การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการผลิตกะทิผงสำเร็จรูป

A STUDY OF PROCESSING PARAMETERS ON COCONUT MILK POWDER PRODUCTION

กฤษฎา วุฒิสาร
ภูริชญา เร่งพัฒนกิจ
มาริสา คงเอื้อสิริกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการผลิตกะทิผงสำเร็จรูป

A STUDY OF PROCESSING PARAMETERS ON COCONUT MILK POWDER PRODUCTION

นายกฤษฎา วุฒิสาร
นางสาวภูริชญา เร่งพัฒนกิจ
นางสาวมาริสา คงเอื้อสิริกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

A STUDY OF PROCESSING PARAMETERS ON COCONUT MILK POWDER PRODUCTION

MR. KRISADA VUTHISAN
MISS POORICHAYA RENGPHATTHANAGIT
MISS MARISA KONGUASIRIKUL

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULITY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LAKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการผลิตกะทิผงสำเร็จรูป

A study of processing parameters on coconut milk powder production

ผู้จัดทำ

1.	นายกฤษฎา	วุฒิสาร	รหัสนักศึกษา	54011057
2.	นางสาวภูริชญา	เร่งพัฒนกิจ	รหัสนักศึกษา	54011009
3.	นางสาวมาริสา	คงเอื้อสิริกุล	รหัสนักศึกษา	54011030



_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

หัวข้อโครงงาน การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการผลิตกะทิผงสำเร็จรูป
จัดทำโดย นายกฤษฎา วุฒิสาร
นางสาวภูริชญา เร่งพัฒนกิจ
นางสาวมาริสา คงเอื้อสิริกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิศวกรรมอาหาร
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการผลิตกะทิผงสำเร็จรูปผลิตภัณฑ์กะทิผงช่วยเพิ่มความสะดวกแก่ผู้บริโภค ให้สามารถจัดเก็บได้นาน และง่ายต่อการขนส่ง เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและปริมาตรลดลง อีกทั้งยังคงคุณค่าและสารอาหารใกล้เคียงกับกะทิสด การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนสำคัญ คือ 1) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบกะทิ (ศึกษาชนิดและปริมาณของอิมัลซิไฟเออร์) และ 2) ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการทำแห้ง ประกอบด้วย ปริมาณการเติมน้ำมันมะพร้าว (0%, 3%, 6%) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (150°C, 160°C, 170°C) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของสารละลายอิมัลชันกะทิที่ได้ เช่น ค่าความหนืด การแยกชั้นของสารละลายอิมัลชันกะทิ ปริมาณของแข็ง ความเป็นกรด-ด่าง ความหนาแน่น และความสามารถการไหล ส่วนผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆได้แก่ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ความหนาแน่นรวม ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการดูดซับความชื้นและค่าสี จากนั้นนำผลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผงที่ จากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้กำหนดเกณฑ์สภาวะที่เหมาะสมให้ผลิตภัณฑ์กะทิผงมีค่าปริมาณผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้มากกว่า 50% ความชื้นต่ำกว่า 2%, ความหนาแน่นรวมมากกว่า 825 kg/m^3 ,ความสามารถการละลายมากกว่า 78% , ความสามารถในการดูดซับความชื้นต่ำกว่า 5.5% และค่าการเปลี่ยนแปลงของสีต่ำกว่า 10 ควรเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าว 3.40 % - 3.67% และใช้อุณหภูมิลมร้อน 150.5 °C - 151.5 °C ในการทำแห้งกะทิเพื่อให้ได้คุณลักษณะกะทิผงตามความต้องการ ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์กะทิผงต่อไป

คำสำคัญ : กะทิ; การทำแห้งแบบพ่นฝอย; การหาสภาวะที่เหมาะสม, ผลิตภัณฑ์ผง

Project Title	A study of processing parameters on coconut milk powder production
Student	Mr. Krisada Vuthisan
	Miss Poorichaya Rengphatthanagit
	Miss Marisa Konguasirikul
Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Maradee Phongpipatpong
Submitted for	Bachelor's Degree in Food Engineering,
	Department of Food Engineering, Faculty of Engineering
	King's Mongkul Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2014

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the effect of processing parameters on spray drying of coconut milk powder in order to help for convenient consumption, prolong shelf life and remain nutrition value as fresh coconut milk. The experiments were divided into 2 parts: 1) sample preparation and 2) spray drying trials. The variables to investigate included type and amount of emulsifiers, coconut oil additions (0%, 3%, 6%) and inlet drying air temperature (150°C, 160°C, 170°C). The experiments were based on completely randomized design (CRD). Coconut milk emulsion obtained from the experiment was then analyzed for theirs chemical-physical properties e.g. viscosity, separation, total solid, pH, density and flow behavior. Dried coconut milk powders obtained from the experiment were then analyzed for theirs chemical-physical properties e.g. %yield, moisture content, water activity, bulk density, solubility, hygroscopicity and color. The relation between the studied variables and theirs propertied were mathematically expressed to determine the optimum condition for coconut milk powder production. The selection criteria for optimum condition was yield higher than 50%, moisture less than 2%, bulk density higher than 825 kg/m^3, solubility higher than 78%, hygroscopicity less than 5.5% and color difference value less than 10.The results showed that the most desirability could be achieved when adding 3.40%-3.67% coconut oil and using 150.5 °C - 151.5 °C of inlet air temperature. The obtained results from the study provide useful data for further production.

Keyword : Coconut milk ; Spray drying, Optimization, Powder

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อข้อมูล ให้คำปรึกษาและคำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในการทำโครงงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณบริษัทเอเชียติค อุตสาหกรรมเกษตร จำกัด ที่สนับสนุนวัตถุดิบ และคะแนะนำต่างๆ ในการทำโครงงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิศวกรรมอาหารทุกท่านที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ ที่สละเวลามาให้ความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ ให้คำแนะนำ และกำลังใจในการทำโครงงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงงานวิจัยนี้

และสำหรับคุณความดีอันเกิดจากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบให้บิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และประสบการณ์ที่ดีเสมอมา

นายกฤษฎา วุฒิสาร
นางสาวภูริชญา เร่งพัฒนกิจ
นางสาวมาริสา คงเอื้อสิริกุล

สารบัญ

	หน้า
ปกใน (ภาษาไทย)	I
ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	II
หน้าอนุมัติ	III
บทคัดย่อ	IV
Abstract	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	XI
สารบัญรูปภาพ	XII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	
2.1 ข้อมูลทั่วไปของมะพร้าว	4
2.2 ข้อมูลทั่วไปของกะทิ	8
2.2.1 การแปรรูปกะทิ	10
2.2.2 การแปรรูปกะทิผง	13
2.3 อิมัลชัน (Emulsion)	14
2.3.1 ลักษณะอิมัลชันในงานอาหาร	15
2.3.2 ทฤษฎีของการโฮโมจีไนเซชัน	15
2.3.3 ปรากฏการณ์ทำให้อนุภาคแตก	16
2.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทำอิมัลชัน	16
- เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูง (High Pressure Homogenization)	17
- เครื่องบดแบบคอลลอยด์ (Colloid Mill)	18
- เครื่องผสมความเร็วสูง (High Speed Blender)	20
- เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ชนิดอุลตร้าโซนิค (Ultrasonic Homoginizers)	21
2.4 การทำแห้ง (Dehydration)	21
2.4.1 กลไกการทำแห้ง	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 เครื่องทำแห้งประเภทต่างๆ	23
- เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	23
- เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง	29
- เครื่องทำแห้งแบบระเหิด	30
- เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	32
2.5 ผลกระทบต่ออาหาร	33
2.5.1 ลักษณะเนื้อสัมผัส	33
2.5.2 กลิ่นและรส	34
2.5.3 สี	35
2.5.4 คุณค่าทางโภชนาการ	35
2.5.5 การดูดคืนน้ำ	35
2.6 วัตถุเจือปนอาหาร (Food additive)	36
2.6.1 วัตถุประสงค์ของการใช้วัตถุเจือปนอาหาร	36
2.6.2 ชนิดของวัตถุเจือปนอาหาร	37
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
บทที่ 3 อุปกรณ์ และการทดลอง	
3.1 วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา	46
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	46
3.3 การเตรียมอุปกรณ์	47
3.4 วิธีการทดลอง	48
ขั้นตอนที่ 1 : การเตรียมสารละลายอิมัลชันของกะทิ	48
ขั้นตอนที่ 2 : การทำแห้งกะทิโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	50
3.5 การวางแผนการทดลอง	50
3.5.1 การทดลองเบื้องต้น	50
3.5.2 การวางแผนการทดลอง	51
3.5.3 การทำแห้งด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย	52
3.6 การวิเคราะห์ผล	53
3.6.1. การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของอิมัลชันกะทิ	53
3.6.2. การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์กะทิผง	54
3.6.3 การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sensory Taste)	56
3.6.4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง	56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์การเตรียมสารละลายอิมัลชันกะทิ 57

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชันกะทิ (pH) 60

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของอิมัลชันกะทิ (Viscosity, cP) 64

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิ (Separation, %) 68

4.1.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของอิมัลชันกะทิ (Viscosity, cP) 72

4.1.5 ผลการวิเคราะห์ค่าการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิ (Separation, %) 73

4.1.6 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งของอิมัลชันกะทิ (Total Solid, %) 74

4.1.7 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชันกะทิ (pH) 74

4.1.8 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของอิมัลชันกะทิ (Density, kg/m^3) 74

4.1.9 ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถการไหลของอิมัลชันกะทิ (Flow Ability) 74

4.2 ผลการวิเคราะการทำแห้งกะทิโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 75

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ของผลิตภัณฑ์กะทิผง 78

4.2.2. ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์กะทิผง 80

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์กะทิผง 82

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์กะทิผง 84

4.2.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลาย 86

4.2.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการดูดซับความชื้น 88

4.2.7 ผลการวิเคราะห์สีของผลิตภัณฑ์กะทิผง 90

4.3 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กะทิผงที่มีจำหน่ายในท้องตลาด 98

4.4 สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิต (Process Optimization) 98

4.5 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส 99

บทที่5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 104

5.2 ปัญหาที่พบ 105

5.3 ข้อเสนอแนะ 105

เอกสารอ้างอิง 107

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์สารละลายอิมัลชันกะทิเบื้องต้น 112

ภาคผนวก ข. ตาราง ANOVA การวิเคราะห์สารละลายอิมัลชันกะทิเบื้องต้น 113

ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์สารละลายอิมัลชันกะทิ 116

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผง	122
ภาคผนวก จ. ตาราง ANOVA การวิเคราะห์สารละลายอิมัลชันกะทิผง	131
ภาคผนวก ฉ. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	141
ภาคผนวก ช. แบบฟอร์มการทดสอบทางประสาทสัมผัส	142
ภาคผนวก ซ. การวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกะทิผงสำเร็จรูป (ของหวาน)	143
ภาคผนวก ฌ. ตาราง ANOVA คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกะทิผงสำเร็จรูป (ของหวาน)	149
ภาคผนวก ญ. วิธีการจำแนกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ต่างๆด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน	150
ภาคผนวก ฎ. การวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกะทิผงสำเร็จรูป (อาหารคาว)	155
ภาคผนวก ฏ. ตาราง ANOVA คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกะทิผงสำเร็จรูป (อาหารคาว)	161
ภาคผนวก ฐ. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่สภาวะที่ 4	162
ภาคผนวก ฑ. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิสำเร็จรูป (มอก. 582-2528)	163
ภาคผนวก ฒ. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิผง (มอก. 583-2528)	167
ภาคผนวก ณ. ภาพเครื่องมือ อุปกรณ์ วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ในการทดลอง	170

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบโดยประมาณ(ร้อยละ)ของกะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวโดยไม่เติมน้ำ	9
2.2 ปริมาณและมูลค่านำเข้ามะพร้าวแห้งทั้งผลของไทย	12
2.3 ปริมาณและมูลค่าส่งออกกะทิสำเร็จรูปไป 10 ตลาดแรก ปี 2555(ม.ค.-มิ.ย.)	13
3.1 การทดลองเพื่อหาแนวทางอัตราส่วนของสารอิมัลซิไฟเออร์	51
3.2 ตัวแปรและระดับตัวแปรที่ศึกษา	51
3.3 สภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง	52
3.4 การวางแผนการทดลองของการผลิตผลิตภัณฑ์กะทิผง	52
4.1 ผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของสารละลายอิมัลชันของกะทิ	58
4.2 ค่าสัมประสิทธิของสมการโพลิโนเมียลอันดับที่ 2 ของคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของสารละลายอิมัลชันกะทิ	59
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของอิมัลชันกะทิก่อนการทำแห้งที่ประมาณน้ำมันมะพร้าวระดับต่างๆ	72
4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์กะทิผงที่สภาวะต่างๆ	76
4.5 ค่าสัมประสิทธิของสมการโพลิโนเมียลอันดับที่ 2 ของคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์กะทิผง	77
4.6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของตัวอย่างผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	98
4.7 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ 20 คน ประเภทของหวาน	100
4.8 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ 20 คน ประเภทของคาว	102

