยให้การทำงานของระบบประสาทดีขึ้น กลุ่มแกมมา-ออไรซานอล มีฤทธิ์ในการลดระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ ทำให้ลดการตีบตันของหลอดเลือด เพิ่มการไหลเวียนของโลหิต และยังมีฤทธิ์ในการลดความเครียด และรักษาอาการผิดปกติของสตรีวัยทอง นอกจากนี้ยังเป็นสารอนุมูลอิสระ และยังป้องกันแสงยูวีได้ เมื่อใช้กินหรือใช้ทา ทำให้ผิวหนังชุ่มชื้นและต้านการอักเสบ สารชนิดนี้มีความปลอดภัยสูงมาก (วัชรและสุนันทา, 2551)

เอนแคปซูลเลชัน (encapsulation) คือกระบวนการห่อหุ้มสารบางชนิดเช่น วิตามิน สารต้านอนุมูลอิสระ น้ำมันหรือน้ำมันหอมระเหย เป็นต้น ด้วยพอลิเมอร์ให้อยู่ในรูปของแคปซูลชั้นบางๆ ขนาดเล็ก เพื่อประโยชน์ในการคงตัวของสารตลอดการให้งาน การห่อหุ้มสารที่มีความไวต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย ไวต่อแสงแดด อุณหภูมิ และความเป็นกรดต่าง เป็นต้น จะทำให้สารดังกล่าวมีความคงตัวที่ดีขึ้นและเก็บรักษาได้ยาวนาน (บัณฑิต และคณะ, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคในการเอนแคปซูเลชันที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีที่ดีและเหมาะสมสำหรับการทำแห้งผลิตภัณฑ์ เนื่องจากใช้เวลาสั้นในการสัมผัสความร้อน อัตราการระเหยสูง ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพที่ดี คงที่ ใช้ประโยชน์ได้ในหลาย ๆ ด้านและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำ (Fernandes และคณะ, 2013)

ดังนั้นในโครงการนี้คณะผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการเอนแคปซูเลชันโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่ง่ายต่อการใช้ตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าบทความ งานวิจัย ยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับน้ำมันรำข้าวผง จึงสนใจที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันรำข้าวให้อยู่ในรูปผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

1.2 จุดประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาผลของตัวแปรเอนแคปซูเลชันที่กระทบต่อคุณสมบัติของผงน้ำมันรำข้าว โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเอนแคปซูเลชัน คือ น้ำมันรำข้าว
2. ปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย
 - อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ คือ 170 200 และ 230 องศาเซลเซียส
 - อัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตริน 3 ระดับ คือ 1:2 1:3 และ 1:4
3. ค่าที่วัดของผงน้ำมันรำข้าว ได้แก่
 - ความชื้น
 - ปริมาณผลผลิตที่ได้
 - ปริมาณน้ำอิสระ (aw)
 - ปริมาณไขมัน
 - ค่าเพอร์ออกไซด์ (ค่าที่ใช้ในการวัดการเกิดลิพิดออกซิเดชัน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเหม็นหืน)
 - โครงสร้างจุลภาค
 - ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชัน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน โดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย
2. ได้ผงน้ำมันรำข้าวที่สามารถนำมารับประทานได้สะดวกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

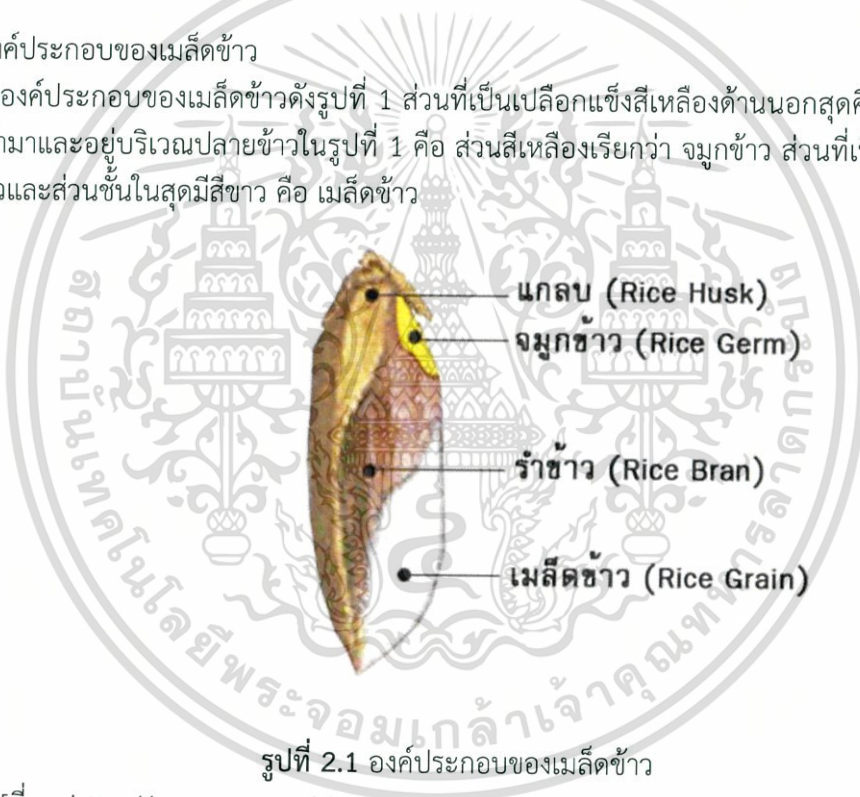
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของข้าว (ฉลุย, 2555)

ข้าวนั้นประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวที่เรียกว่าแกลบ (Hull หรือ Husk) และส่วนเนื้อผล หรือข้าวกล้อง (Brown Rice) ซึ่งห่อหุ้มด้วยรำข้าว (Rice Bran) เมล็ดข้าว (Rice Grain) จะหุ้มไว้ด้วยรำข้าว ข้าวมีผลมาจากพันธุ์ สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยวและกระบวนการแปรรูป จากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้อง และข้าวสาร

2.1.1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว

องค์ประกอบของเมล็ดข้าวดังรูปที่ 1 ส่วนที่เป็นเปลือกแข็งสีเหลืองด้านนอกสุดคือแกลบ ส่วนที่อยู่ถัดเข้ามาและอยู่บริเวณปลายข้าวในรูปที่ 1 คือ ส่วนสีเหลืองเรียกว่า จมูกข้าว ส่วนที่เป็นเยื่อสีน้ำตาลคือรำข้าวและส่วนชั้นในสุดมีสีขาว คือ เมล็ดข้าว



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว

[ที่มา: <http://avatar-oryza.blogspot.com/2009/12/thailandricebranoil.html>]

รำข้าว (Rice Bran)

รำ หมายถึง เยื่อหุ้มเมล็ด และคัพภะของข้าว ในรำข้าวนั้นมีเอนไซม์ที่เรียกว่าเอนไซม์ไลเปส ซึ่งเอนไซม์ไลเปสนี้ จะไปสลายไขมัน ทำให้ปริมาณไขมันในรำข้าวลดลง และมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ดังนั้นไม่ควรเก็บรำข้าวไว้นานเกิน 24 ชั่วโมงก่อนนำไปสกัดน้ำมัน โดยปกติน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ใหม่ๆ จะมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ กรดไขมันอิสระนี้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น 10% ภายใน 1 ชั่วโมง วิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการทำลายเอนไซม์ไลเปสในรำข้าว คือ การให้ความร้อนกับรำข้าวที่อุณหภูมิ 85-100 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง จะทำให้ปริมาณของกรดไขมันอิสระลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันรำข้าว (Rice Bran Oil)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากรำข้าวดิบ ซึ่งเป็นส่วนที่ได้จากการขัดข้าวกล้องให้เป็นข้าวสาร และเป็นส่วนผสมของรำละเอียดและคัพพะ จึงมีคุณค่าทางอาหารสูง นอกจากนี้ยังสามารถสกัดสารอาหารอื่นที่มีอยู่ในน้ำมันรำดิบ เพื่อใช้เป็นสารเสริมสุขภาพและเครื่องสำอางค์ได้ และจากกรรมวิธีการทำน้ำมันรำข้าว ก็จะได้รำที่สกัดน้ำมันออกแล้ว ซึ่งนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อื่นได้ต่อไป

2.1.2 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันรำข้าว (ปริมาณันท์, 2556)

น้ำมันรำข้าว เป็น ของเหลวสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นคล้ายน้ำมันถั่วเหลือง เป็นส่วนผสมของรำละเอียด และคัพพะน้ำมันรำข้าวดิบ (Crude Rice Bran Oil) ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ ประมาณ 80% ของน้ำมัน น้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบดังนี้ คือ มีกรดโอเลอิก สูงถึง 40-50% รองลงมา คือ กรดลิโนเลอิก 20-42% และกรดพาล์มมิก 12-18% ตามลำดับ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (15/25 องศาเซลเซียส) 0.913 ~ 0.928 อุณหภูมิต่ำสุดที่เกิดการตกตะกอนเป็นฝ้าที่ 21 องศาเซลเซียส

2.1.3 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันรำข้าว

รำข้าวประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย เถ้า และ lipid 15-22% ในรำข้าว ประกอบด้วย 95.6% Saponifiable lipids ได้แก่ glycolipid และ phospholipids และ 4.2% Unsaponifiablelipid ได้แก่ Bioactive Phytochemicals เช่น Tocopherols/Tocotrienols (tocols: 1500-2000ppm), และphytosterols (15,000-20,000 ppm)

2.1.4 การสกัดน้ำมันรำข้าว (Amarasinghe และคณะ, 2552)

การสกัดน้ำมันรำข้าว นั้นประกอบด้วยสองขั้นตอนที่สำคัญคือ การทำเสถียรรำข้าวหรือน้ำมันรำข้าวและการสกัดเพื่อแยกเอาน้ำมันรำข้าว การทำเสถียรรำข้าวหรือน้ำมันรำข้าว นั้น เป็นการทำให้หยุดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ Triglycerides ไม่ให้เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ วิธีการที่ใช้โดยทั่วไปคือการอบแห้งและการใช้น้ำ ส่วนการสกัดเพื่อแยกเอาน้ำมันรำข้าว (Lipid) เพื่อให้ได้ค่าผลผลิตที่สูง มีกรดไขมันอิสระต่ำการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่ำ มีการเจือปนของไข ซึ่งขั้นตอนการสกัดของน้ำมันรำข้าว นั้นทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การสกัดด้วยตัวทำละลายและการกดอัด ซึ่งวิธีการดั้งเดิมในการสกัดได้แก่การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ โดยมากใช้เฮกเซนในการสกัดน้ำมันรำข้าว วิธีการนี้จะให้ร้อยละผลผลิตสูง (98%) และปฏิบัติการง่าย แต่ข้อเสียคือน้ำมันที่สกัดได้มีปริมาณกรดไขมันอิสระ (3-5%) ไข (2-4%) และ ยางเหนียว (Phospholipids) (1-2%) สูง มีสีและกลิ่นที่ไม่ดี เฮกเซนที่แยกออกจากรำที่สกัดได้ มีผลต่อมลภาวะทางอากาศและสุขภาพ นอกจากนี้ยังจะทำให้ Bioactive Phytochemicals ในน้ำมันที่สกัดโดยเฮกเซนจะถูกทำลาย

1. การสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำ (Aqueous extraction)

ได้ทำการสกัดน้ำมันจากรำข้าวในปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) ขนาดห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาผลของวิธีการทำให้เสถียรต่อการสกัดด้วยน้ำพบว่าด้วยการทำให้เสถียรด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที และการสกัดด้วยน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ

เป็นเวลา 30 นาที ในระหว่างการสกัด ปรับ pH 12 โดยต่างเพื่อ Sponification อัตราส่วนของรำข้าวต่อน้ำคือ 0.5:10 หรือ 2:10 จะได้ปริมาณผลผลิตเป็น 80% และ กรดไขมันอิสระ เป็น 0.01% โดยน้ำหนักของรำข้าวที่ผ่านการทำให้เสถียรจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระคงที่อยู่ที่

ข้อดีของการสกัดด้วยวิธีการนี้ คือ มีกรดไขมันอิสระน้อย อุณหภูมิในการสกัดต่ำ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีผลผลิตสูงพอใช้ สามารถปรับใช้กับอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้เนื่องจากสภาวะปฏิบัติไม่รุนแรงและการออกแบบอุปกรณ์ทำได้ไม่ยาก แต่อาจจะมีข้อเสียคือจะใช้เวลานานกว่า และมีปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้น้อยกว่าวิธีการที่ปฏิบัติการ ณ จุดใกล้จุดวิกฤติหรือจุดเหนือจุดวิกฤติ

2. การสกัดด้วยตัวทำละลาย Subcritical water (Subcritical water extraction)

การสกัดด้วย Subcritical water เป็นวิธีในการสกัดน้ำมัน และ วิธีนี้ยังสามารถทำน้ำมันให้เสถียรไปพร้อมกัน การสกัดและการทำเสถียรของน้ำมันโดยใช้ Subcritical water พบว่าในปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) ที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส สกัดเป็นเวลา 10 นาที ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ 94% ปริมาณกรดไขมันอิสระ 11% โดยน้ำหนัก และคงที่อยู่เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ข้อดีของวิธีการนี้คือสามารถสกัดและทำเสถียรน้ำมันได้ในขั้นตอนเดียว ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้สูง และใช้เวลาในการสกัดสั้น แม้จะใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำ แต่เมื่อเทียบกับปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงกว่า และ เวลาในการสกัดที่สั้นกว่ามาก หากจะเทียบกันแล้ว วิธีการนี้จะเป็นทางเลือกที่ดีกว่า แต่มีข้อเสียคือมีกรดไขมันในน้ำมันที่สกัดได้มาก ต้องมีการกำจัดออกโดยการบำบัดด้วยสารละลายต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์

3. การสกัดด้วย Supercritical carbon dioxide (Supercritical carbon dioxide extraction)

เป็นวิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวที่สามารถได้น้ำมันรำข้าวคุณภาพสูง และมีปริมาณ Bioactive phytochemicals มาก ซึ่งจากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันรำข้าวโดยใช้ Supercritical carbon dioxide ในปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด Pilot plant เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตในการสกัด และ Bioactive phytochemicals สูง และลดปริมาณ ไช ยางเหนียว และรงควัตถุลง โดยตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิ ความดัน เวลาอัตราการป้อนตัวทำละลาย และชนิดของวัสดุบรรจุ นอกจากนี้ยังศึกษา โดยรวมการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อปรับปรุงเทคโนโลยีดั้งเดิม ให้มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ การสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (Balachandran และคณะ, 2551)

วิธีการนี้มีข้อดีคือ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้สูง แต่มีข้อเสียคือมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้มาก ต้องเพิ่มขั้นตอนการกำจัดกรดเช่นเดียวกับการสกัดด้วย Subcritical water และมีสภาวะปฏิบัติการที่ความดันสูงและเวลาในการสกัดนาน วิธีการนี้อาจไม่เหมาะกับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เนื่องจากต้องมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับคาร์บอนไดออกไซด์และการปฏิบัติการที่ความดันสูงมาก

2.1.5 ประโยชน์ของน้ำมันรำข้าว (ฉลวย, 2555)

รำข้าว มีใยอาหารสูง และมีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำ นิยมนำไปใช้ในอาหารเพื่อสุขภาพ และ มีงานวิจัยที่พบว่าผู้ที่บริโภครำข้าวเป็นประจำ จะลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและมะเร็งลำไส้ใหญ่ น้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวในปริมาณมาก และยังมีสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันหลายชนิด ได้แก่ วิตามินอี (โทโคไตรอีนอล และโทโคเฟอร์อล) และออริซานอล ลดการเกิดการแข็งตัวของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลุดเลือดและ ลดการเกิดคอเลสเทอรอล เนื่องจากโทโคไตรอีนอล และออริซานอล ในรำข้าวมีผลในการลดระดับคอเลสเทอรอลโดยตรงเพราะโทโคไตรอีนอลเป็นสารที่ขัดขวางการสังเคราะห์คอเลสเทอรอลในร่างกาย ส่วนออริซานอลเป็นสารที่ลดการดูดซึมของคอเลสเทอรอลจากอาหาร และในรำข้าวมีสารประกอบกลุ่มไฟโตสเตอรอลที่สามารถลดการดูดซึมของคอเลสเทอรอลได้

2.2 กระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation)

กลิ่นและรสชาติเป็นสิ่งที่บอกถึงคุณภาพของอาหารรวมถึงความถูกต้องของแต่ละบุคคล โดยกระบวนการกักเก็บกลิ่นรสเป็นเทคโนโลยีในการกักเก็บให้อยู่ภายใต้สารที่จัดตัวกันเป็นร่างแห ซึ่งส่วนใหญ่จะแปรรูปไปอยู่ในอนุภาค เทคโนโลยีในการกักเก็บกลิ่นรสนี้จะช่วยปกป้องผลิตภัณฑ์จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากออกซิเจน แสง ความร้อนรวมทั้งไม่เกิดการเสื่อมเสียของกลิ่นรสระหว่างการกักเก็บด้วย ทำให้กลิ่นรสถูกเก็บรักษาได้นานขึ้น (เบญจา, 2551)

เอนแคปซูเลชันเป็นกระบวนการที่สาร หรือ ส่วนผสมของสาร ถูกห่อหุ้มด้วยสารชนิดอื่น ซึ่งสารที่ถูกห่อหุ้ม (coated) หรือ ถูกยึดจับไว้ (trapped) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคแข็งหรือก๊าซ ซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไป เช่น core material หรือ internal phase สารที่นำมาห่อหุ้มเรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ coating ซึ่งสารห่อหุ้มที่ดีควรห่อหุ้มสารแกนกลางได้ง่าย ทำให้สารแกนกลางกระจายตัวได้ดีและได้อิมัลชันที่มีความคงตัว ไม่ทำปฏิกิริยากับสารแกนกลาง สามารถห่อหุ้มและกักเก็บสารสำคัญเอาไว้ได้ในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาสามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่เป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมอาหาร ราคาไม่แพง และสามารถปลดปล่อยสารแกนกลางได้อย่างสมบูรณ์



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของไมโครแคปซูล

ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน (ณัฐวดีและคณะ, 2551)

- 1.) คุณสมบัติทางเคมีของสารแกนกลางได้แก่ โครงสร้างทางเคมี (chemical structure), ความมีขั้ว (polarity) และ ความสามารถในการระเหย (volatility)
- 2.) คุณสมบัติของสารห่อหุ้มหรือสารห่อหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) สภาวะที่ใช้ในขั้นตอนการเอนแคปซูเลชัน สารห่อหุ้มที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชันสารแกนกลาง จะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารแกนกลาง มีความหนืดต่ำที่ระดับความเข้มข้นสูง ปกป้องสารแกนกลางจากสภาวะแวดล้อม มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความเสถียร และสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลีนิรสและสารสำคัญภายใต้สภาวะและช่วงเวลาที่ต้องการ

2.2.1 วัตถุประสงค์ของกระบวนการห่อหุ้ม

- 1.) เพื่อป้องกันสารแกนกลาง โดยการลดการทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น แสงแดด ความร้อน ความชื้นและอากาศ
- 2.) ช่วยรักษากลิ่นของสารแกนกลาง
- 3.) เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน
- 4.) ช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษา
- 5.) ควบคุมการปลดปล่อยสารแกนกลาง
- 6.) ลดการระเหยของของเหลว
- 7.) เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติพื้นผิวของสารแกนกลาง(ลักษณะทางกายภาพ)

2.2.2 ชนิดของสารห่อหุ้มที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน (จตุพรและคณะ, 2557)

ชนิดของสารห่อหุ้มที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช มอลโตเด็กซ์ตริน และโปรตีน เช่น เวย์โปรตีน เจลาติน เป็นต้น

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตที่สามารถนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้ม ได้แก่ กัมอาราบิก, สตาร์ช และมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นสารที่นิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในเทคนิคกระบวนการห่อหุ้มแบบพ่นฝอยเพื่อใช้ในการห่อหุ้ม และสามารถจับกับสารให้กลีนิรสได้อย่างสมบูรณ์ ราคาถูก มีการกระจายตัวที่ดี สามารถใช้กับอาหารได้ นอกจากนี้ยังมีสมบัติเป็นสารที่มีความหนืดต่ำ และสามารถละลายได้ดี

กัมอาราบิก (Gum Arabic)

เป็นกัมต้นอะคาเซีย (acacia) จัดเป็นพอลิแซ็กคาไรด์เชิงซ้อนชนิดหนึ่ง มีสมบัติในการทำให้ทำให้อิมัลชันคงตัว สามารถกักเก็บสารให้กลีนิรสได้ดีละลายน้ำได้ดี และเป็นสารที่มีความหนืดต่ำ กัมอะราบิกถูกใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารเช่น อิมัลชันน้ำผิวส้มใช้เป็นสารช่วยคงตัวของฟองเบียร์ ใช้เป็นตัวช่วยป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและเชอร์เบต ไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลชันสารให้กลีนิรสโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ส่วนผสมของมอลโตเด็กซ์ตริน กัมอะราบิก เป็นสารห่อหุ้ม และสามารถกักเก็บสารให้กลีนิรสได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

สตาร์ช (Starch)

คือ พอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบในพืช พืชสร้างสตาร์ช และเก็บสำรองไว้ที่ส่วนต่าง ๆ เช่น ราก หัว และเมล็ด เป็นต้น เป็นสารที่ห่อหุ้มในการเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรสอย่าง เพื่อกักเก็บและปกป้องสารให้กลิ่นรส สตาร์ชที่ผลิตขายในอุตสาหกรรมทั่วไปได้จาก ข้าวโพด ข้าวสาลี ถั่วเขียว เม็ดสตาร์ชมีสมบัติเป็นผลึก ไม่ละลายน้ำเย็น สามารถดูดน้ำได้บ้าง

มอลโตเด็กซ์ทริน (Maltodextrin)

