การผลิตผงน้ำไซุป่หมูโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย
A SPRAY DRIED PROCESSING OF PORK SOUP PRODUCTION

นางสาวกันต์วราธร สุขฤทัยธนานนท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การผลิตผงน้ำซุปหมูโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย

A SPRAY DRIED PROCESSING OF PORK SOUP PRODUCTION

นางสาวกันต์วราธร สุขฤทัยธนานนท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A SPRAY DRIED PROCESSING OF PORK SOUP PRODUCTION

Miss Kanwaratron Sukruthaithananon

THIS THESIS IS SUMITTED IN PARTIAL FULFILIMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERINGKING MONGKUT'S INSTITUTE OF
TECNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการผลิตผงน้ำซุปหมูโดยวิธรอบแห้งแบบพ่นฝอย

A SPRAY DRIED PROCESSING OF PORK SOUP PRODUCTION

ผู้จัดทำ

นางสาวกันต์วราธร สุขฤทัยธนานนท์ รหัสนักศึกษา 55011475

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.กันต์กนิษฐ์ ขวัญพฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงาน การผลิตผงน้ำซุปหมูโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย

นักศึกษา นางสาวกันต์วราธร สุขฤทัยธนานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.กันต์กนิษฐ์ ขวัญพฤกษ์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา สาขาวิศวกรรมอาหาร

ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมของผงน้ำซุปหมูโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำการศึกษาและทดลอง 2 ปัจจัย ได้แก่อัตราส่วนระหว่างน้ำซุปหมูกับปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ระดับร้อยละ 20 25 30 โดยน้ำหนัก และศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 180 190 200 องศาเซลเซียส ควบคุมลมร้อนขาออกที่ระดับ70องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ผงน้ำซุปหมูที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติเพื่อหาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมที่สุดดังขั้นตอนการวิเคราะห์ต่อไปนี้ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณของผงผลิตภัณฑ์ผงน้ำซุปหมูที่ได้ ค่าเพอร์ออกไซด์ (เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชั่น (lipid oxidation) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน (rancidity)) ปริมาณกรดไขมันและโครงสร้างจุลภาค

คำสำคัญ : ผงน้ำซุปหมู, เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย, คุณภาพของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	A SPRAY DRIED PROCESSING OF PORK SOUP PRODUCTION
Student	Miss Kanwaratron Sukruthaithananon
Advisor	Asst.Prof.Dr.Kankanit Khwanpruk
Degree	Bachelor's of Engineering
Program	Food Engineering
Year	2016

ABSTRACT

The objective of this research is to study the production of pork soup powder using spray dryer to maintain product quality. The research was divided 2 factors; Maltodextrin (DE 10) was used as material. The three-level full factorial design whith was applied to this research.Varied the weight ratio of pork soup to maltodextrin of 20 , 25 ,30 w/w . inlet air temperature of 180°C , 190°C , 200 °C and controlled the outlet air temperature of 70°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, peroxide value and microstructure was studied

Keywords : Product quality, Spray dryer, Pork soup powder, Maltodextrin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะสำเร็จขึ้นไม่ได้ ถ้าขาดความกรุณาจาก ผศ.ดร.กันต์กนิษฐ์ ขวัญพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะ และให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่างๆ อีกทั้งยังให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบพระคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์และคุณอำนาจ คูตะคุ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศกรรมอาหาร ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา แนะนำตลอดจนข้อชี้แนะในการทดลองและอำนวยความสะดวกในการเบิกใช้อุปกรณ์ต่างๆ อีกทั้งให้กำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอมา

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้ปกครอง ซึ่งเป็นบุคคลเลี้ยงดู อบรม สั่งสอน จนเติบโตและให้การสนับสนุนในการศึกษาตลอดมา สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาวิศวกรรมอาหาร รุ่น 17 และ 18 ทุกคนที่ให้กำลังใจและให้คำปรึกษา แนะนำ ในระหว่างการทำงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ

นางสาวกันต์วราธร สุขฤทัยธนานนท์

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	viii
สารบัญรูป	ix
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ผงน้ำซุป	3
2.1.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อหมู	3
2.2 กระบวนการห่อหุ้ม	5
2.2.1 วัตถุประสงค์ของกระบวนการห่อหุ้ม	6
2.2.2 ชนิดของสารห่อหุ้มที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชั่น	6
2.2.3 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.2.4 การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว 13

2.3 โฮโมจีไนเซชัน 14

2.3.1 ทฤษฎีของโฮโมจีไนเซชัน 15

2.3.2 ประเภทและหลักการทำงานของโฮโมจีไนเซอร์ 16

2.3.3 การนำโฮโมจีไนเซอร์ไปใช้ประโยชน์ในระดับโรงงานอุตสาหกรรม 17

2.3.4 การแตกเซลล์ 18

2.4 อิมัลชัน 18

2.4.1 แรงตึงผิว 19

2.4.2 สารอิมัลซิไฟอิ้ง 20

2.4.3 หลักการทั่วไปในการทำให้เกิดอิมัลชัน 20

2.5 การทำแห้งแบบพ่นฝอย 21

2.5.1 หลักการทำงาน 21

2.5.2 ห้องทำแห้ง 22

2.5.3 หัวอัดฉีด 24

2.5.4 ไซโคลน 26

2.5.5 อาหารที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย 26

2.5.6 ปัจจัยในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ 26

เอกสารอ้างอิงของผลวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28

บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ 31

3.2 วัสดุอุปกรณ์ 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

3.3 สารเคมี 32

3.4 วิธีกรทดลอง 32

3.4.1 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย 32

3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผงน้ำซุปหมู 34

3.5.1 ปริมาณความชื้น 34

3.5.2 ปริมาณน้ำอิสระ 34

3.5.3 ปริมาณของผงผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ 35

3.5.4 ค่าเพอร์ออกไซด์ 35

3.6 การวางแผนการทดลอง 37

บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การทำแห้งแบบพ่นฝอย 38

4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงน้ำซุปหมู 38

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น 40

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ 40

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ 41

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ 42

บทที่ 5 สรุปและการวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

5.2 ปัญหาที่พบ 43

5.3 ข้อเสนอแนะ 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณลักษณะเฉพาะของสารห่อหุ้มแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้ม	8
2.2 อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	14
3.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคโทเรียล	37
4.1 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามเงื่อนไขการทดลอง	38
4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงน้ำซุปหมูด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ	39
4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น	40
4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ	40
4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้	41
4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของไมโครแคปซูล	5
2.2 การเกิดโครงสร้างอสัณฐานและความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาสมดุลและไม่สมดุล	13
2.3 ชนิดของอิมัลชัน	19
2.4 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลสวนทางกัน	23
2.5 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน	23
2.6 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน	24
2.7 หัวฉีดแรงดันสูง	25
2.8 หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง	25
3.1 น้ำซุปหมู	31
3.2 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

อุตสาหกรรมอาหารของประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพสูงในการผลิตเพื่อบริโภคในประเทศและเพื่อการส่งออก เนื่องจากประเทศไทยมีพื้นฐานด้านการผลิตทางการเกษตรที่มั่นคง ทำให้มีผลผลิตที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปได้อย่างหลากหลายและต่อเนื่อง มีการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ (สุขวัฒน์ ด่านเสริมสุข, 2558) รวมถึงการพัฒนาเพื่อต่อยอด การนำวัตถุดิบที่เหลือจากกรรมวิธีต่างๆแต่ยังคงมีคุณภาพมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม เช่นขั้นตอนการลวกหรือต้มเนื้อสัตว์เพื่อนำไปประกอบอาหารชนิดต่างๆ ย่อมเหลือน้ำที่ใช้ลวกหรือต้มเนื้อสัตว์ แต่ในน้ำที่ใช้นั้นมีทั้งสารอาหารและรสชาติจากเนื้อสัตว์ สามารถนำมาแปรรูปเป็นน้ำซุปสำเร็จรูป หรือผลิตเป็นผงน้ำซุป เป็นต้น

ในปัจจุบันประชากรในประเทศไทยและต่างประเทศ ใช้เวลาในสภาวะที่รีบเร่งส่งผลให้ใส่ใจรายละเอียดในชีวิตลดน้อยลง รวมถึงการบริโภคอาหารก็เช่นกัน ตามสถิติมีการบริโภคอาหารสำเร็จรูปมากขึ้นเรื่อยๆในช่วง 5ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2554-2558 (ศูนย์อัจฉริยะอุตสาหกรรมอาหาร,2558) ซึ่งผลิตภัณฑ์ประเภทผงปรุงรสที่สามารถทำอาหารได้อย่างรวดเร็วและไม่มีขั้นตอนที่ซับซ้อนก็ได้รับความนิยมมากขึ้นเช่นกัน เพราะมีการปรุงแต่งรสชาติที่หลากหลายมากขึ้น แต่ผงปรุงรสเหล่านั้นมักมีส่วนผสมที่มีรสชาติเข้มข้น เมื่อรับประทานผงปรุงรสจากอาหารหลากหลายชนิดเป็นเวลานานย่อมส่งผลต่อสุขภาพอย่างแน่นอน ด้วยเหตุนี้เองจึงมีการทดลองงานวิจัยนี้ขึ้น โดยเลือกน้ำซุปหรือน้ำลวกเนื้อหมูสับที่เหลือจากกรรมวิธีต่างๆมาแปรรูปให้อยู่ในรูปแบบผง เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีรสหวานจากเนื้อหมูมาทำการทดลอง

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเป็นวิธีที่ดีและเหมาะสมสำหรับการทำแห้งผลิตภัณฑ์ เนื่องจากใช้เวลาสั้นในการสัมผัสความร้อน อัตราการระเหยสูง ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพที่ดี คงที่ ใช้ประโยชน์ได้ในหลายๆด้านและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นต่ำ (Fernandes และคณะ, 2013)

ดังนั้นในโครงงานนี้คณะผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตผงน้ำซุปหมูโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่ง่ายต่อการใช้ตัวผลิตภัณฑ์ สะดวกต่อการเก็บรักษาคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 จุดประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงน้ำซุปหมูโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย
    - อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ คือ 180 190 200 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมิลมร้อนขาออก 70 องศาเซลเซียส
    - อัตราส่วนระหว่างน้ำซุปหมูกับปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ระดับร้อยละ 20 , 25 , 30 โดยน้ำหนัก
2. ค่าที่วัดของผงน้ำซุปหมู ได้แก่
    - ความชื้น
    - ปริมาณผลผลิตที่ได้
    - ปริมาณน้ำอิสระ (aw)
    - ค่าเพอร์ออกไซด์ (ค่าที่ใช้ในการวัดการเกิดลิพิดออกซิเดชั่น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเหม็นหืน)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตผงน้ำซุปหมูโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย
2. ได้ผงน้ำซุปหมูที่ไม่ผ่านการปรุงแต่งรสชาติแล้วสามารถนำมาทำอาหาร เพิ่มกลิ่น สี รสชาติ ให้อาหารดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผงน้ำซุป (soup powder) (จุฑามาศ และคณะ, 2553)

น้ำซุป คือ การนำเนื้อสัตว์มาต้มกับน้ำไว้ใช้เองภายในบ้านมีวิธีการง่ายๆคือ ใช้กระดูกเศษเนื้อและผักใส่หม้อต้มเคี่ยวในน้ำด้วยไฟอ่อนๆ จนกระทั่งสารอาหารจากเนื้อถูกสกัดออกมาในน้ำ แล้วกรองทำให้เย็น และช้อนเอาไขมันออก น้ำซุปที่ได้นี้จะเป็นพื้นฐานในการทำซุปและซอสมากมายหลายชนิด จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการผลิตที่อยู่ในรูปแบบผง ซึ่งมีข้อดีในการเก็บรักษาที่ง่าย สะดวกต่อการใช้งาน สามารถนำมาปรุงรส กลิ่น สี ของอาหารได้หรืออีกหนึ่งความหมาย คือการนำเนื้อสัตว์มาต้มกับน้ำไว้ใช้เองภายในบ้านมีวิธีการง่ายๆคือ ใช้กระดูกเศษเนื้อและผักใส่หม้อต้มเคี่ยวในน้ำด้วยไฟอ่อนๆ จนกระทั่งสารอาหารจากเนื้อถูกสกัดออกมาในน้ำ แล้วกรองทำให้เย็น และช้อนเอาไขมันออก น้ำซุปที่ได้นี้จะเป็นพื้นฐานในการทำซุปและซอสมากมายหลายชนิด จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการผลิตที่อยู่ในรูปแบบผง ซึ่งมีข้อดีในการเก็บรักษาที่ง่าย สะดวกต่อการใช้งาน สามารถนำมาปรุงรส กลิ่น สี ของอาหารได้

2.1.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อหมู (นภาพร และคณะ , 2539)