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะทางกายภาพของต้นมะพร้าว	4
2.2 แนวโน้มพื้นที่เก็บเกี่ยวมะพร้าวทั่วโลก	4
2.3 สัดส่วนเชิงปริมาณผู้ผลิตมะพร้าวที่สำคัญของโลกปี 2553	5
2.4 ความสัมพันธ์ของการผลิตมะพร้าวในประเทศไทย ระหว่างปี 2546 – 2556	5
2.5 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต่างๆจากมะพร้าว	8
2.6 ผลิตภัณฑ์กะทิสำเร็จรูป	11
2.7 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กะทิผง	14
2.8 ชนิดของอิมัลชัน	15
2.9 วาล์วของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์	17
2.10 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงแบบ 2 ขั้นตอน	18
2.11 เครื่องบดคอลลอยด์ความเร็วสูง	19
2.12 เครื่องบดคอลลอยด์ชนิดเพสต์มิลล์ที่ป้อนด้านบน	19
2.13 เครื่องบดคอลลอยด์ชนิดที่เป็นรอยหยัก	20
2.14 เครื่องผสมความเร็วสูง	20
2.15 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ชนิดอุลตร้าโซนิค	21
2.16 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง	22
2.17 พฤติกรรมและอัตราการทำแห้งต่อเวลาและปริมาณความชื้น	23
2.18 การทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	24
2.19 หัวฉีดแบบหมุน	25
2.20 หัวฉีดแบบแรงดัน	26
2.21 หัวฉีดแบบสองของไหล	26
2.22 การไหลไปในทิศทางเดียวกัน	27
2.23 การไหลสวนทางกัน	27
2.24 การไหลในทิศทางผสมกัน	28
2.25 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก แบบลูกกลิ้งเดี่ยวและแบบลูกกลิ้งคู่	30
2.26 ความร้อนของการระเหิดและความดันไอของน้ำเหนือน้ำแข็ง	31
2.27 เครื่องอบแห้งแบบระเหิด	32
2.28 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด	33
2.29 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดชนิด Torbeb dryer	33
2.30 ลักษณะของอาหารผงที่สามารถละลายน้ำได้ทันที	34
2.31 โมเลกุลของโซเดียมพาล์มมิเตรท	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.32	การจัดเรียงตัวของโมเลกุลสารอิมัลซิไฟเออร์ที่อยู่ระหว่างผิวร่วม	40
3.1	เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย(Spray Dryer) รุ่น JCM Minilab SDE-10	48
3.2	ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิมัลชันกะทิเพื่อศึกษาการแยกชั้นเบื้องต้น	49
3.3	ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิมัลชันกะทิ	49
3.4	ขั้นตอนการทำแห้งกะทิโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	50
4.1	การแยกชั้นของอิมัลชันกะทิตัวอย่างหมายเลข 1-11 และกะทิที่ไม่เติมสารอิมัลซิไฟเออร์ตามลำดับ	57
4.2	(a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารจากธรรมชาติ สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1และชนิดที่ 2 ระดับ 0.01% ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง	61
4.3	(a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารจากธรรมชาติ สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ระดับ 0.02% ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง	62
4.4	(a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารจากธรรมชาติ สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ระดับ 0.04% ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง	63
4.5	(a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารจากธรรมชาติ สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ระดับ 0.01% ต่อค่าความหนืดที่	65
4.6	(a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารจากธรรมชาติ สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ระดับ 0.02% ต่อค่าความหนืด	66
4.7	(a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารจากธรรมชาติ สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ระดับ 0.04% ต่อค่าความหนืด	67
4.8	(a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารจากธรรมชาติ สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ระดับ 0.04% ต่อค่าการแยกชั้น	69
4.9	(a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารจากธรรมชาติ สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ระดับ 0.04% ต่อค่าการแยกชั้น	70
4.10	(a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารจากธรรมชาติ สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ระดับ 0.04% ต่อค่าการแยกชั้นที่	71
4.11	การแยกชั้นของอิมัลชันกะทิตัวอย่างหมายเลข 1-11 และกะทิที่ไม่เติมสารอิมัลซิไฟเออร์ตามลำดับ	73
4.12	(a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อน ต่อค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้	79
4.13	(a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อน ต่อค่าปริมาณความชื้น	81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 (a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าปริมาณน้ำอิสระ	83
4.15 (a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าความหนาแน่นรวม	85
4.16 (a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าความสามารถในการละลาย	87
4.17 (a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าความสามารถในการดูดซับความชื้น	89
4.18 (a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าความสว่าง	91
4.19 (a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าแสดงความเป็นสีเขียวหรือสีแดง	93
4.20 (a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าแสดงความเป็นน้ำเงินหรือสีเหลือง	95
4.21 (a)และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสี	97
4.22 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์กะทิผงโดยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย	99
4.23 รูปแบบใยแมงมุมแสดงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของของหวานที่ปรุงจากผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปชนิดต่างๆและกะทิสด	101
4.24 รูปแบบใยแมงมุมแสดงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของอาหารคาวที่ปรุงจากผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปชนิดต่างๆและกะทิสด	103

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

มะพร้าวจัดเป็นพืชที่สัมพันธ์กับเศรษฐกิจและสังคมไทยชนิดหนึ่ง สามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกแล้ว ยังก่อให้เกิดอุตสาหกรรมแปรรูปต่อเนื่องเป็นสินค้าส่งออกสร้างรายได้ให้แก่ประเทศได้อีกทั้งยังเป็นส่วนหนึ่งในวิถีชีวิตคนไทย ผลิตภัณฑ์มะพร้าวที่ประเทศไทยมีการส่งออกเป็นหลักคือ มะพร้าวสด (Fresh Coconut) มะพร้าวแห้ง (Desiccated coconut and Copra) น้ำมันมะพร้าว (Coconut Oil) เส้นใยกาบมะพร้าว (Coir fiber) และกากเนื้อมะพร้าว (Coconut Cake) จากข้อมูลข้างต้น ปริมาณน้ำมันมะพร้าวส่งออกในปี 2552 ลดลงจากปี 2551 ถึง 74% (ปริมาณ 5,542 ตัน ในปี 2551 เหลือ 1,465 ตัน ในปี 2552) ซึ่งอาจสันนิษฐานได้ว่า น้ำมันมะพร้าวเป็นที่นิยมมากขึ้น สำหรับตลาดภายในประเทศ ซึ่งเห็นได้จากการที่ผู้ผลิตต่างๆได้มีการพัฒนาตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์ให้มีมูลค่าเพิ่มมากยิ่งขึ้น มะพร้าวและผลิตภัณฑ์เป็นสินค้าที่อยู่ในข้อผูกพันการเปิดตลาดโลกหรือWTO (World Trade Organization) 22 รายการ ซึ่งในส่วนของผลิตภัณฑ์มะพร้าวประกอบด้วย มะพร้าวฝอยทำแห้ง (Desiccated Coconut) เนื้อมะพร้าว (Copra) กะทิ (Coconut Milk) น้ำมันมะพร้าว (Coconut Oil) ในส่วนของการแปรรูปมะพร้าวซึ่งเป็นการเก็บรักษาผลิตผลมะพร้าวรูปแบบหนึ่ง ได้แก่ การนำมะพร้าวแปรรูปเป็นเนื้อมะพร้าวแห้ง และกะทิ (สถาบันอาหาร, 2555)

กะทิ เป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปมาจากมะพร้าว ซึ่งกรดไขมันที่มีขนาดปานกลาง (Medium Chain Fatty Acids - MCFAs) ซึ่งถูกย่อยได้ง่ายและเคลื่อนย้ายได้สะดวก เมื่อบริโภคเข้าไปผ่านลำคอไปยังกระเพาะเข้าสู่ลำไส้ แล้วไปถูกเผาผลาญให้เป็นพลังงานในตับโดยไม่ไปสะสมเป็นไขมันเหมือนกับน้ำมันไม่อิ่มตัวที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ดังนั้นผู้บริโภคกะทิจึงแข็งแรงเพราะได้พลังงานทันทีที่บริโภคเข้าไป (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2551) หัวกะทิประกอบด้วยไขมัน 24% และหางกะทิประกอบด้วยไขมัน 17% กะทิมีโปรตีน 2.5% สัดส่วนขององค์ประกอบในกะทิขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สายพันธุ์ อายุ สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต กระบวนการเตรียมและวิธีการแยกกะทิ องค์ประกอบของกะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวขูดโดยไม่เติมน้ำประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 50.0-54.0 ไขมันร้อยละ 32.0-40.0 โปรตีนร้อยละ 2.8-4.4 เถ้าร้อยละ 1.0-1.5 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 5.5-8.3 ส่วนปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์กะทิจากประเทศไทยอยู่ในช่วงร้อยละ 15-30 ค่า pH ของน้ำกะทิอยู่ระหว่าง 5.8-6.4 โดยวัดที่ช่วงอุณหภูมิ 10-80 °C จึงถือว่ากะทิเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (Seow and Gwee, 1997)

กะทิผงเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่การผลิตจากกะทิสดที่คั้นจากมะพร้าวมาทำให้แห้งเป็นผงโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dry) บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท กะทิผงมีลักษณะเป็นผงสีขาว

มีกลิ่นและรสเหมือนกะทิสด เป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยสร้างความสะดวกสบายให้แก่ผู้บริโภคในการใช้งาน กะทิผงมีข้อได้เปรียบกว่ากะทิสด คือ น้ำหนักและปริมาตรลดลงมาก สามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน มีสารอาหารและคุณค่าทางอาหารเท่ากับกะทิสด ซึ่งปัจจุบันกะทิผงมีวางจำหน่ายในตลาดไม่มากนัก เนื่องจากกะทิผงยังไม่ค่อยเป็นที่นิยมสำหรับคนไทย จึงยังคงแย่งส่วนแบ่งการตลาดของกะทิน้ำสำเร็จรูปได้ไม่ง่าย ในการศึกษาการผลิตกะทิแปรรูปการผลิต สามารถแปรรูปผงสำเร็จรูปด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้มีการศึกษามาก่อนหน้านี้แล้วจนกะทิน้ำกลายเป็นกะทิผง (ชลดา รักษาธรรม และคณะ, 2555) และสามารถแปรรูปได้จริงในระดับอุตสาหกรรม นับเป็นการช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์ สามารถเก็บไว้ใช้ได้นานถึง 2 ปี ขณะที่กะทิน้ำสำเร็จรูปพาสเจอร์ไรซ์ทั่วไปสามารถเก็บไว้ใช้ได้นานเพียง 6 เดือน และสำเร็จรูปส่งออกในลักษณะบรรจุกระป๋องสามารถเก็บไว้ใช้ได้นาน 1 ปีเท่านั้น (สถาบันอาหาร, 2555) แต่ยังพบปัญหาการแยกชั้นของกะทิระหว่างขนส่งซึ่งเป็นปัญหาต่อกระบวนการรูปได้จริงในระดับอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงจำเป็นที่ต้องศึกษาผลกระทบการแยกชั้นของกะทิตลอดจนผลกระทบของตัวแปรที่เหมาะสมต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยของผลิตภัณฑ์กะทิผงเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งผลิตภัณฑ์กะทิผง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

- ศึกษาผลกระทบของอิมัลซิไฟเออร์ต่อการแยกชั้นของกะทิ
- ศึกษาผลกระทบของปัจจัยการผลิตปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อคุณสมบัติของกะทิผงที่ได้จากการผลิต
- เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

วัตถุดิบหลักคือ น้ำกะทิจากบริษัทเอเชียติค อุตสาหกรรมจำกัด โดยศึกษาวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย ปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิของลมร้อนขาเข้า

คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของอิมัลชันของกะทิที่ศึกษา ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ความหนืด การแยกชั้น ปริมาณของแข็ง คุณสมบัติการไหล และความหนาแน่น

คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณความชื้นของกะทิผง ปริมาณน้ำอิสระ ความหนาแน่นรวม คุณสมบัติการดูดซับความชื้น ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการกระจายตัว ค่าสี และการทดสอบทางประสาทสัมผัส

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ไม่ทำให้กะทิแยกชั้น
- มีความรู้ความเข้าใจถึงกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย
- ทราบผลกระทบของปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อคุณสมบัติของกะทิผงที่ได้จากการผลิต

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

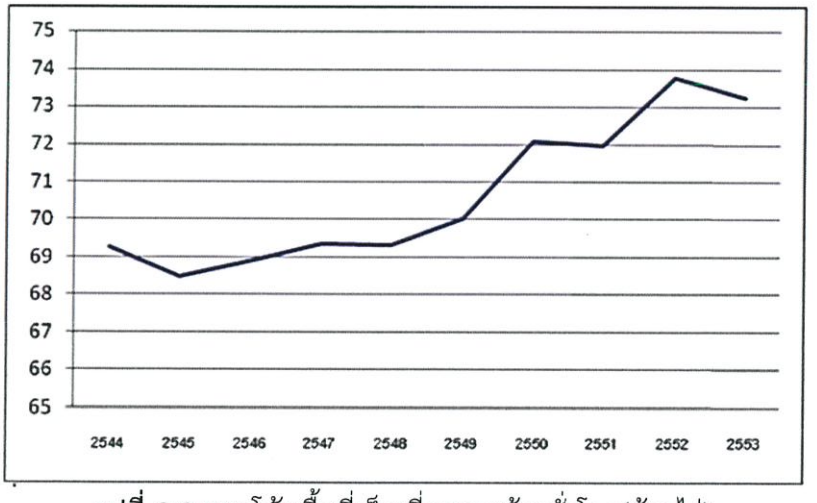
2.1 ข้อมูลทั่วไปของมะพร้าว (Coconut)



รูปที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของต้นมะพร้าว

(ที่มา : http://greencoun.igetweb.com/product/1413045/ต้นมะพร้าว)

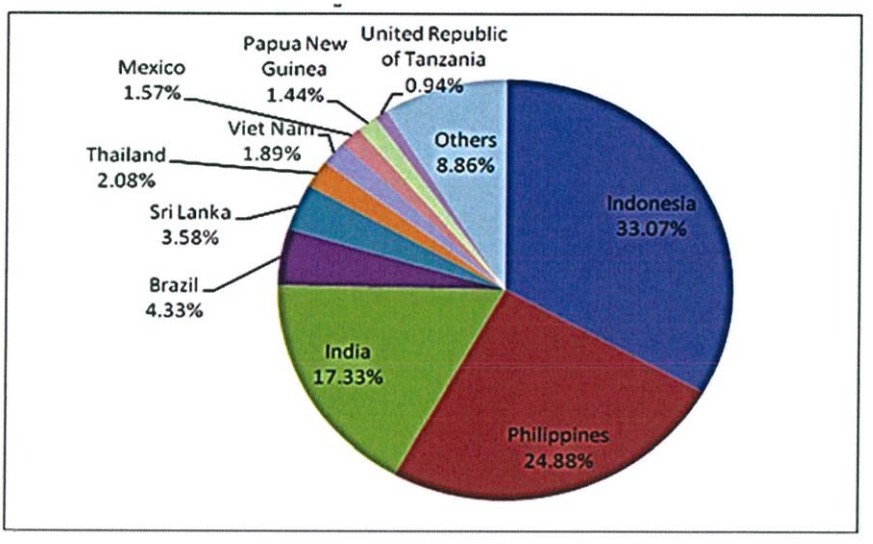
จากสถิติของ FAO ล่าสุดปี 2553 ทั่วโลกมีผลผลิตมะพร้าว 62.45 ล้านตัน ผลผลิตขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี 2544 ร้อยละ 20.24 ทั้งนี้ เนื่องจากการพัฒนาสายพันธุ์มะพร้าวให้มีผลผลิตปริมาณมากขึ้น ทำให้อัตราขยายตัวของผลผลิตสูงทั้งที่พื้นที่เพาะปลูกขยายตัวไม่มากในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา



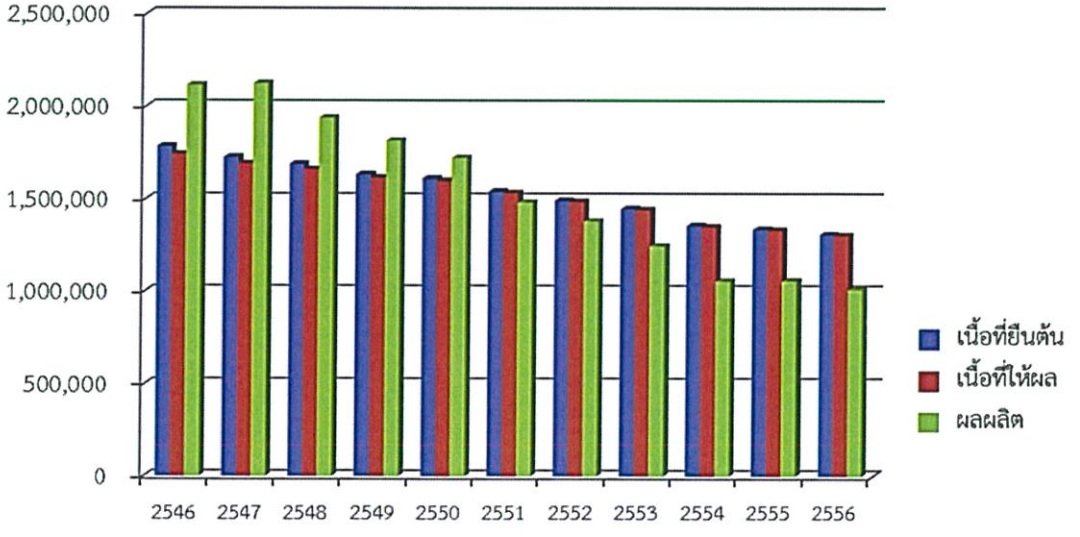
รูปที่ 2.2 แนวโน้มพื้นที่เก็บเกี่ยวมะพร้าวทั่วโลก(ล้านไร่)

(ที่มา : สถาบันอาหาร, http://fic.nfi.or.th/food/upload/doc/17_1586.doc)

แหล่งปลูกมะพร้าวที่สำคัญของโลกอยู่แถบเอเชียและแปซิฟิกเป็นหลัก มีพื้นที่ปลูกรวมกันมากกว่าร้อยละ 80 ของโลก โดยมีอินโดนีเซียเป็นประเทศที่มีผลผลิตมะพร้าวมากที่สุดในโลก(ปี 2553) เป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 33.07 ของผลผลิตมะพร้าวทั่วโลก รองลงมาคือฟิลิปปินส์ อินเดีย บราซิล ศรีลังกา และไทย มีสัดส่วนปริมาณผลผลิตร้อยละ 24.88, 17.33, 4.33, 3.58 และ 2.08 ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 สัดส่วนเชิงปริมาณผู้ผลิตมะพร้าวที่สำคัญของโลกปี 2553
(ที่มา : สถาบันอาหาร, http://fic.nfi.or.th/food/upload/doc/17_1586.doc)



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของการผลิตมะพร้าวในประเทศไทย ระหว่างปี 2546 – 2556
(ที่มา : สถาบันอาหาร, http://fic.nfi.or.th/food/upload/doc/17_1586.doc)

ผลิตภัณฑ์มะพร้าวที่มีการบริโภคกันทั่วโลกมีหลากหลาย เนื้อมะพร้าวเป็นแหล่งโภชนาการที่สำคัญของผู้บริโภคในประเทศเขตร้อน ผลิตภัณฑ์จากเนื้อมะพร้าวมีหลากหลาย ตั้งแต่เนื้อมะพร้าวแห้งนำไปผลิตเป็นแป้ง ครีม กะทิ น้ำมะพร้าวก็มีสารให้ความชุ่มชื้น มีคุณค่าทางโภชนาการ เปลือกใช้ทำเส้นใย กะลาใช้ในงานหัตถกรรม ผลิตถ่านกัมมันต์ เป็นต้น แต่ผลิตภัณฑ์จากมะพร้าวที่เป็นที่นิยมทั่วโลก คือ น้ำมันมะพร้าว และเนื้อมะพร้าวแห้ง

มะพร้าวจัดเป็นพืชที่สัมพันธ์กับเศรษฐกิจและสังคมไทยชนิดหนึ่ง ซึ่งสร้างรายได้ให้แก่ เกษตรกรผู้ปลูกแล้วยังก่อให้เกิดอุตสาหกรรมแปรรูปต่อเนื่องเป็น สินค้าส่งออกสร้างรายได้ให้แก่ประเทศได้อีก ทั้งยังเป็นส่วนหนึ่งในวิถีชีวิตคนไทย

ผลิตภัณฑ์มะพร้าวที่ประเทศไทยมีการส่งออกเป็นหลัก คือ มะพร้าวสด (Fresh Coconut) มะพร้าวแห้ง (Desiccated coconut and Copra) น้ำมันมะพร้าว (Coconut Oil) เส้นใยกาบมะพร้าว (Coir fiber) และกากเนื้อมะพร้าว (Coconut Cake) จากข้อมูลข้างต้น เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณน้ำมันมะพร้าวส่งออกในปี 2552 ลดลงจากปี 2551 ถึง 74% (ปริมาณ 5,542 ตัน ในปี 2551 เหลือ 1,465 ตัน ในปี 2552) ซึ่งอาจสันนิษฐานได้ว่า น้ำมันมะพร้าวเป็นที่นิยมมากขึ้น สำหรับตลาดภายในประเทศ ซึ่งเห็นได้จากการที่ผู้ผลิตต่างๆได้มีการพัฒนาตราสินค้าและบรรจุภัณฑ์ให้มีมูลค่าเพิ่มมากยิ่งขึ้น มะพร้าวและผลิตภัณฑ์เป็นสินค้าที่อยู่ในข้อผูกพันการเปิดตลาด WTO 22 รายการ ซึ่งในส่วนของ ผลิตภัณฑ์มะพร้าว ประกอบด้วย มะพร้าว เนื้อมะพร้าวแห้ง และ น้ำมันมะพร้าว

เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์มะพร้าวได้มีหน่วยงานต่างๆได้ทำการวิจัย เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์มะพร้าวชนิดต่างๆ เช่น การพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าว และ การพัฒนาขึ้นรูปแผ่นวัสดุผสมจากเส้นใยมะพร้าว นอกจากนี้ด้านกรมส่งเสริมการเกษตร ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักในการส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตรได้มีการจัดประชุมเจรจาธุรกิจมะพร้าวน้ำหอม เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างเกษตรกรผู้ผลิตและผู้รับซื้อรวมถึงจัดทำมาตรฐานผลิตภัณฑ์มะพร้าว เพื่อยกระดับคุณภาพของมะพร้าวและผลิตภัณฑ์ให้สามารถส่งออกและแข่งขันกับประเทศอื่นๆได้

ผลิตภัณฑ์อาหารจากมะพร้าวส่วนใหญ่ได้จากเนื้อมะพร้าวซึ่งมีอยู่ 29-30% ต่อน้ำหนักผล และจากน้ำมันมะพร้าวซึ่งมีอยู่ 21-26% ต่อน้ำหนักผล ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ กะทิ กะทิเข้มข้น กะทิผง น้ำมันมะพร้าว แป้งมะพร้าว ส่วนผลิตภัณฑ์จากน้ำมะพร้าว ได้แก่ น้ำส้มสายชู น้ำมะพร้าวอ่อน น้ำตาลมะพร้าว ฯลฯ

1) อุตสาหกรรมเนื้อมะพร้าว นอกจากเราใช้มะพร้าวสดและแห้งในการประกอบอาหารในชีวิตประจำวันแล้ว มะพร้าวยังเป็นพืชที่มีบทบาทสำคัญยิ่งในภาคอุตสาหกรรมอีกด้วย การแปรรูปผลผลิตมะพร้าวในทางอุตสาหกรรมอาจแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่คือ

1.1) อุตสาหกรรมมะพร้าวแห้ง โดยนำเนื้อมะพร้าวมาตากแดดหรืออย่างไฟแบบรมควัน อาจทำในรูปของอุตสาหกรรมในครอบครัว การทำมะพร้าวแห้งส่วนใหญ่ทำเมื่อราคาของมะพร้าวตกต่ำ ซึ่งราคาของมะพร้าวก็ขึ้นอยู่กับผลผลิตตามฤดูกาลคือในช่วงระหว่างกรกฎาคม-ตุลาคมของทุกปี ผลผลิตมะพร้าวเข้าสู่ตลาดมากราคาตกต่ำลง

1.2) อุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว เป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่รับช่วงการผลิตมาจากอุตสาหกรรมมะพร้าวแห้ง มีความสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องกับอุตสาหกรรมอื่นๆ อีกมากมาย เช่น อุตสาหกรรมทำนม ทำสบู่ เนยเทียม เป็นต้น สาเหตุที่น้ำมันมะพร้าวเป็นที่ยอมรับของทั่วไปเพราะมีกลิ่นและรสเฉพาะตัว ซึ่งเป็นที่ยอมรับของตลาด และปริมาณหาได้ค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี

1.3) อุตสาหกรรมกะทิเข้มข้น เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำกะทิมะพร้าวมาระเหย เอาน้ำออกบางส่วน แล้วนำไปบรรจุในภาชนะปลอดอากาศ ทำให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน และสะดวกต่อการใช้เพราะเมื่อนำกะทิดังกล่าวมาผสมเข้ากับน้ำอาจเกิดการคืนรูปเป็นกะทิธรรมดา การทำกะทิเข้มข้นทำอยู่ในวงจำกัด เนื่องจากในประเทศเราสามารถหามะพร้าวสดคั้นกะทิได้ง่าย แต่อาจจำเป็นสำหรับต่างประเทศ

1.4) อุตสาหกรรมมะพร้าวขูดแห้ง วิธีการคือนำเนื้อในมะพร้าวมาขูดลักษณะเดี่ยวกับเนื้อมะพร้าวสดขูดที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดทั่วไป หลังจากนั้นนำไปผ่านกรรมวิธีอบแห้งด้วยความร้อนประมาณ 60 °C เป็นเวลา 35 นาที ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงขาวนวล แต่ยังคงสภาพกลิ่น รสของมะพร้าวแห้งทุกประการ

2) ผลิตภัณฑ์เพื่ออุตสาหกรรมอุปโภค

2.1) อุตสาหกรรมผลิตเส้นใยมะพร้าว เฉลี่ยแล้วกาบมะพร้าว 13 ผล สามารถผลิตเส้นใยมะพร้าวแห้งได้ 1 กิโลกรัม เส้นใยเหล่านี้ผ่านเครื่องตี แยกกากมะพร้าวออกและตากแห้งแล้วถูกส่งออกจำหน่ายในรูปของเส้นใยอัด หรือควั่นเกลียว อุตสาหกรรมที่ใช้เส้นใยมะพร้าวมากได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตที่นอน เบาะรถยนต์ เบาะนั่งโซฟา พรมเช็ดเท้า แผ่นฉนวนป้องกันความร้อน เชือก เป็นต้น

2.2) อุตสาหกรรมแท่งเพาะชำ นำเอาฟองใยมะพร้าวมาเป็นเศษวัสดุเหลือใช้จากโรงงานเส้นใยโดยนำมาอัดเป็นแท่ง และผ่านกรรมวิธีอบแห้ง แล้วบรรจุกล่องส่งขายได้ ส่วนที่เหลือจากการอบแห้งก็นำมาบด และบรรจุถุงขายเป็นดินผสมเพื่อใช้ปลูกไม้กระถาง ใช้ในรูปของอุตสาหกรรมหรือส่งออกต่อไป

3) การเพิ่มรายได้สวนมะพร้าว เนื่องจากมะพร้าวเริ่มให้ผลหลังจากปลูกประมาณ 5-6 ปี ดังนั้นในขณะที่ต้นยังเล็กอยู่ จึงควรปลูกพืชแซมระหว่างแถวมะพร้าว เป็นประเภทพืชที่มีอายุสั้น อาจเป็นพืชไร่ เช่น สับปะรด ถั่วต่าง ๆ หรือพืชผัก เช่น ฟักทอง แตงกวา แตงโม ข้าวโพดหวาน เมื่อมะพร้าวโตขึ้น มีอายุได้ 4-5 ปี มีทรงพุ่มใหญ่ บังแสงแดดจึงไม่ควรปลูกพืชแซม เพราะได้ผลไม่คุ้มค่า และทำให้ต้นมะพร้าวโตช้า แต่เมื่อมะพร้าวมีอายุได้ 12-15 ปี ทาง(ใบ)เริ่มสั้นลง เปิดให้แสงแดดส่องถึงพื้นดินได้มากขึ้น จึงควรปลูกพืชยืนต้นที่เจริญเติบโตได้ดี ในที่ที่มีร่มเงาแซมลงในสวนมะพร้าว เช่น กาแฟ โกโก้ พริกไท ดีปลี ฯลฯ ในสวนมะพร้าวที่ให้ผลแล้ว นอกจากเพิ่มรายได้โดยการปลูกพืชแซมแล้ว ยังอาจเลี้ยงผึ้งหรือเลี้ยงวัวในสวนมะพร้าวได้ ซึ่งเป็นวิธีการเพิ่มผลผลิตของมะพร้าวอีกทางหนึ่งด้วย (สถาบันอาหาร, 2555)



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ต่างๆจากมะพร้าว

(ที่มา : http://samutsongkhram.cdd.go.th/home/index.php/otop)

2.2 ข้อมูลทั่วไปของกะทิ

กะทิเป็นส่วนผสมที่นิยมทำอาหารไทย เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการประกอบอาหารประเภทคาวและหวาน แม้ว่าในปัจจุบันสามารถใช้นมแทนกะทิได้ แต่ก็มีอาหารหลายอย่างที่ไม่สามารถใช้นมแทนกะทิได้ เช่น อาหารพวกหลน หรือขนมที่ใช้กะทิราดหน้าเพื่อเพิ่มความมัน เช่น เผือกกวน มันกวน เพื่ออุตสาหกรรมไทยก้าวหน้าจึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากกะทิ เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในอาหารของครัวเรือนทั้งในตลาดไทยและตลาดโลก