เป็นสารที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสแป้งข้าวโพดบางส่วนด้วยกรดหรือเอนไซม์ โดยดูจากค่า DE (Dextrose equivalents) ค่า DE ที่ต่างกันจะมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ต่างกันด้วย เช่น ความสามารถในการละลาย ความหนืด เป็นต้น อย่างไรก็ตามค่า DE ที่เหมือนกันคุณสมบัติอาจไม่เหมือนกันอีกด้วยเพราะขึ้นอยู่กับวิธีการไฮโดรไลซิสแหล่งของสตาร์ช และอัตราส่วนของอะไมเลสต่ออะไมโลเพกติน มักจะผลิตออกมาในรูปแบบผง มีคุณสมบัติที่ไม่ดูดความชื้น โดยเฉพาะค่า DE ต่ำ ๆ ความสามารถในการละลายน้ำของมอลโตเด็กซ์ทรินขึ้นอยู่กับค่า DE และชนิดของอาหารที่นำมาใช้ มอลโตเด็กซ์ทรินถูกใช้อย่างกว้างขวางในการเอนแคปซูเลชัน โดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อกักเก็บกลิ่นและป้องกันการเกิดออกซิเดชัน เพราะเป็นสารที่ยอมรับที่ดีทั้งด้านราคาและประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นสารที่ไม่มีรสชาติ มีความหนืดต่ำ สามารถละลายในน้ำเย็นได้ดี มักใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวและเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ มอลโตเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE สูงและมีมวลต่ำ ๆ ถูกใช้ในการเพิ่มความหนาแน่น เพื่อการยืดอายุการรักษา แต่ถ้าค่ามวลโมเลกุลต่ำ ๆ อุณหภูมิทรานซิชัน (glass transition) ก็จะต่ำลงทำให้ผงที่ได้มีความสามารถในการดูดความชื้นมากขึ้น โดยมีรายงานว่า มอลโตเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE10 จะมีความสามารถในการเก็บรักษาที่ดีที่สุด

โปรตีน (Protein)

โปรตีนเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้มในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากมีคุณสมบัติทำให้เกิดฟิล์ม ซึ่งสามารถนำมาใช้ในกระบวนการห่อหุ้มได้ดี นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติที่ดี เช่น สามารถละลายได้ในน้ำ ความหนืด และความเป็นอิมัลชัน แต่ยังไม่เป็นที่นิยมเพราะความแตกต่างของกลุ่มเคมีและข้อของโมเลกุลและการเกิดปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ โดยโปรตีนที่นิยมนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้ม คือ เวย์โปรตีนและเจลาติน

เวย์โปรตีน (Whey Protein) เป็นโปรตีนในน้ำนม หน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์และทำให้เกิดฟิล์มร่วมกับคาร์โบไฮเดรตที่ทำให้เกิดเมทริกซ์ โปรตีนชนิดอื่น ๆ เช่น โปรตีนถั่วเหลือง หรืออนุพันธ์ของเจลาตินที่มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียรกับสารให้กลิ่นรสเป็นวัสดุที่สามารถละลายน้ำได้ ราคาไม่แพงและสามารถหาได้ง่าย สามารถก่อฟิล์มได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะเฉพาะของสารห่อหุ้มแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้ม

ชนิดของสารห่อหุ้ม	คุณลักษณะเฉพาะ
Maltodextrin (DE20)	Film forming
Corn syrup solid (DE>20)	Film forming
Modified starch	Very good emulsifier
Gum Arabic	Emulsifier, film forming
Modified cellulose	Film forming
Gelatin	Emulsifier, film forming
Cyclodextrin	Encapsulant, emulsifier
Lecithin	Emulsifier
Whey protein	Good emulsifier
Hydrogenated fat	Barrier to oxygen and water

2.2.3 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูลชัน (Encapsulation techniques) (จตุพรและคณะ, 2557) เทคนิคกระบวนการห่อหุ้มที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมได้แก่ เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) และการเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) และยังมีวิธีอื่นๆอีกเช่น สเปรย์ชิลลิ่งและคูลลิ่ง (Spray Chilling and Cooling) การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไรส์เบด (Fluidized bed coating) การใช้ไลโปโซมห่อหุ้ม (Liposome Entrapment) และเทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying) เป็นต้น

กระบวนการห่อหุ้มแบ่งเป็น 2 ประเภท

I. กระบวนการห่อหุ้มโดยใช้วิธีการทางเคมี

1) Coacervation กระบวนการห่อหุ้มโดยใช้ปรากฏการณ์การเกิดคอลลอยด์ประกอบด้วยเฟส 3 เฟสที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน ได้แก่เฟสของเหลว (continuous phase) เฟสของสารที่นำมาห่อหุ้ม (core material) และเฟสของสารห่อหุ้ม (coating material phase) การทำให้เกิดการเคลือบผิวกรณีนี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวกับการปรับสภาพของ hydrophilic colloids 2 ชนิด ซึ่งมีประจุต่างกันในสภาวะที่ประจุเป็นกลาง และเคลือบบนผิวของสารแกนกลาง

กระบวนการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคนี้จะต้องควบคุมการผสมเพื่อให้สารห่อหุ้มเคลือบบนผิวของสารแกนกลางอย่างสม่ำเสมอ ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ในการห่อหุ้มกลี้น วิตามิน สารหอมระเหย ส่วนผสมของอาหารที่ไวต่อสิ่งรบกวนและจุลินทรีย์ ปัญหาของเทคนิคนี้คือ กระบวนการค่อนข้างซับซ้อนและค่าใช้จ่ายสูง

2) Co-crystallization กระบวนการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคนี้เกิดระหว่ากการตกผลึกของกลูโคสไซรัปในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด (95-97 องศาบริกซ์) ที่อุณหภูมิสูง ($>120^{\circ}\text{C}$) โดยการเติมสารให้กลี้นรลงไปในระหว่างการเกิดผลึก ทำให้เกิดโครงสร้างผลึกที่มีขนาดเล็กล้อมรอบสารให้กลี้นรอยู่ภายในโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการห่อหุ้มโดยเทคนิคนี้จะมี กลี้นที่ดี และค่าการดูดความชื้นต่ำ

3) Molecular inclusion เป็นเทคนิคการห่อหุ้มในระดับโมเลกุล วิธีการนี้จะนำไซโคลเดกซ์ทริน (cyclodextrin) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอนไซม์ไกลโคซิลทรานสเฟอเรส (glycosyl-transferase) มาทำปฏิกิริยากับสตาร์ช แปลี่ยนเป็นโพลิเมอร์วงแหวน บริเวณตรงกลางของโมเลกุลไซโคลเดกซ์ทรินจะมีลักษณะเป็น hydrophobic ส่วนที่ผิวนอกจะมีลักษณะเป็น hydrophilic เมื่ออยู่ในสารละลายโมเลกุลที่มีขั้วน้อยกว่าจะแทนที่โมเลกุลของน้ำที่อยู่ตรงกลาง สารประกอบที่เกิดขึ้นจะละลายได้น้อยและตกตะกอนแยกตัวออกมา เทคนิคนี้ใช้ห่อหุ้มสารให้กลี้นรที่ไม่เสถียร ปัจจัยที่มีผลต่อเทคนิคนี้ได้แก่ น้ำหนักรูปร่างของโมเลกุล คุณสมบัติทางเคมี ความมีขั้ว และความสามารถในการระเหยของสารแกนกลาง

4) การใช้ไลโปโซมในการห่อหุ้ม (Liposome Entrapment) วิธีนี้ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตยา โดยจะใช้เป็นตัวส่งวัคซีน ฮอร์โมน เอนไซม์ หรือวิตามิน เข้าไปในร่างกาย ปัจจุบันได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไลโปโซมประกอบด้วยเฟสที่เป็นน้ำ ล้อมรอบโดยเมมเบรนที่ประกอบด้วยฟอสโฟลิปิด (phospholipids-base membrane) เมื่อฟอสโฟลิปิดกระจายตัวอยู่ในเฟสที่เป็นน้ำ จะเกิดการรวมตัวเป็นไลโปโซมโดยอัตโนมัติ ไลโปโซมสามารถใช้ในการห่อหุ้มสารที่ละลายได้ในน้ำหรือไขมันไว้ภายใน สารให้กลี้นรจะถูกรวมห่อหุ้มในภายหลัง

ข้อดีของเทคนิคนี้คือ ความคงตัวของไลโปโซมที่ใช้งานในสภาวะที่มีวอเตอร์แอกติวิตีสูง ปัญหาของวิธีนี้คือ ไมโครเอนแคปซูลชั้นที่ได้ต้องเก็บรักษาในสารละลายที่เหมาะสม ซึ่งจะเป็นอุปสรรคในการผลิตขนาดใหญ่ และการจัดเก็บขนส่ง

II. กระบวนการห่อหุ้มโดยใช้เครื่องมือ (Mechanical processes)

1) เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying technique)

การอบแห้งพ่นฝอยเป็นเทคนิคการห่อหุ้มที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ทำได้ง่าย และต้นทุนการผลิตในวิธีนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่น โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นลักษณะแบบไมโครแคปซูล ขั้นตอนการห่อหุ้มโดยใช้การอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย การนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (Carrier หรือ wall material) เช่น สตาร์ชดัดแปลง (modified starch), มอลโตเด็คซ์ตริน (maltodextrin), กัมหรือส่วนผสมของสารข้างต้นมาละลายน้ำและผสมเข้ากับสารที่ต้องการห่อหุ้ม อัตราส่วนระหว่างสารห่อหุ้มและสารแกนกลางโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 4:1 จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (homogenize) จากนั้นทำการป้อนสารผสมเข้าไปยังเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยตัวอย่างจะถูกพ่นเป็นละอองฝอยผ่านหัวฉีด (nozzle หรือ spinning wheel) โดยภายในห้องอบแห้งจะมีกระแสอากาศร้อนเคลื่อนที่ขนานหรือสวนทางกับผลิตภัณฑ์ เมื่อกระแสของอากาศร้อนสัมผัสกับละอองของเหลวจะทำให้น้ำระเหยออกไป จากนั้นอนุภาคของผลิตภัณฑ์และกระแสของอากาศร้อนจะเคลื่อนที่ไปยังไซโคลอนซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้แยกผลิตภัณฑ์ออกจากกระแสลมร้อน

ข้อดีของการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

- ต้นทุนการผลิตต่ำ
- เครื่องมือทำได้ง่าย
- สามารถปกป้องสารแกนกลางได้เป็นอย่างดี และสามารถเลือกใช้ตัวกลางในการเคลือบได้หลายชนิด

2) การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไคส์เบด (Fluidized bed coating หรือ Air suspension coating)

เทคนิคนี้เป็นการเคลือบผิวอนุภาคของแข็งโดยอนุภาคที่จะต้องการเคลือบผิวจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับกระแสอากาศที่เคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่ในห้องอบแห้งด้วยความเร็วสูงในขณะเดียวกันตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบจะถูกป้อนผ่านหัวฉีดและพ่นเป็นละอองฝอยเข้าสู่กระแสของอนุภาค (particle stream) และเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาค โดยความหนาของสารห่อหุ้มผิวสามารถควบคุมได้ด้วยการควบคุมระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่อยู่ในห้องอบแห้ง

การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไคส์เบดประกอบไปด้วยขั้นตอนในการดำเนินงาน 3 ขั้นตอน คือ อนุภาคที่ต้องการเคลือบจะถูกทำให้ลอยตัว (Fluidize) อยู่ในกระแสอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง สารห่อหุ้มจะถูกพ่นฝอยผ่านหัวฉีดไปยังอนุภาคที่ต้องการเคลือบซึ่งจะทำให้เกิดฟิล์มรอบ ๆ อนุภาค

หยาบเล็ก ๆ ของสารห่อหุ้มจะกระจายและสะสมอยู่บนผิวของอนุภาคจากนั้นตัวทำละลายหรือส่วนผสมของตัวทำละลายจะระเหยออกจากผิวของอนุภาคโดยอากาศร้อนโดยมีสารห่อหุ้มเคลือบอยู่บนผิวของอนุภาค

3) เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น การห่อหุ้มจะเกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการแช่เยือกแข็งโดยขณะที่สารละลายเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งนั้น สารละลายในส่วนที่เป็นน้ำยังไม่แข็งตัว (non-frozen solution) จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยชะลอการแพร่ของสารให้กลั่นรส เมื่อปริมาณผลึกเพิ่มมากขึ้นสารละลายที่มีสารให้กลั่นรสละลายอยู่จะอยู่ในสภาวะอิมิตวียังยวดและเริ่มตกผลึกโดยจับสารให้กลั่นรสไว้ภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูป amorphous solid

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง เนื่องจากค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างสูง รวมถึงระยะเวลาการผลิตจะนานกว่าการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคอื่น

4) สเปรย์ชิลลิ่ง (Spray chilling) และ สเปรย์คูลลิ่ง (Spray cooling)

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคสเปรย์ชิลลิ่ง และสเปรย์คูลลิ่ง นั้นมีลักษณะคล้ายกันโดยที่สารแกนกลางจะกระจายตัวอยู่ในสารละลายที่ใช้ในการเคลือบ จากนั้นทำการบ้อนสารผสมที่ได้ผ่านหัวฉีด (atomizer) เพื่อทำให้เป็นละอองฝอย เทคนิคนี้ต่างจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ไม่มีการระเหยน้ำโดยสารผสมระหว่างสารแกนกลางและสารห่อหุ้มจะถูกฉีดพ่นไปยังอากาศเย็น (cooling or chilling air) ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้สารห่อหุ้มเกิดการแข็งตัวรอบๆผิวของสารแกนกลาง

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคสเปรย์ชิลลิ่ง สารที่ใช้ในการเคลือบจะเป็นสารพวก Fractioned หรือ hydrogenate vegetable oil ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 32-34 องศาเซลเซียส ในขณะที่เทคนิคสเปรย์คูลลิ่ง สารที่ใช้เคลือบจะเป็นพวกน้ำมันพืช (vegetable oil) หรือสารชนิดอื่นที่มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 45-122 องศาเซลเซียส

ดังนั้นเทคนิคการเปรย์ชิลลิ่ง และสเปรย์คูลลิ่ง จึงต่างกันที่ จุดหลอมเหลวของสารที่ใช้ในการเคลือบ โดยทั้งสองเทคนิคจะนิยมใช้ในการห่อหุ้มสารที่มีกลั่นรส วิตามิน เกลือแร่ (mineral) เนื่องจากสามารถกำหนดจุดหลอมเหลวของสารห่อหุ้มทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อย (control release) สารแกนกลางได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการห่อหุ้มโดยวิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมอบ (bakery product), ซุปผง (dry soup mixes) และผลิตภัณฑ์มีส่วนผสมของไขมันสูง

5) เอกซ์ทรูชัน (Extrusion)

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชันสามารถใช้ในการห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้ง่ายเช่น น้ำมันมะนาว (citrus oils) วิตามินซีและสีผสมอาหารเป็นต้น โดยสารที่เคลือบจะอยู่ในรูปของมวลคาร์โบไฮเดรตที่หลอมเหลว ข้อดีของการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชันคือ สามารถปกป้องสารให้กลิ่นรสให้มีความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตเมทริกซ์ (Carbohydrate matrices) ใน glassy state จะมีคุณสมบัติในการเป็น barrier ที่ดี

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชันจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการกระจายตัวของสารให้กลิ่นรสในมวลคาร์โบไฮเดรตที่หลอมเหลว โดยยานผสมจะถูกบังคับให้เคลื่อนผ่านหัวไดล์ (Die) ไปยังช่องเหลวซึ่งใช้ในการดึงน้ำออก (dehydrating liquid) ซึ่งจะทำให้สารห่อหุ้มเกิดการแข็งตัวและจับสารแกนกลางไว้ภายในของเหลวที่ใช้ในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ได้แก่ isopropyl alcohol ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นที่มีความแข็ง (harden material) ซึ่งต้องนำไปผ่านขั้นตอนการทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆและทำให้แห้ง

การใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชันจะเป็นกระบวนการห่อหุ้มอย่างแท้จริง (true encapsulation) เนื่องจากสารแกนกลางจะถูกล้อมรอบด้วยตัวกลางที่ใช้เคลือบอย่างสมบูรณ์และเมื่อสัมผัสกับของเหลวที่ทำหน้าที่ดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบผิวจะแข็งตัวทำให้สารให้กลิ่นรสที่ติดอยู่ที่ผิวของผลิตภัณฑ์นั้นถูกกำจัดออกไปจนหมด การห่อหุ้มจึงเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้เป็นระยะเวลานาน (excellent shelf life) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเทคนิคนี้จะมีอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถเห็นได้ในลักษณะเป็นชิ้น (flavor pieces) ปัญหาของการใช้เอกซ์ทรูชัน คือ ไมโครแคปซูลที่ได้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ขนาดประมาณ 500-1000 ไมครอน ซึ่งไม่สามารถใช้ได้ ในอุตสาหกรรมอาหารที่ต้องการเนื้อสัมผัสที่ละเอียด

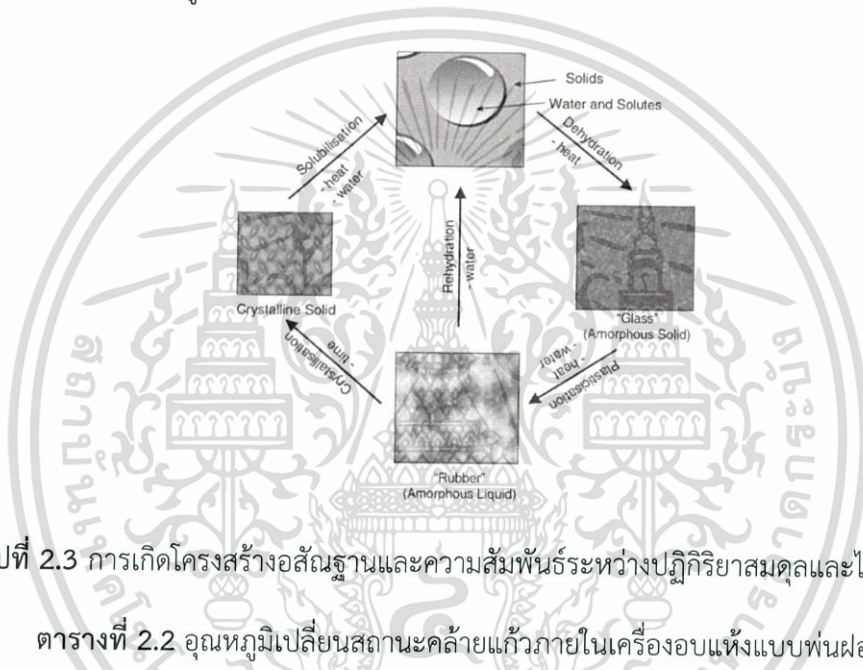
2.2.4 Glass transition

การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะลำดับที่สอง (Second-order Transition) ของวัสดุ ซึ่งพบได้ในวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐานหรือกึ่งผลึก (Amorphous or Semi-crystalline Material) เช่น สารโพลีเมอร์ นมผง น้ำตาล แป้ง เป็นต้น โดยเมื่อวัสดุมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่เรียกว่า อุณหภูมิในการเกิดกลาสทรานซิชัน (Glass Transition Temperature) ส่วนที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐานในวัสดุจะเปลี่ยนสถานะจากสถานะคล้ายแก้ว (Solid-like Glassy State) ซึ่งมีลักษณะแข็งเปราะ มีโครงสร้างจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ แต่เป็นระเบียบน้อยกว่าของแข็ง กลายเป็นสถานะคล้ายยาง (Liquid-like Rubbery State) ซึ่งมีลักษณะเหนียวหนืด โครงสร้างจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ โดยโครงสร้างจะไม่เป็นระเบียบน้อยกว่าของเหลว

Glass transition temperature

อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเป็นลักษณะคุณสมบัติของวัสดุอสัณฐาน โดยที่อุณหภูมิในการเกิดสถานะคล้ายแก้วนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของวัสดุ น้ำหนักโมเลกุลของวัสดุ ความชื้นของวัสดุ เป็นต้น

การเกิดบริเวณที่เป็นผลึก หรืออสัณฐานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งเป็นการทำของเหลวให้เป็นละอองฝอย โดยภายหลังจากการระเหยน้ำออกจะเป็นของแข็งเกิดขึ้นภายในห้องอบแห้ง สอดคล้องตามหลักการดังรูป



รูปที่ 2.3 การเกิดโครงสร้างอสัณฐานและความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาสมดุลและไม่สมดุล

ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

Material (moisture free)	Glass transition temperature (°C)	Constant (kg)
Fructose	5	3.18
Glucose	31	4.07
Galactose	32	
Skim milk with hydrolyzed lactose	49	8.00
Sucrose	62	
Maltose	87	
Low-fat milk (10.7% fat)	88	
Skim milk (0% fat)	92	
Whole milk (32.4% fat)	92	
Amorphous lactose	97	6.70
Medium-fat milk (18.6% fat)	98	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 36)	100	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 25)	121	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 20)	141	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 10)	160	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 5)	188	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โฮโมจีไนเซชัน (Homogenization) (ณัฐวุฒิและคณะ, 2551)

การทำให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน คือ การผสมสารอย่างน้อย 2 ชนิด ให้มีขนาดของโมเลกุลเท่ากัน หรือมีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุด หรือกล่าวได้ว่า การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันก็คือ การลดขนาดของวัตถุให้มีขนาดเล็กที่สุดก็ได้ เทคนิคการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันมีหลายอย่าง เริ่มตั้งแต่วิธีการขั้นพื้นฐาน อย่างเช่น การตัด การหั่น การบด การปั่น การโม่และการกวน จนกระทั่งเทคนิคการใช้คลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งเป็นคลื่นเสียงความถี่สูง เพิ่งแรงทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่แตกจนมีขนาดเล็กลง สำหรับในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แล้ว เครื่องมือที่ใช้ผสมตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน คือ เครื่อง Homogenizer และนอกจากเครื่องมือนี้จะใช้ผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วยังสามารถใช้เพื่อแตกเซลล์ได้อีกด้วย

Homogenizer หรือ เครื่องผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับก่อกำเนิดความเร็วสูงและแรงเฉือนสูง เพื่อลดขนาดวัตถุให้มีขนาดอนุภาคเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยการปั่น การตัด และผสมที่ความเร็วสูง เครื่อง Homogenizer สามารถใช้ได้กับตัวอย่างวัตถุหลายชนิด โดยจะใช้งานได้ดีกับผลิตภัณฑ์ที่มีความข้นหรือปริมาณไขมันสูง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานหลายด้านทั้งงานด้านอาหาร งานในด้านอาหารมักใช้กับนม อาหารสำหรับเด็กอ่อน น้ำผลไม้ และผลิตภัณฑ์ประเภทซอสปรุงรสต่างๆ ด้านยา ใช้ในการเตรียมตัวอย่างยา งานวิจัยทางชีวภาพและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น การบดและการโม่กระดาช การผสมตัวอย่างและใช้ผสมผลิตภัณฑ์เคื่องสำอาง เป็นต้น นอกจากนี้ ยังนิยมใช้เครื่อง Homogenizer ในการแตกเซลล์ เพื่อนำตัวอย่างสารหรือองค์ประกอบภายในเซลล์ไปวิเคราะห์ด้วย