เนื้อหมูเป็นเนื้อสัตว์ที่อุดมด้วยโปรตีนและสารอาหารต่างๆ รวมทั้งกรดไขมันและโคเลสเตอรอล พบว่า เนื้อสัตว์แต่ละส่วนมีคุณค่าทางโภชนาการแตกต่างกัน และวิธีประกอบอาหารมีผลต่อปริมาณสารอาหาร แต่ข้อมูลปริมาณสารอาหารในเนื้อหมูและเครื่องในของตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยมีเฉพาะเนื้อหมูดิบและข้อมูลปริมาณสารอาหารบางชนิดมีไม่ครบถ้วน เช่น ปริมาณกรดไขมันและปริมาณโคเลสเตอรอล ปริมาณของสารอาหารในเนื้อหมูส่วนต่างๆ และเครื่องในที่ดิบและสุก รวมทั้งศึกษาถึงผลของวิธีประกอบอาหารต่อปริมาณไขมันและวิตามิน ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารอาหาร ได้แก่ เนื้อหมูสันใน สันนอก สันคอ สันสะโพก สามชั้น หมูสับ ซี่โครงหมู ตับ และหัวใจ ซื้อจากตลาดสด 8 แห่ง และซุปเปอร์มาเก็ต 2 แห่ง ในกรุงเทพมหานครและ ปริมณฑล แต่ละตัวอย่างจะนำมาแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ดิบ ต้ม และทอด ยกเว้น สันคอ แบ่งออกเป็น ดิบ ปิ้ง และทอด สารอาหารที่วิเคราะห์ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า วิตามินเอ วิตามินซี วิตามินบีหนึ่ง วิตามินบีสอง ไนอาซิน โซเดียว โปรแตสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง กรดไขมัน และโคเลสเตอรอล ส่วนพลังงานได้จากการคำนวณ สำหรับตัวอย่างที่นำมาศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงผลของวิธีประกอบอาหารต่อปริมาณไขมัน และวิตามิน ได้แก่ เนื้อหมูสันนอกและหมูสับ โดยการซื้อมาจากตลาดสด 1 แห่ง นำมาแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ดิบ ต้ม ทอด ผลการศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณสารอาหารต่างๆ พบว่าเนื้อหมูส่วนต่างๆ ที่ดิบและทำให้สุกด้วยวิธีต่างกัน มีปริมาณสารอาหารแตกต่างกัน ปริมาณสารอาหารที่วิเคราะห์ต่อ 100 กรัมมีดังนี้ ปริมาณโปรตีนของเนื้อหมูดิบในส่วนต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 13.9 กรัม (สามชั้น) ถึง 21.8 กรัม (สันใน) ปริมาณโปรตีนในเนื้อหมูสันต้มมีค่าอยู่ระหว่าง 21.1 กรัม (สามชั้น) ถึง 33.4 กรัม (สันใน) ปริมาณโปรตีนในเนื้อหมูทอดมีค่าอยู่ระหว่าง 28.2 กรัม (สามชั้น) ถึง 37.2 กรัม (สันใน) ปริมาณโปรตีนในเนื้อหมูต้มและทอดพบว่า มีปริมาณมากกว่าเนื้อหมูดิบ ปริมาณโปรตีนของเนื้อหมูทอดมีมากกว่าเนื้อหมูต้ม ปริมาณไขมันในเนื้อหมูส่วนต่างๆ พบว่า มีความแตกต่างกัน ปริมาณไขมันของเนื้อหมูทอดมีปริมาณมากกว่าเนื้อหมูดิบ ปริมาณไขมันของเนื้อหมูดิบในส่วนต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 3.2 กรัม (สันใน) ถึง 33.5 กรัม (สามชั้น) ปริมาณไขมันในเนื้อหมูต้มมีค่าอยู่ระหว่าง 2.2 กรัม (สันใน) ถึง 38.2 กรัม (สามชั้น) ปริมาณในเนื้อหมูทอดมีค่าอยู่ระหว่าง 10.5 กรัม (สันใน) ถึง 37.0 กรัม (สามชั้น) ปริมาณโคเลสเตอรอลในเนื้อหมูต้มและทอดมีปริมาณมากกว่าเนื้อหมูดิบและมีปริมาณแตกต่างเล็กน้อยระหว่างส่วนตับมีปริมาณโคเลสเตอรอลมากกว่าในเนื้อหมูและหัวใจ ปริมาณกรดไขมันในเนื้อหมูดิบและสุกของแต่ละส่วนแตกต่างกันเล็กน้อย สัดส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายพันธะ/กรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะเดี่ยว/กรดไขมันอิ่มตัวในเนื้อหมูดิบและสุก มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-0.6/0.5-1.31 ปริมาณวิตามินบีหนึ่ง ในเนื้อหมูต้มพบว่ามีน้อยกว่าในเนื้อหมูดิบและทอด ปริมาณวิตามินบีหนึ่งพบว่ามีอยู่มากในเนื้อหมูส่วนที่มีไขมันน้อย เช่น หมูสันในและสันสะโพก (1.85-1.91 มก./100 กรัม ในหมูทอด) ตับดิบและสุกจะมีวิตามินเอและไนอาซินอยู่มากกว่าหัวใจและเนื้อหมูดิบและสุก ในเนื้อหมูพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสปานกลาง ส่วนปริมาณแร่ธาตุอื่นๆ ในเนื้อหมูมีปริมาณอยู่น้อย ตับมีปริมาณธาตุเหล็กและทองแดงค่อนข้างสูง ส่วนแร่ธาตุอื่นๆ ในตับมีระดับใกล้เคียงกับเนื้อหมู สำหรับการศึกษาผลของวิธีการประกอบอาหารต่อประมาณสารอาหารพบว่าการต้มและการทอดทำให้ปริมาณความชื้นในเนื้อหมูสันนอกและหมูสับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การทอดจะทำให้ปริมาณไขมันในเนื้อหมูสันนอกและหมูสับมีปริมาณมากกว่าในเนื้อหมูดิบและเนื้อหมูต้ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณโคเลสเตอรอลในเนื้อหมูสับทอดมีปริมาณมากกว่าในเนื้อหมูดิบและต้ม ทำให้ปริมาณวิตามินบีหนึ่งในเนื้อหมูสันนอกและหมูสับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณวิตามินบีสองในเนื้อหมูสับต้มมีปริมาณน้อยกว่าในเนื้อหมูสับดิบและทอด ข้อมูลจากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับนักวิชาการ ด้านอาหารและโภชนาการเพื่อนำไปประเมินปริมาณสารอาหารที่กลุ่มประชากรได้รับประจำวันได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคทั่วไปในการเลือกบริโภคอาหารให้เหมาะสมกับภาวะของร่างกาย ตลอดจนไปปรับปรุงให้ตารางแสดงคุณค่าโภชนาการของอาหารไทยให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

2.2 กระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation)

กลิ่นและรสชาติเป็นสิ่งที่บอกถึงคุณภาพของอาหารรวมถึงความถูกใจของแต่ละบุคคล โดยกระบวนการกักเก็บกลิ่นรสเป็นเทคโนโลยีในการกักเก็บให้อยู่ภายใต้สารที่จัดตัวกันเป็นร่างแห ซึ่งส่วนใหญ่จะแปรรูปไปอยู่ในอนุภาค เทคโนโลยีในการกักเก็บกลิ่นรสนี้จะช่วยปกป้องผลิตภัณฑ์จากการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันจากออกซิเจน 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 ไม่ทำปฏิกริยากับสารแกนกลาง สามารถห่อหุ้มและกักเก็บสารสำคัญเอาไว้ได้ในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา สามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่เป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมอาหาร ราคาไม่แพง และสามารถปลดปล่อยสารแกนกลางได้อย่างสมบูรณ์

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไมโครแคปซูล

ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน (ณัฐวุฒิและคณะ, 2551)

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

2.) คุณสมบัติของสารห่อหุ้มหรือสารห่อหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) สภาวะที่ใช้ในขั้นตอนการเอนแคปซูเลชัน สารห่อหุ้มที่ใช้ในการเอนแคปซูเลทสารแกนกลาง จะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารแกนกลาง มีความหนืดต่ำที่ระดับความเข้มข้นสูง ปกป้องสารแกนกลางจากสภาวะแวดล้อม มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความเสถียร และ สามารถควบคุมการปลดปล่อย สารให้กลิ่นรสและสารสำคัญภายใต้สภาวะและช่วงเวลาที่ต้องการ

2.2.1 วัตถุประสงค์ของกระบวนการห่อหุ้ม

1.) เพื่อป้องกันสารแกนกลาง โดยการลดการทำปฏิกริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น แสงแดด ความร้อน ความชื้นนและอากาศ

2.) ช่วยรักษากลิ่นของสารแกนกลาง

3.) เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน

4.) ช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษา

5.) ควบคุมการปลดปล่อยสารแกนกลาง

6.) ลดการระเหยของของเหลว

7.) เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติพื้นผิวของสารแกนกลาง(ลักษณะทางกายภาพ)

2.2.2 ชนิดของสารห่อหุ้มที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชั่น (จตุพรและคณะ, 2557)

ชนิดของสารห่อหุ้มที่นิยมใช้นำมาใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช มอลโตเด็กซ์ตริน และโปรตีน เช่น เวย์โปรตีน เจลาติน เป็นต้น

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตที่สามารถนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้ม ได้แก่ กัมอาราบิค, สตาร์ช และมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นสารที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในเทคนิคกระบวนการห่อหุ้มแบบพ่นฝอยเพื่อใช้ในการห่อหุ้ม และสามารถจับกับสารให้กลิ่นรสได้อย่างสมบูรณ์ ราคาถูก มีการกระจายตัวที่ดี สามารถใช้กับอาหารได้ นอกจากนี้ยังมีสมบัติเป็นสารที่มีความหนืดต่ำ และสามารถละลายได้ดี

กัมอาราบิค (Gumarabic)

เป็นกัมต้นอะคาเซีย (acacia) จัดเป็นพอลิแซ๊กคาไรด์เชิงซ้อนชนิดหนึ่ง มีสมบัติในการทำให้ทำให้อิมัลชันคงตัว สามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้ดีละลายน้ำได้ดี และเป็นสารที่มีความหนืดต่ำ กัมอะราบิคถูกใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารเช่น อิมัลชันน้ำผิวส้มใช้เป็นสารช่วยคงตัวของฟองเบียร์ ใช้เป็นตัวยับยั้งการเกิดผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและเซอร์เบต ไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรสโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ส่วนผสมของมอลโตเด็กซ์ตริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัมอะราบิค เป็นสารห่อหุ้ม และสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

สตาร์ช (Starch)

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

มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltrodextrin)

เป็นสารที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสแป้งข้าวโพดบางส่วนด้วยกรดหรือเอนไซม์ โดยดูจากค่า DE (Dextrose equivalents) ค่า DE ที่ต่างกันจะมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ต่างกันด้วย เช่น ความสามารถในการละลาย ความหนืด เป็นต้น อย่างไรก็ตามค่า DE ที่เหมือนกันคุณสมบัติอาจไม่เหมือนกันอีกด้วยเพราะขึ้นอยู่กับวิธีการไฮโดรไลซิสแหล่งของสตาร์ช และอัตราส่วนของอะไมเลสต่ออะไมโลเพกติน มักจะผลิตออกมาในรูปแบบผง มีคุณสมบัติที่ไม่ดูดความชื้น โดยเฉพาะค่า DE ต่ำ ๆ ความสามารถในการละลายน้ำของมอลโตเด็กซ์ตรินขึ้นอยู่กับค่า DE และชนิดของอาหารที่นำมาใช้ มอลโตเด็กซ์ตรินถูกใช้อย่างกว้างขวางในการเอนแคบซูเลชัน โดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อกักเก็บกลิ่นและป้องกันการเกิดออกซิเดชัน เพราะเป็นสารที่ยอมรับที่ดีทั้งด้านราคาและประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นสารที่ไม่มีรสชาติ มีความหนืดต่ำ สามารถละลายในน้ำเย็นได้ดี มักใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวและเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE สูงและมีมวลต่ำ ๆ ถูกใช้ในการเพิ่มความหนาแน่น เพื่อการยืดอายุการรักษา แต่ถ้าค่ามวลโมเลกุลต่ำๆ อุณหภูมิทรานซิชัน (glass transition) ก็จะต่ำลงทำให้ผงที่ได้มีความสามารถในการดูดความชื้นมากขึ้น โดยมีรายงานว่า มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE10 จะมีความสามารถในการเก็บรักษาที่ดีสุด

โปรตีน (Protein)

โปรตีนเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้มในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากมีคุณสมบัติทำให้เกิดฟิล์ม ซึ่งสามารถนำมาใช้ในกระบวนการห่อหุ้มได้ดี นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติที่ดี เช่น สามารถละลายได้ในน้ำ ความหนืด และความเป็นอิมัลชัน แต่ยังไม่เป็นที่นิยมเพราะความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างของกลุ่มเคมี และขั้วของโมเลกุลและการเกิดปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ โดยโปรตีนที่นิยมนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้ม คือ เวย์โปรตีนและเจลาติน

เวย์โปรตีน (Whey Protein) เป็นโปรตีนในน้ำนม หน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์และทำให้เกิดฟิล์มร่วมกับคาร์โบไฮเดรตที่ทำให้เกิดเมกทริซ์ โปรตีนชนิดอื่น ๆ เช่น โปรตีนถั่วเหลือง หรืออนุพันธุ์ของเจลาทินที่มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียรกับสารให้กลิ่นรสเป็นวัสดุที่สามารถละลายน้ำได้ ราคาไม่แพงและสามารถหาได้ง่าย สามารถก่อฟิล์มได้ดี