กะทิ (Coconut milk) เป็นผลผลิตที่สำคัญจากมะพร้าวที่ได้จากการบีบหรือคั้นเนื้อมะพร้าวขูด กะทิมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นคล้ายนม มีกลิ่นรสเฉพาะตัวของมะพร้าว (nutty flavor) สัดส่วนขององค์ประกอบในกะทิขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สายพันธุ์ อายุ สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต กระบวนการเตรียมและวิธีการแยกกะทิ องค์ประกอบของกะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวขูดโดยไม่เติมน้ำประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 50.0-54.0 ไขมันร้อยละ 32.0-40.0 โปรตีนร้อยละ 2.8-4.4 เถ้าร้อยละ 1.0-1.5 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 5.5-8.3 ส่วนปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์กะทิจากประเทศไทยอยู่ในช่วงร้อยละ 15-30 ค่า pH ของน้ำกะทิอยู่ระหว่าง 5.8-6.4 โดยวัดที่ช่วงอุณหภูมิ 10-80 °C จึงถือว่ากะทิเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low-acid food) (Seow and Gwee, 1997)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบโดยประมาณ(ร้อยละ)ของกะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวโดยไม่เติมน้ำ

องค์ประกอบ	Nathaneal (1954)	Popper (1966)	Jeganathan (1970)	Anon (1984)
ความชื้น	50.0	54.1	50.0	53.9
ไขมัน	39.8	32.2	40.0	34.7
โปรตีน (N×6.25)	2.8	4.4	3.0	3.6[a]
เถ้า	1.2	1	1.5	1.2
คาร์โบไฮเดรต	6.2	8.3	5.5	6.6

หมายเหตุ คาร์โบไฮเดรต คำนวณได้จากคาร์โบไฮเดรต = 100 - (ความชื้น + ไขมัน + โปรตีน+ เถ้า)

[a]N×5.3

ที่มา : ทศพรพรรณ รัตนภักดี, 2546

กะทิมีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันอิ่มตัวถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และที่เหลือประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลปานกลาง(Medium Chain Fatty Acids - MCFAs) เช่น กรดลอริก เมื่อรับประทานและถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทำให้ถูกเผาผลาญได้ดี จึงถูกสะสมในเนื้อเยื่อไขมันได้น้อยกว่ากรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลยาว นอกจากนั้นกรดลอริก (lauric acid, C-12) (Gopala K.A. et.al., 2010) ซึ่งมะพร้าวสามารถผลิตกรดชนิดนี้ได้ในปริมาณที่สูงถึง 48 - 53% และเปลี่ยนเป็นโมโนลอริก (Mono lauric acid) เมื่อบริโภคเข้าไปโดยโมโนลอริกมีบทบาทสำคัญในการสร้างเม็ดเลือดขาวที่ชื่อว่า T-Cell มีหน้าที่ในการทำลายเซลล์มะเร็ง ช่วยสร้างภูมิคุ้มกัน มีส่วนในการทำลายเกราะที่หุ้มเซลล์ของไวรัส ทำให้ไวรัสหลายชนิดตายลงโดยที่ยังรักษาจุลินทรีย์ชนิดดีในร่างกายเอาไว้ ซึ่งกรดลอริกนี้พบในน้ำนมเหลืองของแม่ด้วย เมื่อบริโภคเข้าไปผ่านลำคอไปยังกระเพาะเข้าสู่ลำไส้ แล้วไปถูกเผาผลาญให้เป็นพลังงานในตับโดยไม่ไปสะสมเป็นไขมันเหมือนกับน้ำมันไม่อิ่มตัวที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ อีกทั้งยังไปกระตุ้นให้ต่อมไทรอยด์ทำงานได้ดีขึ้น ก่อให้เกิดความร้อน ซึ่งไปช่วยสลายไขมันที่ร่างกายสะสมอยู่ก่อนหน้านั้น ให้สลายตัวไปเป็นพลังงานจึงทำให้ผู้บริโภคผอมลง ในการเผาผลาญอาหารที่บริโภคเข้าไปพร้อมกันให้เปลี่ยนเป็นพลังงานแทน (ณรงค์ โฉมเฉลา, 2551)

กะทิโดยทั่วไปเป็นอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsions : O/W emulsions) ซึ่งมีเม็ดไขมันของน้ำมันมะพร้าวกระจายตัวอยู่ในน้ำที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่องในกะทิมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ โดยทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ตามธรรมชาติ ได้แก่ โกลบูลิน (globulins) และอัลบูมิน (albumins) รวมทั้งฟอสฟอลิปิด (phospholopids) ได้แก่ เลซิทิน (lecithin) และเซฟาลิน (cephalin) ช่วยให้กะทิคงตัวอยู่ได้ระยะเวลาหนึ่ง ฟอสฟอลิปิดรวมตัวกับเกลือโซเดียมคลอไรด์ได้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ช่วยให้อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำเกิดความคงตัวได้ แต่อย่างไรก็ตามอิมัลชันกะทิ

แยกตัวเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนล่างเป็นชั้นน้ำ (coconut skim milk) หรือเรียกว่า หางกะทิ และส่วนบนเป็นชั้นครีม (coconut cream) หรือเรียกว่าหัวกะทิ เนื่องจากความเข้มข้นของโปรตีนที่ผิวระหว่างเม็ดไขมันและน้ำมีไม่มากพอที่ทำให้เกิดความคงตัว โดยกะทิอาจเกิดการแยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ 5-10 ชั่วโมง จนกระทั่งแยกสมบูรณ์ในเวลา 24 ชั่วโมง (นิศรา ฮะเจริญ, 2554)

2.2.1 การแปรรูปกะทิ

การผลิตผลิตภัณฑ์น้ำกะทิของไทยส่วนใหญ่มีวัตถุดิบภายในประเทศเป็นหลัก โดยปัจจุบันน้ำกะทิที่ผลิตได้มีการบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เช่น ถุงพลาสติก กล่อง และกระป๋อง เป็นต้น เพื่อใช้จำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์กะทิสำเร็จรูปซึ่งผู้บริโภคนิยมนำ มาใช้ปรุงเป็นอาหารมากขึ้น เนื่องจากสะดวกและลดขั้นตอนในการทำอาหาร สิ่งที่เหลือจากการผลิต เช่น น้ำมะพร้าว, กากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้น กะลามีการนำมาพัฒนาใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งการทำเป็นน้ำส้มสายชูจากน้ำมะพร้าว อาหารสัตว์จากกากมะพร้าว เป็นต้น ผลิตภัณฑ์น้ำกะทิสามารถแบ่งออกได้เป็น คือ

1. กะทิสด ที่จำหน่ายในตลาดสด มี 2 แบบ คือ

กะทิที่ได้จากเนื้อมะพร้าวที่ไม่ได้เอาผิวออกก่อนบดให้ละเอียด (Coconut milk from unskinned grated coconut) กะทิชนิดนี้เหมาะสำหรับการประกอบอาหารประเภทแกง สีของน้ำกะทิที่ได้จากเนื้อมะพร้าวที่ไม่ได้เอาผิวสีน้ำตาลออกอาจส่งผลให้มีสีออกครีม (ไม่ขาวเหมือนน้ำนม) กะทิชนิดนี้จึงไม่เหมาะสำหรับอาหารที่ต้องควบคุมสี ในส่วนของรูปลักษณ์ภายนอกของอาหารจานนั้นๆ (เพราะสีไม่สวย ไม่ขาวสะอาด พอใส่ลงไปในอาหารทำให้สีหม่นลง) ด้วยเหตุนี้กะทิที่ได้นี้จึงเหมาะแก่การนำไปประกอบอาหารจำพวกแกงต่างๆ

กะทิที่ได้จากเนื้อมะพร้าวที่ผ่านการเอาผิวออกก่อนบดให้ละเอียด (Coconut milk from white grated coconut) น้ำกะทิที่ได้เป็นสีขาวสะอาด ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปทำขนมหวานประเภทต่างๆ ส่งผลให้รูปลักษณ์ สีสันของขนมดูสวย เนียน สะอาด น่ารับประทาน อย่างไรก็ดี สำหรับน้ำกะทิที่ได้จากเนื้อมะพร้าวที่ผ่านการเอาผิวออกและน้ำกะทิที่ได้จากการไม่เอาเนื้อมะพร้าวออก ในเรื่องของรสชาติ ความเข้มข้นและความหอมแล้ว น้ำกะทิทั้งสองชนิดก็มิได้ต่างกันแต่อย่างใด ต่างกันเฉพาะสีของน้ำกะทิเท่านั้น

2. กะทิบรรจุถุงพาสเจอร์ไรซ์ เป็นกะทิสำเร็จรูปที่ใช้อุณหภูมิไม่เกิน 100 °C ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ มีกลิ่นรสใกล้เคียงน้ำกะทิสดมากที่สุด แต่ต้องเก็บรักษาในตู้เย็นเพื่อรักษาคุณภาพ มีอายุเก็บรักษาสั้น เทคโนโลยีผลิตปัจจุบันสามารถเก็บในที่เย็นได้ประมาณ 15 วัน

3. กะทิบรรจุกระป๋อง เป็นกะทิที่ผ่านการให้ความร้อนแบบสเตอร์ริไลซ์ มีอายุเก็บไว้ได้ประมาณ 2 ปี กะทิแบบนี้เมื่อตั้งทิ้งไว้อาจเกิดการแยกชั้นระหว่างไขมันกับน้ำกะทิ แต่เมื่อเขย่าเม็ด

ไขมันเกิดกระจายผสมกันเป็นเนื้อเดียวกันได้เหมือนเดิม กะทิแบบนี้มีกลิ่นรสและสีเปลี่ยนไป เรียกว่า cooked เนื่องจากผ่านความร้อนในระดับสูง

4. กะทิสำเร็จรูปยูเอชที (Ultra High Temperature: UHT) มีกลิ่นหอมที่แสดงความสดใหม่มากกว่าแบบกระป๋อง เพราะผ่านความร้อนไม่นานมาก มีอายุเก็บไว้ได้ ประมาณ 1 ปี

5. กะทิแช่แข็ง

6. กะทิผง เป็นน้ำกะทิที่นำ มาทำ ให้แห้งเป็นผงละเอียด โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ปัจจุบันยังมีการผลิตไม่มากนัก

7. กะทิสำเร็จรูปปรุงแต่งกลิ่นรส เช่น กะทิสำเร็จรูปอบควันเทียน กะทิใบเตย น้ำแกงสำเร็จรู

8. เครื่องดื่มกะทิ นมมะพร้าว



รูปที่ 2.6 ผลิตภัณฑ์กะทิสำเร็จรูป

การแปรรูประดับอุตสาหกรรม

จากข้อมูลกรมโรงงานกระทรวงอุตสาหกรรม(สิงหาคม 2555) และสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข พบว่ามีโรงงานที่ผลิตกะทิสำเร็จรูปส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่ที่ภาคกลางเนื่องจากทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมทั้งด้านวัตถุดิบและการกระจายสินค้าสู่ตลาดทั้งในประเทศและส่งออก จังหวัดที่มีโรงงานกะทิสำเร็จรูปมากที่สุดคือ จังหวัดนครปฐม รองลงมาคือสมุทรสาคร และราชบุรี

ในการผลิตกะทิสำเร็จรูปแต่ละโรงงานมีสูตรการผลิตของตนเอง โดยเป็นสูตรที่พัฒนาให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าหรือผู้บริโภครวมถึงการพัฒนาให้เป็นไปตามกฎระเบียบการนำเข้าของประเทศนั้นๆ เช่น การห้ามใส่วัตถุเจอปนอาหารบางชนิด สำหรับบรรจุภัณฑ์ต้องสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าในแต่ละกลุ่ม อาทิ บรรจุภัณฑ์กระป๋องสำหรับตลาดสหรัฐอเมริกา และบรรจุภัณฑ์กล่องสำหรับตลาดในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป สำหรับโรงงานที่ผลิตกะทิสำเร็จรูปไม่มากยังเน้นผลิตภัณฑ์กระป๋องอื่นๆอยู่ ส่วนใหญ่บรรจุภัณฑ์เป็นกระป๋อง โดยเฉลี่ยมีอายุการใช้งาน 1 ปี เราจึงมักพบเห็นกะทิสำเร็จรูปส่งออกในลักษณะบรรจุกระป๋อง เพราะโรงงานผู้ผลิตที่มีอยู่จำนวนมากยังมียอดผลิตที่ไม่มากพอในการลงทุนด้านบรรจุภัณฑ์กล่อง (สถาบันอาหาร, 2555)

มูลค่าการนำเข้า-ส่งออกผลิตภัณฑ์

ในภาพรวมแนวโน้มที่ผ่านมา ไทยมีการนำเข้ามะพร้าวแห้งเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปริมาณพื้นที่ปลูกของไทยที่ลดลง ประกอบกับปัญหาแมลงระบาดทำให้ผลผลิตเสียหาย โดยเฉพาะในปี 2554 ไทยต้องนำเข้ามะพร้าวแห้งถึง 111,661.07 ตัน มูลค่า 989.58 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากเดิมมากหลายเท่าตัว โดยปริมาณถึงร้อยละ 99.87 นำเข้าจากอินโดนีเซีย ที่เหลือนำเข้าจากกัมพูชา ไต้หวัน ในปี 2555 (ม.ค.-มิ.ย.) พบว่าไทยยังมีการนำเข้ามะพร้าวแห้งจากอินโดนีเซียอยู่ ปริมาณ 26,763.29 ตัน มูลค่า 220.57 ล้านบาท และนำเข้าจากเวียดนาม 91.25 ตัน มูลค่า 0.83 ล้านบาท (สถาบันอาหาร, 2555)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณและมูลค่านำเข้ามะพร้าวแห้งทั้งผลของไทย

ปี	2550	2551	2552	2553	2554
ปริมาณ(ตัน)	377.60	789.88	300.02	3,026.71	111,661.07
มูลค่า(ล้านบาท)	4.40	3.01	0.90	5.28	989.58

ที่มา : สถาบันอาหาร (http://fic.nfi.or.th/food/upload/pdf/17_1585.pdf)

ปี 2555 ช่วง 6 เดือนแรกของปี ไทยส่งออกกะทิสำเร็จรูป ปริมาณ 50,864.57 ตัน มูลค่า 2,695.63 ล้านบาท ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย อังกฤษ เยอรมนี เนเธอร์แลนด์ ปริมาณและมูลค่าส่งออกแต่ละประเทศรายละเอียดดังตารางที่ สัดส่วนมูลค่าส่งออก ซึ่งเห็นได้ว่ามีมูลค่าการส่งออกสูงกว่ามูลค่าในการนำเข้าเป็นอย่างมาก (สถาบันอาหาร, 2555)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณและมูลค่าส่งออกกะทิสำเร็จรูปไป 10 ตลาดแรก ปี 2555(ม.ค.-มิ.ย.)