2.3.1 ทฤษฎีของโฮโมจีไนเซชัน (รุ่งนภา, 2547)

หลักการ คือ การให้ของไหลไหลผ่านช่องแคบที่บางมากด้วยความดันสูงและความเร็วสูง ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยส่วนใหญ่เป็นผลมาจากแรงเฉือนระหว่างผิวหน้าต่างๆ ของวาล์ว ขณะที่ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านช่องเล็กๆ ด้วยความเร็วสูง สำหรับขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์จะเป็นผลมาจากความแตกต่างของความเร็วของอนุภาคในแต่ละจุด ซึ่งมีความเร็วไม่เท่ากัน โดยความแตกต่างของความเร็วนี้ทำให้ของแข็งมีการบดซึ่งกันและกันด้วยแรงเฉือน จึงทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง

กลไกการแตกหรือปรากฏการณ์การทำให้อนุภาคแตกตัว (Disruption Phenomena) ขณะที่อนุภาคที่แขวนลอยหรือหยดของเหลวที่เป็นเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง ผ่านบริเวณที่ทำให้แตก กลไกการแตกต่างๆ อาจเกิดขึ้น ดังนี้

1. กลไกการเฉือนในการไหลแบบลามินาร์และเทอร์บูเลนซ์

การไหลทุกชนิด เช่น การไหลที่เกี่ยวข้องกับความเสียดทาน ก่อให้เกิดแรงเฉือน (shearing stress) ต่ออนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในกระแส ในการไหลแบบลามินาร์ ความเครียดเหล่านี้เป็นสิ่งปกติและมีลักษณะหนืด แต่ในการไหลแบบเทอร์บูเลนซ์ ความเครียดดังกล่าว เป็นสิ่งที่ไม่ปกติ ได้มีการพิสูจน์ด้วยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์พบว่า เทอร์บูเลนซ์เป็นกลไกที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดการแตกตัวขึ้น

2. คาวิตีชัน

เมื่อความดันในระบบถูกลดลงต่ำกว่าความดันไอของของเหลว จะเกิดฟองของไอ (vapor bubbles) ซึ่งฟองของไอเหล่านี้จะแตก (collapse) ในบริเวณที่มีความดัน ณ ตำแหน่งใกล้เคียงที่สูงกว่า ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า คาวิตีชัน โดยการใช้ความดันประมาณ 5×10^6 ถึง 5×10^7 Pa ในวาล์วของการไฮโดรเจนในเซชันความดันสูง คาวิตีชันจะเกิดขึ้นเสมอ ซึ่งพิสูจน์ได้จากการเสื่อมเสียของผิวของวาล์วของการไฮโดรเจนในเซชัน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากคาวิตีชัน การมีคาวิตีชันมีผลทำให้การแตกมากขึ้น เมื่อพลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากัน และทำให้กระบวนการไฮโดรเจนในเซชันมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3.2 ประเภทและหลักการทำงานของ Homogenizer (ณัฐวุฒิและคณะ, 2551)

Homogenizer สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะการทำงานได้ 3 แบบ คือ

1. Rotor-Stator Homogenizer : โรเตอร์หรือสเตเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้กำเนิดแรงเฉือนสูง ทำให้สามารถลดขนาดของวัตถุได้ดี โดยแรงเฉือนนี้เกิดจากใบมีดที่วางเรียงตัวเป็นแถวโดยรอบบริเวณปลายด้ามผสม ใบมีดเหล่านี้จะเฉือนวัสดุทุกชนิดที่เข้ามาใน Stator Tip เมื่อโรเตอร์หมุนวัตถุตัวอย่างจะถูกดูดและหมุนเหวี่ยงผ่านออกมาทางช่องสเตเตอร์ โดยทั่วไปแล้วจะใช้เวลาสำหรับผสมตัวอย่างประมาณ 20-60 วินาที จึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน

หลักการทำงานของ โรเตอร์ – สเตเตอร์

โดยทั่วไปแล้ว Rotor-Stator Homogenizer ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการนั้นจะมีส่วนขับเคลื่อนอยู่ด้านบน ซึ่งมีมอเตอร์ที่หมุนด้วยความเร็วสูงประมาณ 8,000 – 60,000 rpm อยู่ด้านใน ขนาดของหัวโรเตอร์ – สเตเตอร์ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามขนาดปริมาตรของตัวอย่าง ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้กับตัวอย่างที่มีปริมาตรตั้งแต่ 0.5 – 50 มิลลิลิตร หรืออาจได้มากสูงสุดถึง 10 ลิตร ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่อง โดยขนาดของทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์นั้นต้องสัมพันธ์กันอยู่ในระดับที่เหมาะสม สเตเตอร์ไม่ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าโรเตอร์จนเกินไป เพราะอาจจะทำให้ช่องว่างระหว่างโรเตอร์ – สเตเตอร์นั้นมากเกินไป ซึ่งไม่สามารถผสมตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอได้ และไม่ควรอยู่ชิดกันมากเกินไปเพราะอาจทำให้เกิดความร้อนสูงบริเวณหัวปั่น โดยอัตราส่วนระหว่างโรเตอร์ : สเตเตอร์ โดยทั่วไปอยู่ที่ 1 : 1.5

ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันนั้น ตัวอย่างวัตถุจะต้องมีขนาดเล็กพอที่จะเข้าไปอยู่ภายในช่องบริเวณหัวของสเตเตอร์ได้ ถ้าตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่เกินไปอาจจะต้องตัด หั่น หรือบด ให้เป็นชิ้นเล็กๆก่อนจึงจะนำเข้าสู่กระบวนการได้

2. Ultrasonic Homogenizer : Homogenizer ชนิดนี้ทำงานโดยการสร้างคลื่นความดันในตัวอย่างของเหลว เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม คลื่นความดันนี้จะส่งผลให้เกิดการสร้างฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากและระเบิดออกมาอย่างรุนแรง เกิดเป็นภาวะโพรงอากาศ (Cavitation) การระเบิดจะทำให้เกิดคลื่นกระแทก (Shock Wave) หรือเกิดเป็นคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งมีพลังงานมากพอที่จะทำให้ตัวอย่างในของเหลวเกิดการแตกกระจายเป็นชิ้นเล็กๆได้ คลื่นอัลตราโซนิกที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ในช่วงความถี่ 18 – 30 กิโลเฮิร์ต ซึ่งป็นช่วงความถี่ที่หูมนุษย์ไม่สามารถได้ยิน และทำให้เกิดแรงดันได้มากกว่า 500 บรรยากาศและอุณหภูมิมากกว่า 5,000 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปแล้ว เครื่องมือที่ใช้กำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกทุกชนิด จะมีโครงสร้างการทำงานพื้นฐานคล้ายๆกัน แต่อาจมีข้อแตกต่างกันเล็กน้อยตามความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน ปริมาตรของตัวอย่าง และข้อจำกัดของพื้นที่การทำงาน

สำหรับเครื่อง Homogenizer แบบอัลตราโซนิก จะมี Piezoelectric Transducer เป็นตัวเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลและเกิดการสั่น ส่งผ่านลงสู่ของเหลวโดย Probe ที่จุ่มอยู่ในของเหลว แล้วจึงเกิดเป็นคลื่นอัลตราโซนิก เพื่อใช้สำหรับลดขนาดให้วัตถุกลายเป็นเนื้อเดียวในที่สุด

3. Piston Pump Homogenizer : เครื่อง Homogenizer ชนิดนี้เป็นเครื่องมือที่ใช้แรงอัดตัวอย่างผ่านช่องหรือท่อขนาดเล็ก หรือช่องวงกลม (Annular Gap) โดยการทำงานของปั๊มลูกสูบ เมื่อตัวอย่างของเหลวถูกอัดผ่านท่อด้วยความเร็วสูง จะทำให้เกิดแรงอัดปริมาณมากดันตัวอย่างของเหลวผ่านช่องขนาดเล็กทำให้ตัวอย่างไหลทะลักออกมาทางช่องนั้น จนทำให้ตัวอย่างมีอนุภาคขนาดเล็กลงและเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น Homogenizer ชนิดนี้มักใช้กับตัวอย่างที่เป็นของเหลวหรือตัวอย่างที่มีของแข็งปริมาณน้อย และมักใช้ในระบบโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมนม ใช้สำหรับผสมน้ำนมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

2.3.3 การนำ Homogenizer ไปใช้ประโยชน์ในระดับโรงงานอุตสาหกรรม

Homogenizer ถูกนำไปใช้ในการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่

1. อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท ครีม ยาสีฟัน ยาย้อมผม และอุปกรณ์อาบน้ำต่างๆ
2. อุตสาหกรรมยา ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท ยาน้ำ ยาขี้ผึ้ง ยาเคลือบ และโลชั่น
3. อุตสาหกรรมอาหาร ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท มายองเนส มัสตาร์ด และสารแต่งกลิ่นต่างๆ

4. อุตสาหกรรมเคลือบ ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท สี หมึก ซีซี้ง (wax) แอสฟัลต์ (น้ำมันดิบ สำหรับเคลือบถนน) แล็กเกอร์ และเรซิน
5. อุตสาหกรรมสิ่งยึดติด ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทเรซินเชื่อมวัสดุ (Epoxy) โพลียูรีเทน และซิลิโคน และอุตสาหกรรมเคมี ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทพลาสติก และยาง

2.3.4 การแตกเซลล์

เซลล์เป็นหน่วยย่อยที่สุดของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ ผนังเซลล์, เยื่อหุ้มเซลล์, ไซโทพลาสซึม, นิวเคลียส และออร์แกเนลล์อื่นๆ ภายในไซโทพลาสซึม มีองค์ประกอบหลายอย่าง ได้แก่ กรดนิวคลีอิก, โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต, ไขมัน, เอนไซม์, เม็ดสี และน้ำ ในการที่จะแยกองค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ออกมาศึกษานั้น จำเป็นต้องทำลายผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ออกก่อน ในบางครั้งเซลล์อาจจะหลังสารที่ต้องการศึกษาออกมาได้ แต่ส่วนใหญ่แล้ว เซลล์ต้องถูกทำให้แตกก่อนเพื่อให้ส่วนประกอบภายในเซลล์หลุดออกมา การแตกเซลล์เป็นขั้นตอนที่สำคัญและต้องระวังเป็นพิเศษ กระบวนการทำต้องรวดเร็วและนุ่มนวล เพื่อไม่ทำให้องค์ประกอบภายในเซลล์ที่หลุดออกมาเสียหาย และยังมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีครบถ้วน เครื่อง Homogenizer ประเภทที่นิยมใช้กับการแตกเซลล์ คือ เครื่อง Homogenizer ชนิด Ultrasonic เพราะสามารถให้กำเนิดแรงเฉือน จากคลื่นความถี่สูงได้ โดยที่ไม่ทำลายองค์ประกอบอื่นของเซลล์ โดยเซลล์แต่ละชนิดจะใช้คลื่นความถี่สูงต่างกันในการแตกเซลล์ หรือใช้เครื่อง Homogenizer ที่มีหัวปั่นเป็นแก้วโบโรซิลิเกตก็ได้

2.4 อิมัลชัน (Emulsion) (รุ่งนภา, 2547)

อิมัลชันของของเหลว - ของเหลว มี 2 ชนิด คือ น้ำมันในน้ำ (o/w) เช่น นม และ น้ำในน้ำมัน (w/o) เช่น มาร์การีน อิมัลชันเหล่านี้ค่อนข้างจะเป็นอิมัลชันแบบง่าย ๆ ส่วนอิมัลชันที่ซับซ้อนขึ้นมักพบในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ไอศกรีม ไข่กรอก และเค้ก

ในอิมัลชันของของเหลวส่วนใหญ่ แม้ว่าของเหลว 2 ชนิด ที่มาผสมกันคือ น้ำและน้ำมัน แต่ระบบที่น้ำบริสุทธิ์และน้ำมันบริสุทธิ์มาผสมกันมีน้อย เช่น เฟสของน้ำอาจประกอบด้วยสารละลายเกลือ น้ำตาล และสารอินทรีย์หรือสารคอลลอยด์ต่างๆ (สารประกอบไฮโดรฟิลิก) ส่วนเฟสของน้ำมันอาจประกอบด้วยน้ำมัน ไฮโดรคาร์บอน ไขมัน และสารอื่นๆ ที่คล้ายน้ำมัน (สารประกอบไฮโดรโฟบิก) นอกจากนี้ อาจมีสารตัวที่ 3 เรียกว่าสาร อิมัลซิไฟอิง (emulsifying agent) ร่วมอยู่ด้วยเพื่อทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น สารอิมัลซิไฟอิงอาจมีอยู่ในอาหารเองหรือเติมเข้าไปในระหว่างกระบวนการแปรรูป

เมื่อน้ำและน้ำมันผสมกัน จะเกิดอิมัลชันได้ 2 ชนิด ขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายตัวและปริมาณของสารทั้ง 2 ชนิด เช่น ถ้าน้ำมันเป็นเฟสที่กระจายหรือเป็นเฟสไม่ต่อเนื่อง จะเกิดอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (o/w) หรือถ้าน้ำเป็นเฟสไม่ต่อเนื่อง จะเกิดอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (w/o) ซึ่งอิมัลชันที่เกิดขึ้นมักจะแสดงคุณสมบัติส่วนใหญ่ของของเหลวที่เป็นเฟสต่อเนื่อง เช่น อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ อาจทำให้เจือ

จางด้วยน้ำ ทำให้เกิดสีได้ด้วยสีที่ละลายน้ำและแสดงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่สอดคล้องกับเฟสของน้ำ (aqueous phase) ในทางตรงกันข้าม อิมัลชันของน้ำในน้ำมันก็สามารถทำให้เจือจางด้วยน้ำมัน ทำให้เกิดสีด้วยสีที่ละลายได้ในน้ำมันและมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ อิมัลชัน 2 ชนิด ที่มีองค์ประกอบคล้ายกันจะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันอย่างมากขึ้นกับว่าน้ำหรือน้ำมันเป็นเฟสต่อเนื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อชนิดของอิมัลชันที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำและน้ำมันผสมกัน ได้แก่ ชนิดของสารอิมัลซิไฟอิง สัดส่วนของเฟสทั้งสอง และวิธีการเตรียมอิมัลชัน



ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน ได้แก่

1. ชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์
2. ขนาดของอนุภาคในเฟสกระจาย
3. แรงตึงผิวที่มีต่อผิวของอนุภาคในเฟสกระจาย
4. ความหนืดของเฟสต่อเนื่อง
5. ความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของเฟสต่อเนื่องและเฟสกระจาย

2.4.1 แรงตึงผิว (interfacial tension) (วีไล, 2546)

ความตึงผิวระหว่างเฟสต่อเนื่องและเฟสกระจายยิ่งสูงเท่าไรก็จะยิ่งทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความคงตัวได้ยากมากขึ้นเท่านั้น สารอิมัลซิไฟเออร์ที่เติมหรือที่มีอยู่ในอาหารจะสร้างมิเซลล์ (micelle) อยู่รอบๆ อนุภาคของเฟส กระจายทำให้ช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสและยังช่วยป้องกันอนุภาคเล็กๆ เหล่านี้ไม่ให้รวมตัวกันด้วย การบีบอัดและเฉือนอย่างรุนแรงด้วยพลังงานที่ได้จากเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ทำให้อนุภาคเหล่านี้มีขนาดเล็กลง สารอิมัลซิไฟเออร์จึงเป็นสารที่ช่วยลดพลังงานที่ต้องใช้ในการทำอิมัลชัน โดยทั่วไปอนุภาคที่กระจายอยู่ในอาหารอิมัลชัน ส่วนใหญ่จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.1 – 10 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 สารอิมัลซิไฟอิง (emulsifying agents) (รุ่งนภา, 2547 และ วิไล, 2546)

สารอิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่ 2 ชนิด ในการทำให้เกิดอิมัลชัน (อิมัลซิไฟเคชัน) คือ ช่วยลดแรงตึงระหว่างผิวหน้าของของเหลวต่างๆ ที่จะเกิดเป็นอิมัลชัน และป้องกันการรวมตัวของอนุภาคต่างๆ ของเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง ในอิมัลชันที่เกิดขึ้นแล้ว สารที่ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์มีอยู่เป็นจำนวนมากและมีคุณสมบัติแตกต่างกัน อิมัลชันที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ เอสเทอร์ของกลีเซอรอล โพรพิลีนไกลคอล เซลลูโลสอีเทอร์ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส และอื่นๆ ส่วนของแข็ง ได้แก่ เบนโทไนท์ เป็นต้น

อิมัลซิไฟเออร์ แบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบมีขั้วและแบบไม่มีขั้ว สำหรับสารที่มีขั้วเป็นองค์ประกอบหลักจะยึดเกี่ยวกับน้ำและทำให้เกิดอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำและอิมัลซิไฟเออร์แบบไม่มีขั้วจะดูดซับกับน้ำมันทำให้เกิดอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน อิมัลซิไฟเออร์มีความแตกต่างกันตามค่าสมดุลระหว่างหมู่ชอบน้ำ (hydrophile) และหมู่ชอบน้ำมันหรือหมู่ไม่ชอบน้ำ (lipophile) ที่เรียกว่า HLB (Hydrophile – lipophile Balance) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างปริมาณหมู่ที่ชอบน้ำต่อหมู่ที่ไม่ชอบน้ำบนโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์ ค่า HLB บอกความเหมาะสมในการใช้อิมัลซิไฟเออร์ชนิดนั้น ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับการใช้อิมัลซิไฟเออร์ในระบบ o/w แบบง่ายๆ หรือเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับระบบอิมัลชันที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ระบบอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน

สารอิมัลซิไฟเออร์ควรจะมีอยู่ในรูปชนิดของอิมัลชันที่เกิด ถ้าใช้ในอาหาร สารอิมัลซิไฟเออร์ควรจะไม่มึกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสี และต้องไม่เป็นพิษ ในหลายประเทศก็มีการควบคุมการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ในอาหาร สารอิมัลซิไฟเออร์ควรมีความคงตัวทั้งทางเคมีและทางกายภาพภายใต้สภาวะต่างๆ ของการแปรรูป การจัดการและการเก็บ และควรมีราคาถูก

สารให้ความคงตัว (stabilizer) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ประเภทโพลีแซคคาไรด์ซึ่งจะละลายในน้ำเพื่อให้สารละลายเหนียวหนืดหรือเป็นเจล การเพิ่มความหนืดและปฏิกิริยาที่สลับซับซ้อนระหว่างอนุภาคของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ ทำให้เกิดร่างแห 3 มิติ ซึ่งจะทำให้อิมัลชันมีความคงตัวและป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคเล็กๆ เหล่านี้ สำหรับอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมันนั้น จะมีเพียงเซลลูโลสซึ่งเป็นผืนเล็กๆ และผงเซลลูโลสเท่านั้นที่สามารถทำให้อิมัลชันแบบนี้มีความคงตัวได้

2.4.3 หลักการทั่วไปในการทำให้เกิดอิมัลชัน (วิไล, 2546)

การเกิดอิมัลชัน จะต้องมียานมากกระทำต่อระบบเพื่อให้ชนะความต้านทานที่ก่อให้เกิดผิวร่วมระหว่างเฟสขึ้นมาใหม่ ในทางทฤษฎี งานของการทำให้เกิดอิมัลชันเทียบเท่ากับผลคูณของผิวที่เกิดขึ้นใหม่กับแรงตึงระหว่างผิวหน้า นอกจากนี้ พลังงานที่ต้องใช้ยังรวมถึงพลังงานที่ให้ของเหลวเคลื่อนที่ (in motion) และชนะความต้านทานอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานที่พื้นผิวของเครื่องมือ โดยทั่วไป งานที่กับของเหลวกระทำได้โดยการกวนอย่างแรง ชนิดของการกวนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอิมัลซิไฟเคชันคือ ชนิดที่ทำให้อนุภาคขนาดใหญ่ของเฟสไม่ต่อเนื่องได้รับแรงเฉือน ในลักษณะเช่นนี้อุณหภูมิจะเสีรูปร่างและแตก

ออกเป็นขนาดที่เล็กลง ทำให้มีการกระจายตัวที่ละเอียดกว่า ถ้าสภาวะที่เหมาะสม फिल्मของอิมัลซิไฟเออร์ที่ทำหน้าที่ป้องกันดังกล่าว จะถูกดูดซับที่ระหว่างผิวหน้าร่วมของทั้ง 2 เฟสและอิมัลชันที่คงตัวจะเกิดขึ้น

เวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดอิมัลซิฟิเคชันจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสูตรของอิมัลชันและเทคนิคที่ใช้ และมักจะได้จากการทดลอง ในแต่ละกรณีของอิมัลซิฟิเคชันจะมีช่วงเวลาที่เหมาะสม ถ้าต่ำกว่าเวลาดังกล่าว อิมัลชันที่เกิดขึ้นค่อนข้างจะไม่คงตัว แต่ถ้าการกวนดำเนินต่อไปเกินระยะเวลาที่เหมาะสม อิมัลชันอาจได้รับความเสียหาย เนื่องจากฟิล์มที่ทำหน้าที่ป้องกันนั้นเกิดการเสื่อมเสียด้วยการกวนที่มากเกินไป

ในการเตรียมอิมัลชันควรพิจารณาถึงสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้จะต้องเหมาะสมกับชนิดของอิมัลชันที่ต้องการ เช่น o/w หรือ w/o เปอร์เซนต์ของปริมาตรของเฟสไม่ต่อเนื่องและอุณหภูมิของการเตรียม เนื่องจากแรงดึงระหว่างผิวและความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้จะต้องอยู่กับความไวต่อความร้อนขององค์ประกอบในอาหาร ในกรณีของการผลิตภัณฑนม อุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรเกิน 70°C หรือในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น มายองเนส จะมีองค์ประกอบของไข่แดงอยู่ด้วย จึงต้องทำเป็นอิมัลชันที่อุณหภูมิต่ำมาก