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 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation techniques) (จตุพรและคณะ, 2557)

เทคนิคกระบวนการห่อหุ้มที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมได้แก่ เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) และการเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) และยังมีวิธีอื่นๆอีกเช่น สเปรย์ซิลลิงและคูลลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Spray Chilling and Cooling) การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟูลอิดไดส์เบด (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) การทำให้เกิดการเคลือบผิว กรณีนี้จะเกี่ยวกับการปรับสภาพของ hydrophilic colloids 2 ชนิด ซึ่งมีประจุต่างกันในสภาวะที่ประจุเป็นกลางและเคลือบบนผิวของสารแกนกลาง

กระบวนการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคนี้จะต้องควบคุมการผสมเพื่อทำให้สารห่อหุ้มเคลือบบนผิวของสารแกนกลางอย่างสม่ำเสมอ ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ในการห่อหุ้มกลิ่น วิตามิน สารหอมระเหย ส่วนผสมของอาหารที่ไวต่อสิ่งเร้าและจุลินทรีย์ ปัญหาของเทคนิคนี้คือ กระบวนการค่อนข้างซับซ้อนและค่าใช้จ่ายสูง

2) Co-crystallizationกระบวนการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคนี้เกิดระหว่าการตกผลึกของกลูโคสไซรับในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด (95-97 องศาบริกซ์) ที่อุณหภูมิสูง (>120°C) โดยการเติมสารให้กลิ่นรสลงไปในระหว่างการเกิดผลึก ทำให้เกิดโครงสร้างผลึกที่มีขนาดเล็กล้อมรอบสารให้กลิ่นรสอยู่ภายในโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการห่อหุ้มโดยเทคนิคนี้จะมี กลิ่นที่ดี และค่าการดูดความชื้นต่ำ

3) Molecular inclusionเป็นเทคนิคการห่อหุ้มในระดับโมเลกุล วิธีการนี้จะนำไซโคลเด็กซ์ทริน (cyclodextrin) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอนไซม์ไกลโคสิลแทรนซะเฟอเรส (glycosyl-transferase) มาทำปฏิกิริยากับสตาร์ช เปลบี่ยนเป็นโฟลิเมอร์วงแหวน บริเวณตรงกลางของโมเลกุลไซโคลเดกซ์ทรินจะมีลักษณะเป็น hydrophobic ส่วนที่ผิวนอกจะมีลักษณะเป็น hydrophilic เมื่ออยู่ในสารละลายโมเลกุลที่มีขั้วน้อยกว่าจะแทนที่โมเลกุลของน้ำที่อยู่ตรงกลาง สารประกอบที่เกิดขึ้นจะละลายได้น้อยและตกตะกอนแยกตัวออกมา เทคนิคนี้ใช้ห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสที่ไม่เสถียร ปัจจัยที่มีผลต่อเทคนิคนี้ได้แก่ น้ำหนักรูปร่างของโมเลกุล คุณสมบัติทางเคมี ความมีขั้ว และความสามารถในการระเหยของสารแกนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ข้อดีของเทคนิคนี้คือ ความคงตัวของไลโปโซมที่ใช้งานในสภาวะที่มีวอเตอร์แอคติวิตี้สูง ปัญหาของวิธีนี้คือ ไมโครเอนแคปซูเลชั่นที่ได้ต้องเก็บรักษาในสารละลายที่เหมาะสม ซึ่งจะเป็นอุปสรรคในการผลิตขนาดใหญ่ และการจัดเก็บขนส่ง

II. กระบวนการห่อหุ้มโดยใช้เครื่องมือ (Mechanical processes)

1) เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying technique)

การอบแห้งพ่นฝอยเป็นเทคนิคการห่อหุ้มที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่หาได้ง่าย และต้นทุนการผลิตในวิธีนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่น โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นลักษณะแบบไมโครแคปซูล ขั้นตอนการห่อหุ้มโดยใช้การอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วยการนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (Carrier หรือ wall material) เช่น สตาร์ชดัดแปลง (modified starch), มอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin), กัมหรือส่วนผสมของสารข้างต้นมาละลายน้ำและผสมเข้ากับสารที่ต้องการห่อหุ้ม อัตราส่วนระหว่างสารห่อหุ้มและสารแกนกลางโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 4:1 จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ (homogenize) จากนั้นทำการป้อนสารผสมเข้าไปยังเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยตัวอย่างจะถูกพ่นเป็นละอองฝอยผ่านหัวฉีด (nozzle หรือ spinning wheel) โดยภายในห้องอบแห้งจะมีกระแสอากาศร้อนเคลื่อนที่ขนานหรือสวนทางกับผลิตภัณฑ์ เมื่อกระแสของอากาศร้อนสัมผัสกับละอองของของเหลวจะทำให้น้ำระเหยออกไป จากนั้นอนุภาคของผลิตภัณฑ์และกระแสของอากาศร้อนจะเคลื่อนที่ไปยังไซโคลนซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้แยกผลิตภัณฑ์ออกจากกระแสลมร้อน

ข้อดีของการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

- ต้นทุนการผลิตต่ำ
- เครื่องมือหาได้ง่าย
- สามารถปกป้องสารแกนกลางได้เป็นอย่างดี และสามารถเลือกใช้ตัวกลางในการเคลือบได้หลายชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เทคนิคนี้เป็นการเคลือบผิวอนุภาคของแข็งโดยอนุภาคที่จะต้องการเคลือบผิวจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับกระแสอากาศที่เคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่ภายในห้องอบแห้งด้วยความเร็วสูงในขณะเดียวกันตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบจะถูกป้อนผ่านหัวฉีดและพ่นเป็นละอองฝอยเข้าสู่กระแสของอนุภาค (particle stream) และเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาค โดยความหนาของสารห่อหุ้มผิวสามารถควบคุมได้ด้วยการควบคุมระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่อยู่ในห้องอบแห้ง

การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบดประกอบไปด้วยขั้นตอนในการดำเนินงาน 3 ขั้นตอน คือ อนุภาคที่ต้องการเคลือบจะถูกทำให้ลอยตัว (Fluidize) อยู่ในกระแสอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง สารห่อหุ้มจะถูกพ่นฝอยผ่านหัวฉีดไปยังอนุภาคที่ต้องการเคลือบซึ่งจะทำให้เกิดฟิล์มรอบ ๆ อนุภาค หยดเล็ก ๆ ของสารห่อหุ้มจะกระจายและสะสมอยู่บนผิวของอนุภาคจากนั้นตัวทำละลายหรือส่วนผสมของตัวทำละลายจะระเหยออกจากผิวของอนุภาคโดยอากาศร้อนโดยมีสารห่อหุ้มเคลือบอยู่บนผิวของอนุภาค

3) เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น การห่อหุ้มจะเกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการแช่เยือกแข็งโดยขณะที่สารละลายเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งนั้น สาระละลายในส่วนที่เป็นน้ำยังไม่แข็งตัว (non-frozen solution) จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยชะลอการแพร่ของสารให้กลิ่นรส เมื่อปริมาณผลึกเพิ่มมากขึ้นสารละลายที่มีสารให้กลิ่นรสละลายอยู่จะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวดและเริ่มตกผลึกโดยจับสารให้กลิ่นรสไว้ภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูป amorphous solid

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง เนื่องจากค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างสูง รวมถึงระยะเวลาการผลิตจะนานกว่าการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคอื่น

4) สเปรย์ชิลลิง (Spray chilling) และ สเปรย์คูลลิง (Spray cooling)

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคสเปรย์ชิลลิง และสเปรย์คูลลิ่ง นั้นมีลักษณะคล้ายกันโดยที่สารแกนกลางจะกระจายตัวอยู่ในสารละลายที่ใช้ในการเคลือบ จากนั้นทำการป้อนสารผสมที่ได้ผ่านหัวฉีด (atomizer) เพื่อทำให้เป็นละอองฝอย เทคนิคนี้ต่างจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ไม่มีการระเหยน้ำ โดยสารผสมระหว่างสารแกนกลางและสารห่อหุ้มจะถูกฉีดพ่นไปยังอากาศเย็น (cooling or chilling air) ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้สารห่อหุ้มเกิดการแข็งตัวรอบๆผิวของสารแกนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ดังนั้นเทคนิคการเปรย์ชิลลิง และสเปรย์คูลลิง จึงต่างกันที่ จุดหลอมเหลวของสารที่ใช้ในการเคลือบ โดยทั้งสองเทคนิคจะนิยมใช้ในการห่อหุ้มสารที่มีกลิ่นรส วิตามิน เกลือแร่ (mineral) เนื่องจากสามารถกำหนดจุดหลอมเหลวของสารห่อหุ้มทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อย (control release) สารแกนกลางได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการห่อหุ้มโดยวิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมอบ (bakery product), ซุปผง (dry soup mixes) และผลิตภัณฑ์มีส่วนผสมของไขมันสูง

5) เอกซ์ทรูชั่น (Extrusion)

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชั่นสามารถใช้ในการห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้ง่าย เช่นน้ำมะนาว (citrus oils) วิตามินซีและสีผสมอาหารเป็นต้น โดยสารที่เคลือบจะอยู่ในรูปของมวลคาร์โบไฮเดรตที่หลอมเหลว ข้อดีของการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชั่นคือ สามารถปกป้องสารให้กลิ่นรสให้มีความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตเมทริกซ์ (Carbohydrate matrices) ใน glassy state จะมีคุณสมบัติในการเป็น barrier ที่ดี

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชั่นจะเกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารให้กลิ่นรสในมวลคาร์โบไฮเดรตที่หลอมเหลว โดยย่านผสมจะถูกบังคับให้เคลื่อนผ่านหัวไดล์ (Die) ไปยังของเหลวซึ่งใช้ในการดึงน้ำออก (dehydrating liquid) ซึ่งจะทำให้สารห่อหุ้มเกิดการแข็งตัวและจับสารแกนกลางไว้ภายในของเหลวที่ใช้ในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ได้แก่ isopropyl alcohol ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นซึ่งมีความแข็ง (harden material) ซึ่งต้องนำไปผ่านขั้นตอนการทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆและทำให้แห้ง

การใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชั่นจะเป็นกระบวนการห่อหุ้มอย่างแท้จริง (true encapsulation) เนื่องจากสารแกนกลางจะถูกล้อมรอบด้วยตัวกลางที่ใช้เคลือบอย่างสมบูรณ์และเมื่อสัมผัสกับของเหลวที่ทำหน้าที่ดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบผิวจะแข็งตัวทำให้สารให้กลิ่นรสที่ติดอยู่ที่ผิวของผลิตภัณฑ์นั้นถูกกำจัดออกไปจนหมด การห่อหุ้มจึงเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้เป็นระยะเวลานาน (excellent shelf life) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเทคนิคนี้จะมีอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถเห็นได้ในลักษณะเป็นชิ้น (flavor pieces) ปัญหาของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เอ็กซ์ทรูชั่น คือ ไมโครแคปซูลที่ได้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ขนาดประมาณ 500-100 มิลลิเมตร ซึ่งไม่สามารถใช้ได้ในอุตสาหกรรมอาหารที่ต้องการเนื้อสัมผัสที่ละเอียด

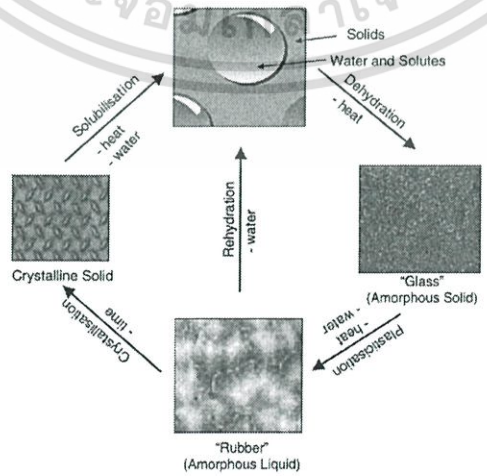
2.2.4 การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition)

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

Glass transition temperature

อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเป็นลักษณะคุณสมบัติของวัสดุอสัณฐาน โดยที่อุณหภูมิในการเกิดสถานะคล้ายแก้วนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของวัสดุ น้ำ หนักโมเลกุลของวัสดุ ความชื้นของวัสดุ เป็นต้น

การเกิดบริเวณที่เป็นผลึก หรืออสัณฐานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งเป็นการทำของเหลวให้เป็นละอองฝอย โดยภายหลังการระเหยน้ำออกจะเป็นของแข็งเกิดขึ้นภายในห้องอบแห้ง สอดคล้องตามหลักการดังรูป



รูปที่ 2.2 การเกิดโครงสร้างอสัณฐานและความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาสมดุลและไม่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

Material (moisture free)	Glass transition temperature (°C)	Constant (k_g)
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	

2.3 โฮโมจีไนเซชัน (Homogenization) (ณัฐวุฒิและคณะ, 2551)