ตลาด	ปริมาณ(ตัน)	มูลค่า(ล้านบาท)
สหรัฐอเมริกา	18,174.43	991.30
ออสเตรเลีย	5,095.69	280.87
สหราชอาณาจักร	4,221.55	202.28
เยอรมนี	2,869.32	159.52
เนเธอร์แลนด์	3,154.23	151.86
แคนาดา	2,015.61	94.29
สวีเดน	1,487.92	76.85
นิวซีแลนด์	1,414.31	66.06
ฝรั่งเศส	1,078.16	60.41
ฮ่องกง	1,004.82	58.74
อื่นๆ	10,348.53	553.45
รวมทั้งสิ้น	**50,864.57**	**2,695.63**

ที่มา : สถาบันอาหาร (http://fic.nfi.or.th/food/upload/pdf/17_1585.pdf)

2.2.2 การแปรรูปกะทิผง

กะทิผงเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่การผลิตจากกะทิสดที่คั้นจากมะพร้าวมาทำให้แห้งเป็นผง โดยวิธีพ่นฝอย (Spray Dry) แล้วบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท กะทิผงมีลักษณะเป็นผงสีขาวมีกลิ่นและรสเหมือนกะทิสด กะทิผงมีข้อได้เปรียบกะทิสด คือ ลดน้ำหนัก และปริมาณลงมาก สามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน มีสารอาหารและคุณค่าทางอาหารเท่ากับกะทิสด

ปัจจุบันกะทิผงมีวางจำหน่ายในตลาดไม่มากนัก เนื่องจากกะทิผงยังไม่ค่อยเป็นที่นิยมสำหรับคนไทย จึงยังคงแย่งส่วนแบ่งการตลาดของกะทิน้ำสำเร็จรูปได้ไม่ง่าย การผลิตใช้กะทิสดที่คั้นจากมะพร้าว นำมาผ่านเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dry) ที่อุณหภูมิมากกว่า 100 °C จนกะทิน้ำกลายเป็นกะทิผง สามารถเก็บไว้ใช้ได้นานถึง 2 ปี ขณะที่กะทิน้ำสำเร็จรูปพาสเจอร์ไรซ์ทั่วไป มีอายุการใช้งานไม่เกิน 6-12 เดือน



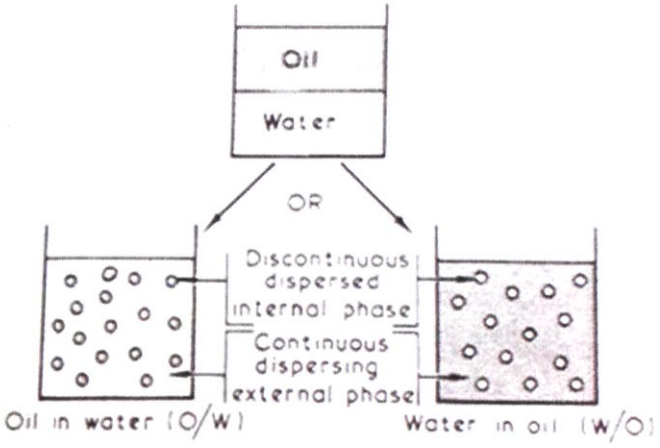
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กะทิผง

2.3 อิมัลชัน (Emulsion)

อิมัลชันของของเหลว-ของเหลว มีสองชนิดคือ 1) น้ำมันในน้ำ (o/w) เช่น นม กะทิ และ 2) น้ำในน้ำมัน (w/o) เช่น มาร์การีน อิมัลชันเหล่านี้ค่อนข้างเป็นอิมัลชันแบบง่ายๆ ส่วนอิมัลชันที่ซับซ้อนขึ้นมักพบในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ไอศกรีม ไส้กรอก และเค้กในอิมัลชันของของเหลว

ในอิมัลชันของของเหลวส่วนใหญ่ แม้ว่าของเหลวสองชนิดที่มาผสมกันคือ น้ำและน้ำมัน แต่ระบบที่น้ำบริสุทธ์และน้ำมันบริสุทธ์มาผสมกันมีน้อย เช่น เฟสของน้ำอาจประกอบด้วยสารละลายเกลือ น้ำตาล และสารอินทรีย์หรือสารคอลลอยด์ต่างๆ (สารประกอบไฮโดรฟิลิค) ส่วนเฟสของน้ำมันอาจประกอบด้วยน้ำมัน ไฮโดรคาร์บอน ไข เรซิน และสารอื่นๆ ที่คล้ายน้ำมัน (สารประกอบไฮโดรโฟบิค) นอกจากนี้อาจมีสารตัวที่สามที่เรียกว่าสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier agent) ร่วมอยู่ด้วยเพื่อทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น สารอิมัลซิไฟเออร์อาจมีอยู่ในอาหารเองหรือเติมเข้าไปในระหว่างกระบวนการแปรรูป

เมื่อน้ำและน้ำมันผสมกัน ทำให้เกิดอิมัลชันได้สองชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายตัวและปริมาณของสารทั้งสอง เช่น ถ้าน้ำมันเป็นเฟสที่กระจายหรือเฟสไม่ต่อเนื่อง ทำให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (o/w) หรือถ้าน้ำเป็นเฟสไม่ต่อเนื่อง ทำให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (w/o) ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งอิมัลชันที่เกิดขึ้นมักแสดงคุณสมบัติส่วนใหญ่ของของเหลวที่เป็นเฟสต่อเนื่อง เช่น อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำอาจทำให้เจือจางด้วยน้ำ ทำให้เกิดสีได้ด้วยสีที่ละลายน้ำและแสดงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่สอดคล้องกับเฟสของน้ำ (aqueous phase) ในทางตรงกันข้าม อิมัลชันของน้ำในน้ำมันก็สามารถทำให้เจือจางด้วยน้ำมัน ทำให้เกิดสีด้วยสีที่ละลายได้ในน้ำมันและมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ อิมัลชันสองชนิดที่มีองค์ประกอบคล้ายกันมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันอย่างมากขึ้นกับว่าน้ำหรือน้ำมันเป็นเฟสต่อเนื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อชนิดของอิมัลชันที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำและน้ำมันผสมกันได้แก่ ชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ สัดส่วนของเฟสทั้งสองและวิธีการเตรียมอิมัลชัน (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)



รูปที่ 2.8 ชนิดของอิมัลชัน, (ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)

2.3.1 ลักษณะอิมัลชันในงานอาหาร

การเกิดอิมัลชันต้องมีงานกระทำต่อระบบเพื่อให้ชนะความต้านทานที่ก่อให้เกิดผิวร่วมระหว่างเฟสขึ้นใหม่ (ซึ่งเกิดขึ้นจากแรงตึงระหว่างผิว) งานของการทำให้เกิดอิมัลชันเทียบเท่ากับผลคูณของผิวที่เกิดขึ้นใหม่กับแรงตึงระหว่างผิวหน้า นอกจากนี้พลังงานที่ต้องใช้ยังรวมถึงพลังงานที่ให้ของเลวเคลื่อนที่ และชนะความต้านทานอันเนื่องจากแรงเสียดทานที่พื้นผิวของเครื่องมือ โดยทั่วไปงานที่ให้กับของเหลวกระทำได้โดยการกวนอย่างแรง ชนิดของการกวนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำอิมัลชัน คือ ชนิดที่ทำให้เกิดอนุภาคใหญ่ของเฟสไม่ต่อเนื่องได้รับแรงเฉือน ในลักษณะนี้ทำให้อนุภาคเสียรูปและแตกออกเป็นขนาดที่เล็กลง ทำให้มีการกระจายตัวที่ละเอียดกว่า ถ้าสภาวะที่เหมาะสมฟิล์มของสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ทำหน้าที่ดูดซับที่ระหว่างผิวหน้าร่วมของทั้งสองเฟสและอิมัลชันที่คงตัวเกิดขึ้น

ในการเตรียมอิมัลชันควรพิจารณาถึงสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ต้องเหมาะกับชนิดของอิมัลชันที่ต้องการ เช่น o/w หรือ w/o เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรของเฟสไม่ต่อเนื่อง และอุณหภูมิของการเตรียม เนื่องจากแรงตึงระหว่างผิวและความหนืดลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ไม่ควรเกิน 70 °C หรือในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น มายองเนส มีองค์ประกอบของไข่แดงด้วยจึงต้องทำให้เป็นอิมัลชันที่อุณหภูมิต่ำ (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)

2.3.2 ทฤษฎีของการโฮโมจีไนเซชัน

หลักการของโฮโมจีไนเซชันคือ การให้ของไหลผ่านช่องแคบออริฟิซ (orifice) ที่บางมากด้วยความดันสูงและความเร็วสูงมาก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านช่องแคบดังกล่าว โดยลักษณะการแยกที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นผลจากแรงเฉือนระหว่างผิวหน้าต่างๆ ของวาล์วขณะที่ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านช่องเล็กๆ ด้วยความเร็วสูง อนุภาคของของแข็งหรือหยดของเหลวที่อยู่ใกล้กับผนังหรือขอบ(edge) ของกระแสมากที่สุดมีแรงต้านทานจากแรงเสียดทานของของไหลในกระแสและกระแสที่อยู่ตรงศูนย์กลางของทางไหลหรือส่วนที่วิ่งเร็วที่สุดของกระแสอาจพา

อนุภาคต่างๆที่อยู่ตรงกลางเคลื่อนไปได้เร็วมากกว่าอนุภาคที่อยู่ใกล้กับขอบของแระแสได้ ความแตกต่างในเรื่องความเร็วนี้ทำให้อนุภาคของของแข็งมีการบดซึ่งกันและกันด้วยแรงเฉือน ทำให้มีขนาดเล็กลงยิ่งการไหลมีความเร็วมากขึ้นและกระแสแคบขึ้น แรงเฉือนมากขึ้นเช่นกัน

ลักษณะของโฮโมจีไนเซชันกับการไหลของแม่น้ำที่ไหลเชี่ยวมีความคล้ายกันคือ การทำให้ของแข็งหรือหยดของเหลวแตกออกจากกันเป็นผลมาจากแรงอัดที่เกิดขึ้นเมื่อกระแสความเร็วสูงชนกับผิวของของแข็ง เช่น breaker ring ในเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ซึ่งมีการใช้ในวาล์วบางชนิด หรือผลของการทำให้แตกอาจเกิดขึ้นเนื่องจากความดันที่ลดลงอย่างรวดเร็วขณะที่ของไหลออกจากวาล์ว นอกจากนี้แรงทีเกิดขึ้นจากการแตกออก (collapse) ของฟองต่างๆ เนื่องจากคาวิเตชัน(cavitation) อาจเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการโฮโมจีไนเซชันด้วย ขนาดและรูปร่างของช่องแคบออริฟิซ กำหนดจากปริมาตรที่ต้องการแปรรูปในเวลาหนึ่งๆ และกำหนดจากความหนืดของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุดซึ่งได้จากวาล์วของโฮโมจีไนเซอร์เมื่อของไหลถูกบังคับให้ผ่านวาล์วภายใต้ความดันที่คงที่และสม่ำเสมอ เนื่องจากผลของแรงเฉือนของวาล์วเปลี่ยนแปลงไปตามความหนืดของของไหลที่ไหลผ่านวาล์ว สามารถแก้ไขได้โดยใช้ความเร็วค่าหนึ่งความดันที่ขึ้นๆลงๆ ทำให้ความเร็วแปรเปลี่ยนไป ซึ่งมีผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาที่ไม่ดีนัก (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)

2.3.3 ปรากฏการณ์ทำให้อนุภาคแตก (Disruption phenomena)

ขณะที่อนุภาคที่แขวนลอยหรือหยดของเหลวที่เป็นเฟสที่ไม่ต่อเนื่องผ่านบริเวณที่ทำให้แตก กลไกการแตกต่างอาจเกิดขึ้นดังนี้

1) กลไกการเฉือนในการไหลแบบลามินาร์และเทอร์บูเลนท์ (Shear mechanisms in laminar and turbulent flow) การไหลทุกชนิด เช่น การไหลที่เกี่ยวข้องกับความเสียหาย (friction) ก่อให้เกิดแรงเฉือน (shearing stress) ต่ออนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในกระแส ในการไหลแบบลามินาร์ความเครียดเหล่านี้เป็นสิ่งปกติและมีลักษณะความหนืด แต่การไหลแบบเทอร์บูเลนท์ ความเครียดเป็นสิ่งไม่ปกติ แต่เป็นกลไกที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดการแตกขึ้น

2) คาวิเตชัน (Cavitation) เมื่อความดันในระบบถูกลดลงต่ำกว่าความดันไอของของเหลว ทำให้เกิดฟองของไอ (vapor bubbles) ซึ่งฟองของไอนี้เกิดแตก (collapse) ในบริเวณที่มีความดัน ณ ตำแหน่งใกล้เคียงที่สูงกว่า โดยใช้ความดันช่วง 5×10^{6} - 5×10^{7} Pa ในวาล์วของการโฮโมจีไนเซชันความดันสูง คาวิเตชันเกิดขึ้นเสมอซึ่งพิสูจน์ได้จากการเสื่อมเสียของผิวของวาล์วของการโฮโมจีไนเซชันซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการคาวิเตชัน การมีคาวิเตชันมีผลทำให้การแตกมากขึ้นเมื่อพลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากัน และทำให้กระบวนการโฮโมจีไนเซชันมีประสิทธิภาพมากขึ้น (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)