โดยทั่วไป มักเตรียมทั้งสองเฟสแยกกัน แล้วจึงเติมสารอิมัลซิไฟเออร์เข้าไปยังเฟสต่อเนื่องแต่ก็มีข้อยกเว้น พวกกัมและคอลลอยด์ที่เป็นไฮโดรฟิลิกบางชนิดกระจายตัวได้ดีที่สุดในเฟสของน้ำมัน เพื่อลดการขยายตัวและการเกาะเป็นก้อนให้น้อยที่สุด เมื่อมีการผสมเฟสต่างๆ เฟสไม่ต่อเนื่องจะค่อยๆ เติบโตเข้าไปยังเฟสต่อเนื่อง ขณะที่เฟสต่อเนื่องถูกกวน

2.5 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying)

2.5.1 หลักการทำงาน (ธงไชย และคณะ, 2556)

เป็นเทคนิคการทำแห้งที่ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเครื่องมือหาง่าย ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าวิธีการอื่น ๆ หลักการของระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอยเริ่มจากอากาศจะถูกดูดผ่านตัวกรองอากาศและผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศให้สูงขึ้นเป็นลมร้อนส่งเข้าห้องทำแห้ง ส่วนอาหารเหลวจะถูกดูดผ่านปั๊มไปยังหัวฉีดฉีดภายในห้องอบแห้งเพื่อทำให้เป็นละอองฝอย ทำให้ละอองฝอยของอาหารสัมผัสกับลมร้อนเกิดการระเหยของน้ำในละอองฝอยอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่าระเปาะเปียกเล็กน้อย อนุภาคที่แห้งของอาหารจะลอยกระจายในลมร้อนแล้วเข้าสู่เครื่องแยกไซโคลนออกจากเครื่องเป็นผลิตภัณฑ์ผง สำหรับตัวอย่างอาหารเหลวที่นำมาทำแห้งนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่เป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Solution) หรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Non-Homogeneous Solution) อาหารเหลวที่ป้อนเข้าไปจะถูกควบคุมให้เหมาะสมกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งปัจจัยที่ถูกควบคุมให้เหมาะสมกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่น ความ

หนัก ความเข้มข้น องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ลักษณะการไหล ชนิดหัวอัดฉีด การส่งผ่านความร้อน และมวล การแยกอาหารแห้งออกจากกระแสลม เป็นต้น (ณัฐวุฒิ และคณะ, 2551)

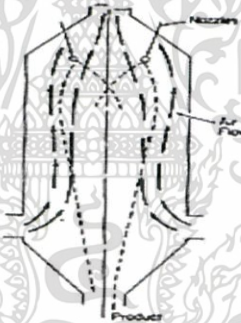
2.5.2 ห้องทำแห้ง (ณัฐวุฒิ และคณะ, 2551)

อากาศที่ถูกดูดผ่านระบบการกรองทำให้ร้อนจะปะทะเข้ากับอาหารเหลวที่ถูกพ่นออกมาในบริเวณนี้เพื่อให้เกิดการทำแห้งโดยการสัมผัสกันระหว่างอากาศร้อนและอาหารเหลว ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้หลายทิศทาง

ลักษณะการไหลเวียนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 4 ประเภท

1. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลสวนทางกัน

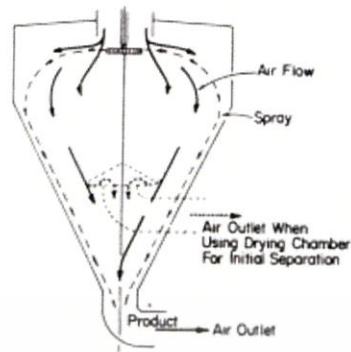
เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลสวนทางกัน อากาศถูกนำเข้าสู่เครื่องทางด้านล่างของห้องทำแห้ง ในขณะที่อาหารเหลวจะถูกพ่นออกมาทางด้านบนของห้องทำแห้ง โดยที่อากาศร้อนจะเคลื่อนที่ออกทางด้านบนซึ่งมีอุณหภูมิสูง โดยสัมผัสโดยตรงกับอาหารเหลว ข้อเสียของเครื่องทำแห้งประเภทนี้คือคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะลดลงเนื่องจากอุณหภูมิของอากาศมีผลต่อผลิตภัณฑ์และอัตราการไหลที่ทำได้น้อยเนื่องจากป้องกันการไหลตัดกันไปของอาหารเหลวและอากาศที่ถูกดูดออกทางด้านบนของเครื่อง



รูปที่ 2.5 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลสวนทางกัน (ไทร์ท และคณะ, 2551)

2. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน

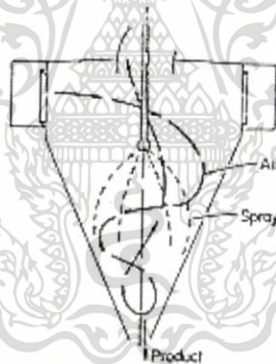
เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน จะมีการผสมของอากาศและของเหลวโดยหัวอัดฉีด ผลิตภัณฑ์อาหารและอากาศจะไหลไปในทิศทางเดียวกันโดยกระบวนการการทำแห้งจะดำเนินต่อไปโดยผลิตภัณฑ์อาหารและอากาศจะไหลออกทางด้านล่างผ่านทางแยก การจัดการเช่นนี้เหมาะแก่การใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อนเนื่องจากผลิตภัณฑ์เหลวจะสัมผัสกับอากาศน้อยที่เข้ามาแต่ผลิตภัณฑ์แห้งจะสัมผัสกับอากาศที่ลดอุณหภูมิต่ำลงมาก



รูปที่ 2.6 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน (ไทร์ท และคณะ, 2551)

3. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน ผลิตภัณฑ์จะเข้าเครื่องด้วยหัวฉีดบริเวณศูนย์กลางของห้องทำแห้ง อากาศจะไหลเข้าทางด้านบนมาสัมผัสกับอาหารก่อนที่จะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนไปยังช่องอากาศภายนอก ผลิตภัณฑ์แห้งจะได้ออกทางด้านล่างของห้องอบแห้ง อุณหภูมิอากาศเข้าที่สูงจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ แต่ลักษณะแบบนี้จะทำให้อัตราการระเหยต่อหน่วยปริมาณสูงขึ้น



รูปที่ 2.7 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน (ไทร์ท และคณะ, 2551)

4. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลขนานกัน

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลขนานกันการไหลของผลิตภัณฑ์และอากาศจะไหลอย่างสม่ำเสมอจากทางด้านบนสู่ด้านล่างในห้องทำแห้งที่แคบ ผลิตภัณฑ์แห้งและอากาศจะออกจากห้องทำแห้งด้วยกัน และเคลื่อนที่ไปยังระบบแยก ลักษณะการไหลแบบนี้แตกต่างจากการไหลตามกันคือความเร็วลมที่ใช้สูงอยู่ที่ 2-3 เมตรต่อวินาที ทำให้อุณหภูมิอากาศสูง

2.5.3 หัวฉีด

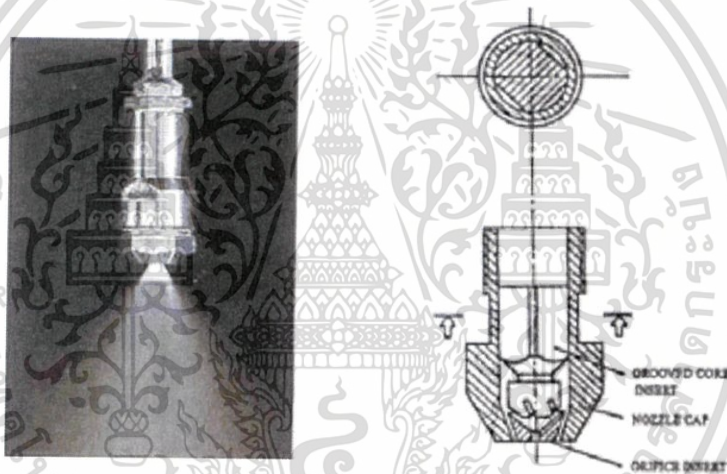
หัวฉีด มีหน้าที่ทำให้อาหารเหลวแตกตัวเป็นละอองฝอย เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับความร้อนให้มากขึ้นและยังเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของอาหารเหลวไปยังห้องอบแห้ง ซึ่งเป็นทั้งตัวกำหนดคุณภาพของ

ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้และขนาดอีกด้วย ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยหัวอัดฉีด หรือหัวอัดฉีดมีหลายระบบด้วยกัน ซึ่งในแต่ละระบบนั้นมีผลของคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันการเลือกชนิดของตัวทำละอองนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของเหลวเริ่มต้น เช่นความหนืด และคุณสมบัติของอาหารผงที่ต้องการ เช่น ขนาดของอนุภาค การละลาย ความหนาแน่น การเปียกน้ำ เป็นต้น (นิชาภา และคณะ, 2555)

หัวอัดฉีดที่นิยมใช้ได้แก่

1. หัวฉีดแรงดันสูง (Centrifugal Pressure Nozzle)

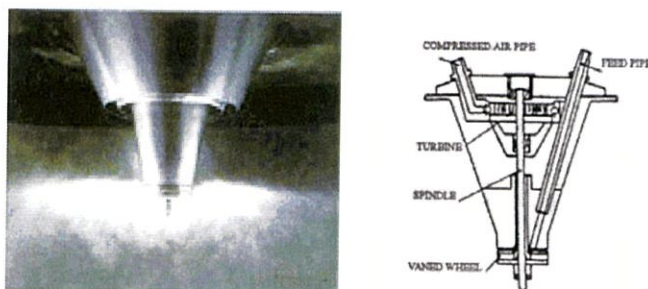
หัวฉีดนี้เป็นสารทำให้อาหารเหลวไหลผ่านรูเล็กๆโดยใช้ความดันสูงในการอัดฉีดอาหารเหลว ให้เกิดแผ่นของเหลวขึ้นเพื่อแตกออกเป็นหยดเล็ก ๆ ตามต้องการ อนุภาคที่ได้จะมีขนาดอยู่ที่ 120-250 มิลลิเมตร โดยขนาดของอนุภาคที่ได้จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอาหารเหลว ความหนืด และความดัน



รูปที่ 2.8 หัวฉีดแรงดันสูง (Centrifugal Pressure Nozzle) (ไทรท และคณะ, 2551)

2. หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง (Rotary Atomizers)

หัวฉีดชนิดนี้จะฉีดอาหารเหลวลงบนจานหมุนใกล้กับจุดศูนย์กลางจานหมุนจะหมุนด้วยความเร็วรอบ 5,000–10,000 รอบต่อนาที สารละลายจะถูกเหวี่ยงและกระจายออกเป็นแผ่น หัวฉีดประเภทนี้สามารถใช้กับอัตราการป้อนและคุณสมบัติของเหลวได้ในช่วงกว้าง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของจานหมุนและอัตราการป้อน



รูปที่ 2.9 หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง (Rotary Atomizers) (ไทร์ท และคณะ, 2551)

3. หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด (Two – Fluid Atomizers)

เป็นการใช้กระแสก๊าซความแรงสูงเพื่อให้กระทบอาหารเหลวที่ความเร็วต่ำ และจึงแตกออกเป็นละอองฝอย โดยทั่วไปหัวฉีดเหล่านี้มักใช้กำลังมากและอาจไม่ประหยัดที่ความจุสูง หยดของเหลวละเอียดเล็ก ๆ สามารถเกิดขึ้นที่อัตราการไหลต่ำและใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง

2.5.4 ไซโคลน (Cyclone)

เมื่อมีการระเหยเกิดขึ้นเสร็จสิ้นแล้ว ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะถูกดูดขึ้นมาตามทอลมจากด้านล่างของห้องทำแห้ง ซึ่งเรามีการแยกอากาศที่ออกจากห้องทำแห้งกับอาหารผงโดยไซโคลนอาศัยหลักการจากแรงเหวี่ยง

2.5.5 อาหารที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย (นิสากร และคณะ, 2553)

สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. แบบไม่เหนียวหนืด (Non-sticky) อาหารประเภทนี้ มีการดูดซับน้ำน้อยและมีอัตราการไหลไปยังห้องทำแห้งที่อัตราคงที่ ทำให้ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพแน่นอน เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภท หางนม โปรตีน แป้ง

2. แบบเหนียวหนืด (sticky) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงไม่กี่องศาในกระบวนการผลิต จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่คงเหลืออยู่ในรูปของไซรัป หรือติดอยู่ตามผนังของห้องทำแห้งส่งผลให้คาร์บอนของผลิตภัณฑ์ต่ำลง และเกิดปัญหาในกระบวนการ เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภท น้ำผัก ผลไม้ พวบน้ำตาลแล็กโตส

2.5.6 ปัจจัยในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้

2.5.6.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

ในสภาวะที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ อุณหภูมิของอากาศขาเข้าและขาออกจะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการอบแห้งเนื่องมาจากการที่อุณหภูมิขาเข้าสูงขึ้นจะเป็นการเพิ่มแรงขับ (Driving Force) ของน้ำที่จะระเหยออกไป ส่งผลให้ความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้หากต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสุดท้ายเพียงค่าหนึ่งเท่านั้นเพื่อที่จะได้ สมบัติทางกายภาพและเคมีตามที่ต้องการ จึงจำเป็นที่จะต้องจำกัดอุณหภูมิอากาศออกให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้แน่นอน หรือในกรณีที่สภาวะการทำงานโดยมีอุณหภูมิอากาศออกต่ำจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูง เพื่อป้องกันมิให้ผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นในระหว่างการเก็บ

2.5.6.2 ความชื้น

ที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคองที่ หากทำการเพิ่มปริมาณของแข็งในสารละลายที่ป้อนเข้าสู่ระบบ จะส่งผลโดยตรงต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ อันเนื่องมาจากปริมาณของแข็งในอนุภาคฝอยหนึ่ง ๆ มากขึ้นจะส่งผลให้อัตราส่วนของแข็งต่อความชื้นเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการระเหยของน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีความชื้นลดลง

2.5.6.3 อัตราการป้อน

ในกรณีที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคองที่การเพิ่มอัตราการป้อนจะทำให้ขนาดของอนุภาคในการพ่นฝอยมีขนาดใหญ่และความหนาแน่นต่ำ และในกรณีที่อัตราการไหลและปริมาณของอากาศร้อนขาเข้ามีค่าคงที่ การเพิ่มอัตราการป้อนจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นเพิ่มขึ้น

2.5.6.4 การไหลเวียนของลมร้อน

การปรับเปลี่ยนการไหลเวียนของลมร้อนจะทำให้ความดันภายในห้องอบลมร้อนเปลี่ยนไป ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อปริมาณการระเหยของไอน้ำ จึงทำให้ระดับการหมุนเวียนของลมร้อนในห้องอบส่งผลต่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทำแห้ง โดยหากให้อัตราการไหลเวียนของลมร้อนสูงขึ้นทำให้ไซโคลอนมีประสิทธิภาพในการแยกสูงขึ้น

2.5.6.4 ป้อน

การเพิ่มความเร็วมอเตอร์จะส่งผลให้อัตรามวลเข้าระบบสูงขึ้น จึงทำให้ต้องใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกมากขึ้นทำให้อุณหภูมิทางออกลดลงทำให้อนุภาคไม่แห้งพอเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเหนียวหนืด

2.5.6.4 อัตราการพ่น

ปริมาณลมที่ใช้ในการอัดให้ของเหลวเกิดการกระจาย มีผลโดยตรงต่อขนาดผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลงและมีความชื้นสูงขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความแห้งและพูนมาก

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี 2548 Fuch และคณะ ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเอนแคปซูลชันน้ำมันพืชดอกทานตะวัน 5% ของความเข้มข้นอิมัลชัน และใช้มอลโตเด็คซ์ตรินและคาเซียกัมในอัตราส่วน 3:2 เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ในกระบวนการทำเอนแคปซูลชันนั้นประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ การทำอิมัลชัน การอบแห้งแบบพ่นฝอย และการทำให้เกิดการรวมตัวกันด้วยฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งแบบพ่นฝอย และการทำให้เกิดการรวมตัวกันด้วยฟลูอิดไดซ์เบดจะมีการวิเคราะห์คุณสมบัติของผงที่ได้ทั้งก่อนและหลัง การทำให้เกิดการรวมตัวกัน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในเอนแคปซูลชันคือ ที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นอิมัลชัน 40% และอุณหภูมิขาเข้าและขาออกคือ 220 และ 100 ตามลำดับ และการทำให้เกิดการรวมตัวด้วยฟลูอิดไดซ์เบด

ปี 2556 Fernandes และคณะ ศึกษาและประเมินผลของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อเอนแคปซูลชันน้ำมันหอมระเหยโรสแมรี่ด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยสารห่อหุ้มที่ใช้คือกัมอาราบิก ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาในการเอนแคปซูลชัน คือ ความเข้มข้นของสารห่อหุ้มที่ 10-30% อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 135-195 องศาเซลเซียส อัตราการป้อน 0.5-1.0 ลิตรต่อชั่วโมง ออกแบบการทดลองแบบ factorial 2^3 และใช้วิธีการวิเคราะห์แสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว โดยจะวิเคราะห์ผงน้ำมันหอมระเหยโรสแมรี่ดังนี้ ความชื้น ความสามารถในการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศ ความสามารถในการกระจายตัว ความสามารถในการละลาย ความหนาแน่นรวมและความหนาแน่นจำเพาะ ความหนาแน่นอนุภาค ความสามารถในการไหล ความเกาะติดกัน จากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดของการเอนแคปซูลชันน้ำมันหอมระเหยโรสแมรี่ด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ ความเข้มข้นของสารห่อหุ้ม 24% อุณหภูมิขาเข้าลมร้อน 135 องศาเซลเซียสและอัตราการป้อน 0.7 ลิตรต่อชั่วโมง

ปี 2556 Paola Roccia และคณะ ได้ศึกษาการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของผงน้ำมันทานตะวัน โดยการใช้โครงสร้างของน้ำมันทานตะวันและวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว ในการวิเคราะห์คุณภาพของผงน้ำมันทานตะวัน มอลโตเด็คซ์ตรินและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ถูกนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้ม ในส่วนของการเตรียมอิมัลชันได้นำแก้วเหลืองเลซิดิน (0.15%) มาเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และนำน้ำมันดอกทานตะวัน มอลโตเด็คซ์ตริน หรือ ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส มาผสมใน อัตราส่วน 2: 1 (มอลโตเด็คซ์ตริน / ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส : น้ำมันดอกทานตะวัน) ก่อนไปทำการทดลองด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยปัจจัยในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีอิทธิพลต่อน้ำมันทานตะวันและทำให้คุณภาพของน้ำมันทานตะวันดีที่สุดได้แก่ สภาวะที่มี อุณหภูมิของอากาศขาเข้า เท่ากับ 163 องศาเซลเซียส อัตราปริมาตรการไหลของอากาศ เท่ากับ 279 ลิตรต่อชั่วโมง อัตราการป้อนของอิมัลชัน เท่ากับ 10 และ อัตราการไหลของอากาศแห้ง เท่ากับ 100%

ปี 2557 Jimenes M.T. และคณะ ศึกษาหาสารหอมที่เหมาะสมในการเอนแคปซูลชันของน้ำมันมะกอกโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย อิมัลชันเป็นแบบน้ำมันในน้ำ แบ่งอิมัลชันเป็น 8 อิมัลชัน อิมัลชันเข้มข้น 40% เป็นน้ำมัน 4% และเป็นสารหอม 36% โดยใช้สารหอมที่แตกต่างกัน คือ มอลโตเด็กซ์ทริน, อะคาเซีย กัมและอินนูลิน ผสมที่อัตราส่วนที่แตกต่างกัน จากนั้นทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยโรเตอร์-สตาเตอร์ โฮโมจีไนเซชัน การอบแห้งแบบพ่นฝอยในการทดลองใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและขาออก คือ 180 องศาเซลเซียสและ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อัตราการป้อนของอิมัลชัน 57 กรัมต่อนาที ปัจจัยที่ศึกษาในการเอนแคปซูลชัน คือ อุณหภูมิขาเข้า อุณหภูมิขาออก อัตราส่วนของอิมัลชัน อัตราการป้อนของอิมัลชัน โดยจะวิเคราะห์ ความหนาแน่น ขนาด ขนาดการกระจายตัว ความสามารถในการไหล ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ค่าความหนืด การดูด-คายความชื้น จากผลการทดลองคุณสมบัติของอิมัลชันแห้งที่ได้ในการใช้สารอะคาเซียกัมผสมกับมอลโตเด็กซ์ทรินหรืออินนูลิน จะทำให้ได้อิมัลชันเริ่มต้นมีความเสถียรภาพ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะเพิ่มขึ้น

ปี 2554 Laohasongkram และคณะ ได้ศึกษากระบวนการเอนแคปซูลชันน้ำมันแมคคาเดเมียโดยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย ออกแบบการทดลองด้วย response surface methodology (RSM) โดยใช้โซเดียมแคซิเนตกับมอลโตเด็กซ์ทริน เป็นสารหอม และ น้ำมันแมคคาเดเมียเป็นสารแกนกลาง ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาคือ อัตราส่วนระหว่างโซเดียมแคซิเนตกับมอลโตเด็กซ์ทริน (1:2 , 1:3 และ 1:4), อัตราส่วนระหว่างสารหอมกับสารแกนกลาง (50:50 , 60:40 และ 70:30), ความดันที่ใช้ในการโฮโมจีไนซ์ (100, 200 และ 300 bar) , อัตราการป้อนของสารป้อน (1, 1.5 และ 2 kg/hr) และ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้ง (160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส) ผลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งนำมาวิเคราะห์ความชื้น, ความหนาแน่นรวม, ค่าเพอร์ออกไซด์ และ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูลชันน้ำมันแมคคาเดเมียคือที่ อัตราส่วนระหว่างโซเดียมแคซิเนตกับมอลโตเด็กซ์ทริน 1:4 , อัตราส่วนระหว่างสารหอมและสารแกนกลาง 60:40 , ความดันของเครื่องโฮโมจีไนซ์ 200 bar และ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้ง 167 องศาเซลเซียส