การทำให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน คือ การผสมสารอย่างน้อย 2 ชนิด ให้มีขนาดของโมเลกุลเท่ากันหรือมีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุด หรือกล่าวได้ว่า การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันก็คือ การลดขนาดของวัตถุให้มีขนาดเล็กที่สุดก็ได้ เทคนิคการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันมีหลายอย่าง เริ่มตั้งแต่วิธีการขั้นพื้นฐาน อย่างเช่นการตัด การหั่น การบด การปั่น การโม่และการกวน จนกระทั่งเทคนิคการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค ซึ่งเป็นคลื่นเสียงความถี่สูง เพิ่งเร่งทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่แตกจนมีขนาดเล็กลง สำหรับในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แล้ว เครื่องมือที่ใช้ผสมตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน คือ เครื่อง Homogenizer และนอกจากเครื่องมือนี้จะใช้ผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวแล้วยังสามารถใช้เพื่อแตกเซลล์ได้อีกด้วย

Homogenizer หรือ เครื่องผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับก่อกำเนิดความเร็วสูงและแรงเฉือนสูง เพื่อลดขนาดวัตถุให้มีขนาดอนุภาคเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยการปั่น การตัด และผสมที่ความเร็วสูง เครื่อง Homogenizer สามารถใช้ได้กับตัวอย่างวัตถุหลายชนิด โดยจะใช้งานได้ดีกับผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นหรือปริมาณไขมันสูง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานหลายด้านทั้งงานด้านอาหาร งานในด้านอาหารมักใช้กับนม อาหารสำหรับเด็กอ่อน น้ำผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผลิตภัณฑ์ประเภทซอสปรุงรสต่างๆ ด้านยา ใช้ในการเตรียมตัวอย่างยา งานวิจัยทางชีวภาพและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น การบดและการโม่กระดาษ การผสมตัวอย่างและใช้ผสมผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นต้น นอกจากนี้ ยังนิยมใช้เครื่อง Homogenizer ในการแตกเซลล์ เพื่อนำตัวอย่างสารหรือองค์ประกอบภายในเซลล์ไปวิเคราะห์ด้วย

2.3.1 ทฤษฎีของโฮโมจีไนเซชัน (รุ่งนภา, 2547)

หลักการ คือ การให้ของไหลไหลผ่านช่องแคบที่บางมากด้วยความดันสูงและความเร็วสูงทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยส่วนใหญ่เป็นผลมาจากแรงเฉือนระหว่างผิวหน้าต่างๆ ของวาล์ว ขณะที่ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านช่องเล็กๆด้วยความเร็วสูง สำหรับขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์จะเป็นผลมาจากความแตกต่างของความเร็วของอนุภาคในแต่ละจุด ซึ่งมีความเร็วไม่เท่ากัน โดยความแตกต่างของความเร็วนี้ทำให้ของแข็งมีการบดซึ่งกันและกันด้วยแรงเฉือน จึงทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง

กลไกการแตกหรือปรากฏการณ์การทำให้อนุภาคแตกตัว (Disruption Phenomena) ขณะที่อนุภาคที่แขวนลอยหรือหยดของเหลวที่เป็นเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง ผ่านบริเวณที่ทำให้แตก กลไกการแตกต่างๆ อาจเกิดขึ้น ดังนี้

1. กลไกการเฉือนในการไหลแบบลามินาร์และเทอร์บูเลนท์

การไหลทุกชนิด เช่น การไหลที่เกี่ยวข้องกับความเสียดทาน ก่อให้เกิดแรงเฉือน (shearing stress) ต่ออนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในกระแส ในการไหลแบบลามินาร์ ความเครียดเหล่านี้เป็นสิ่งปกติและมีลักษณะหนืด แต่ในการไหลแบบเทอร์บูเลนท์ ความเครียดดังกล่าว เป็นสิ่งที่ไม่ปกติ ได้มรการพิสูจน์ด้วยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์พบว่า เทอร์บูเลนท์เป็นกลไกที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดการแตกตัวขึ้น

2. คาวิเตชัน

เมื่อความดันในระบบถูกลดลงต่ำกว่าความดันไอของของเหลว จะเกิดฟองของไอ (vapor bubbles) ซึ่งฟองของไอเหล่านี้จะแตก (collapse) ในบริเวณที่มีความดัน ณ ตำแหน่งใกล้เคียงที่สูงกว่า ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า คาวิเตชัน โดยการใช้ความดันประมาณ 5×10^6 ถึง 5×10^7 Pa ในวาล์วของการโฮโมจีไนเซชันความดันสูง คาวิเตชันจะเกิดขึ้นเสมอ ซึ่งพิสูจน์ได้จากการเสื่อมเสียของผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของวาล์วของการโฮโมจีไนเซชัน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากคาวิเตชัน การมีคาวิเตชันมีผลทำให้การแตกมากขึ้น เมื่อพลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากัน และทำให้กระบวนการโฮโมจีไนเซชันมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3.2 ประเภทและหลักการทำงานของ Homogenizer (ณัฐวุฒิและคณะ, 2551)

Homogenizer สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะการทำงานได้ 3 แบบ คือ

1. Rotor-Stator Homogenizer : โรเตอร์หรือสเตเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดแรงเฉือนสูง

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 ชนิดนี้ทำงานโดยการสร้างคลื่นความดันใน

ตัวอย่างของเหลว เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม คลื่นความดันนี้จะเป็นผลให้เกิดการสร้างฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากและระเบิดออกมาอย่างรุนแรง เกิดเป็นภาวะโพรงอากาศ (Cavitation) การระเบิดจะทำให้เกิดคลื่นกระแทก (Shock Wave) หรือเกิดเป็นคลื่นอัลตร้าโซนิค ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีพลังงานมากพอที่จะทำให้ตัวอย่างในของเหลวเกิดการแตกกระจายเป็นชิ้นเล็กๆได้ คลื่นอัลตร้าโซนิคที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ในช่วงความถี่ 18 – 30 กิโลเฮิร์ต ซึ่งป็นช่วงความถี่ที่หูมนุษย์ไม่สามรถได้ยิน และทำให้เกิดแรงดันได้มากกว่า 500 บรรยากาศและอุณหภูมิมากกว่า 5,000 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปแล้ว เครื่องมือที่ใช้กำเนิดคลื่นอัลตร้าโซนิคทุกชนิด จะมีโครงสร้างการทำงานพื้นฐานคล้ายๆกัน แต่อาจมีข้อแตกต่างกันเล็กน้อยตามความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน ปริมาตรของตัวอย่าง และข้อจำกัดของพื้นที่การทำงาน

สำหรับเครื่อง Homogenizer แบบอัลตร้าโซนิค จะมี Piezoelectric Transducer เป็นตัวเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลและเกิดการสั่น ส่งผ่านลงสู่ของเหลวโดย Probe ที่จุ่มอยู่ในของเหลว แล้วจึงเกิดเป็นคลื่นอัลตร้าโซนิค เพื่อใช้สำหรับลดขนาดให้วัตถุกลายเป็นเนื้อเดียวในที่สุด

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

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 มัสตารฺต และสารแต่งกลิ่นต่างๆ
4. อุตสาหกรรมการเคลือบ ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท สี หมึก ขี้ผึ้ง (wax) แอสฟัลต์ (น้ำมันดิบ สำหรับเคลือบถนน) แลกเกอร์ และเรซิน
5. อุตสาหกรรมสิ่งยึดติด ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทเรซินเชื่อมวัตถุ (Epoxy) โพลียูริเทน และซิลิกอน และอุตสาหกรรมเคมี ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทพลาสติก และยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การแตกเซลล์

เซลล์เป็นหน่วยย่อยที่สุดของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ ผนังเซลล์, เยื่อหุ้มเซลล์, ไซโตพลาสซึม, นิวเคลียส และออร์แกเนลอื่นๆ ภายในไซโตพลาสซึม มีองค์ประกอบหลายอย่าง ได้แก่ กรดนิวคลีอิก, โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต, ไขมัน, เอนไซม์, เม็ดสี และน้ำ ในการที่จะแยกองค์ประกอบต่างๆของเวลล์ออกมาศึกษานั้น จำเป็นต้องทำลายผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ออกก่อน ในบางครั้งเซลล์อาจจะหลั่งสารที่ต้องการศึกษาออกมาได้ แต่ส่วนใหญ่แล้ว เซลล์ต้องถูกทำให้แตกก่อนเพื่อให้ส่วนประกอบภายในเซลล์หลุดออกมา การแตกเซลล์เป็นขั้นตอนที่สำคัญและต้องระวังเป็นพิเศษ กระบวนการทำต้องรวดเร็วและนุ่มนวล เพื่อไม่ทำให้องค์ประกอบภายในเซลล์ที่หลุดออกมาเสียหายและยังมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีครบถ้วน เครื่อง Homogenizer ประเภทที่นิยมใช้กับการแตกเซลล์ คือ เครื่อง Homogenizer ชนิด Ultrasonic เพราะสามาถให้กำเนิดแรงเฉือน จากคลื่นความถี่สูงได้ โดยที่ไม่ทำลายองค์ประกอบอื่นของเซลล์ โดยเซลล์แต่ละชนิดจะใช้คลื่นความถี่สูงต่างกันในการแตกเซลล์ หรือใช้เครื่อง Homogenizer ที่มีหัวปั่นเป็นแก้วโบโรซิลิเกตก็ได้

2.4 อิมัลชัน (Emulsion) (รุ่งนภา, 2547)

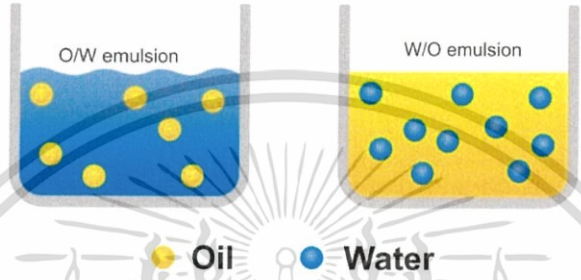
อิมัลชันของของเหลว – ของเหลว มี 2 ชนิด คือ น้ำมันในน้ำ (o/w) เช่น นม และ น้ำในน้ำมัน (w/o) เช่น มาร์การีน อิมัลชันเหล่านี้ค่อนข้างจะเป็นอิมัลชันแบบง่ายๆ ส่วนอิมัลชันที่ซับซ้อนขึ้นมักพบในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ไอศครีม ไส้กรอก และเค้ก

ในอิมัลชันของของเหลวส่วนใหญ่ แม้ว่าของเหลว 2 ชนิด ที่มาผสมกันคือ น้ำและน้ำมัน แต่ระบบที่น้ำบริสุทธิ์และน้ำมันบริสุทธิ์มาผสมกันมีน้อย เช่น เฟสของน้ำอาจประกอบด้วยสารละลายเกลือ น้ำตาล และสารอินทรีย์หรือสารคอลลอยด์ต่างๆ (สารประกอบไฮโดรฟิลิค) ส่วนเฟสของน้ำมันอาจประกอบด้วยน้ำมัน ไฮโดรคาร์บอน ไข เรซิน และสารอื่นๆ ที่คล้ายน้ำมัน (สารประกอบไฮโดรโฟบิค) นอกจากนี้ อาจมีสารตัวที่ 3 เรียกว่าสาร อิมัลไฟอิ้ง (emulsifying agent) ร่วมอยู่ด้วยเพื่อทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น สารอิมัลซิไฟอิ้งอาจมีอยู่ในอาหารเองหรือเติมเข้าไปในระหว่างกระบวนการแปรรูป

เมื่อน้ำและน้ำมันผสมกัน จะเกิดอิมัลชันได้ 2 ชนิด ขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายตัวและปริมาณของสารทั้ง 2 ชนิด เช่น ถ้าน้ำมันเป็นเฟสที่กระจายหรือเป็นเฟสไม่ต่อเนื่อง จะเกิดอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (o/w) หรือถ้าน้ำเป็นเฟสไม่ต่อเนื่อง จะเกิดอิมัลชันชนิดน้ำน้ำในน้ำมัน (w/o) ซึ่งอิมัลชันที่เกิดขึ้นมีกจะแสดงคุณสมบัติส่วนใหญ่ของของเหลวที่เป็นเฟสต่อเนื่อง เช่น อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ อาจทำให้เจือจางด้วยน้ำ ทำให้เกิดสีได้ด้วยสีที่ละลายน้ำและแสดงคุณสมบัติการนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สอดคล้องกับเฟสของน้ำ (aqueous phase) ในทางตรงกันข้าม อิมัลชันของน้ำในน้ำมันก็สามารถทำให้เจือจางด้วยน้ำมัน ทำให้เกิดสีด้วยสีที่ละลายได้ในน้ำมันและมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ อิมัลชัน 2 ชนิดที่มีองค์ประกอบคล้ายกันจะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันอย่างมากขึ้นกับว่าน้ำหรือน้ำมันเป็นเฟสต่อเนื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อชนิดของอิมัลชันที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำและน้ำมันผสมกัน ได้แก่ ชนิดของสารอิมัล-ซิไฟอิ้ง สัดส่วนของเฟสทั้งสอง และวิธีการเตรียมอิมัลชัน



รูปที่ 2.3 ชนิดของอิมัลชัน

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน ได้แก่

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

2.4.1 แรงตึงผิว (interfacial tension) (วิไล, 2546)