2.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจีไนเซชัน

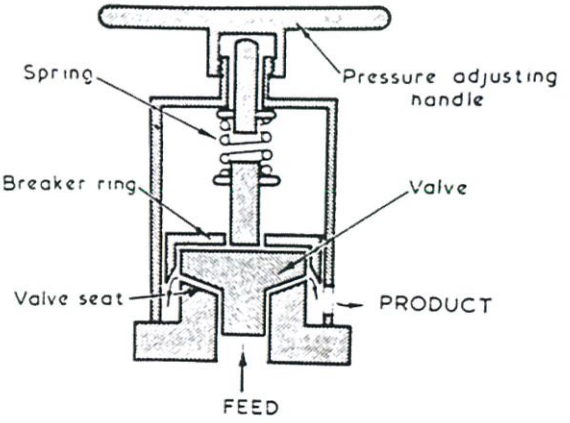
ของผสมที่ต้องผ่านกระบวนการโฮโมจีไนเซชัน ต้องเป็นของผสมที่มีความหนืดที่สามารถขนถ่ายได้ด้วยปั๊ม ความดันที่ต้องการในของเหลวที่ท่อส่งออกของปั๊มขึ้นกับกลไกในการลดขนาด ถ้าแรงที่ต้องการในการลดขนาดของอนุภาคที่เป็นเฟสที่ไม่ต่อเนื่องได้รับโดยตรงจากพลังงานของการไหล

ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการโฮโมจีไนเซชัน เช่น High Pressure Homogenization, Colloid mill, High Speed Blender, Ultrasonic Homogenizers เป็นต้น

เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูง (High Pressure Homogenization)

การโฮโมจีไนเซชันเป็นการลดขนาดของเฟสที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งทำให้เกิดขึ้นโดยการบังคับอิมัลชันที่หยาบผ่านช่องเปิดแคบๆ ที่มีความเร็วสูง เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ วาล์วของการโฮโมจีไนเซชันและปั๊มความดันสูง โดยวาล์วมักออกแบบมาเพื่อให้เกิดช่องแคบที่ปรับได้ โดยมีความกว้างระกว่าง 15-300 ไมโครเมตร ซึ่งอิมัลชันที่หยาบถูกปั๊มผ่านช่องแคบนี้ที่มีความดันสูงถึง 10000 psi ขณะที่อาหารเหลวเข้าสู่ช่องแคบนี้ ของเหลวถูกเร่งจนมีความเร็วในช่วง 50-200 m/s ทำให้อนุภาคของเฟสไม่ต่อเนื่องเกิดการเฉือนซึ่งกันและกัน จนเสียรูปร่างและแตกออก ขณะที่ของเหลวออกจากช่องแคบนี้ทำให้ชนกับผิวที่แข็งซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการไหล ลักษณะเช่นนี้ไปเร่งการแตกหรือการฉีกขาดของอนุภาคที่ไม่เสถียรของเฟสที่ไม่ต่อเนื่องอีก ความดันที่ลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่ของเหลวออกจากช่องแคบ และการยุบตัวของฟองเนื่องจากคาวิเตชัน อาจมีผลต่อการลดขนาดของอนุภาคด้วย

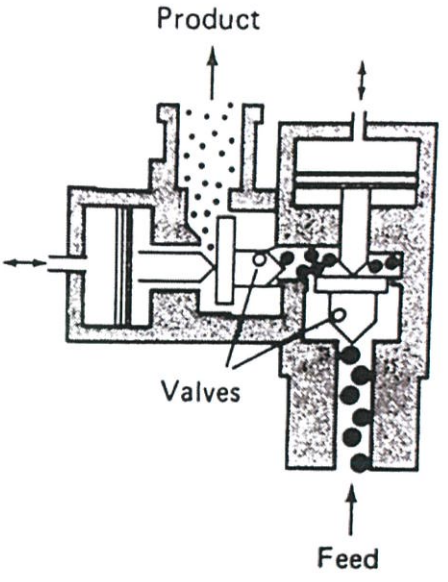
ชนิดของวาล์วที่ออกแบบโดยทั่วไป คือ วาล์วพอพเพต(poopet valve) ของเหลวเดินทางระหว่างวาล์วซีด(seat) กับวาล์วที่ยกขึ้นต้านกับสปริงที่แข็งแรงการปรับแรงดึงบนสปริงทำให้เกิดการเปลี่ยนความดันของการโฮโมจีไนเซชัน เมื่อออกจากช่องแคบที่เป็นวงแหวนแล้วของเหลวชนกับ breaker ring



รูปที่ 2.9 วาล์วของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์, (ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)

ปั๊มชนิด Positive displacement มีไว้เพื่อส่งวัตถุดิบไปยังวาล์ว และเพื่อให้การลดขนาดได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพ จึงควรเป็นอัตราการไหลแบบคงตัว ระบบที่ใช้กันเป็นปั๊มทรงกระบอกหลายตัวที่มีลูกสูบทำงานต่อเนื่อง โดยขับเคลื่อนผ่านเฟือง

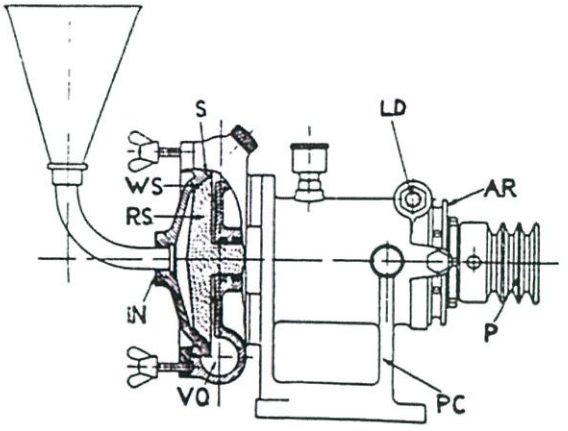
โฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงชนิดที่มีวาล์ว 2 ขั้น อาจจำเป็นต้องใช้เพื่อให้มีการกระจายตัวที่เหมาะสมสำหรับบางผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์นม ครีมสลัด และอิมัลชันอื่นๆ ที่โปรตีนทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ อนุภาคขนาดเล็กที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านวาล์วของโฮโมจีไนเซอร์ 1 รอบที่ความดันสูงมีแนวโน้มเกิดการเกาะและรวมตัวกันอีก ซึ่งลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นจากการกระจายตัวของสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ต่ำเหนือผิวที่เกิดขึ้นใหม่ และเม็ดไขมันอยู่ภายในฟิล์มของแข็งของสาร เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ชนิดนี้มักนำมาใช้ก่อนการพาสเจอร์ไรซ์ และการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูง(รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)



รูปที่ 2.10 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงแบบ 2 ขั้นตอน,
(ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)

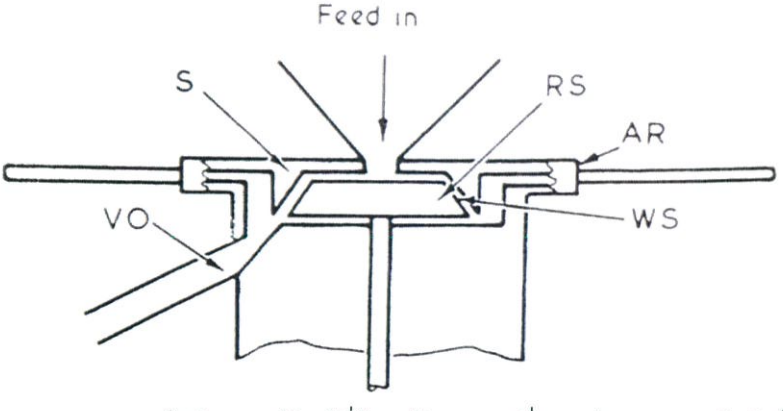
เครื่องบดแบบคอลลอยด์ (Colloid Mill)

เครื่องบดคอลลอยด์ประกอบด้วยผิวที่หยุดนิ่งเรียกว่า สเตเตอร์(stator) และผิวที่หมุนหรือตัวหมุนเรียกว่า โรเตอร์(rotor) ซึ่งหมุนรอบแกนนอน ช่องว่างระหว่างผิวที่อยู่นิ่งกับตัวหมุนสามารถปรับได้ (ปกติอยู่ในช่วงของ 50-150 ไมโครเมตร) โดยการเคลื่อนที่ของตัวหมุน ของเหลวซึ่งเป็นอิมัลชันที่ป้อนเข้าสู่ศูนย์กลางของการหมุนภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ผ่านช่องว่างระหว่างผิวที่หยุดนิ่งและตัวหมุน ในระหว่างที่ผ่านช่องระหว่างผิวทั้งสองของเหลวได้รับแรงเสียดสี ทำให้เกิดเฟสที่ไม่ต่อเนื่องขึ้น จากนั้นของเหลวถูกปล่อยออกที่รอบเส้นรอบวงของผิว ความเร็วของตัวหมุนอยู่ในระหว่าง 3000 rpm สำหรับตัวหมุนขนาด 15 นิ้ว จนถึง 15000 rpm สำหรับตัวหมุนขนาด 3.5 นิ้ว เครื่องบดนี้เหมาะสำหรับของเหลวความหนืดต่ำ



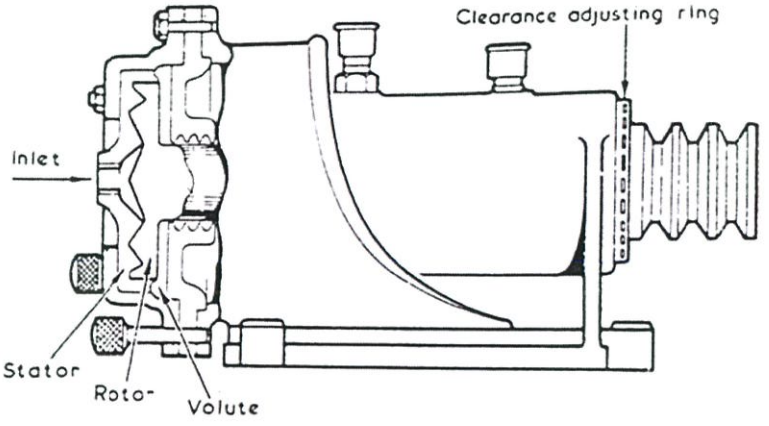
รูปที่ 2.11 เครื่องบดคอลลอยด์ความเร็วสูง, (ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)

สำหรับของเหลวที่มีความหนืดสูง มักนิยมใช้เครื่องบดที่เป็นแบบตัวหมุนที่หมุนในแกนตั้ง เรียกว่า เพสต์มิลล์(paste mills) ความเร็วที่ใช้อยู่ระหว่าง 3000 rpm สำหรับตัวหมุนขนาด 10 นิ้ว จนถึง 10000 rpm สำหรับตัวหมุนขนาด 2.5 นิ้ว โดยที่ผลิตภัณฑ์สามารถออกจากเครื่องและการล้างเครื่องทำได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ยังมีการหุ้มด้วยฉนวนเพื่อควบคุมอุณหภูมิ อิมัลชันที่ได้จากเครื่องบดนี้ค่อนข้างละเอียดซึ่งให้เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคของเฟสที่ไม่ต่อเนื่องถึง 1-2 ไมโครเมตร แต่มีข้อเสียคือการที่อากาศเข้าไปในผลิตภัณฑ์มีผลทำให้การทำงานของเครื่องมีประสิทธิภาพน้อยลง



รูปที่ 2.12 เครื่องบดคอลลอยด์ชนิดเพสต์มิลล์ที่ป้อนด้านบน, (ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)

นอกจากนี้ยังมีเครื่องบดบางชนิดที่ออกแบบมาเพื่อให้ผิวที่หยุดนิ่งและผิวที่หมุนมีลักษณะที่หยักหรือคล้ายลูกฟูก ซึ่งทำให้การทำอิมัลชันเป็นไปด้วยดี ผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องภายใต้ความดันสูง 100 psi และการเกิดอากาศในผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)



รูปที่ 2.13 เครื่องบดคอลลอยด์ชนิดที่เป็นรอยหยัก, (ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)

เครื่องผสมความเร็วสูง (High Speed Blender)

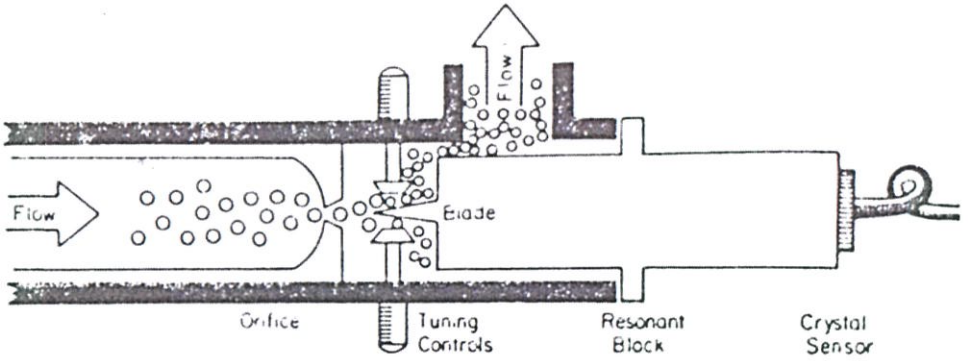
เครื่องผสมใช้ความเร็วสูงแบบใบพายหรือใบพัด เป็นเครื่องที่ใช้ในการผสมอิมัลชันของของเหลวที่มีความหนืดต่ำก่อนในขั้นแรก เครื่องทำงานโดยแรงเฉือนที่มีต่ออาหารที่บริเวณขอบและปลายของใบพายหรือใบพัด(วิไล รังสาดทอง, 2547)



รูปที่ 2.14 เครื่องผสมความเร็วสูง, (ที่มา : http://www.aliexpress.com/)

เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ชนิดอุลตร้าโซนิค (Ultrasonic Homogenizers)

การใช้เครื่องอุลตร้าโซนิค เป็นการกระจายของเหลวที่ไม่สามารถละลายเข้ากันได้กับของเหลวอีกชนิดหนึ่งเกิดเป็นอิมัลชันขึ้น คลื่นอุลตร้าโซนิคพลังงานสูงก่อให้เกิดวงจรสลับของแรงอัดและแรงดึงในของเหลวที่มีความหนืดต่ำ เพื่อทำให้เกิดอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาค 1-2 ไมโครเมตร ของเหลวที่เป็นเฟสที่ต่อเนื่องของอิมัลชันถูกเติมเข้าไปในของเหลวที่เป็นเฟสต่อเนื่องแล้วของของเหลวทั้งสองถูกปั๊มผ่านเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่ความดัน 340-1400 kPa พลังงานของอุลตร้าโซนิคเกิดจากใบพัดโลหะที่สั่นด้วยความถี่เรโซเนนท์(Resonant frequency) การสั่นอาจเกิดขึ้นทางไฟฟ้าหรือเกิดจากการเคลื่อนที่ของของเหลว ความถี่นี้สามารถควบคุมได้ด้วยการปรับตำแหน่งที่ยึดใบพัด เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ประเภทนี้ใช้ในการผลิต ครีมสลัด ไอศกรีม และใช้ในการกระจายผงต่างๆในของเหลวด้วย (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)