ปี 2557 Tuyen K. และคณะ ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชันน้ำมันพริกขี้หนูด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยออกแบบการทดลองด้วย response surface methodology (RSM) ผลการวิจัยพบว่ารูปแบบการตอบสนองพื้นผิวเพียงพอที่จะสามารถอธิบายและบอกถึงประสิทธิภาพการหอม(%EE)ได้ โดยใช้เวย์โปรตีนและกัมอารบิกเป็นสารหอม ใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยภายใต้สภาวะอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 154 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิลมร้อนขาออก 80 องศาเซลเซียส ค่าการตอบสนองของตัวแปร(R²) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชัน ได้แก่ เบต้าแคโรทีน, ไลโคปีน, ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้, ความชื้น, ความสามารถในการละลายน้ำ และ ค่าเพอร์ออกไซด์ มีค่า 87.22%, 82.76%, 84.29%, 52.78%, 4.90%, 90.29% และ 4.06 mEq / Kg. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังหาผงที่เหมาะสมโดยวิเคราะห์ สี สมบัติการคั้นตัว และ การทดสอบทางเคมีและกายภาพ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์ผงของน้ำมันฟักข้าวพบว่า มีค่า เบต้าแคโรทีน, ปริมาณไขมันอิสระ และ โลโคปีนสูง และสีที่ได้มีสีแดงเหลืองน่ารับประทาน สามารถนำไปใช้เป็นอาหารเสริมได้

ปี 2551 Seid Mahdi Jafari และคณะ ศึกษาอุณหภูมิกานาโนในการเอนแคปซูลเซลล์น้ำมันปลาโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย เตรียมอิมัลชันโดยการโฮโมจีไนส์เซชันด้วย เทคนิค Microfluidization และ Ultrasonication ที่พลังงานสูง เพื่อตรวจหาประสิทธิภาพของการเอนแคปซูลเซลล์ของสารห่อหุ้ม ซึ่งทั้งปริมาณน้ำมันที่ผิวและปริมาณน้ำมันที่ถูกห่อหุ้มเป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญในกระบวนการเอนแคปซูลเซลล์ด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ มอลโตเด็คซ์ตริน ร่วมกับ ไบโอพอลิเมอร์(เวย์โปรตีน) เป็นสารห่อหุ้ม ในอัตราส่วน 3:1 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การเตรียมสารอิมัลชันด้วยเทคนิค Microfluidization น้ำมันปลามีประสิทธิภาพในการเอนแคปซูลเซลล์ต่ำสุด ใช้ช่วงอุณหภูมิกานาโน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์

น้ำมันรำข้าว ตราคิง ชนิดโอรีซานอล 2500 ppm



รูปที่ 3.1 น้ำมันรำข้าว

3.2 วัสดุและอุปกรณ์

- 1) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย รุ่น JCM Minilab SDE-10
- 2) เครื่องไฮโดรไมซ์รุ่น FT40 Multi-Purpose Processing Vessel
- 3) หม้อและทัพพีสแตนเลส
- 4) เครื่องแก้วต่างๆ ได้แก่ ปีกเกอร์ หลอดทดลอง แท่งแก้วคนสาร
- 5) ไฮโดรมิเตอร์ ยี่ห้อ DIGICON รุ่น HT-770 และ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 971
- 6) แอนนิโมมิเตอร์ ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-47
- 7) เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA114
- 8) เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UX3200G
- 9) ถ้วยอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
- 10) เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ ยี่ห้อ AQUA LAB รุ่น MODEL SERIES 3TE
- 11) เครื่องผสม (Vortex Mixer) ยี่ห้อ WIGGEN HAUSER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 12) ถุงสุญญากาศ
- 13) เต้าไฟฟ้า
- 14) ตู้แช่เย็น
- 15) เทอร์โมมิเตอร์
- 16) เครื่องวัดความเร็วรอบ
- 17) ชุดเครื่องสกัด
- 18) ตู้อบลมร้อน รุ่น UN160 ยี่ห้อ Memmert, Germany

3.3 สารเคมี

- 1) มอลโตเดกซ์ตริน (DE-10)
- 2) สารละลายกรดอะซิติกและคลอโรฟอร์ม (glacial acetic acid : Chlorofrom) 3:2
- 3) สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (Saturated KI solute)
- 4) น้ำแป้งสุก
- 5) น้ำกลั่น
- 6) โซเดียมไรโอซัลเฟต

3.4 วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การเตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำมันรำข้าว และการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งการเตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำมันรำข้าวมีตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อัตราส่วนระหว่างน้ำมันรำข้าวและสารมอลโตเดกซ์ตริน ส่วนการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิลมร้อนในการทำแห้ง

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ 170, 200 และ 230 องศาเซลเซียส โดยกำหนดลมร้อนขาออกเท่ากับ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และ อัตราส่วนระหว่างน้ำมันรำข้าวและสารมอลโตเดกซ์ตริน 3 ระดับ คือ 1:2 1:3 และ 1:4 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทั้งหมด 27 การทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนในการเตรียมสารละลายอิมัลชันน้ำมันรำข้าว และการทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังนี้

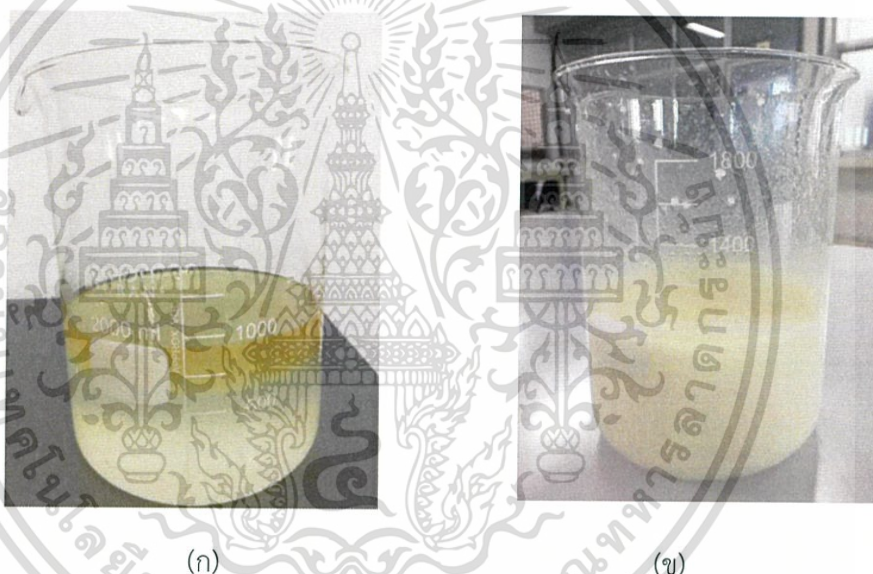
3.4.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิมัลชันน้ำมันรำข้าว

1. ชั่งสารมอลโตเดกซ์ตริน น้ำมันรำข้าว และ น้ำ ให้ได้น้ำหนักตามตารางที่ 3.1 ซึ่งเตรียมสารละลายอิมัลชันครั้งละ 1000 กรัม และ มีความเข้มข้นของอิมัลชัน 40 %

ตารางที่ 3.1 ปริมาณของส่วนผสมสารละลายอิมัลชันจำนวน 1000 กรัม

อัตราส่วนระหว่างน้ำมันรำข้าว และสารมอลโตเด็็กซ์ตริน	น้ำหนักสารมอลโตเด็็กซ์ ตริน (g)	น้ำหนักน้ำมันรำข้าว (g)	น้ำหนักน้ำ (g)
1:2	266.7	133.3	600
1:3	300	100	600
1:4	320	80	600

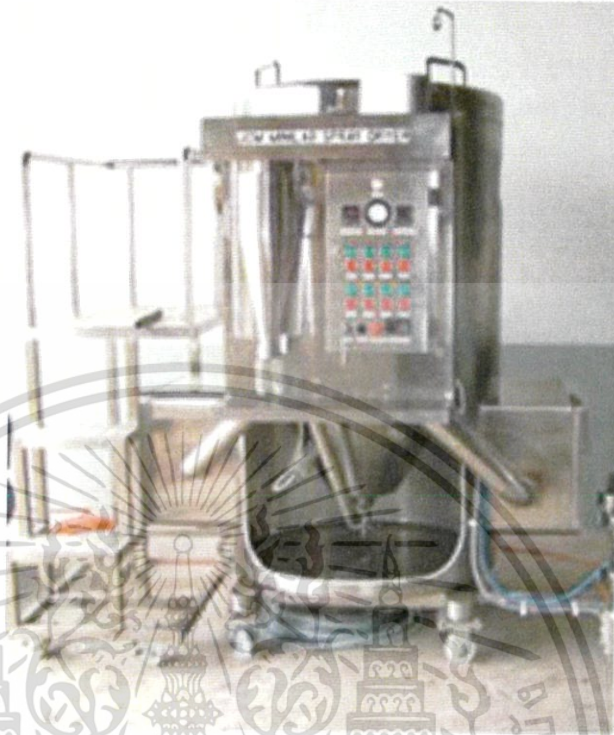
- นำสารมอลโตเด็็กซ์ตรินมาละลายกับน้ำ
- ค่อยๆผสมน้ำมันรำข้าวกับสารละลายมอลโตเด็็กซ์ตริน
- นำส่วนผสมที่ได้เข้าเครื่องโฮโมจีไนส์ที่ความเร็ว 5500 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 30 นาที



รูปที่ 3.2(ก) สารละลายอิมัลชันก่อนเข้าเครื่องโฮโมจีไนส์ (ข) สารละลายอิมัลชันหลังเข้าเครื่องโฮโมจีไนส์

3.4.2 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองแบ่งเป็น 9 สภาวะคือ อัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวและสารมอลโตเด็็กซ์ตริน 3 อัตราส่วนคือ 1:2 1:3 และ 1:4 โดยน้ำหนัก และสภาวะอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ คือ 170, 200 และ 230 องศาเซลเซียส ติดตั้งส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังรูปที่ 3.3 ก่อนเปิดสวิตช์เมน



รูปที่ 3.3 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

2. ตั้งค่าสถานะของเครื่องดังนี้

- ความดันหัวฉีดแบบของไหลสองกระแส (Two-fluid nozzle) 0.2 เมกกะปาสคาล
- อัตราการป้อนของปั๊ม 10 รอบต่อนาที
- อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า: 170, 200 และ 230 องศาเซลเซียส
- เครื่องดูดลม (Blower) 2800 Hz
- อัตราการไหลของอากาศ 37.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
- อุณหภูมิสารละลายที่ป้อน 30 องศาเซลเซียส

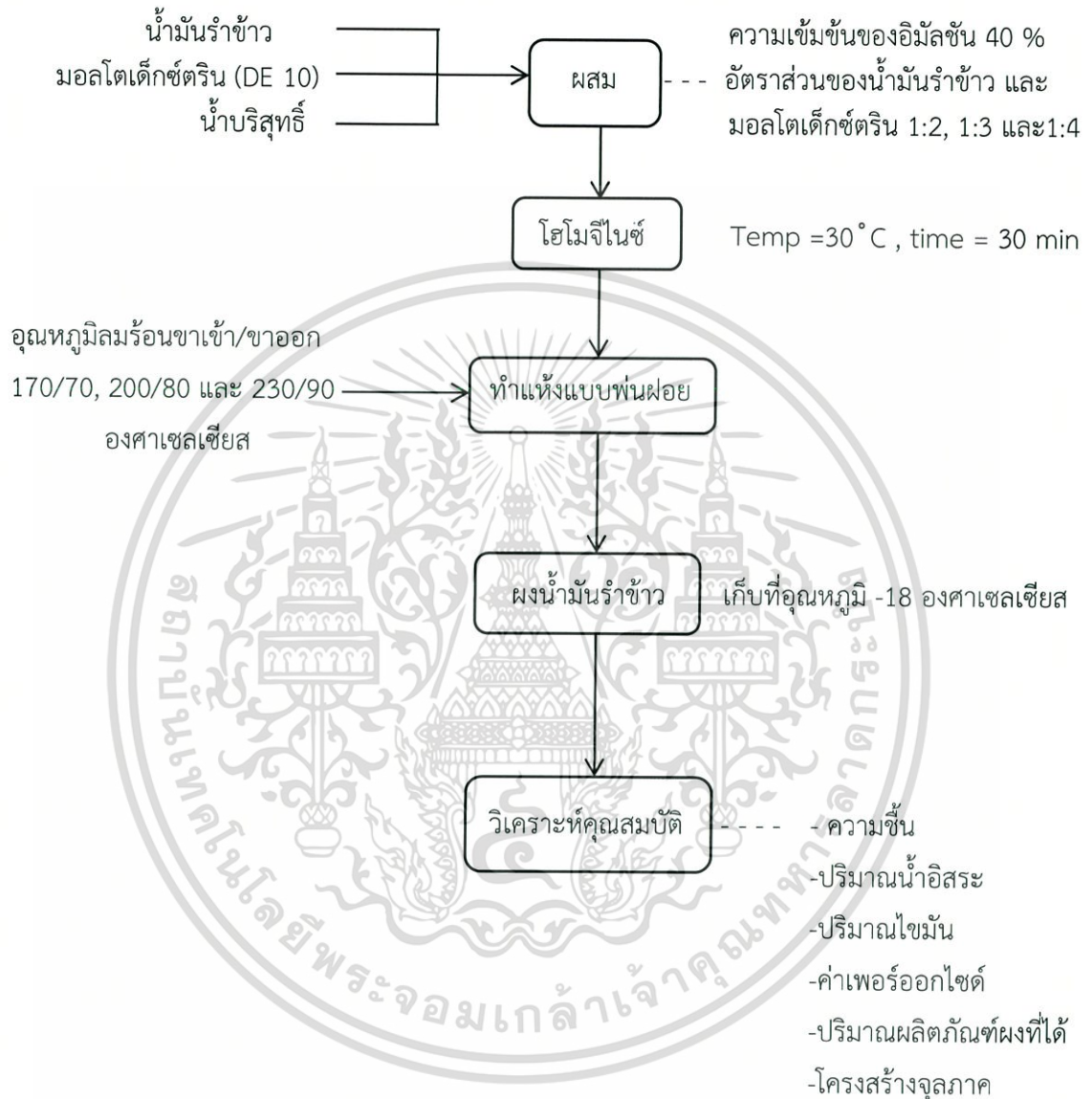
3. เริ่มต้นการทดลองด้วยการป้อนน้ำเปล่าเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย จนกระทั่งอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่

4. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่ จึงเริ่มป้อนวัตถุดิบสารละลายอิมัลชันน้ำมันรำข้าวที่เตรียมไว้เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และเปิดแฮมเมอร์ตลอดเวลาเพื่อป้องกันการติดค้างของผลิตภัณฑ์

5. เก็บผลิตภัณฑ์ผงที่ได้บรรจุใส่ถุงพลาสติกแบบสุญญากาศ และซีลด้วยเครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผงสัมผัสอากาศและนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันรำข้าวผงด้วยกรรมวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผง

3.5.1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005)

เครื่องมือ

- 1) ตู้อบลมร้อน รุ่น UN160 ยี่ห้อ Memmert, Germany
- 2) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 3) ถ้วยอลูมิเนียม
- 4) เดซิเคเตอร์ (Desiccator) หรือโถดูดความชื้น

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ดัดแปลงจากวิธีการ วิเคราะห์ความชื้นในมอลต์ จาก AOAC Official Method 935.29

- 1) อบถ้วยอลูมิเนียม ในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 2) นำไปใส่เดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น
- 3) ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมคงที่ คือมีน้ำหนักต่างกันน้อยกว่า 2%
- 4) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 3 กรัม เกลี่ยตัวอย่างให้มีความสม่ำเสมอ
- 5) นำไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่
- 6) ปิดฝา นำมาทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก
- 7) หาน้ำหนักที่หายไป วิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสมการ

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ})}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100 \quad (3.1)$$

3.5.2 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

เครื่องมือ

เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ ยี่ห้อ AQUA LAB รุ่น MODEL SERIES 3TE

การวิเคราะห์

1. ทำการสอบเทียบ (calibrate) เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระโดยการปรับด้วยน้ำเปล่า ให้มีค่า a_w เท่ากับ 1
2. ใส่ตัวอย่างผงน้ำมันรำข้าวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้วอ่านค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 ปริมาณของผลผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Solid Yield) (Roccia และคณะ, 2014)

เครื่องมือ

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

ร้อยละผลผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน หาได้โดยการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้และปริมาณของแข็งในวัตถุดิบเริ่มต้น และนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากสมการ

$$\text{ร้อยละผลผลิตภัณฑ์ผงที่ได้} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้}}{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบเริ่มต้น}} \times 100 \quad (3.2)$$

3.5.4 ค่าเพอร์ออกไซด์ (AOAC, 2005)

เครื่องมือ

- 1) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 2) ขวดรูปชมพู่
- 3) กระจกตวง
- 4) หลอดฉีดยา
- 5) บิวเรต

การวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ ดัดแปลงจากวิธีการ วิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันและไขมัน จาก AOAC Official Method 965.33

- 1) ชั่งน้ำมันประมาณ 5 กรัม
- 2) เติมสารละลายคลอโรฟอร์มผสมกับกรดอะซิติก 30 มิลลิลิตร
- 3) เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 0.5 มิลลิลิตร
- 4) เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร
- 5) เติมน้ำแข็ง 0.5 มิลลิลิตร
- 6) เขย่าให้สารละลายเข้ากัน แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 N

$$\text{ค่าเพอร์ออกไซด์} = \frac{(s-b) \times N \times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \quad (3.3)$$

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (normal)

S = ปริมาณของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

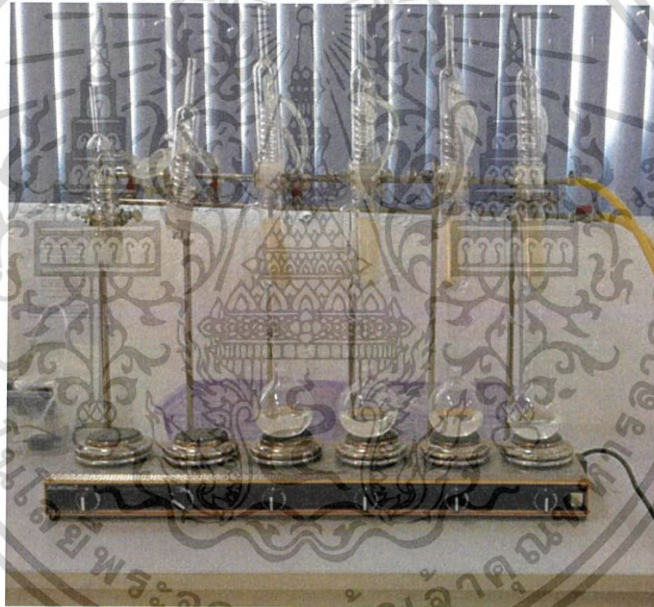
B = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5 ปริมาณไขมัน (AOAC, 2005)

เครื่องมือ

- 1) อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet extractor) ประกอบด้วย ขวดกั่นกลม (สำหรับใส่ตัวทำละลาย) ซอคเลต (soxhlet) อุปกรณ์ควบแน่น (condenser) และเตาให้ความร้อน (heating mantle)
- 2) หลอดใส่ตัวอย่าง (extraction thimble)
- 3) ตู้อบลมร้อน (Memmert , Germany)
- 4) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 5) เดซิเคเตอร์ (Desiccator) หรือโถดูดความชื้น



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet extractor)

การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ดัดแปลงจากวิธีการ วิเคราะห์ปริมาณไขมันในธัญพืช จาก AOAC Official Method 945.16

- 1) อบขวดกั่นกลมสำหรับหาปริมาณไขมันในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมงและทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
- 2) ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก 3-5 กรัม ท่อให้มิดชิดแล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในชอคเลต เดิมปิโตรเลียมอีเทอร์ประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้วบนเตา ประกอบอุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่น และเปิดสวิทซ์ให้ความร้อน
- 4) ใช้เวลาในการสกัดไขมันนาน 2 ชั่วโมง เมื่อครบ 2 ชั่วโมงนำตัวอย่างออกจากชอคเลต ทิ้งให้ตัวทำละลายไหลจากชอคเลตลงในขวดก้นกลมจนหมด
- 5) ระเหยตัวทำละลายออกด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนแห้ง ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
- 6) คำนวณหาปริมาณไขมันจากสมการ

$$\text{ปริมาณไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100 \quad (3.4)$$

3.5.6 ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชั่น

$$\text{ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชั่น} = \frac{\text{น้ำมันที่สกัดได้จากผลิตภัณฑ์}}{\text{น้ำมันเริ่มต้นก่อนทำแห้ง}} \times 100 \quad (3.5)$$

3.5.7 โครงสร้างจุลภาค เครื่องมือ

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ดังรูปที่ 3.6) (Scanning Electron Microscopy, SEM) ยี่ห้อZEISS รุ่น EVO MA 10



รูปที่ 3.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์

ถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคของน้ำมันรำข้าวผงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่แรงดันไฟฟ้า 10 กิโลวัตต์ กำลังขยาย 200 เท่า และ 1000 เท่า ขนาด 10 และ 20 ไมโครเมตร

3.6 การวางแผนการทดลอง

ออกแบบการทดลองแบบแฟคโทเรียล (ดังตารางที่ 3.2) โดยประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ อัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวและมอลโตเด็กซ์ตริน และอุณหภูมิรมร้อนชาเข้า โดยที่ อัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวและมอลโตเด็กซ์ตริน มี 3 ระดับ คือ 1:2, 1:3 และ 1:4 และ อุณหภูมิรมร้อนชาเข้า 3 ระดับ คือ 170/ , 200 และ 230 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทั้งหมด 27 การทดลอง

ตารางที่ 3.2 การออกแบบการทดลองแบบแฟคโทเรียล

การทดลองที่	อัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวและมอลโตเด็กซ์ตริน	อุณหภูมิรมร้อนชาเข้า (องศาเซลเซียส)
1	1:2	170
2		200
3		230
4	1:3	170
5		200
6		230
7	1:4	170
8		200
9		230

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองทำแห้งแบบพ่นฝอยเริ่มต้นโดยการเตรียมสารละลายน้ำมันรำข้าว ตามตารางการทดลอง และควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามเงื่อนไขการทดลอง

No.	อุปกรณ์	ตัวแปรปรับแต่ง	ตัวแปรควบคุม
1	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	170, 200, 230	-
2	อัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ทริน	1:2, 1:3, 1:4	-
3	หัวฉีดสารละลาย	-	Two fluid nozzle
4	ความดันหัวฉีด (เมกกะปาสคาล)	-	0.2
5	อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	-	37.8
6	อัตราการป้อนของบีม (รอบต่อนาที)	-	10