ความตึงผิวระหว่างเฟสต่อเนื่องและเฟสกระจายยิ่งสูงเท่าไหร่ก็จะยิ่งทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความคง

ตัวได้ยากมากขึ้นเท่านั้น สารมัลซิไฟเออร์ที่เติมหรือที่มีอยู่ในอาหารจะสร้างมิเซลล์ (micelle) อยู่รอบๆอนุภาคของเฟส กระจายทำให้ช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสและยังช่วยป้องกันอนุภาคเล็กๆ เหล่านี้ไม่ให้รวมตัวกันด้วย การบีบอัดและเฉือนอย่างรุนแรงด้วยพลังงานที่ได้จากเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ทำให้อนุภาคเหล่านี้มีขนาดเล็กลง สารอิมัลซิไฟเออร์จึงเป็นสารที่ช่วยลดพลังงานที่ต้องใช้ในการทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมัลชัน โดยทั่วไปอนุภาคที่กระจายอยู่ในอาหารอิมัลชัน ส่วนใหญ่จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์อยู่ระหว่าง 0.1 – 10 ไมโครเมตร

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

สารอิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่ 2 ชนิด ในการทำให้เกิดอิมัลชัน (อิมัลซิฟิเคชัน) คือ ช่วยลดแรงตึงระหว่างผิวหน้าของของเหลวต่างๆ ที่จะเกิดเป็นอิมัลชัน และป้องกันการรวมตัวของอนุภาคต่างๆ ของเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง ในอิมัลชันที่เกิดขึ้นแล้ว สารที่ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์มีอยู่เป็นจำนวนมากและมีคุณสมบัติแตกต่างกัน อิมัลชันที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ เอสเทอร์ของกลีเซอรอล โพรพีลีนไกลคอล เซลลูโลสอีเทอร์ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส และอื่นๆ ส่วนของแข็ง ได้แก่ เบนโตไนท์ 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 หรือเป็ยข้อมูลเบื้องต้นสำหรับระบบอิมัลชันที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ระบบอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน

สารอิมัลซิไฟเออร์ควรจะระบุในรูปชนิดของอิมัลชันที่เกิด ถ้าใช้ในอาหาร สารอิมัลซิไฟเออร์ควรจะไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสี และต้องไม่เป็นพิษ ในหลายประเทศก็มีการควบคุมการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ในอาหาร สารอิมัลซิไฟเออร์ควรมีความคงตัวทั้งทางเคมีและทางกายภาพภายใต้สภาวะต่างๆ ของการแปรรูป การจัดการและการเก็บ และควรมีราคาถูก

สารให้ความคงตัว (stabilizer) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ประเภทโพลิแซคคาไรด์ซึ่งจะละลายในน้ำ เพื่อให้สารละลายเหนียวหนืดหรือเป็นเจล การเพิ่มความหนืดและปฏิกิริยาที่สลับซับซ้อนระหว่างอนุภาคของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ ทำให้เกิดร่างแห 3 มิติ ซึ่งจะทำให้อิมัลชันมีความคงตัวและป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคเล็กๆ เหล่านี้ สำหรับอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมันนั้น จะมีเพียงเซลลูโลสซึ่งเป็นผนึกเล็กๆ และผงเซลลูโลสเท่านั้นที่สามารถทำให้อิมัลชันแบบนี้มีความคงตัวได้

2.4.3 หลักการทั่วไปในการทำให้เกิดอิมัลชัน (วิไล, 2546)

การเกิดอิมัลชัน จะต้องมีงานมากระทำต่อระบบเพื่อให้ชนะความต้านทานที่ก่อให้เกิดผิวร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างเฟสขึ้นมาใหม่ ในทางทฤษฎี งานของการทำให้เกิดอิมัลชันเทียบเท่ากับผลคูณของผิวที่เกิดขึ้นใหม่กับแรงตึงระหว่างผิวหน้า นอกจากนี้ พลังงานที่ต้องใช้ยังรวมถึงพลังงานที่ให้ของเหลวเคลื่อนที่ (in motion) และชนะความต้านทานอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานที่พื้นผิวของเครื่องมือ โดยทั่วไปงานที่กับของเหลวกระทำได้โดยการกวนอย่างแรง ชนิดของการกวนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอิมัลซิฟิเคชันคือ ชนิดที่ทำให้อนุภาคขนาดใหญ่ของเฟสไม่ต่อเนื่องได้รับแรงเฉือน ในลักษณะเช่นนี้อนุภาคจะเสียรูปและแตกออกเป็นขนาดที่เล็กลง ทำให้มีการกระจายตัวที่ละเอียดกว่า ถ้าสภาวะที่เหมาะสมฟิลม์ของอิมัลซิไฟเออร์ที่ทำหน้าที่ป้องกันดังกล่าว จะถูกดูดซับที่ระหว่างผิวหน้าร่วมของทั้ง 2 เฟส และอิมัลชันที่คงตัวจะเกิดขึ้น

เวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดอิมัลซิฟิเคชันจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสูตรของอิมัลชันและเทคนิคที่ใช้ และมักจะได้จากการทดลอง ในแต่ละกรณีของอิมัลซิฟิเคชันจะมีช่วงเวลาที่เหมาะสม ถ้าต่ำกว่าเวลาดังกล่าว อิมัลชันที่เกิดขึ้นค่อนข้างจะไม่คงตัว แต่ถ้าการกวนดำเนินต่อไปเกินระยะเวลาที่เหมาะสม อิมัลชันอาจได้รับความเสียหาย เนื่องจากฟิลม์ที่ทำหน้าที่ป้องกันนั้นเกิดการเสื่อมเสียด้วยการกวนที่มากเกินไป

ในการเตรียมอิมัลชันควรจะพิจารณาถึงสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้จะต้องเหมาะกับชนิดของอิมัลชันที่ต้องการ เช่น o/w หรือ w/o เปอร์เซนต์ของปริมาตรของเฟสไม่ต่อเนื่องและอุณหภูมิของการเตรียม เนื่องจากแรงตึงระหว่างผิวและความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้จะต้องอยู่กับความไวต่อความร้อนขององค์ประกอบในอาหาร ในกรณีของการผลิตภัณฑ์นม อุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรเกิน 70°C หรือในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น มายองเนส จะมีองค์ประกอบของไข่แดงอยู่ด้วย จึงต้องทำเป็นอิมัลชันที่อุณหภูมิต่ำมาก

โดยทั่วไป มักเตรียมทั้งสองเฟสแยกกัน แล้วจึงเติมสารอิมัลซิไฟเออร์เข้าไปยังเฟสต่อเนื่องแต่ก็มีข้อยกเว้น พวกกัมและคอลลอยด์ที่เป็นไฮโดรฟิลิคบางชนิดกระจายตัวได้ดีที่สุดในเฟสของน้ำมันเพื่อลดการขยายตัวและการเกาะเป็นก้อนให้น้อยที่สุด เมื่อมีการผสมเฟสต่างๆ เฟสไม่ต่อเนื่องจะค่อยๆ เติมเข้าไปยังเฟสต่อเนื่อง ขณะที่เฟสต่อเนื่องถูกกวน

2.5 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying)

2.5.1 หลักการทำงาน (ธงไชย และคณะ, 2556)

เป็นเทคนิคการทำแห้งที่ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเครื่องมือหาง่าย ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าวิธีการอื่น ๆ หลักการของระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอยเริ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากอากาศจะถูกดูดผ่านตัวกรองอากาศและผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศให้สูงขึ้นเป็นลมร้อนส่งเข้าห้องทำแห้ง ส่วนอาหารเหลวจะถูกดูดผ่านปั๊มไปยังหัวอัดฉีดภายในห้องอบแห้งเพื่อทำให้เป็นละอองฝอย ทำให้ละอองฝอยของอาหารสัมผัสกับลมร้อนเกิดการระเหยของน้ำในละอองฝอยอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่ากระเปาะเปียกเล็กน้อย อนุภาคที่แห้งของอาหารจะลอยกระจายในลมร้อนแล้วเข้าสู่เครื่องแยกไซโคลนออกจากเครื่องเป็นผลิตภัณฑ์ผง สำหรับตัวอย่างอาหารเหลวที่นำมาทำแห้งนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่เป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Solution) หรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Non- Homogeneous Solution) อาหารเหลวที่ป้อนเข้าไปจะถูกควบคุมให้เหมาะสมกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งปัจจัยที่ถูกควบคุมให้เหมาะสมกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่น ความหนืด ความเข้มข้น องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ลักษณะการไหล ชนิดหัวอัดฉีด การส่งผ่านความร้อนและมวล การแยกอาหารแห้งออกจากกระแสลม เป็นต้น (ณัฐวุฒิ และคณะ, 2551)

2.5.2 ห้องทำแห้ง (ณัฐวุฒิ และคณะ, 2551)

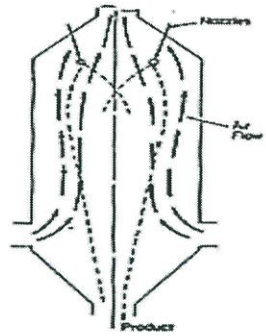
อากาศที่ถูกดูดผ่านระบบการกรองทำให้ร้อนจะปะทะเข้ากับอาหารเหลวที่ถูกพ่นออกมาในบริเวณนี้เพื่อให้เกิดการทำแห้งโดยการสัมผัสกันระหว่างอากาศร้อนและอาหารเหลว ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้หลายทิศทาง

ลักษณะการไหลเวียนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 4 ประเภท

1. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลสวนทางกัน

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลสวนทางกัน อากาศถูกนำเข้าเครื่องทางด้านล่างของห้องทำแห้งในขณะที่อาหารเหลวจะถูกพ่นออกมาทางด้านบนของห้องทำแห้ง โดยที่อากาศร้อนจะเคลื่อนที่ออกทางด้านบนซึ่งมีอุณหภูมิสูง โดยสัมผัสโดยตรงกับอาหารเหลว ข้อเสียของเครื่องทำแห้งประเภทนี้คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะลดลงเนื่องจากอุณหภูมิของอากาศมีผลต่อผลิตภัณฑ์และอัตราการไหลที่ทำได้น้อยเนื่องจากป้องกันการไหลติดกันไปของอาหารเหลวและอากาศที่ถูกดูดออกทางด้านบนของเครื่อง

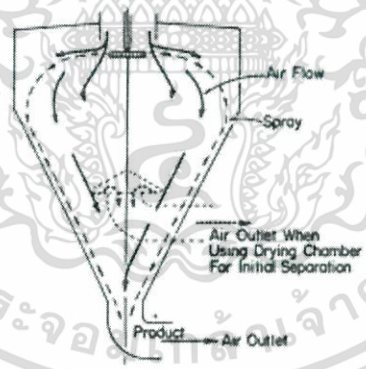
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลสวนทางกัน (ไทร์ท และคณะ, 2551)

2. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน จะมีการผสมของอากาศและของเหลวโดยหัวอัดฉีด ผลิตภัณฑ์อาหารและอากาศจะไหลไปในทิศทางเดียวกันโดยกระบวนการการทำแห้งจะดำเนินต่อไปโดยผลิตภัณฑ์อาหารและอากาศจะไหลออกทางด้านล่างผ่านทางแยก การจัดการเช่นนี้เหมาะแก่การใช้กันผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อนเนื่องจากผลิตภัณฑ์เหลวจะสัมผัสกับอากาศน้อยที่เข้ามาแต่ผลิตภัณฑ์แห้งจะสัมผัสกับอากาศที่ลดอุณหภูมิต่ำลงมาก

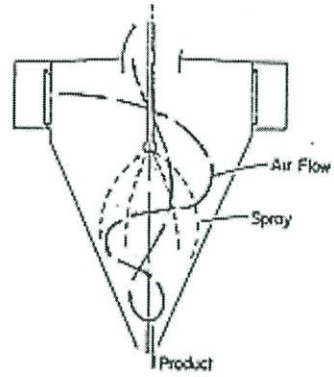


รูปที่ 2.5 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน (ไทร์ท และคณะ, 2551)

3. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน ผลิตภัณฑ์จะเข้าเครื่องด้วยหัวอัดฉีดบริเวณศูนย์การของห้องทำแห้ง อากาศจะไหลเข้าทางด้านบนมาสัมผัสกับอาหารก่อนที่จะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนไปยังช่องอากาศภายนอก ผลิตภัณฑ์แห้งจะได้ออกทางด้านล่างของห้องอบแห้ง อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่สูงจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ แต่ลักษณะแบบนี้จะทำให้อัตราการระเหยต่อหน่อยปริมาณสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน (ไทร์ท และคณะ, 2551)

4. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลขนานกัน

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลขนานกันการไหลของผลิตภัณฑ์และอากาศจะไหลอย่างสม่ำเสมอจากทางด้านบนสู่ด้านล่างในห้องทำแห้งที่แคบ ผลิตภัณฑ์แห้งและอากาศจะออกจากห้องทำแห้งด้วยกัน และเคลื่อนที่ไปยังระบบแยก ลักษณะการไหลแบบนี้แตกต่างจากการไหลตามกันคือความเร็วลมที่ใช้สูงอยู่ที่ 2-3 เมตรต่อวินาที ทำให้อุณหภูมิขาเข้าสูง