รูปที่ 2.15 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ชนิดอุลตร้าโซนิค, (ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)

2.4 การทำแห้ง (Dehydration)

การทำแห้ง (Dehydration) คือการใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหารโดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด (Freeze drying) โดยมีวัตถุประสงค์ของการกำจัดน้ำเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยลดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ โดยทั่วไปอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการไม่สูงพอที่ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนั้นการลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค แต่การทำให้สามารถก่อให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร การหาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดเพื่อให้มีการสูญเสียคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการน้อยที่สุด ตัวอย่างอาหารแห้งที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่สำคัญได้แก่ น้ำตาล กาแฟ นม มันฝรั่ง แป้ง ถั่ว ถั่วลิสง ส่วนผสมสำหรับทำขนมปัง อาหารเช้าประเภทที่ทำมาจากธัญพืช ชาและเครื่องเทศ (วิไล รังสาดทอง, 2552)

2.4.1 กลไกการทำแห้ง

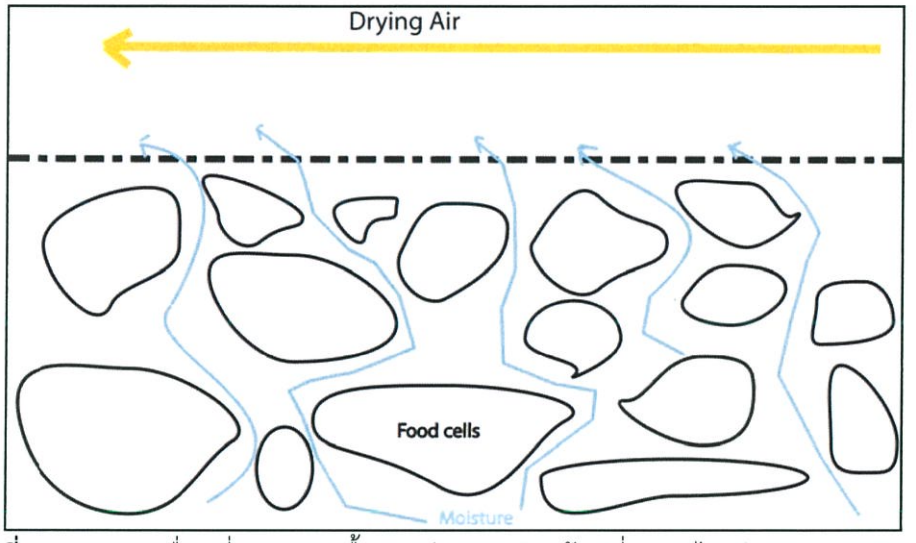
เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนถูกถ่ายเทไปที่ผิวของอาหารและน้ำถูกระเหยออกด้วยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ทำให้ไอน้ำแพร่ผ่านชั้นอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ สภาวะดังกล่าวทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้น ชั้นอาหารด้านในมีความดันไอสูงและค่อยๆลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร น้ำอาจเคลื่อนที่ไปสู่ผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้

1) การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลารี่

2) การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่างๆ

3) การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร

4) ความแตกต่างของความดันไอทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหาร

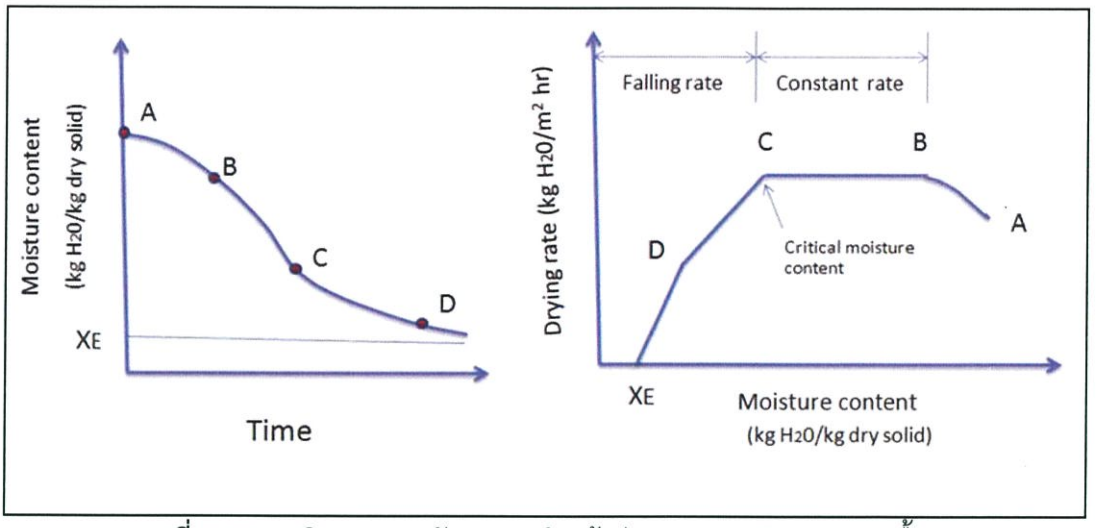


รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง, (ที่มา : วิไร รังสาดทอง, 2547)

อาหารแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) ไฮโกรสโคปิก (Hygroscopic) เป็นอาหารที่มีค่าความดันไอย่อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของอาหาร

2) นอนไฮโกรสโคปิก (Non-Hygroscopic) เป็นอาหารที่มีค่าความดันไอคงที่แม้ว่ามีความชื้นแตกต่างกัน



รูปที่ 2.17 พฤติกรรมและอัตราการทำแห้งต่อเวลาและปริมาณความชื้น
(ที่มา http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0663/drying-rate)

เมื่อเริ่มอบแห้งเวลาที่ใช้ในการทำให้ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียกเป็นช่วง AB ต่อมาเป็นช่วงการทำให้แห้ง โดยน้ำเคลื่อนที่จากด้านในของอาหารออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้า ผิวหน้าที่เปียกอยู่เรียกช่วงเวลาดังกล่าวว่า ช่วงอัตราเร็วคงที่ (Constant rate period) และช่วงต่อเนื่องไปจนถึงความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) แต่ในทางปฏิบัติผิวหน้าของอาหารค่อยๆแห้งด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน และค่อยๆลดลงในช่วงของอัตราเร็วคงที่ จุดความชื้นวิกฤตของอาหารจึงขึ้นอยู่กับแต่ละชนิด เมื่อความชื้นของอาหารลดต่ำลงกว่าความชื้นวิกฤต อัตราการทำแห้งลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ที่ความชื้นสมดุล เรียกว่าเป็นช่วงอัตราลดลง (Falling rate period) ช่วง CD ในช่วงอัตราลดลง อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในอาหารมายังผิวหน้าอัตราการเคลื่อนที่ต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบ ผิวหน้าจึงแห้ง ช่วงดังกล่าวเป็นช่วงที่นานที่สุดของกระบวนการทำแห้งในอาหารบางชนิด เช่น การทำแห้งเมล็ดพืช เป็นต้น (วิไล รังสาดทอง, 2552)

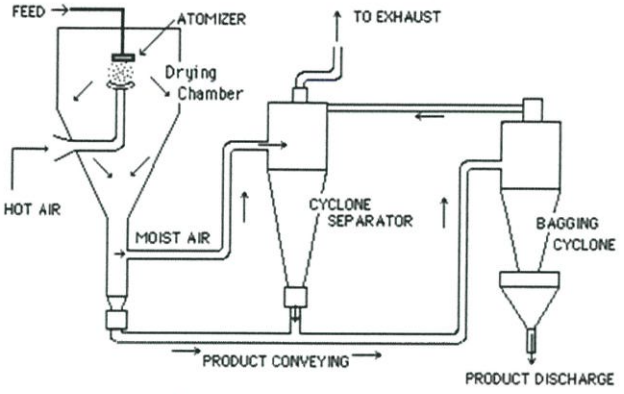
2.4.2 เครื่องทำแห้งประเภทต่างๆ

เป็นเครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปอาหารที่ใช้เพื่อการทำแห้งอาหาร มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมในระหว่างการทำแห้ง เช่น ควบคุมอุณหภูมิ ความดัน เพื่อให้รักษาคุณภาพของอาหาร ตัวอย่างเครื่องทำแห้งที่สามารถมาประยุกต์ให้เป็นผลิตภัณฑ์ผงได้ เช่น Spray Dryer, Drum Dryer, Freeze Dryer, Fluidized bed Dryer เป็นต้น

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

เป็นวิธีการที่นิยมใช้สำหรับการทำแห้งสารละลายอินทรีย์ สารประเภทอิมัลชัน (Emulsion) และของเหลวชนิดต่าง ๆ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในรูปของผงแห้ง มักใช้วิธีนี้ในอุตสาหกรรมทางเคมีและอาหาร ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีวางขายในปัจจุบันได้แก่ นมผง อาหารเด็ก ยา และสีย้อม การอบแห้งด้วยวิธีนี้ นอกจากใช้สำหรับทำแห้งอย่างรวดเร็วแล้ว ยังเป็นวิธีการที่มี

ประโยชน์มากในการลดขนาดและปริมาตรของของเหลวอีกด้วย และจากการวิจัยและพัฒนาที่ต่อเนื่องกันมาทำ ให้วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยกลายเป็นวิธีการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพและนิยมนำมาใช้อบแห้งให้กับผลิตภัณฑ์หลายชนิดในปัจจุบัน (Masters K., 1979)



รูปที่ 2.18 การทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย, (ที่มา : วิไร รังสาดทอง, 2547)

หลักการของระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วโดยอากาศร้อน กระบวนการนี้ประกอบไปด้วยการพ่นของเหลว (Feed) ออกมาจนเป็นละอองขนาดเล็ก เข้าผสมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ในละอองของเหลวระเหยไปทั้งหมด และได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผงแห้งสำหรับกระบวนการทำแห้งให้กับผลิตภัณฑ์นั้น เริ่มทำตั้งแต่ใส่ของเหลวลงในเครื่อง แล้วรอจนของเหลวมีความชื้นในระดับที่เหมาะสมต่อการฉีดให้ออกมาเป็นละออง จากนั้นจึงแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งออกมา สำหรับตัวอย่างของเหลวที่นำมาทำแห้งนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่เป็น ตัวทำละลาย สารประเภทอิมัลชัน (Emulsion) หรือสารแขวนลอยก็ได้ ส่วนเครื่องมือที่ใช้สำหรับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคือเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

ทฤษฎีการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการอบแห้งที่ประยุกต์ใช้กับการแปรรูปอาหารได้ทุกประเภทซึ่งอาหารที่ต้องการอบแห้งอาจอยู่ในสภาพของสารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกันหรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันที่อยู่ในรูปของสารละลายของผสมระหว่างของแข็งและของเหลว (Slurry) หรือของเหลวกับของเหลว (Emulsion) หลักการทำแห้งดำเนินการโดยทำให้ของเหลวดังกล่าวแตกตัวเป็นละอองหรือหยดเล็กๆ แล้วไหลผ่านไปในห้องอบแห้งซึ่งมีอากาศร้อนไหลผ่าน ในขณะเดียวกันเนื่องจากหยดของเหลวมีขนาดเล็กมากประมาณ 100-200 ไมโครเมตร ทำให้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากขึ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายโอนมวลและความร้อน การระเหยจึงเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวของหยดของเหลวอนุภาคเล็กๆ อย่างรวดเร็ว (Masters K., 1979)

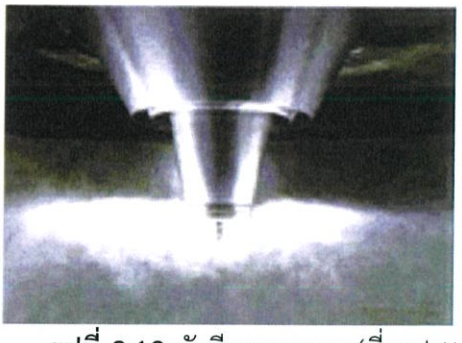
ขั้นตอนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

เมื่ออาหารเหลวถูกฉีดเป็นละอองและสัมผัสกับอากาศร้อนภายในห้องอบแห้งทำให้น้ำในอาหารระเหยไปอย่างรวดเร็วจากนั้นผงของอาหารแห้งตกลงมาแล้วถูกแยกออกจากลมร้อนเพื่อนำไปบรรจุต่อไป กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

(1) การทำของเหลวให้มีอนุภาคขนาดเล็กๆหรือหยดของเหลว (Atomization) การทำของเหลวให้มีอนุภาคขนาดเล็กๆ หรือหยดของเหลวเป็นหัวใจหลักของการอบแห้งแบบพ่นฝอย เพราะเป็นตัวทำให้เกิดพื้นที่ผิวในการระเหยเพิ่มมากขึ้นซึ่งถ้ามีพื้นที่ผิวสูงสามารถระเหยน้ำออกจากอาหารได้รวดเร็ว และเป็นตัวทำให้เกิดอนุภาคเล็กๆ ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพเฉพาะทั้งขนาด รูปร่างตลอดจนความหนาแน่น เมื่อของเหลวมีขนาดเล็กลงทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายโอนความร้อนได้มาก ทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (Masters K., 1979)

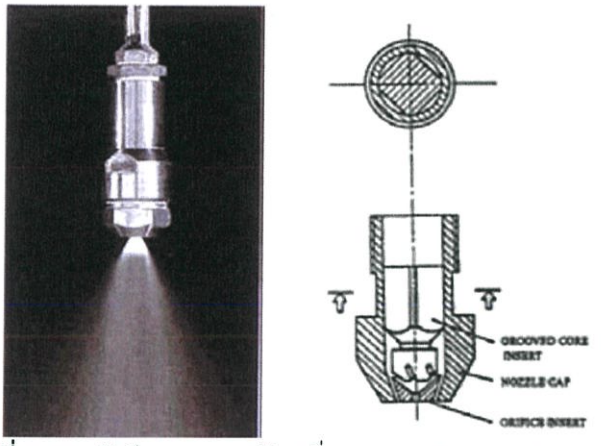
(2) การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง(Atomization of Feed) กระบวนนี้เป็นการทำให้ของเหลว (Feed) พ่นฝอยกระจายตัวกลายเป็นละออง โดยใช้หัวฉีดแบบหมุนซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่องพ่นฝอย (Spray dryer) ซึ่งมี 3 ชนิด คือ