4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผง

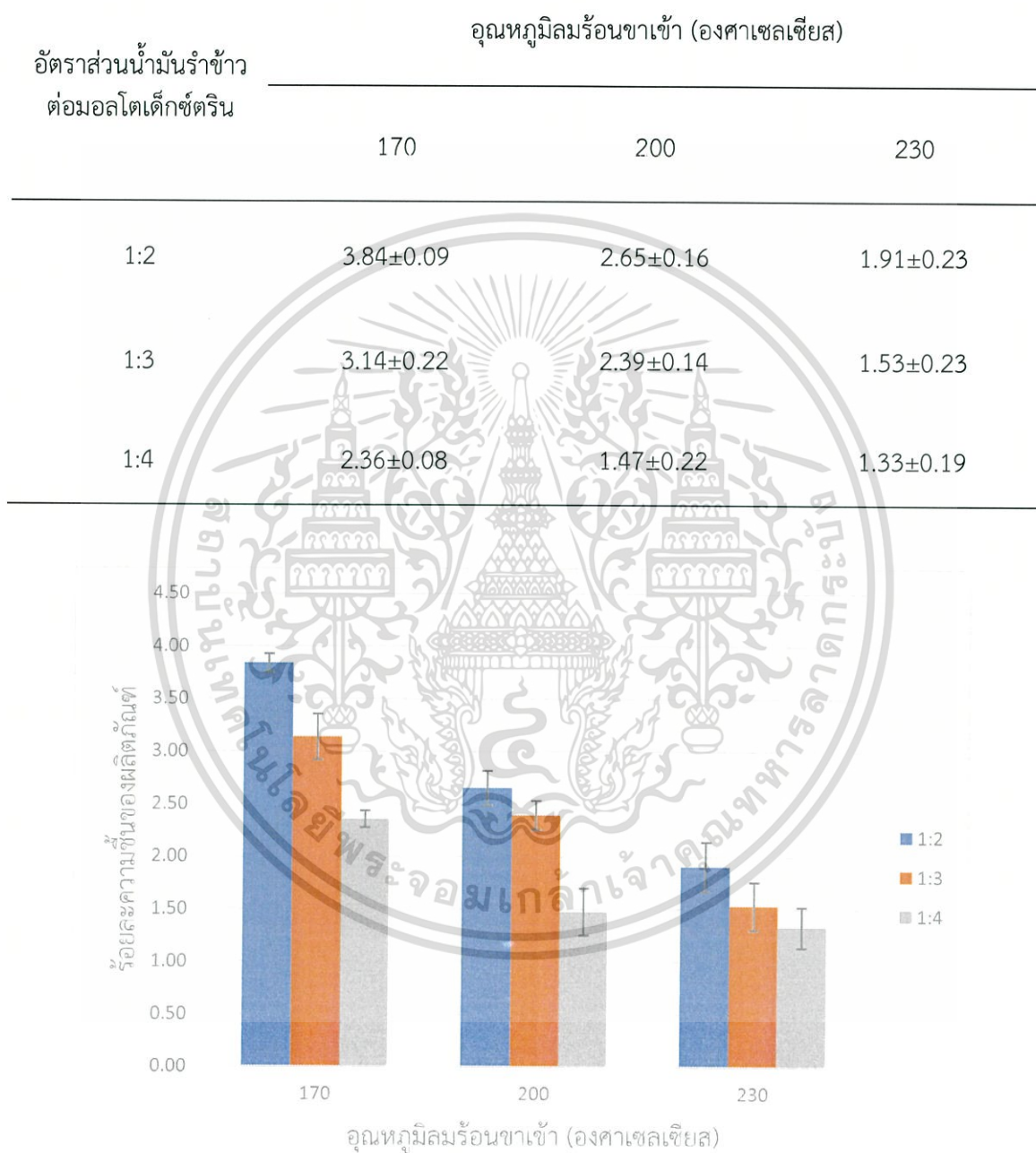
จากการดำเนินการทดลองการทำแห้งครบทุกสภาวะแล้ว นำผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผงมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีต่างๆ ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ ปริมาณไขมัน ค่าเพอร์ออกไซด์ โครงสร้างจุลภาค และประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันของน้ำมันรำข้าวผงได้แสดงในตารางที่ 4.2 และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม Minitab16

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเร็กเก็ตซีทริน	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ	ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ (ร้อยละ)	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	ค่าเพอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูลเยื่อออกซิเจนต่อกิโลกรัมไขมัน)	ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชั่น (ร้อยละ)
1	170	1:2	3.84±0.09	0.198±0.07	45.08±1.53	15.27±3.53	2.06±1.34	45.82±10.60
2	200	1:2	2.65±0.16	0.152±0.02	51.67±2.00	15.83±1.78	2.00±0.19	47.48±5.35
3	230	1:2	1.90±0.23	0.120±0.01	64.59±2.08	13.32±1.38	2.02±0.12	39.97±4.13
4	170	1:3	3.14±0.22	0.205±0.03	55.03±2.08	11.13±6.99	2.16±0.25	44.52±27.99
5	200	1:3	2.39±0.14	0.128±0.04	66.76±1.73	8.77±1.27	2.36±0.18	35.06±5.09
6	230	1:3	1.53±0.23	0.132±0.04	73.56±2.08	9.43±2.44	2.18±0.24	37.71±9.76
7	170	1:4	2.36±0.08	0.204±0.04	61.42±2.08	7.59±3.07	2.26±0.25	37.94±15.34
8	200	1:4	1.47±0.22	0.157±0.03	66.19±2.08	7.99±1.67	2.42±0.34	39.98±8.36
9	230	1:4	1.33±0.19	0.097±0.01	70.67±2.08	8.39±1.34	2.45±0.12	41.93±6.71

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

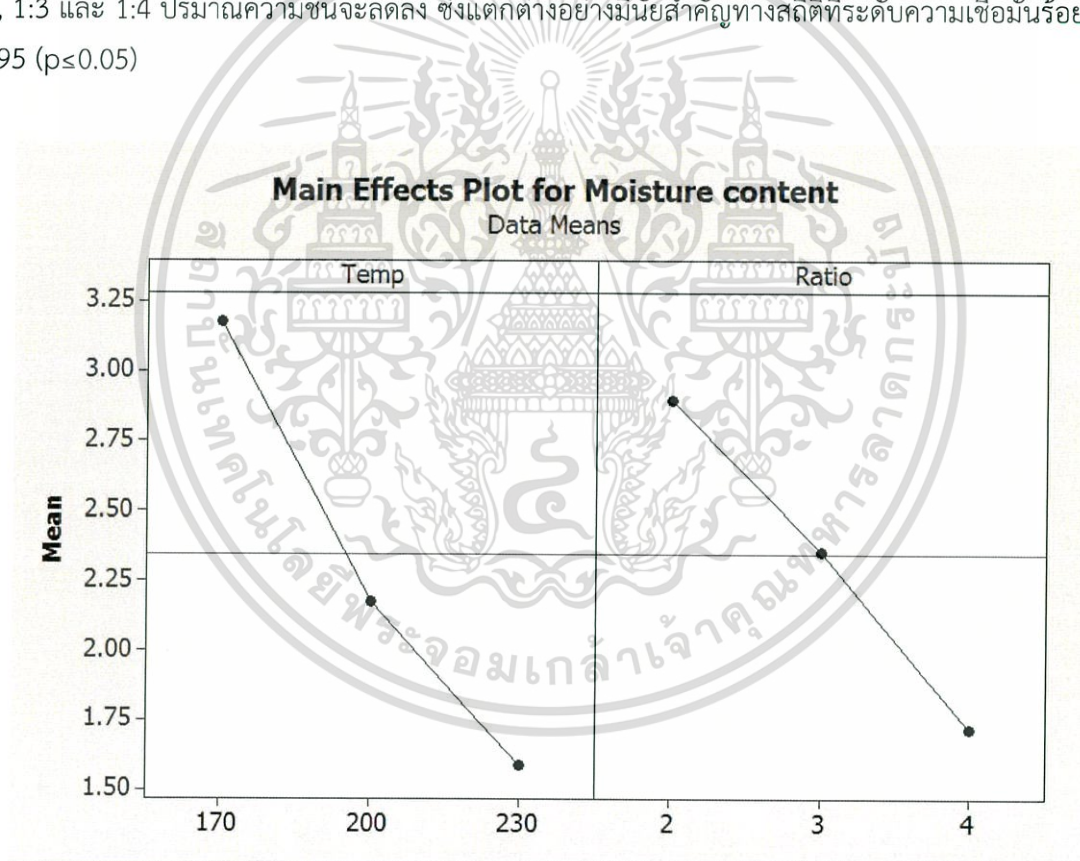


รูปที่ 4.1 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิร้อนขาเข้า
ต่อปริมาณความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผงที่ได้จากการทดลอง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.33 -3.84 ดังที่แสดงในตารางที่ 4.3 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิหม้อนวดเข้าในการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มขึ้น 170, 200 และ 230 องศาเซลเซียสตามลำดับ เนื่องจากลมร้อนที่ใช้ในการทำให้แห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีความสามารถในการระเหยน้ำและจับกับความชื้นได้ในปริมาณมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ โดยปริมาณความชื้นต่ำสุดที่ร้อยละ 1.59 ± 0.32 เมื่ออุณหภูมิหม้อนวดเข้า 230 องศาเซลเซียส ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

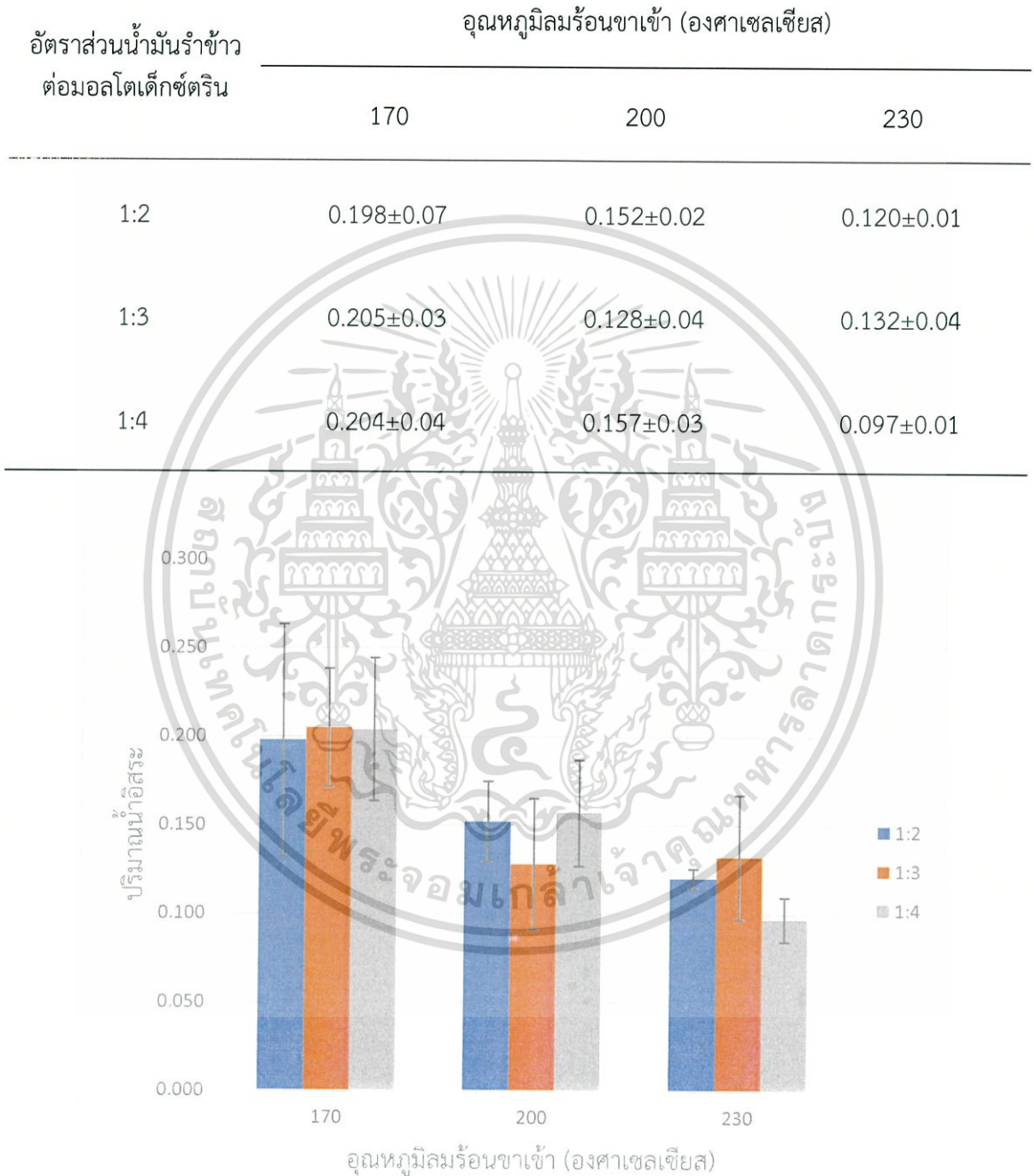
นอกจากนั้นอัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตรินก็มีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นเมื่ออัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นหรือปริมาณน้ำมันในสารป้อนอิมัลชันลดลง 1:2, 1:3 และ 1:4 ปริมาณความชื้นจะลดลง ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.2 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิหม้อนวดเข้าต่อปริมาณความชื้นจากการวิเคราะห์ทางสถิติ

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

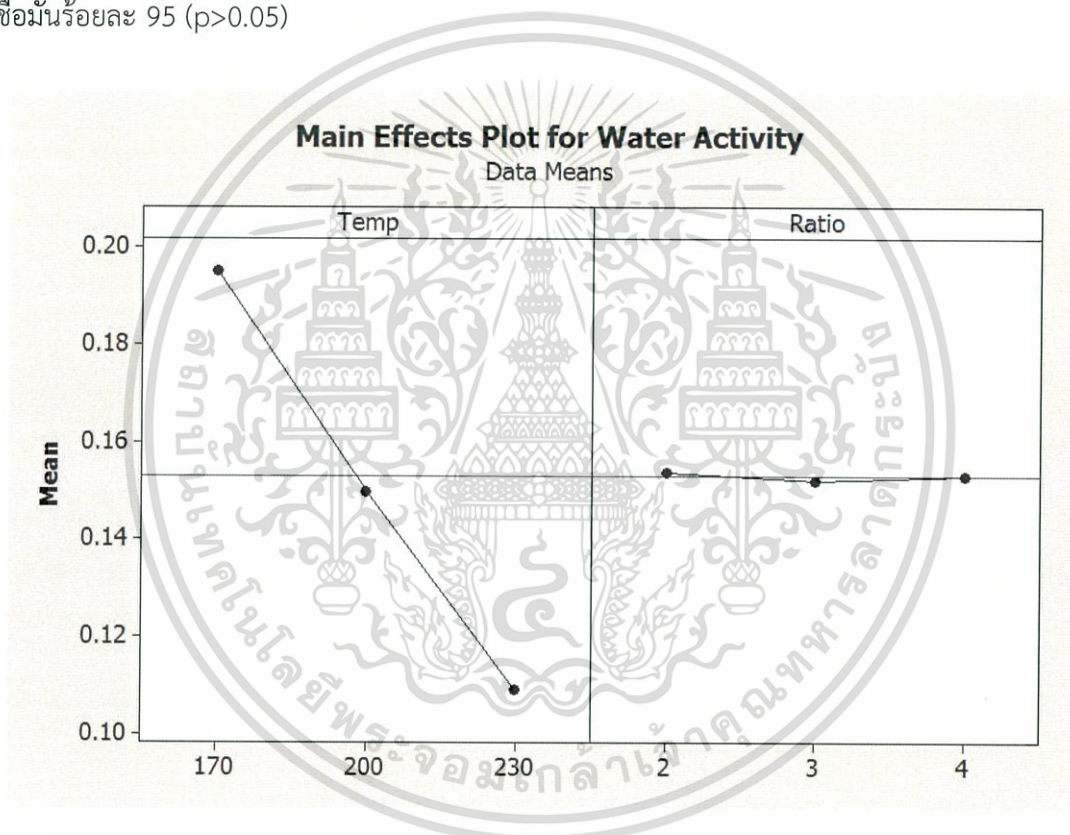
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ



รูปที่ 4.3 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิร้อนชาเข้า
ต่อปริมาณน้ำอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผงที่ได้จากการทดลองพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.097 - 0.205 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิร้อนขาเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มขึ้น 170, 200 และ 230 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีความสามารถในการระเหยน้ำและจับกับความชื้นได้ในปริมาณมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ โดยปริมาณน้ำอิสระต่ำสุด 1.59 ± 0.32 เมื่ออุณหภูมิร้อนขาเข้า 230 องศาเซลเซียส ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ทรินพบว่าไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำอิสระอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

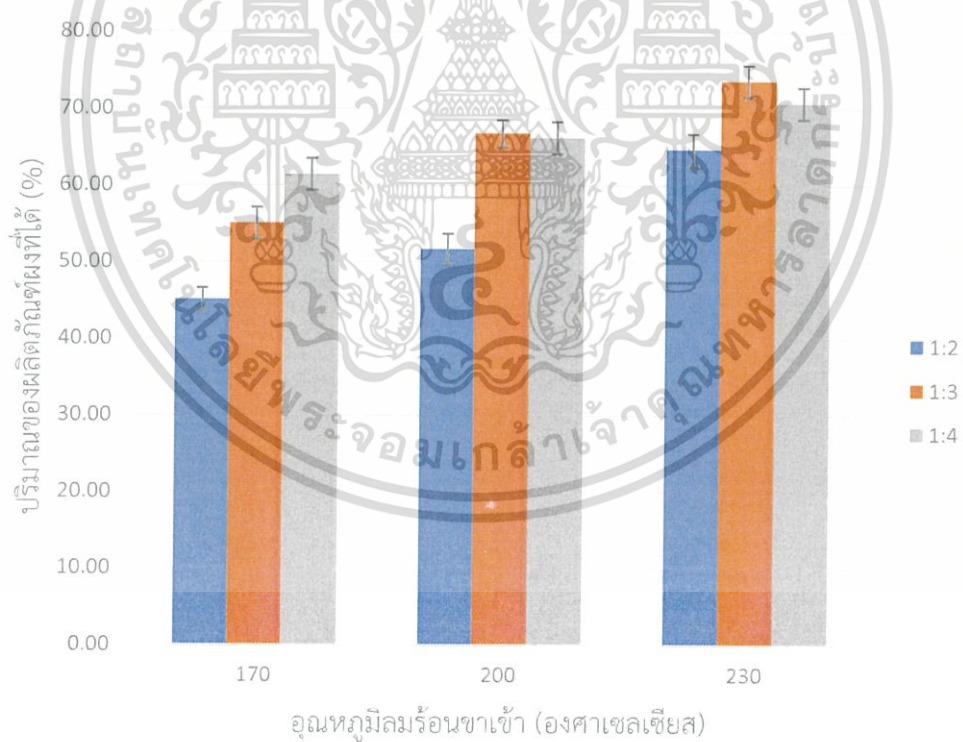


รูปที่ 4.4 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ทรินและอุณหภูมิร้อนขาเข้าต่อปริมาณน้ำอิสระจากการวิเคราะห์ทางสถิติ

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้

อัตราส่วนน้ำมันรำข้าว ต่อมอลโตเด็กซ์ตริน	อุณหภูมิร่อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)		
	170	200	230
1:2	45.08±1.53	51.67±2.00	64.59±2.08
1:3	55.03±2.08	66.76±1.73	73.56±2.08
1:4	61.42±2.08	66.19±2.08	70.67±2.08

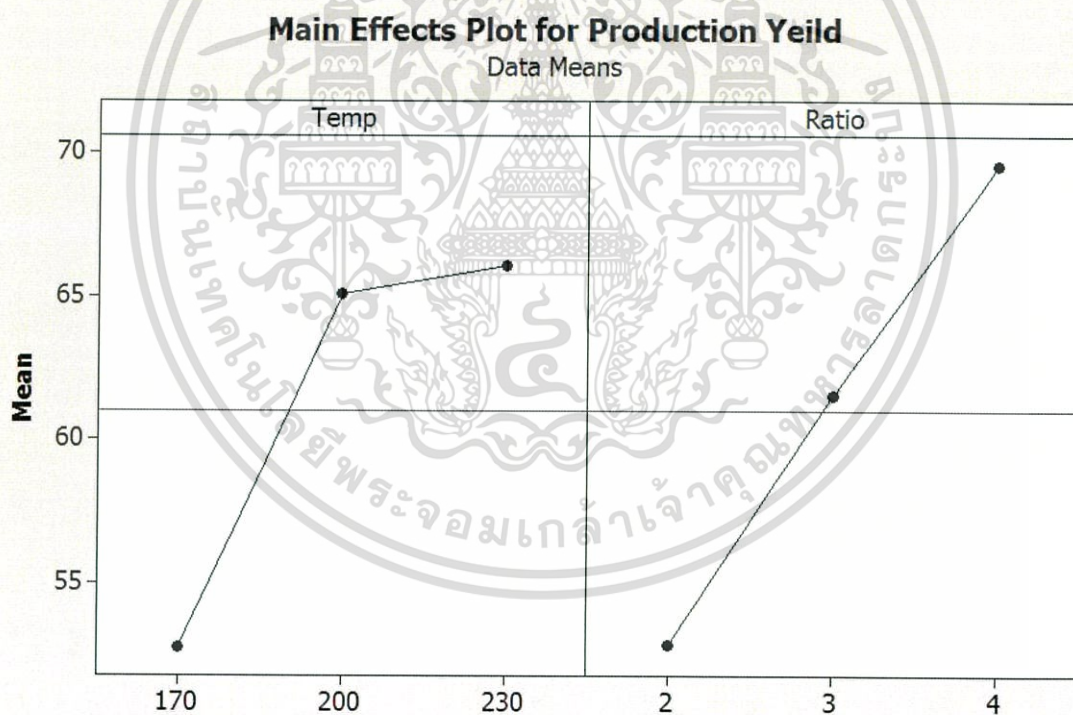


รูปที่ 4.5 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิร่อนขาเข้าต่อปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ในแต่ละสภาวะการทดลองพบว่าปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 45.08 – 73.56 โดยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตริน และ อุณหภูมิหม้อน้ำร้อนขาเข้า แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตรินที่ลดลงหรือปริมาณน้ำมันในสารป้อนเพิ่มขึ้น 1:4 , 1:3 และ 1:2 ตามลำดับพบว่าปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ลดลง โดยปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้สูงสุดร้อยละ 69.61 ± 4.36 เมื่ออัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตรินเป็น 1:4 โดยจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

นอกจากนั้นอุณหภูมิหม้อน้ำร้อนขาเข้า ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูงชัน 170, 200 และ 230 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้เพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย โดยจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)