2.5.3 หัวอัดฉีด

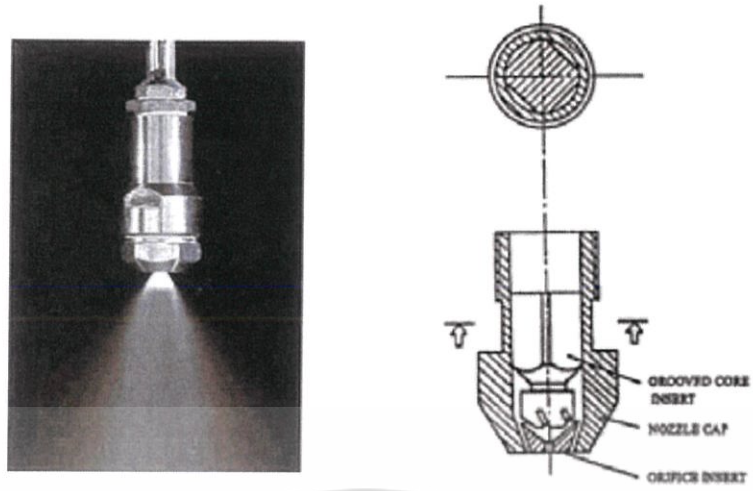
หัวอัดฉีด มีหน้าที่ทำให้อาหารเหลวแตกตัวเป็นละอองฝอย เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับความร้อนให้มากขึ้นและยังเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของอาหารเหลวไปยังห้องอบแห้ง ซึ่งเป็นทั้งตัวกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้และขนาดอีกด้วย ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยหัวอัดฉีด หรือหัวอัดฉีดมีหลายระบบด้วยกัน ซึ่งในแต่ละระบบนั้นมีผลของคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันการเลือกชนิดของตัวทำละออกนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของเหลวเริ่มต้น 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

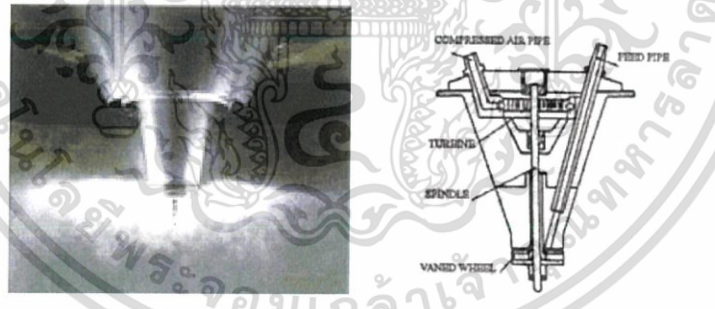
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 หัวฉีดแรงดันสูง (Centrifugal Pressure Nozzle) (ไทร์ท และคณะ, 2551)

2. หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง (Rotary Atomizers)

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



รูปที่ 2.8 หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง (Rotary Atomizers) (ไทร์ท และคณะ, 2551)

3. หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด (Two – Fluid Atomizers)

เป็นการใช้กระแสก๊าซความแรงสูงเพื่อให้กระทบอาหารเหลวที่ความเร็วต่ำ และจึงแตกออกเป็นละอองฝอย โดยทั่วไปหัวฉีดเหล่านี้มักใช้กำลังมากและอาจไม่ประหยัดที่ความจุสูง หยดของเหลวละเอียดเล็ก ๆ สามารถเกิดขึ้นที่อัตราการไหลต่ำและใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ความหนืดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ไซโคลน (Cyclone)

เมื่อมีการระเหยเกิดขึ้นเสร็จสิ้นแล้ว ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะถูกดูดขึ้นมาตามท่อลมจากด้านล่างของห้องทำแห้ง ซึ่งเรามีการแยกอากาศที่ออกการห้องทำแห้งกับอาหารผงโดยไซโคลนอาศัยหลักการจากแรงเหวี่ยง

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 หรือติดอยู่ตามผนังของห้องทำแห้งส่งผลให้ค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ต่ำลง และเกิดปัญหาในกระบวนการ เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภท น้ำผัก ผลไม้ พวกน้ำตาลแลกโตส

2.5.6 ปัจจัยในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้

2.5.6.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

ในสภาวะที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ อุณหภูมิของอากาศขาเข้าและขาออกจะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการอบแห้งเนื่องมาจากการที่อุณหภูมิขาเข้าสูงขึ้นจะเป็นการเพิ่มแรงขับ (Driving Force) ของน้ำที่จะระเหยออกไป ส่งผลให้ความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งสูงขึ้น ทั้งนี้หากต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสุดท้ายเพียงค่าหนึ่งเท่านั้นเพื่อที่จะได้ สมบัติทางกายภาพและเคมีตามที่ต้องการ จึงจำเป็นที่จะต้องจำกัดอุณหภูมิอากาศออกให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้แน่นอน หรือในกรณีที่สภาวะการทำงานโดยมีอุณหภูมิอากาศออกต่ำจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูง เพื่อป้องกันมิให้ผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นในระหว่างการเก็บ

2.5.6.2 ความเข้มข้น

ที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ หากทำการเพิ่มปริมาณของแข็งในสารละลายที่ป้อนเข้าสู่ระบบ จะส่งผลโดนตรงต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ อันเนื่องมาจากปริมาณของแข็งในอนุภาคฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่ง ๆ มากขึ้นจะส่งผลให้อัตราส่วนของแข็งต่อความชื้นเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการระเหยของน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีความชื้นลดลง

2.5.6.3 อัตราการป้อน

ในกรณีที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่การเพิ่มอัตราการป้อนจะทำให้ขนาดของอนุภาคในการพ่นฝอยมีขนาดใหญ่และความหนาแน่นต่ำ และในกรณีที่อัตราการไหลและปริมาณของอากาศร้อนขาเข้ามีค่าคงที่ การเพิ่มอัตราการป้อนจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นเพิ่มขึ้น

2.5.6.4 การไหลเวียนของลมร้อน

การปรับเปลี่ยนการไหลเวียนของลมร้อนจะทำให้ความดันภายในห้องอบลมร้อนเปลี่ยนไป ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อปริมาณการระเหยของไอน้ำ จึงทำให้ระดับการหมุนเวียนของลมร้อนในห้องอบส่งผลต่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทำแห้ง โดยหากให้อัตราการไหลเวียนของลมร้อนสูงขึ้นทำให้ไซโคลนมีประสิทธิภาพในการแยกสูงขึ้น

2.5.6.4 ปั้ม

การเพิ่มความเร็วปั้มจะส่งผลให้อัตรามวลเข้าระบบสูงขึ้น จึงทำให้ต้องใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกมากขึ้นทำให้อุณหภูมิทางออกลดลงทำให้อนุภาคไม่แห้งพอเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเหนียวหนืด

2.5.6.4 อัตราการพ่น

ปริมาณลมที่ใช้ในการอัดให้ของเหลวเกิดการกระจาย มีผลโดยตรงต่อขนาดผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลงและมีความเข้มข้นสูงขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความแห้งและพรุนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ปี 2548 Fuch และคณะ ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันพืชดอกทานตะวัน 5% ของความเข้มข้นอิมัลชัน และใช้มอลโตเด็กซ์ตรินและอคาเชียกัมในอัตราส่วน 3:2 เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ในกระบวนการทำเอนแคปซูเลชันนั้นประกอบด้วย3 ขั้นตอนคือ การทำอิมัลชัน การอบแห้งแบบพ่นฝอยและการทำให้เกิดการรวมตัวกันด้วยฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งแบบพ่นฝอยและการทำให้เกิดการรวมตัวกันด้วยฟลูอิดไดซ์เบดจะมีการวิเคราะห์คุณสมบัติของผงที่ได้ทั้งก่อนและหลังการทำให้เกิดการรวมตัวกัน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในเอนแคปซูเลชันคือ ที่เปอร์เซนต์ความเข้มข้นอิมัลชัน 40% และอุณหภูมิขาเข้าและขาออกคือ 220 และ 100 ตามลำดับ และการทำให้เกิดการรวมตัวด้วยฟลูอิดไดซ์เบด

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

ปี 2556 Paola Roccia และคณะ ได้ศึกษาการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของผงน้ำมันทานตะวัน โดยการใช้โครงสร้างของน้ำมันทานตะวันและวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว ในการวิเคราะห์คุณภาพของผงน้ำมันทานตะวัน มอลโตเด็กซ์ตรินและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส ถูกนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้ม ในส่วนของการเตรียมอิมัลชันได้นำถั่วเหลืองเลซิติน (0.15%) มาเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และนำน้ำมันดอกทานตะวัน มอลโตเด็กซ์ตริน หรือ ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส มาผสมใน อัตราส่วน 2: 1 (มอลโตเด็กซ์ตริน / ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส : น้ำมันดอกทานตะวัน) ก่อนไปทำการทดลองด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยปัจจัยในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีอิทธิพลต่อน้ำมันทานตะวันและทำให้คุณภาพของน้ำมันทานตะวันดีที่สุดได้แก่ สภาวะที่มี อุณหภูมิของอากาศขาเข้า เท่ากับ 163 องศาเซลเซียส อัตราปริมาตรการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 279 ลิตรต่อชั่วโมง อัตราการป้อนของอิมัลชัน เท่ากับ 10 และ อัตราการไหลของอากาศแห้ง เท่ากับ 100%

ปี 2557 Jimenes M.T. และคณะ ศึกษาหาสารห่อหุ้มที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันของน้ำมันมะกอกโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย อิมัลชันเป็นแบบน้ำมันในน้ำ แบ่งอิมัลชันเป็น 8 อิมัลชัน อิมัลชันเข้มข้น 40% เป็นน้ำมัน 4% และเป็นสารห่อหุ้ม 36% โดยใช้สารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน คือ มอลโตเด็กซ์ตริน, อะคาเซีย กัมและอินนูลิน ผสมที่อัตราส่วนที่แตกต่างกัน จากนั้นทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยโรเตอร์-สตาเตอร์ โฮโมจีไนเซชัน การอบแห้งแบบพ่นฝอยในการทดลองใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและขาออก คือ 180 องศาเซลเซียลและ 90 องศาเซลเซียล ตามลำดับ อัตราการป้อนของอิมัลชัน 57 กรัมต่อนาที ปัจจัยที่ศึกษาในการเอนแคปซูเลชัน คือ อุณหภูมิขาเข้า อุณหภูมิขาออก อัตราส่วนของอิมัลชัน อัตราการป้อนของอิมัลชัน โดยจะวิเคราะห์ ความหนาแน่น ขนาด ขนาดการกระจายตัว ความสามารถในการไหล ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ค่าความหนืด การดูด-คายความชื้น จากผลการทดลองคุณสมบัติของอิมัลชันแห้งที่ได้ในการใช้สารอะคาเซียกัมผสมกับมอลโตเด็กซ์ตรินหรืออินนูลิน จะทำให้ได้อิมัลชันเริ่มต้นมีความเสถียรภาพ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะเพิ่มขึ้น

ปี 2554 Laohasongkram และคณะ ได้ศึกษากระบวนการเอนแคปซูเลชันน้ำมันแมคคาเดเมียโดยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย ออกแบบการทดลองด้วย response surface methodology (RSM) โดยใช้โซเดียมแคซิเนตกับมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นสารห่อหุ้ม และ น้ำมันแมคคาเดเมียเป็นสารแกนกลาง ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาคือ อัตราส่วนระหว่างโซเดียมแคสิเนตกับมอลโตเด็กซ์ตริน (1:2 , 1:3 และ 1:4), อัตราส่วนระหว่างสารห่อหุ้มกับสารแกนกลาง (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) ผงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งนำมาวิเคราะห์ ความชื้น, ความหนาแน่นรวม, ค่าเพอร์ออกไซค์ และปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งผลการวิคราะห์พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันแมคคาเดเมียคือที่ อัตราส่วนระหว่างโซเดียมแคซิเนตกับมอลโตเด็กซ์ตริน 1:4 , อัตราส่วนระหว่างสารห่อหุ้มและสารแกนกลาง 60:40 , ความดันของเครื่องโฮโมจีไนซ์ 200 bar และ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้ง 167 องศาเซลเซียส

ปี 2557 Tuyen K. และคณะ ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชั่นน้ำมันฟักข้าวด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยออกแบบการทดลองด้วย response surface methodology (RSM) ผลการวิจัยพบว่ารูปแบบการตอบสนองพื้นผิวเพียงพอที่จะสามารถอธิบายและบอกถึงประสิทธิภาพการห่อหุ้ม(%EE)ได้ โดยใช้เวย์โปรตีนและกัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยภายใต้สภาวะอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 154 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมร้อนขาออก 80 องศาเซลเซียส ค่าการตอบสนองของตัวแปร(R^2) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชั่น 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 สมบัติการคืนตัว และการทดสอบทางเคมีและกายภาพ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ผงของน้ำมันฟักข้าวพบว่า มีค่า เบต้าแคโรทีน, ปริมาณไขมันอิสระ และ ไลโคปีนสูงและสีที่ได้มีสีแดงเหลืองน่ารับประทาน สามารถนำไปใช้เป็นอาหารเสริมได้