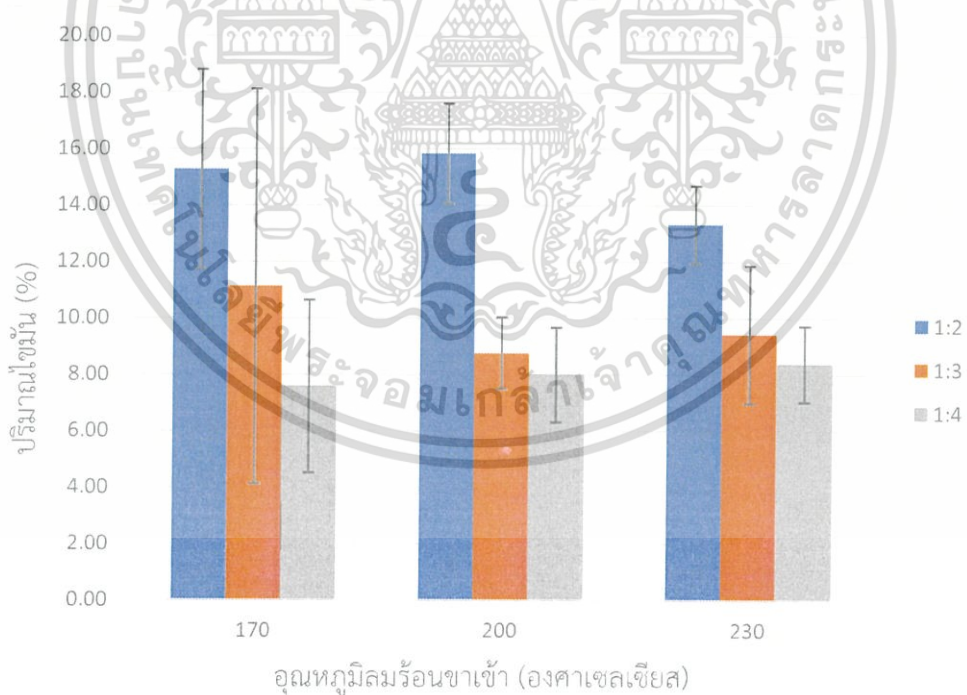
รูปที่ 4.6 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิหม้อน้ำร้อนขาเข้า ต่อปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

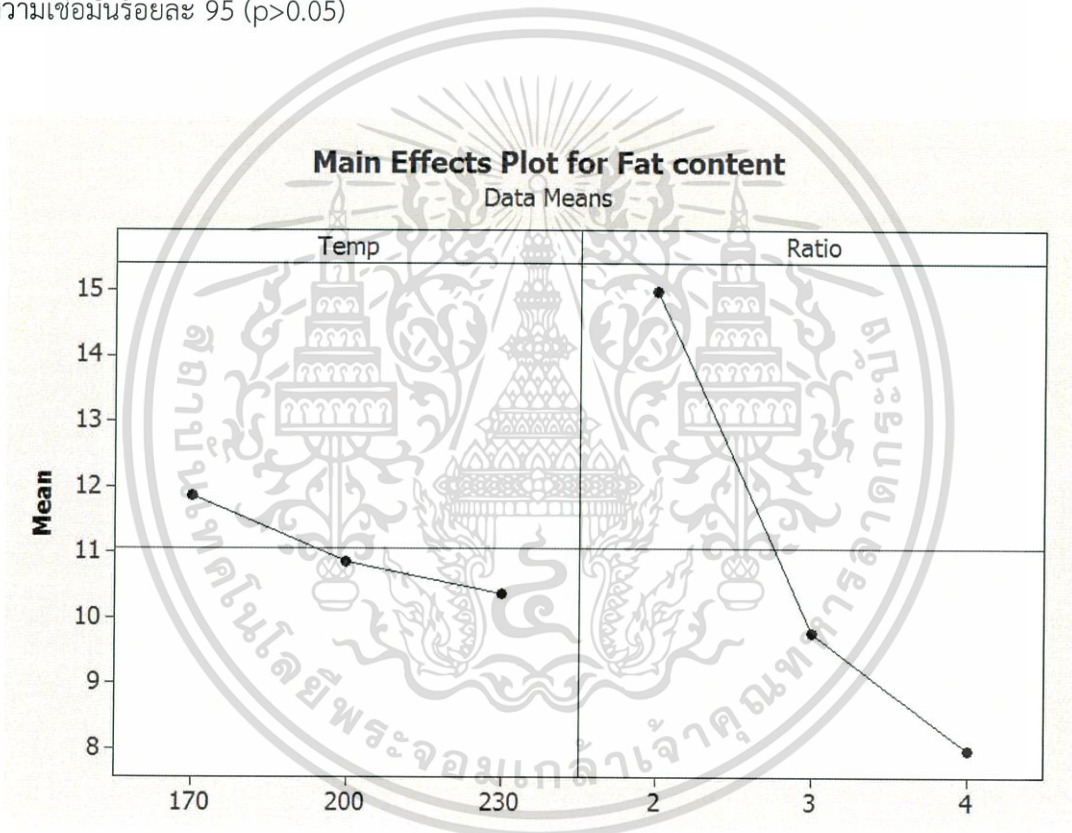
อัตราส่วนน้ำมันรำข้าว ต่อมอลโตเด็กซ์ตริน	อุณหภูมิร้อนชาเข้า (องศาเซลเซียส)		
	170	200	230
1:2	15.27±3.53	15.83±1.78	13.32±1.38
1:3	11.13±6.99	8.77±1.27	9.43±2.44
1:4	7.59±3.07	7.99±1.67	8.39±1.34



รูปที่ 4.7 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิร้อนชาเข้าต่อปริมาณไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผงที่ได้จากการทดลองพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 7.59–15.83% จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่ออัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นหรือปริมาณน้ำมันในสารบ่อนลดลง 1:2 , 1:3 และ 1:4 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ทรินทำให้ปริมาณน้ำมันในสารบ่อนมีมากขึ้นเริ่มต้นลดลงส่งผลให้ปริมาณไขมันน้อยลงด้วย โดยปริมาณไขมันต่ำสุด 7.99 ± 1.90 เมื่ออัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ทริน 1:4 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาอุณหภูมิการทำแห้งพบว่าไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)



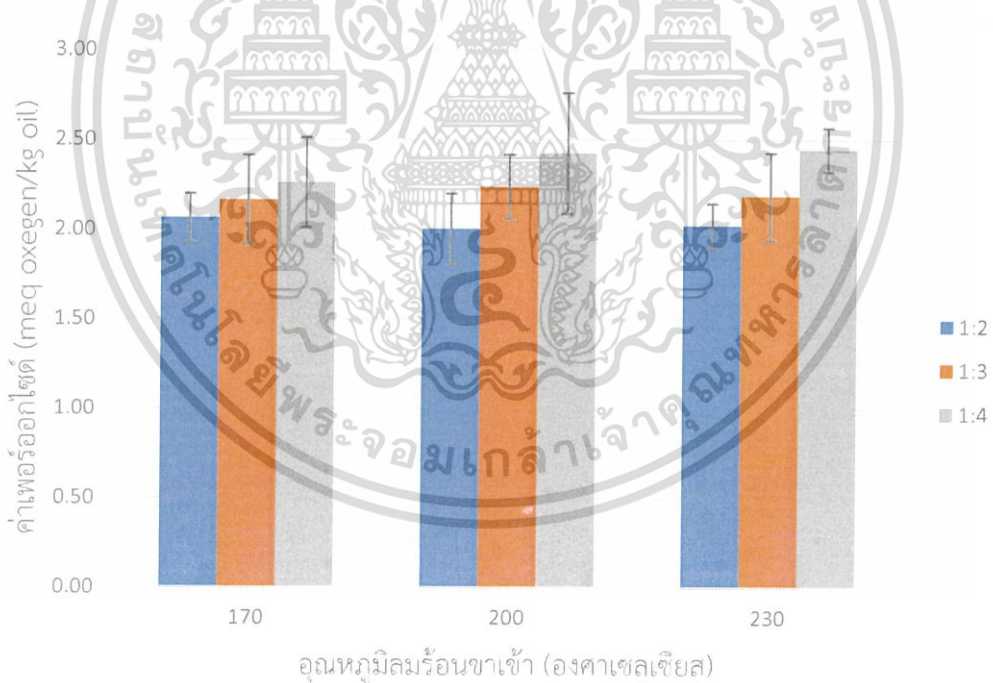
รูปที่ 4.8 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ทรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อปริมาณไขมันจากการวิเคราะห์ทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์

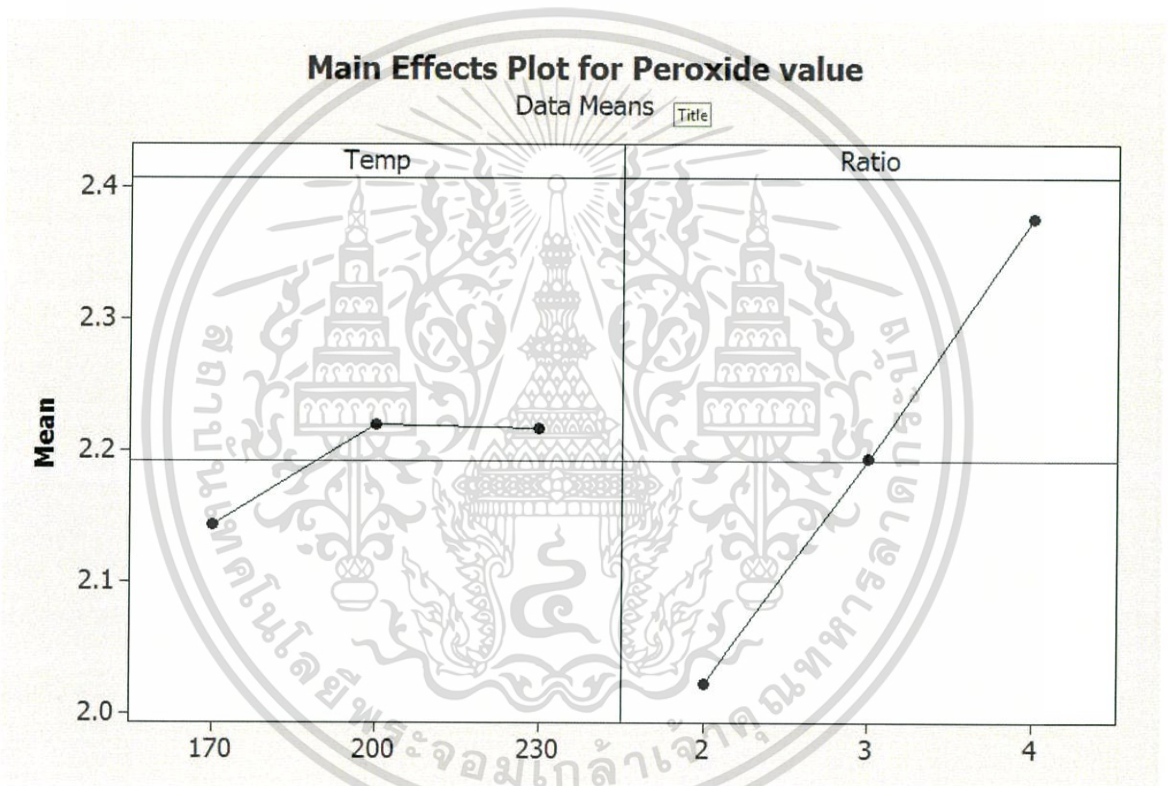
อัตราส่วนน้ำมันรำข้าว ต่อมอลโตเด็กซ์ตริน	อุณหภูมิธรมร้อนชาเข้า (องศาเซลเซียส)		
	170	200	230
1:2	2.06±1.34	2.00±0.19	2.02±0.12
1:3	2.16±0.25	2.24±0.18	2.18±0.24
1:4	2.26±0.25	2.42±0.34	2.45±0.12



รูปที่ 4.9 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิธรมร้อนชาเข้า
ต่อค่าเพอร์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันรำข้าวผงที่ได้จากการทดลองพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 2.00 – 2.45 มิลลิกรัมสมมูลย์ออกซิเจนต่อกิโลกรัมน้ำมัน จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นหรือปริมาณน้ำมันในสารป้อนลดลง 1:2 , 1:3 และ 1:4 ตามลำดับ โดยค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำสุด 2.03 ± 0.14 เมื่ออัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตริน 1:2 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาอุณหภูมิการทำแห้งพบว่าไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

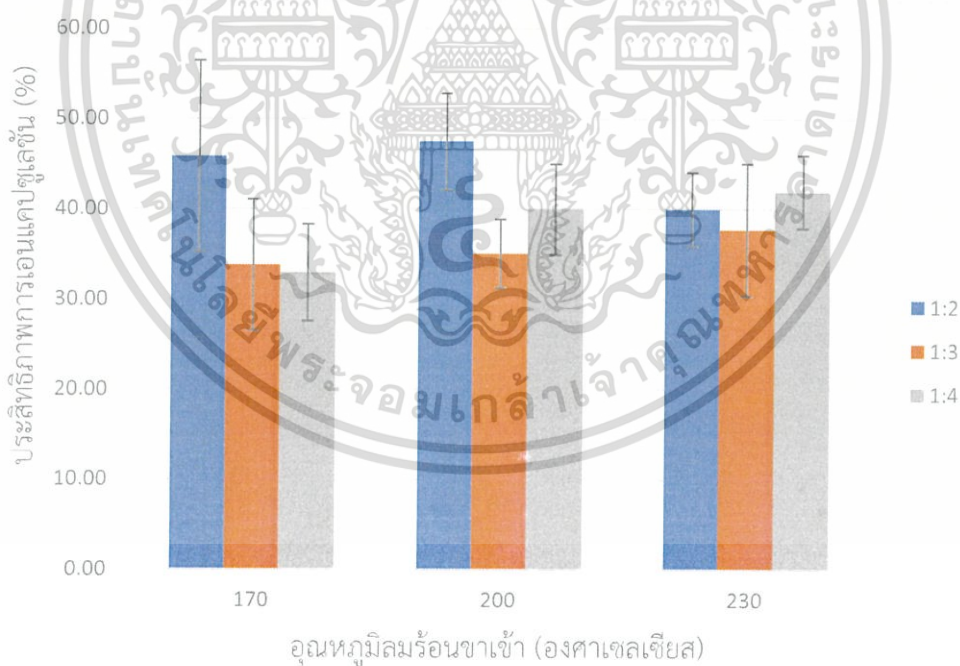


รูปที่ 4.10 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิผลร่อนขาเข้าต่อค่าเปอร์ออกไซด์จากการวิเคราะห์ทางสถิติ

4.2.6 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชัน

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชัน

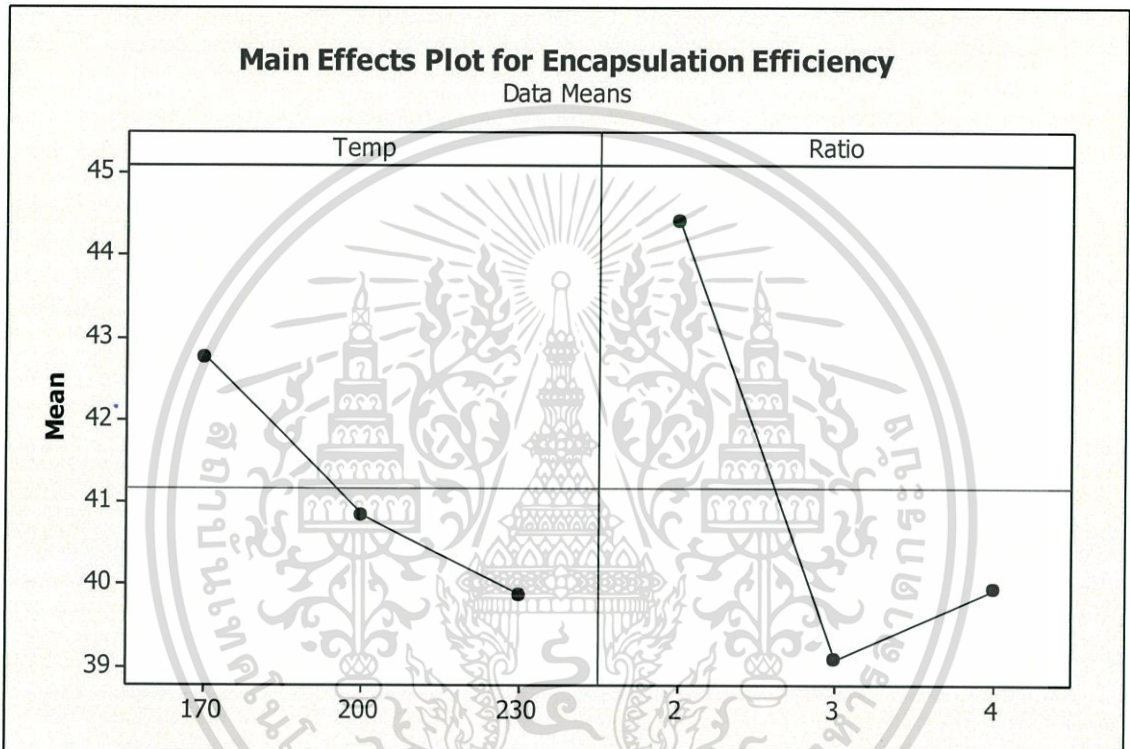
อัตราส่วนน้ำมันรำข้าว ต่อมอลโตเด็คซ์ตริน	อุณหภูมิร้อนชาเข้า (องศาเซลเซียส)		
	170	200	230
1:2	45.82±10.60	47.48±5.35	39.97±4.13
1:3	44.52±27.99	35.06±5.09	37.71±9.76
1:4	37.94±15.34	39.98±8.36	41.93±6.71



รูปที่ 4.11 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็คซ์ตรินและอุณหภูมิร้อนชาเข้าต่อประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

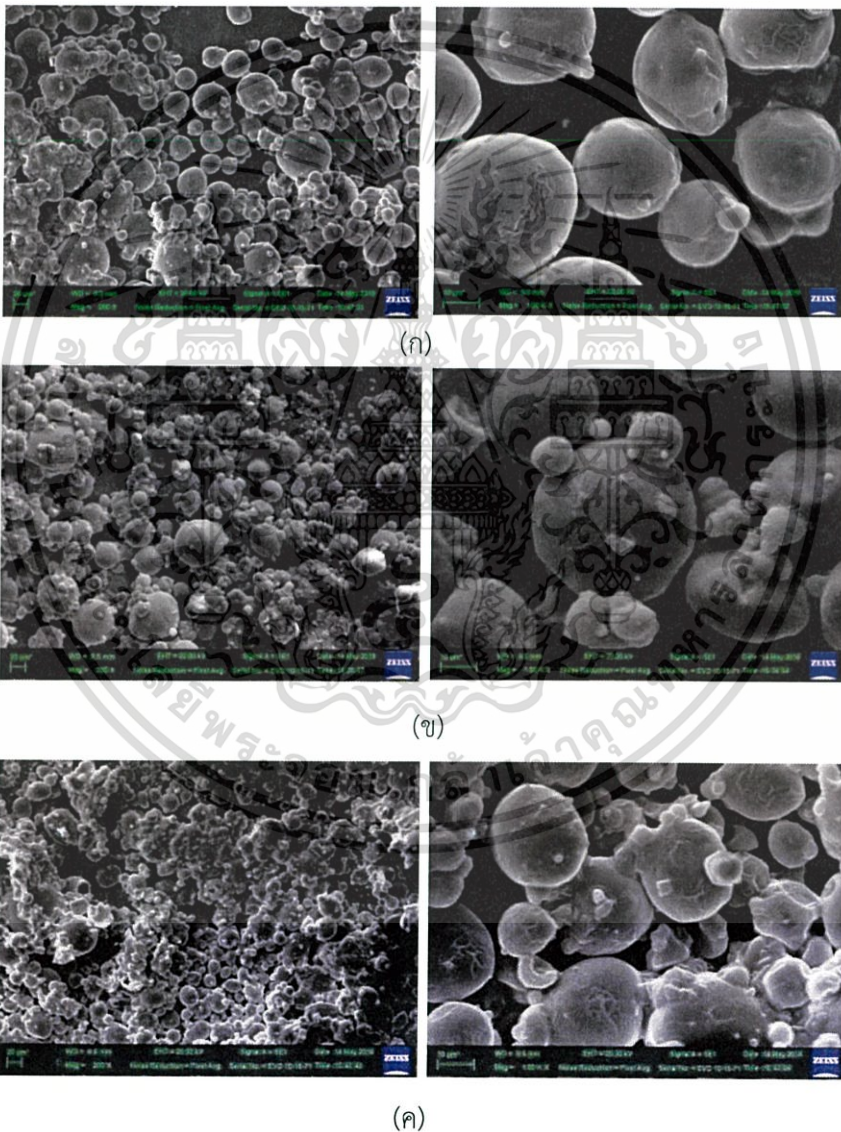
ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันของน้ำมันรำข้าวผงที่ได้จากการทดลองพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 37.71 – 44.52 % จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า เมื่อพิจารณาทั้งอุณหภูมิการทำแห้งและอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็คซ์ตริน ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันของน้ำมันรำข้าวผงที่ได้ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)



รูปที่ 4.12 ผลของอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็คซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันจากการวิเคราะห์ทางสถิติ

4.2.7 โครงสร้างจุลภาคของน้ำมันรำข้าวผง

จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของน้ำมันรำข้าวผงใน 3 สภาวะ คือ ที่อุณหภูมิร้อนชาเข้า 230 องศาเซลเซียส อัตราส่วนมอลโตเดกซ์ตรินต่อน้ำมันรำข้าว 1:2 1:3 และ 1:4 แสดงดังรูป 4.1 พบว่า ลักษณะของอนุภาคน้ำมันรำข้าวผงที่อัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตริน 1:4 การเรียงตัวของอนุภาคจะเรียงตัวแน่นหนามากกว่าอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตรินที่ 1:3 และ 1:2 เช่นเดียวกับ ที่อัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตริน 1:3 การเรียงตัวของอนุภาคจะเรียงตัวแน่นหนา มากกว่าอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตรินที่ 1:2



รูปที่ 4.12 แสดงโครงสร้างจุลภาคของน้ำมันรำข้าว อุณหภูมิร้อนชาเข้า 230 องศาเซลเซียส (ก) อัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตริน 1:2, (ข) อัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตริน 1:3 และ (ค) อัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเดกซ์ตริน 1:4 กำลังขยาย:ซ้าย 200 เท่า และ ขวา 1000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและการวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาผลของตัวแปรในการเอนแคปซูเลชันต่อคุณลักษณะของน้ำมันรำข้าวผงโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย สามารถสรุปความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาคือ ปริมาณความชื้นของน้ำมันรำข้าวผงจะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น และอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็ทซ์ตรินเพิ่มขึ้นหรือปริมาณน้ำมันในสารป้อนลดลง
2. ปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาคือ ปริมาณน้ำอิสระของน้ำมันรำข้าวผงจะมีแนวโน้มลดลง เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น และ อัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็ทซ์ตรินไม่มีผลต่อปริมาณน้ำอิสระของน้ำมันรำข้าว
3. ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาคือ ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ของน้ำมันรำข้าวผงจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น และอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็ทซ์ตรินเพิ่มขึ้นหรือปริมาณน้ำมันในสารป้อนลดลง
4. ปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาคือ ปริมาณไขมันของน้ำมันรำข้าวผงจะมีแนวโน้มลดลง เมื่ออัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็ทซ์ตรินเพิ่มขึ้นหรือปริมาณน้ำมันในสารป้อนลดลง และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าไม่มีผลต่อปริมาณไขมันของน้ำมันรำข้าว
5. ค่าเพอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาคือ ค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมันรำข้าวผงจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็ทซ์ตรินเพิ่มขึ้นหรือปริมาณน้ำมันในสารป้อนลดลงและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าไม่มีผลต่อค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมันรำข้าว
6. ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผงไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา เนื่องจากอัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็ทซ์ตริน และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันของน้ำมันรำข้าว

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผง โดยใช้เทคนิคการเอนแคปซูเลชันด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย คืออัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตเด็ทซ์ตริน 1:3 และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าการทำแห้ง 200 องศาเซลเซียส โดยเลือกพิจารณาจากปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ และ ค่าเพอร์ออกไซด์ ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผง พบว่าเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

5.2 ปัญหาที่พบ

1. สภาพอากาศในแต่ละวันมีความชื้นสัมพัทธ์สูงต่ำแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย
2. น้ำมันรำข้าวมีความหนืดและมีการแยกชั้นของน้ำมัน จึงทำให้ยากต่อการทำแห้ง ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์เหนียวติดตามผนังห้องทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. หลังจากที่มีมลพิษผ่านการโฮโมจีไนส์แล้ว เมื่อตั้งทิ้งไว้นานๆจะมีมลพิษจะเกิดการแยกชั้นได้จึงจำเป็นต้องนำเอาอิมัลชันที่ผ่านการโฮโมจีไนส์แล้วเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยทันที และเพื่อป้องกันการแยกชั้นของอิมัลชัน ควรใช้สารอิมัลซิไฟเออร์เพื่อเพิ่มความคงตัวให้แก่อิมัลชัน
2. เนื่องจากสภาพอากาศในแต่ละการทดลอง มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่เท่ากันทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีคุณสมบัติไม่คงที่ อาจแก้ปัญหาโดยการติดตั้งเครื่องลดความชื้นให้กับอากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

จตุพร จันทสุรวงศ์, จรัสแสง เหลี่ยมบาง, ธนัญญา เทียนไชยและวารุณี จำเริญพูน. 2557. “การศึกษาผลของกระบวนการที่มีต่อคุณสมบัติของเก๋ากี้ผง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ฉลวย ทับศรีม่วงพราน. 2555. “การศึกษาผลการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารน้ำมันรำข้าวและจมูกข้าว”.วารสารวิจัยบริษัทปฐมสิทธิ์ จำกัด . ปทุมธานี

ณัฐวุฒิ ชื่อเจริญกิจ, ลภัสญดา จิรเพียงทอง, ผัสพร ผ่องมาลัยและ พชรินทร์ ชูศรีทอง. 2551. “ผลกระทบของตัวแปรในการเอนแคปซูลเลชันน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ไทรท์ ศรีโยธา, คมสันต์ อัทธมงคลพิเชษฐ, พิศาล ฝ่ายชานา และสมรรถ ชันทะมูล. 2551. “การศึกษากระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น.

ธงไชย พิมพา, นิชาภา ทวีทรัพย์สุนทร และ พิชญา ศรีมงคล. 2556. “การศึกษาเทคนิคการห่อหุ้มสารต้านอนุมูลอิสระจากเก๋ากี้.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นิชาภา ชัยธนบูรณ์,เบญจพร ละครแก้ว, มนต์นิญา วิชรเวชสงคราม และ โหมแพร่อ่างเงิน. 2555. “การผลิตแคนตาลูปผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นิสากร มีจั่น, สยมพร ใจดี และสุวิสาส์ กาญจนพิมล. 2553. “การศึกษาการผลิตเครื่องดื่มผงจากถั่วเหลืองที่ผ่านการเพาะงอก.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

บัณฑิต พรหมรักษา จูรีรัตน์ ดาดวง เตือนจิต คำพิทักษ์ ประณิธิ หงสประภาส และพัชรี บุญศิริ 2557. “เทคนิคไมโครเอนแคปซูลเลชันและบทบาททางการแพทย์”. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เบญจจา ชุตินทราศรี. 2550. เทคโนโลยีส่วนผสมอาหารสังเคราะห์ (Synthetic Food Ingredients Technology).กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณันท์ เชิญธงไชย. 2556. “การสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม.” วารสาร
คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. หน้า 12-15.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2547. วิศวกรรมอาหาร: หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม. โฮโมจีไนเซชัน.
พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ. หน้า 191-198

วัชรีย์ สุขวิวัฒน์และสุนันทา วงศ์ปิยชน. 2551. “ผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพจากรำข้าวสกัดน้ำมัน ผลิตข้าว
พองอัดแห้งผสมรำข้าว”. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี

วิไล รังสาดทอง. 2546. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. การลดขนาดในอาหารเหลว. พิมพ์ครั้งที่ 3.
กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. หน้า 94-97

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. ข้อมูลพยากรณ์การผลิตปี 2557(ปีเพาะปลูก 2556/57). ศูนย์
สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (สศก.) และสำนักงานคณะกรรมการอ้อย
และน้ำตาลทราย (สอน.)

Amarasinghe B.M.W.P.K., Kumarasiri M.P.M and Gangodavilage N.C. 2009. Effect of Method
of Stabilization on Aqueous Extraction of Rice Bran Oil, Food and Bioproducts
Processing, 87, 108-114.

AOAC. 2005. Official Method 35.29 Moisture in Malt. Official Method of analysis of AOAC
International 18th edition. Chapter 47. P.25.

AOAC. 2005. Official Method 945.16 Oil in Cereal Adjuncts. Official Method of analysis of
AOAC International 18th edition. Chapter 27. P.23.

AOAC. 2005. Official Method 965.33 Fat in milk. Official Method of analysis of AOAC
International 18th edition. Chapter 41. P.11-12.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Balachandran C., Mayamol P.N., Thomas S., Sukumar D., Sundaresan A. and Arumugan C., 2008. An Ecofriendly Approach to Process Rice Bran for High Quality Rice Bran Oil Using Supercritical Carbondioxide for Nutraceutical Applications. *Bioresource Technology*, 99, 2905-2912.
- Fush M., C. Turchiuli, Cuvelier M.E., Ordonnaud C. 2005. Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. *Journal of food engineering*, 75, 27-35
- Jimenez M.T., Turchiuli C., M. Hernandez Sanchez, H. Cortes Ferre, E. Dumoulin. 2014 "Use of different support of oil encapsulation in powder by spray drying". *Powder technology* 255, 103-108
- Laohosongkram K., Mahamaktudsanee T. and Chaiwanichsiri S. 2011. "Microencapsulation of Macadamia oil by spray drying". *Procedia Food Sciencia*,: 1660-1665
- Roccia P., M.L. Martínez, J.M. Llubo, and P. D. Ribotta. 2014. "Influence of spray drying operating conditions on sunflower oil." *Powder Technology*, 307-313.
- Seid Mahdi Jafari, Elham Assadpoor , Bhesh Bhandari , Yinghe He 2008" Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying". *Food Research International* 41, 172-183
- Kha, Tuyen C., Nguyen, Minh H., Roach, Paul D., Stathopoulos, Costas E.. 2013 "Microencapsulation of Gac oil: Optimisation of spray drying conditions using response surface methodology". *Powder technology* 264, 298-309



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The seal of Rajabhat Surin University is circular, featuring a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst are three tiered stupas (chhatras) flanked by decorative floral and flame-like motifs. The entire emblem is enclosed within a circular border containing the university's name in Thai script: "มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์" (Mahavithayalai Rajabhat Surin) at the top and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" (Phra Chomklao Chao Khan Thara Ladkrabang) at the bottom.

ภาคผนวก ก. ผลของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงผลปริมาณความชื้น

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนน้ำมันรำข้าว ต่อมอลโตเรคค์ตริน	ปริมาณ ความชื้น (ร้อยละ)
1	170	1:2	3.75
2	170	1:3	2.99
3	170	1:4	2.44
4	200	1:2	2.46
5	200	1:3	2.51
6	200	1:4	1.25
7	230	1:2	1.88
8	230	1:3	1.79
9	230	1:4	1.53
10	170	1:2	3.93
11	170	1:3	3.39
12	170	1:4	2.28
13	200	1:2	2.77
14	200	1:3	2.24
15	200	1:4	1.69
16	230	1:2	2.15
17	230	1:3	1.44
18	230	1:4	1.32
19	170	1:2	3.84
20	170	1:3	3.02
21	170	1:4	2.35
22	200	1:2	2.72
23	200	1:3	2.43
24	200	1:4	1.48
25	230	1:2	1.69
26	230	1:3	1.36
27	230	1:4	1.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 แสดงผลปริมาณน้ำอิสระ

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนน้ำมันรำข้าว ต่อมอลโตรเดกซ์ตริน	ปริมาณน้ำอิสระ
1	170	1:2	0.129
2	170	1:3	0.199
3	170	1:4	0.160
4	200	1:2	0.177
5	200	1:3	0.107
6	200	1:4	0.156
7	230	1:2	0.115
8	230	1:3	0.102
9	230	1:4	0.109
10	170	1:2	0.205
11	170	1:3	0.175
12	170	1:4	0.214
13	200	1:2	0.145
14	200	1:3	0.144
15	200	1:4	0.188
16	230	1:2	0.126
17	230	1:3	0.124
18	230	1:4	0.084
19	170	1:2	0.259
20	170	1:3	0.241
21	170	1:4	0.239
22	200	1:2	0.133
23	200	1:3	0.171
24	200	1:4	0.128
25	230	1:2	0.120
26	230	1:3	0.105
27	230	1:4	0.098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 แสดงผลปริมาณผลผลิตที่ได้

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนน้ำมันรำข้าว ต่อมอลโตเรคซัตริน	ปริมาณผลผลิตที่ได้ (ร้อยละ)
1	170	1:2	43.75
2	170	1:3	49.67
3	170	1:4	62.26
4	200	1:2	52.70
5	200	1:3	64.76
6	200	1:4	71.23
7	230	1:2	59.09
8	230	1:3	63.86
9	230	1:4	68.34
10	170	1:2	44.75
11	170	1:3	51.67
12	170	1:4	66.26
13	200	1:2	55.70
14	200	1:3	67.76
15	200	1:4	74.23
16	230	1:2	62.09
17	230	1:3	66.86
18	230	1:4	71.34
19	170	1:2	46.75
20	170	1:3	53.67
21	170	1:4	65.26
22	200	1:2	56.70
23	200	1:3	67.76
24	200	1:4	75.23
25	230	1:2	63.09
26	230	1:3	67.86
27	230	1:4	72.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 แสดงผลปริมาณไขมัน

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนน้ำมันรำข้าว ต่อมอลโตเรคซ์ตริน	ปริมาณไขมัน
1	170	1:2	16.73
2	170	1:3	19.17
3	170	1:4	10.66
4	200	1:2	13.78
5	200	1:3	7.43
6	200	1:4	9.34
7	230	1:2	12.23
8	230	1:3	7.27
9	230	1:4	7.25
10	170	1:2	17.85
11	170	1:3	7.81
12	170	1:4	7.57
13	200	1:2	16.62
14	200	1:3	8.89
15	200	1:4	6.13
16	230	1:2	12.86
17	230	1:3	8.93
18	230	1:4	8.04
19	170	1:2	11.24
20	170	1:3	6.41
21	170	1:4	4.53
22	200	1:2	17.08
23	200	1:3	9.97
24	200	1:4	8.52
25	230	1:2	14.87
26	230	1:3	12.08
27	230	1:4	9.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 แสดงผลค่าเพอร์ออกไซด์

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนน้ำมันรำข้าว ต่อมอลโตรเดกซ์ตริน	ค่าเพอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูลย์ ออกซิเจนต่อกิโลกรัม น้ำมัน)
1	170	1:2	1.98
2	170	1:3	2.01
3	170	1:4	2.12
4	200	1:2	1.77
5	200	1:3	2.03
6	200	1:4	2.04
7	230	1:2	1.88
8	230	1:3	1.97
9	230	1:4	2.32
10	170	1:2	1.99
11	170	1:3	2.03
12	170	1:4	2.11
13	200	1:2	2.11
14	200	1:3	2.34
15	200	1:4	2.56
16	230	1:2	2.06
17	230	1:3	2.13
18	230	1:4	2.46
19	170	1:2	2.22
20	170	1:3	2.45
21	170	1:4	2.55
22	200	1:2	2.12
23	200	1:3	2.34
24	200	1:4	2.67
25	230	1:2	2.12
26	230	1:3	2.45
27	230	1:4	2.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 แสดงผลประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชั่น

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนน้ำมันรำข้าว ต่อมอลโตเดกซ์ตริน	ประสิทธิภาพการเอนแคป ซูเลชั่น (ร้อยละ)
1	170	1:2	50.19
2	170	1:3	76.69
3	170	1:4	53.32
4	200	1:2	41.36
5	200	1:3	29.74
6	200	1:4	46.72
7	230	1:2	36.71
8	230	1:3	29.09
9	230	1:4	36.26
10	170	1:2	53.54
11	170	1:3	31.22
12	170	1:4	37.86
13	200	1:2	49.86
14	200	1:3	35.58
15	200	1:4	30.63
16	230	1:2	38.58
17	230	1:3	35.74
18	230	1:4	40.18
19	170	1:2	33.73
20	170	1:3	25.66
21	170	1:4	22.63
22	200	1:2	51.24
23	200	1:3	39.87
24	200	1:4	42.59
25	230	1:2	44.61
26	230	1:3	48.31
27	230	1:4	49.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central five-tiered stupa (chedi) with a sunburst radiating from its top. The stupa is flanked by two smaller, three-tiered stupas. The entire emblem is surrounded by a decorative border with Thai script. The text around the border reads "มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์" (Mahavithayalai Rajabhat Buriram) at the top and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" (Prachonkhaeng Chulalongkornrajavidyalaya) at the bottom.

ภาคผนวก ข. ภาพอุปกรณ์ วัดตุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 เครื่องทำแท่งแบบพ่นฝอย

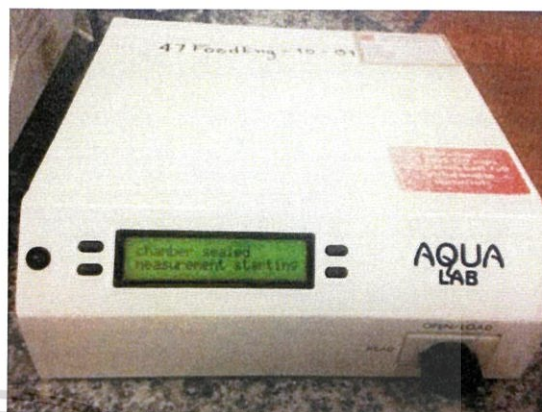


รูปที่ ข.2 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



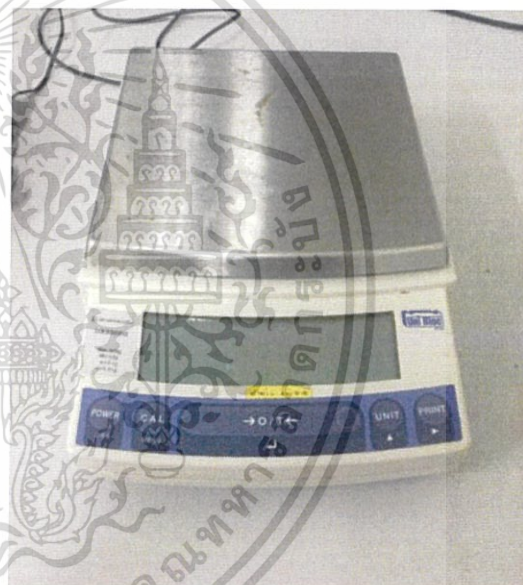
รูปที่ ข.3 ตู้อบลมร้อน



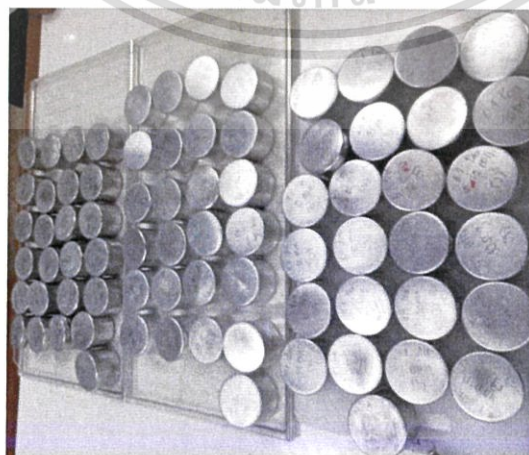
รูปที่ ข.4 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ



รูปที่ ข.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

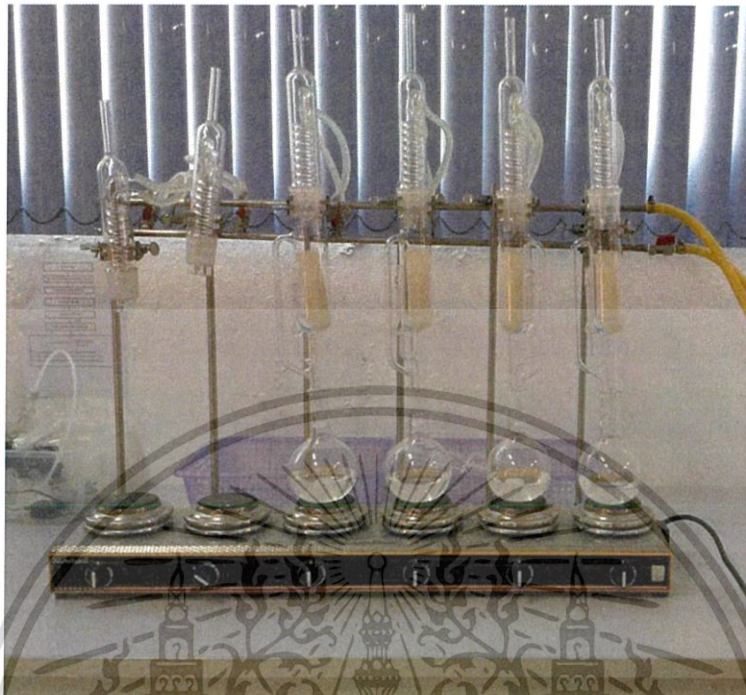


รูปที่ ข.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง



รูปที่ ข.7 ถ้วยอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.9 อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus)



รูปที่ ข.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค. การคำนวณหาอัตราการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ

โดย ความเร็วลมขาออก 1.5 เมตรต่อวินาที
พื้นที่ช่องลมขาออก 70 ตารางเซนติเมตร

จาก Q (Flow Rate) = VA

$$Q = 1.5 \frac{m}{s} \times 70 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times \frac{1 \text{ m}^2}{100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}}$$

$$Q = 0.0105 \times 60 \frac{\text{sec}}{1 \text{ min}}$$

$$Q = 0.63 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q = 37.76 \text{ m/s}$$

ดังนั้น ได้อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 37.76 m/s



ภาคผนวก ง. ตารางการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของ
ผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

Dependent Variable : moisture

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temp	2	12.2900	11.0226	5.5113	172.28	0.000
Ratio	2	5.6452	5.4248	2.7124	84.79	0.000
Temp*Ratio	4	0.8326	0.8326	0.2082	6.51	0.002
Error	19	0.6078	0.0320	0.0320		
Total	27	19.3757				

S = 0.178858 R-Sq = 96.86% R-Sq(adj) = 95.54%

ตารางที่ ง.2 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

Dependent Variable : water activity

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temp	2	0.034975	0.036008	0.018004	14.79	0.000
Ratio	2	0.000062	0.000020	0.000010	0.01	0.992
Temp*Ratio	4	0.002593	0.002593	0.000648	0.53	0.713
Error	19	0.023121	0.023121	0.001217		
Total	27	0.060752	0.060752			

S = 0.0348840 R-Sq = 61.94% R-Sq(adj) = 45.92%

ตารางที่ ง.3 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้

Dependent Variable : Yeild

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temp	2	1062.30	909.49	454.75	120.00	0.000
Ratio	2	1204.83	1183.57	591.79	156.17	0.000
Temp*Ratio	4	131.00	131.00	32.75	8.64	0.000
Error	19	72.00	72.00	3.79		
Total	27	2470.13				

S = 1.94666 R-Sq = 97.09% R-Sq(adj) = 95.86%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.4 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

Dependent Variable : Fat content

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temp	2	11.101	5.450	2.725	0.29	0.751
Ratio	2	249.374	246.531	123.265	13.17	0.000
Temp*Ratio	4	16.378	16.378	4.094	0.44	0.780
Error	19	177.845	177.845	9.360		
Total	27	454.698				

S = 3.05945 R-Sq = 60.89% R-Sq(adj) = 44.42%

ตารางที่ ง.5 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์

Dependent Variable : PV

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temp	2	0.03557	0.02531	0.01265	0.29	0.755
Ratio	2	0.57791	0.59462	0.29731	6.71	0.006
Temp*Ratio	4	0.05292	0.05292	0.01323	0.30	0.875
Error	19	0.84141	0.84141	0.04428		
Total	27	1.50781				

S = 0.210439 R-Sq = 44.20% R-Sq(adj) = 20.70%

ตารางที่ ง.6 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชั่น

Dependent Variable : EE

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temp	2	68.0	53.0	26.5	0.18	0.839
Ratio	2	182.4	179.3	89.6	0.60	0.559
Temp*Ratio	4	221.6	221.6	55.4	0.37	0.827
Error	19	2840.7	2840.7	149.5		
Total	27	3312.8				

S = 12.2275 R-Sq = 14.25% R-Sq(adj) = 0.00%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้