ปี 2551 Seid Mahdi Jafari และคณะ ศึกษาดูอนุภาคนาโนในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันปลาโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย เตรียมอิมัลชันโดยการโฮโมจีไนซ์เซชั่นด้วย เทคนิค Microfluidization และ Ultrasonication ที่พลังงานสูง เพื่อตรวจหาประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลชั่นของสารห่อหุ้ม ซึ่งทั้งปริมาณน้ำมันที่ผิวและปริมาณน้ำมันที่ถูกห่อหุ้มเป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญในกระบวนการเอนแคปซูเลชั่นด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ มอลโตเด็กซ์ตริน ร่วมกับ ไบโอพอลิเมอร์(เวย์โปรตีน) เป็นสารห่อหุ้ม ในอัตราส่วน 3:1 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การเตรียมสารอิมัลชั่นด้วยเทคนิค Microfluidization น้ำมันปลามีประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันต่ำสุด ใช้ช่วงอนุภาคนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

น้ำซุปหมู ความเข้มข้น 15 °Brix ปริมาณ 500 กรัมต่อการทดลอง1

รูปที่ 3.1 น้ำซุปหมู

3.2 วัสดุและอุปกรณ์

1) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย รุ่น JCM Minilab SDE-10
2) หม้อและทัพพีสแตนเลส
3) เครื่องแก้วต่างๆ ได้แก่ บีกเกอร์ หลอดทดลอง แท่งแก้วคนสาร
4) ไฮโกรมิเตอร์ ยี่ห้อ DIGICON รุ่น HT-770 และ ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 971
5) เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA114
6) เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UX3200G
7) ถ้วยอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น
8) เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ ยี่ห้อ AQUA LAB รุ่น MODEL SERIES 3TE
9) ถุงสูญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10) ตู้แช่เย็น

11) เทอร์โมมิเตอร์

12) เครื่องวัดความเร็วรอบ

13) 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) โซเดียมไธโอซัลเฟต

3.4 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนสำคัญของกระบวนการ

1. เตรียมน้ำซุปหมูที่มีความเข้มข้นร้อยละ 15 °Brix ปริมาณ 500 กรัม ต่อการทดลอง1 สภาวะ ส่วนที่ยังไม่ได้นำมาทดลองจะนำไปแช่งแข็งในตู้เย็น เพื่อป้องกันการเสียหายของตัวน้ำซุป

2. ปรับอัตราส่วนระหว่างน้ำซุปหมูกับปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ระดับร้อยละ 20 , 25 , 30 โดย น้ำหนัก (เติมมอลโตเด็กซ์ตริน)

3. ควบคุมอุณหภูมิขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 3 ระดับ 180 190 200 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมิขาออก 70 องศาเซลเซียส

4. ศึกษาอิทธิพลปัจจัยและเงื่อนไขผลคุณภาพ วัดของผงน้ำซุปหมู ได้แก่ ความชื้น , ปริมาณผลผลิตที่ได้ ,ปริมาณน้ำอิสระ (aw) ,ปริมาณไขมัน, ค่าเพอร์ออกไซด์ (ค่าที่ใช้ในการวัดการเกิดลิปิดอกซิเดชัน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเหม็นหืน), โครงสร้างจุลภาค

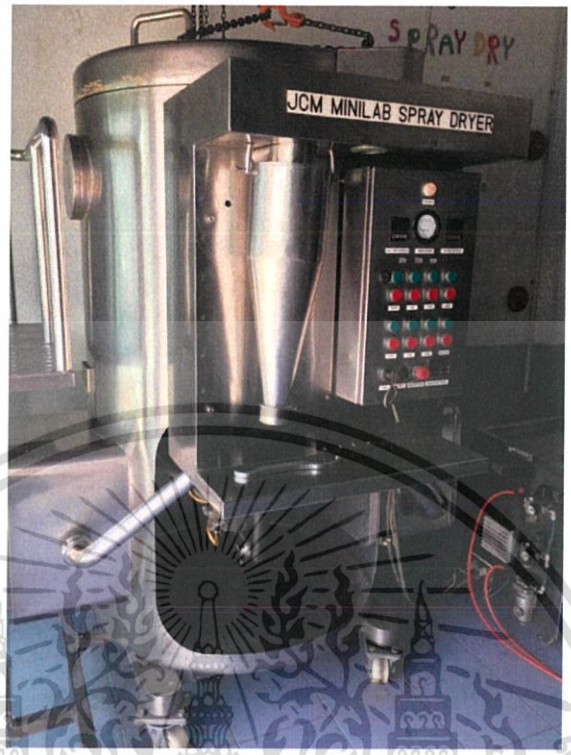
5. บันทึกผล และเปรียบเทียบผลการทดลอง

3.4.1 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองแบ่งเป็น 9 สภาวะคือ อัตราส่วนของน้ำซุปหมูกับสารมอลโตเด็กซ์ตริน 3 อัตราส่วนคือร้อยละ 20,25,30 โดยน้ำหนัก และสภาวะอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ คือ 180,190

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 200 องศาเซลเซียส ติดตั้งส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังรูปที่ 3.3 ก่อนเปิดสวิตซ์เมน



รูปที่ 3.2 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

2. ตั้งค่าสถานะของเครื่องดังนี้

- ความดันหัวฉีดแบบของไหลสองกระแส (Two-fluid nozzle) 0.2 เมกกะปาสคาล
- อัตราการป้อนของปั๊ม 10 รอบต่อนาที
- อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า: 180, 190 และ 200 องศาเซลเซียส
- เครื่องดูดลม (Blower) 2300 Hz
- อัตราการไหลของอากาศ 37.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
- อุณหภูมิสารละลายที่ป้อน 30 องศาเซลเซียส

3. เริ่มต้นการทดลองด้วยการป้อนน้ำเปล่าเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย จนกระทั่งอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่

4. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่ จึงเริ่มป้อนวัตถุดิบสารละลายอิมัลชันน้ำมันรำข้าวที่เตรียมไว้เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และเปิดแฮมเมอร์ตลอดเวลาเพื่อป้องกันการติดค้างของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เก็บผลิตภัณฑ์ผงที่ได้บรรจุใส่ถุงพลาสติกแบบสุญญากาศ และซีลด้วยเครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวผงสัมผัสอากาศและนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพต่อไป

3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผงน้ำซุปหมู

การวิเคราะห์ผลแบ่งเป็นการวิเคราะห์แบ่งเป็นการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี และทางกายภาพ ด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.5.1 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005)

เครื่องมือ

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

การวิเคราะห์

1) อบถ้วยอลูมิเนียม ในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียล 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

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

3.5.2 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

เครื่องมือเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ ยี่ห้อ AQUA LAB รุ่น MODEL SERIES 3TE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์

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

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

เครื่องมือ

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง

การวิเคราะห์

ร้อยละผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน หาได้โดยการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้และปริมาณของแข็งในวัตถุดิบเริ่มต้น และนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากสมการ

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

3.5.4 ค่าเพอร์ออกไซด์ (AOAC, 2005)

เครื่องมือ

1) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง
2) ขวดรูปชมพู่
3) กระบอกตวง
4) หลอดฉีดยา
5) บิวเรต

การวิเคราะห์

1) ชั่งน้ำมันประมาณ 5 กรัม
2) เติมสารละลายคลอโรฟอร์มผสมกับกรดอะซิติก 30 มิลลิลิตร
3) เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 0.5 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร

5) เติมน้ำแป้ง 0.5 มิลลิลิตร

6) เขย่าให้สารละลายเข้ากัน แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟส 0.1 N

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

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟส (normal)

S = ปริมาณของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟสที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟสที่ใช้ไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การวางแผนการทดลอง

ออกแบบการทดลองแบบแฟคโทเรียล (ดังตารางที่ 3.2) โดยประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ อัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวและมอลโตเด็กซ์ตริน และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า โดยที่ อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตริน มี 3 ระดับ คือ 20 ,25 และ 30 ของน้ำหนักน้ำซุปหมู และ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ คือ 180 , 190 และ 200 องศาเซลเซียส ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทั้งหมด 27 การทดลอง

ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคโทเรียล

การทดลองที่	อัตราส่วนของน้ำมันรำข้าวและมอลโตเด็กซ์ตริน(%)	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)
1	20	180
2		190
3		200
4	25	180
5		190
6		200
7	30	180
8		190
9		200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองทำแห้งแบบพ่นฝอยเริ่มต้นโดยการเตรียมสารละลายน้ำซุปหมู ตามตารางการทดลอง และควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามเงื่อนไขการทดลอง

No.	อุปกรณ์	ตัวแปรปรับแต่ง	ตัวแปรควบคุม
1	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	180,190,200	-
2	อัตราส่วนน้ำซุปหมูต่อมอลโตเด็กซ์ตริน โดยน้ำหนัก (%)	20, 25,30	-
3	หัวฉีดสารละลาย	-	Two fluid nozzle
4	ความดันหัวฉีด (เมกกะปาสคาล)	-	0.2
5	อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)		37.8
6	อัตราการป้อนของปั๊ม (รอบต่อนาที)	-	10

4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงน้ำซุปหมู

จากการดำเนินการทดลองการทำแห้งครบทุกสภาวะแล้ว นำผลิตภัณฑ์น้ำผงน้ำซุปหมูมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีต่างๆ ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ และค่าเพอร์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงน้ำซุปหมูด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนน้ำซุปหมูต่อมอลโตเด็กซ์ตริน	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ	ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ (ร้อยละ)	ค่าเพอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูลย์ออกซิเจนต่อกิโลกรัมน้ำมัน)
1	180	20	3.43±0.09	0.198±0.07	38.08±1.53	2.06±1.34
2	190	20	3.26±0.16	0.152±0.02	46.67±2.00	2.00±0.19
3	200	20	3.17.±0.23	0.120±0.01	51.59±2.08	2.02±0.12
4	180	25	3.25±0.22	0.205±0.03	42.08±1.53	2.16±0.25
5	190	25	3.18 ±0.14	0.128±0.04	48.76±1.73	2.36±0.18
6	200	25	3.14.±0.23	0.132±0.04	56.56±2.08	2.18±0.24
7	180	30	3.17 ±0.08	0.204±0.04	47.67±2.00	2.26±0.25
8	190	30	3.07 ±0.22	0.157±0.03	55.03±2.08	2.42±0.34
9	200	30	3.01±0.19	0.097±0.01	63.56±2.08	2.45±0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

อัตราส่วนน้ำซุปหมูต่อมอลโตเด็กซ์ตริน(%)	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)		
	180	190	200
20	3.43±0.09	3.26±0.16	3.17.±0.23
25	3.25±0.22	3.18 ±0.14	3.14.±0.23
30	3.17 ±0.08	3.07 ±0.22	3.01±0.19

ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงน้ำซุปหมูที่ได้จากการทดลอง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 3.01- 3.43 ดังที่แสดงในตารางที่ 4.3 จากการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มขึ้น เนื่องจากลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีความสามารถในการระเหยน้ำและจับกับความชื้นได้ในปริมาณมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

อัตราส่วนน้ำมันซุปหมูต่อมอลโตเด็กซ์ตรินโดยน้ำหนัก(%)	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)		
	180	190	200
20	0.198±0.07	0.152±0.02	0.120±0.01
25	0.205±0.03	0.128±0.04	0.132±0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30	0.204±0.04	0.157±0.03	0.097±0.01

ปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผงน้ำซุปหมูที่ได้จากการทดลองพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.097 - 0.205 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มขึ้น เนื่องจากลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีความสามารถในการระเหยน้ำและจับกับความชื้นได้ในปริมาณมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้

อัตราส่วนน้ำมันซุปหมูต่อมอลโตเด็กซ์ตรินโดยน้ำหนัก(%)	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)		
	180	190	200
20	38.08±1.53	46.67±2.00	51.59±2.08
25	42.08±1.53	48.76±1.73	56.56±2.08
30	47.67±2.00	55.03±2.08	63.56±2.08

ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ในแต่ละสภาวะการทดลองพบว่าปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 38.08 – 63.56 โดยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของซุปหมูต่อมอลโตเด็กซ์ตริน และ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของน้ำซุปหมูต่อมอลโตเด็กซ์ตรินที่ลดลงปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ลดลง โดยปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้สูงสุดร้อยละ 63.56±2.08 นอกจากนั้นอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้เพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์

อัตราส่วนน้ำมันซุปหมูต่อมอลโตเด็กซ์ตรินโดยน้ำหนัก(%)	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)		
	180	190	200
20	2.06±1.34	2.00±0.19	2.02±0.12
25	2.16±0.25	2.24±0.18	2.18±0.24
30	2.26±0.25	2.42±0.34	2.45±0.12

ค่าเพอร์ออกไซด์ของผงน้ำซุปหมูที่ได้จากการทดลองพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 2.06 – 2.45 มิลลิกรัมสมมูลออกซิเจนต่อกิโลกรัมน้ำมัน จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าเพอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำซุปหมูต่อมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและการวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาสภาวะและปัจจัยที่เหมาะสมของผงน้ำซุปหมูโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย สามารถสรุปความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำซุปผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาคือ ปริมาณความชื้นของผงน้ำซุปหมูจะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและอัตราส่วนน้ำซุปหมูต่อมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น

2. ปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ผงน้ำซุปหมูมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาคือ ปริมาณน้ำอิสระของผงน้ำซุปหมูจะมีแนวโน้มลดลง เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและอัตราส่วนน้ำซุปหมูต่อมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น

3. ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ของผลิตภัณฑ์ผงน้ำซุปหมูมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาคือ ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ของผงน้ำซุปหมูจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น และอัตราส่วนน้ำซุปหมูต่อมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น

4. ค่าเพอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ผงน้ำซุปหมูมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษาคือ ค่าเพอร์ออกไซด์ของผงน้ำซุปหมูจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนน้ำซุปหมูต่อมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าไม่มีผลต่อค่าเพอร์ออกไซด์ของผงน้ำซุปหมู

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตภัณฑ์ผงน้ำซุปหมู โดยใช้วิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ อัตราส่วนน้ำซุปหมูต่อมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ20 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าการทำแห้ง 200 องศาเซลเซียส โดยเลือกพิจารณาจากปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ และ ค่าปริมาณความชื้น ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ผงน้ำซุปหมู พบว่าเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

5.2 ปัญหาที่พบ

1. สภาพอากาศในแต่ละวันมีความชื้นสัมพัทธ์สูง-ต่ำแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย

2. อุปกรณ์ชำรุดระหว่างทดลอง ทำให้เกิดความล่าช้าในการทดลอง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากสภาพอากาศในแต่ละการทดลอง มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่เท่ากันทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีคุณสมบัติไม่คงที่ อาจแก้ปัญหาโดยการติดตั้งเครื่องลดความชื้นให้กับอากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

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

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

ณัฐวุฒิ ซื่อเจริญกิจ, ลภัสญดา จิรเพียงทอง, ผัสพร ผ่องมาลัยและ พัชรินทร์ ชูศรีทอง. 2551. “ผลกระทบของตัวแปรในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ไทรท์ ศรีโยธา, คมสันต์ อัฑฒพงศ์พิเชฏฐ์, พิศาล ฝ่ายชาวนา และสมรรถ ขันทะมูล. 2551. “การศึกษาระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอย.” ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น.

นิชาภา ชัยธนบูรณ์,เบญจพร ละครแก้ว, มนต์นิญา วัชรเวชศฤงคาร และ ไหมแพรอ่างเงิน. 2555. “การผลิตแคนตาลูปผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย.” ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นิสากร มีจั่น, สยุมพร ใจดี และสุวิสาส์ กาญจนพิมล. 2553. “การศึกษาการผลิตเครื่องดื่มผงจากถั่วเหลืองที่ผ่านการเพาะงอก.” ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

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

เบญจา ชุตินทราศรี. 2550. เทคโนโลยีส่วนผสมอาหารสังเคราะห์ (Synthetic Food Ingredients

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technology).กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ปริมานันท์ เชิญธงไชย

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

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต

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

ยุพา แก้วดานา

2556. **ศักยภาพในการกันหืนของสาร สกัดจากพืชท้องถิ่นที่บริโภคได้ในน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปาล์ม.** กรุงเทพฯ :วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาสุขาภิบาลอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.

ณัฐกิตติ์ ปุริศรี, วริศรา จันทรและ เอื้อการย์ ทองฤทธิ์.

2558. **การศึกษาผลกระทบของกระบวนการเอนแคปซูเลชันที่มีผลต่อคุณสมบัติของฝ้ามันร้าข้าว โดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย.** กรุงเทพฯ : วิทยา นพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรม อาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง.

AOAC. 2005. **Official Method of analysis of AOAC International. 18 edition.** AOAC Official

Method 925.10., AOAC Official Method 996.01., AOAC Official Method 965.33. chapter 41. P 11-35. USA

อนงค์ เสริฐวาสนา, สิงหนาท พวกจันทรแดง

2559. **การพัฒนาของผงและน้ำขิงผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย** วิทยาศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุภกาญจน์ พรหมขันธ์, ศุกฤชชญา เหมะธุลิน

2557. **ผลิตภัณฑ์ชุปครีมกึ่งสำเร็จรูปจากไรน้ำนางฟ้า.** ขอนแก่น : วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 of analysis of AOAC International. 18th edition. AOAC Official Method 925.10., AOAC Official Method 996.01., AOAC Official Method 965.33. chapter 41. P 11-35. USA.

Balachandran C., Mayamol P.N., Thomas S., Sukumar D., Sundaresan A. and Arumughan 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. Enacpsulation 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 Scienca,: 1660-1665

Seid Mahdi Jafari, Elham Assadpoor , Bhesh Bhandari , Yinghe He 2008" Nano-particle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

encapsulation of fish oil by spray drying". Food Research International 41, 172–183

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ผลของผลิตภัณฑ์ผงน้ำซุปหมู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงผลปริมาณความชื้น

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนน้ำซุปหมูต่อมอลโตรเด็กซ์ตริน (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
1	180	20	3.75
2	180	25	4.65
3	180	30	3.42
4	190	20	4.65
5	190	25	2.84
6	190	30	3.23
7	200	20	2.16
8	200	25	3.16
9	200	30	3.24
10	180	20	3.93
11	180	25	3.39
12	180	30	2.28
13	190	20	4.21
14	190	25	2.96
15	190	30	3.71
16	200	20	3.45
17	200	25	2.89
18	200	30	3.17
19	180	20	3.84
20	180	25	3.31
21	180	30	3.05
22	190	20	2.34
23	190	25	2.41
24	190	30	2.71
25	200	20	3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

26	200	25	2.89
27	200	30	2.42

ตารางที่ ก.2 แสดงผลปริมาณน้ำอิสระ

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนน้ำซุปหมูต่อมอลโตรเด็กซ์ตริน (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ
1	180	20	0.129
2	180	25	0.199
3	180	30	0.160
4	190	20	0.177
5	190	25	0.107
6	190	30	0.156
7	200	20	0.115
8	200	25	0.102
9	200	30	0.109
10	180	20	0.205
11	180	25	0.175
12	180	30	0.214
13	190	20	0.145
14	190	25	0.144
15	190	30	0.188
16	200	20	0.126
17	200	25	0.124
18	200	30	0.084
19	180	20	0.259
20	180	25	0.241
21	180	30	0.239

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22	190	20	0.133
23	190	25	0.171
24	190	30	0.128
25	200	20	0.120
26	200	25	0.105
27	200	30	0.098

ตารางที่ ก.3 แสดงผลปริมาณผลผลิตที่ได้

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตรเดกซ์ตริน	ปริมาณผลผลิตที่ได้ (ร้อยละ)
1	180	20	32.12
2	180	25	45.34
3	180	30	51.26
4	190	20	37.70
5	190	25	48.21
6	190	30	55.23
7	200	20	55.09
8	200	25	63.86
9	200	30	48.34
10	180	20	34.75
11	180	25	51.67
12	180	30	61.26
13	190	20	39.70
14	190	25	51.76
15	190	30	57.23
16	200	20	31.26
17	200	25	42.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18	200	30	57.21
19	180	20	32.23
20	180	25	45.09
21	180	30	49.26
22	190	20	46.70
23	190	25	47.76
24	190	30	56.23
25	200	20	41.09
26	200	25	55.86
27	200	30	62.34

ตารางที่ ก.4 แสดงผลค่าเพอร์ออกไซด์

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนน้ำมันรำข้าวต่อมอลโตรเดกซ์ตริน	ค่าเพอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูลย์ออกซิเจนต่อกิโลกรัมน้ำมัน)
1	180	20	1.98
2	180	25	2.01
3	180	30	2.12
4	190	20	1.77
5	190	25	2.03
6	190	30	2.04
7	200	20	1.88
8	200	25	1.97
9	200	30	2.32
10	180	20	1.99
11	180	25	2.03

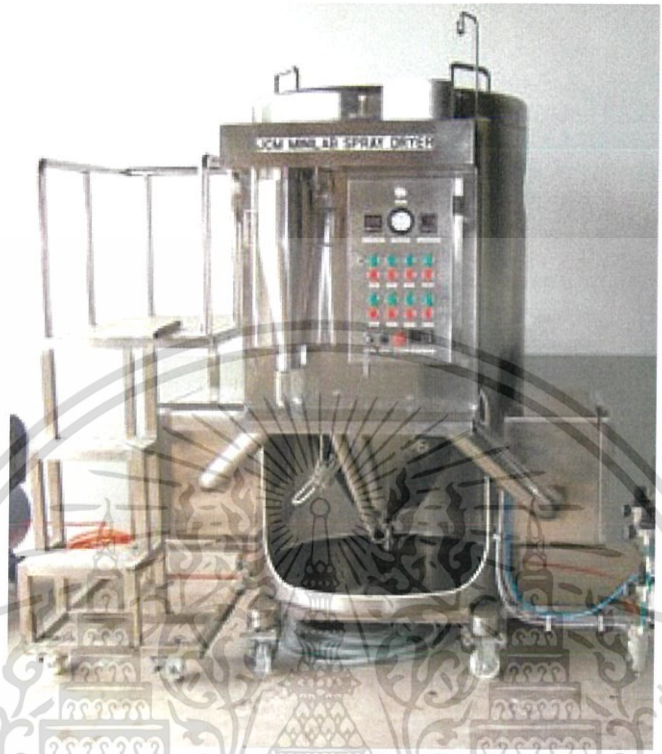
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12	180	30	2.11
13	190	20	2.11
14	190	25	2.34
15	190	30	2.56
16	200	20	2.06
17	200	25	2.13
18	200	30	2.46
19	180	20	2.22
20	180	25	2.45
21	180	30	2.55
22	190	20	2.12
23	190	25	2.34
24	190	30	2.67
25	200	20	2.12
26	200	25	2.45
27	200	30	2.56

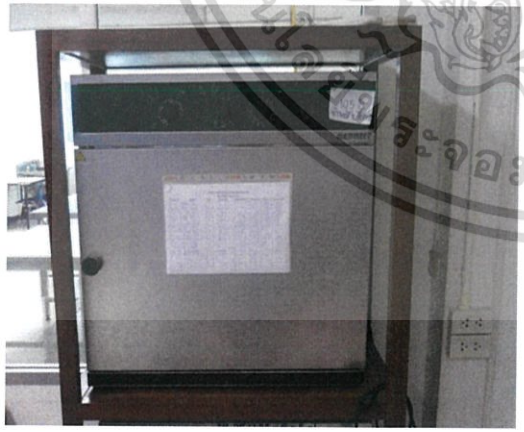
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ภาพอุปกรณ์ วัถตุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง

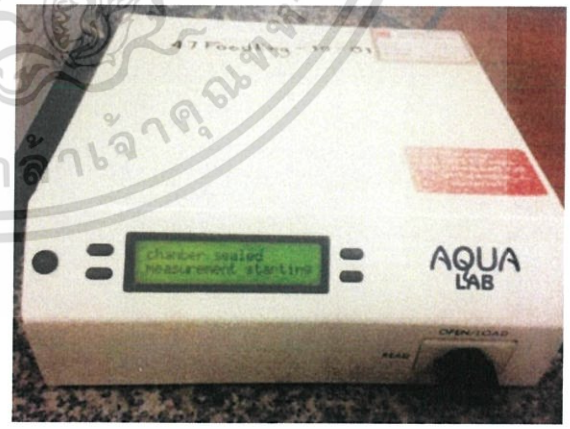
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ ข.2 ตู้อบลมร้อน

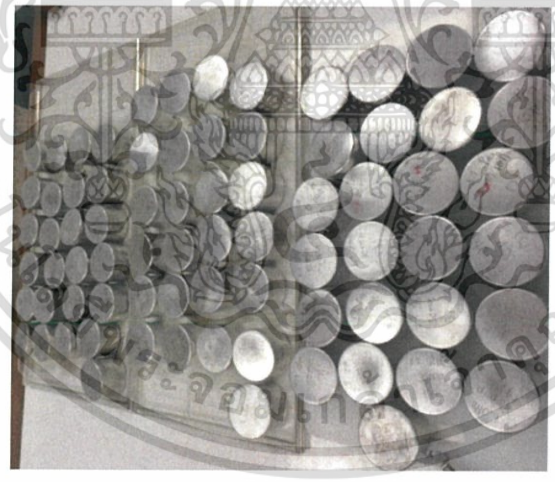


รูปที่ ข.3 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง

รูปที่ ข.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง



รูปที่ ข.7 ถ้วยอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. การคำนวณหาอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ

โดย ความเร็วลมขาออก 1.28 เมตรต่อวินาที

พื้นที่ช่องลมขาออก 70 ตารางเซนติเมตร

จาก $Q\ (Flow\ Rate) = VA$

$$Q = 1.28\frac{m}{s} \times 7\ cm\ \times 10\ cm\ \times \frac{1\ m^2}{100\ cm \times 100\ cm}$$

$$Q\ = 0.00896\ \times 60\frac{sec}{1\ min}$$

$$Q\ = 0.5376\ m^3/min$$

$$Q\ = 32.256\ m/s$$

ดังนั้น ได้อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 32.256 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้