1) หัวฉีดแบบหมุน (Rotary Atomizer) อุปกรณ์พ่นฝอยชนิดนี้ของเหลวไหลลงบนจานหมุนใกล้กับจุดศูนย์กลาง โดยจานหมุนมีความ เร็วรอบประมาณ 5,000-10,000 rpm ของเหลวที่ตกลงบนจานหมุนถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 30-120ไมครอน



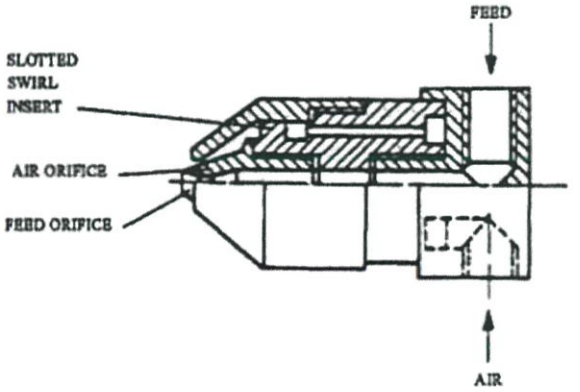
รูปที่ 2.19 หัวฉีดแบบหมุน (ที่มา http://www.niroinc.com/)

2) หัวฉีดแบบแรงดัน (Pressure Nozzles Atomizer) อุปกรณ์พ่นฝอยชนิดนี้ของเหลวไหลผ่านช่องของหัวฉีดภายใต้ความดันสูง ทำให้ของเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดกระจายเป็นละอองฝอยได้โดยที่ไม่ต้องใช้อากาศ อนุภาคที่ได้มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 120-250ไมครอน โดยขนาดอนุภาคแปรผันตรงกับอัตราการไหลของการป้อนและความหนืดของเหลว แต่แปรผกผันกับความดัน



รูปที่ 2.20 หัวฉีดแบบแรงดัน (ที่มา http://www.niro.com/)

3) หัวฉีดแบบสองของไหล (Two-fluid Nozzle Atomizer ,Pneumatic Nozzle Atomizer) อุปกรณ์พ่นฝอยชนิดนี้ของเหลวและอากาศไหลผ่านหัวของหัวฉีด (Nozzle) ซึ่งทำให้ของเหลวแตกเป็นละอองฝอยเนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูงภายในหัวฉีดการปรับอัตราการไหลของอากาศช่วยในการกระจายเป็นละอองของของเหลววิธีนี้นิยมใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูงแต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีค่าดำเนินการที่สูงแต่ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ

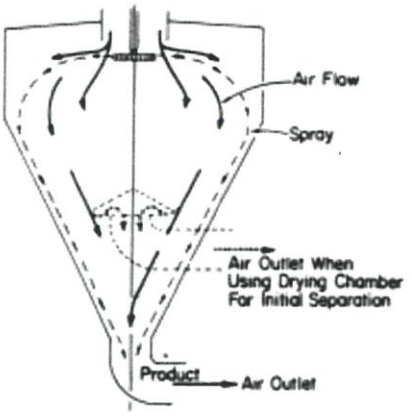


รูปที่ 2.21 หัวฉีดแบบสองของไหล (ที่มา http://www.niro.com/)

(3) การสัมผัสระหว่างละอองหยดของเหลวกับอากาศร้อน ในขั้นตอนนี้อนุภาคของอาหารเกิดการสัมผัสกับอากาศร้อน เพื่อให้น้ำในอาหารเหลวรับความร้อนจากอากาศร้อนมาทำให้เกิดการระเหยน้ำออกไปการกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงมากถ้าทิศทางการไหลของอากาศเหมาะสมทำให้การถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วทั้งนี้ก็ต้องขึ้นกับจุดประสงค์ของการอบแห้ง ลักษณะของอาหารที่ต้องการอบแห้งคุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การสัมผัสระหว่างอนุภาคอาหารกับอากาศร้อนแบ่งได้ 3 แบบคือ

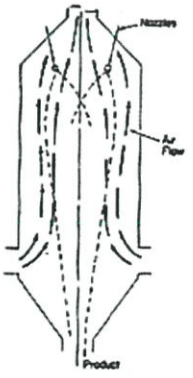
1) การไหลไปในทิศทางเดียวกัน (Co-current flow) อาหารเหลวถูกพ่นออกไปในทิศทางเดียวกันกับอากาศร้อนที่ไหลเข้าวิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายอาหารที่ไม่ทนต่อความร้อนเนื่องจากมี

การระเหยของน้ำเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้นมากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนขาออกผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นต่ำ



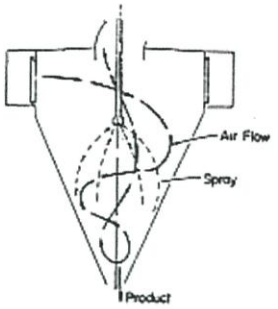
รูปที่ 2.22 การไหลไปในทิศทางเดียวกัน (ที่มา http://www.niroinc.com/)

2) การไหลสวนทางกัน (Counter-current flow) อาหารเหลวที่ถูกพ่นและอากาศร้อนไหลในทิศทางตรงกันข้ามเริ่มจากอนุภาคของอาหารที่มีอุณหภูมิต่ำเมื่อได้รับความร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อน ลักษณะนี้มีการถ่ายโอนความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพเหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูงและต้องการความร้อนมาก



รูปที่ 2.23 การไหลสวนทางกัน (ที่มา http://www.niroinc.com/)

3) การไหลแบบผสมกัน (Mixed-flow) สารละลายและอากาศร้อนไหลไปในทางเดียวกันและสวนทางกันพร้อมๆกัน



รูปที่ 2.24 การไหลในทิศทางผสมกัน (ที่มา http://www.niroinc.com/)

<u>สมดุลความร้อนและสมดุลมวลสาร</u>

ในการออกแบบเครื่องอบแห้งพิจารณาอัตราการอบแห้งเพื่อให้ได้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ตามต้องการซึ่งอัตราการอบแห้งถูกจำกัดโดยการถ่ายโอนความร้อนเป็นหลัก การคำนวณในการอบแห้งจึงได้จากการทำสมดุลมวลสารและความร้อน และข้อมูลของการไหลของอากาศ ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งและอุณหภูมิใช้ในการประเมินการทำงานของเครื่องอบแห้งจากการทำสมดุลมวลสารและความร้อน สำหรับการทำงานของเครื่องอบแห้งอย่างต่อเนื่องและไม่มีผลิตภัณฑ์ค้างอยู่ในห้องอบแห้งมวลของอากาศและสารป้อนที่เข้าไปต่อหน่วยเวลาเท่ากับมวลที่ออกมาของอากาศและผลิตภัณฑ์ความร้อนที่เข้าไปของอากาศและสารป้อนเท่ากับความร้อนที่ออกมาของอากาศและผลิตภัณฑ์กับความร้อนที่สูญเสียไปจากห้องอบแห้งการสมดุลความร้อนและมวลสารพิจารณาได้จากทฤษฎีพื้นฐานการถ่ายเทความร้อนและเชิงมวลที่เกี่ยวข้องกับการทำแห้ง เป็นดังนี้ (Masters K., 1979)

อัตราการถ่ายเทความร้อน

$$\frac{dQ}{dt} = h_c A(T_a - T_{wB}) = \frac{dW}{dt}\lambda \qquad (1)$$

เมื่อ $\frac{dW}{dt}$ = อัตราการระเหย, $\frac{dQ}{dt}$ = อัตราการถ่ายเทความร้อน, h_c = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, A =พื้นที่การถ่ายเทความร้อน, T_a = อุณหภูมิอากาศ, T_{wB} = อุณหภูมิกระเปาะเปียก, λ = ความร้อนแฝงของการระเหย

อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของอากาศ

$$\frac{dW}{dt} = k_g A(H_w - H_a) = k_g A(P_{wB} - p_w) \qquad (2)$$

$$h_c(T_a - T_{wB}) = k_g(H_w - H_a)\,\lambda \qquad (3)$$

เมื่อ H_w = ปริมาณความชื้นที่จุดอิ่มตัว, H_a = ปริมาณความชื้นของอากาศ, P_{wB} = ความดันไอที่จุดอิ่มตัว, p_w = ความดันไอน้ำในอากาศ

การถ่ายเทมวลระหว่างการทำแห้ง

$$M_s((W_s)_1 - (W_s)_2) = G_a(H_2 - H_1) \qquad (4)$$

เมื่อ M_s = อัตราการไหลเชิงมวลของของแข็ง, $(W_s)_1$ = ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบขาเข้า,

$(W_s)_2$ = ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง, G_a = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, H_1 = ปริมาณความชื้นในอากาศขาเข้า, H_2 = ปริมาณความชื้นในอากาศขาออก

ข้อดีของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

1) สามารถควบคุมคุณภาพและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า

2) สามารถทำให้แห้งได้ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิต่ำ

3) เหมาะกับวัตถุดิบที่มีจำนวนมาก และมีการทำงานแบบต่อเนื่อง

4) ผลิตภัณฑ์มีการสัมผัสกับพื้นผิวของเครื่อง แต่พื้นผิวเครื่องทำจากวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์

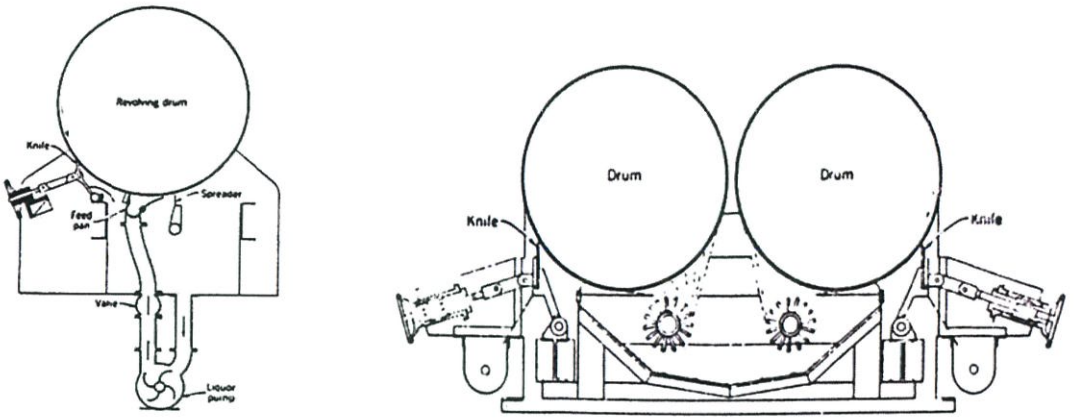
5) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอนุภาคทรงกลม (spherical particle) โดยมีสัดส่วนของส่วนประกอบต่างๆ เหมือนตอนที่เป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว

เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum Dryer)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้ลูกกลิ้งทรงกระบอกร้อนหมุนในแนวนอนเพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารละลายหรือของเหลวหนืดอย่างต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์แห้งขณะที่ติดกับลูกกลิ้งและเขี่ยออกโดยใช้ใบมีด การอบแห้งเกิดขึ้นในฟิล์มของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนแบบการนำจากผิวของลูกกลิ้งไปยังผลิตภัณฑ์ ซึ่งวิธีนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง แต่ทำให้คุณภาพลดลงได้มาก ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน คุณภาพที่ลดลงนี้สามารถทำให้น้อยที่สุดได้ โดยทำให้ฟิล์มของผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ และฟิล์มที่แห้งนี้นำออกไปจากลูกกลิ้งได้หมด

โดยทั่วไป เครื่องอบแห้งทรงกระบอกที่ใช้กันมี 2 ชนิดคือ แบบลูกกลิ้งเดี่ยว และลูกกลิ้งคู่ ชนิดของลูกกลิ้งเดี่ยวมีฟิล์มของผลิตภัณฑ์อยู่บนผิวลูกกลิ้งได้ โดยจุ่มลูกกลิ้งร้อนในของเหลวผลิตภัณฑ์ หรืออาจใช้ลูกกลิ้งเล็กช่วยพ่นฟิล์มของผลิตภัณฑ์บนผิวลูกกลิ้งร้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอาจยาวถึง 6 ฟุต อัตราการหมุนตั้งแต่ 1-10 rpm ในกรณีที่เป็นลูกกลิ้งคู่ลูกกลิ้งทั้งสองวางคู่กัน ในลักษณะที่ให้ผลิตภัณฑ์ป้อนเข้าระหว่างลูกกลิ้งทางด้านบน ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองปรับได้ เพื่อให้ได้ความหนาของผลิตภัณฑ์ตามต้องการ

การหมุนของลูกกลิ้งคู่(Double-drum)มีลักษณะการหมุนเข้าหากัน แต่ในกรณีของลูกกลิ้งคู่แบบทวิน(Twin-drum) การหมุนของลูกกลิ้งร้อนทั้งสองหมุนในทิศทางตรงข้าม และการป้อนทำได้โดยจุ่มลงในผลิตภัณฑ์เหลว เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งอาจทำงานภายใต้บรรยากาศธรรมดาหรือภายใต้สุญญากาศ ภายในลูกกลิ้งมีไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อน(รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิค, 2535)



รูปที่ 2.25 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก แบบลูกกลิ้งเดี่ยวและแบบลูกกลิ้งคู่, (ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิค, 2535)

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งให้อัตราการอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เหมาะกับอาหารเหลวที่มีขนาดของอนุภาคใหญ่เกินกว่าที่ใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย มีการลงทุนสูงและอาหารที่ไวต่อความร้อนอาจเกิดความเสียหายได้ ทำให้มีผู้หันไปใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแทน มีการใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งในการอบแห้งอาหารชนิดต่างๆ เช่น มันฝรั่งแผ่น ผลิตภัณฑ์ที่ทำให้สุกแล้วจากธัญพืช กากน้ำตาล ซุปแห้งและเนื้อผลไม้บางชนิด โจ๊ก ไข่ผง และโปรตีนหางนม เป็นต้น ปัจจุบันมีการพัฒนาการออกแบบลูกกลิ้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสและคุณค่าทางอาหาร โภชนาการรวมทั้งการใช้ลูกกลิ้งเสริมเพื่อแยกและเติมอาหารใหม่ระหว่างการอบแห้ง หรือการใช้ความเร็วลมสูงเพื่อเพิ่มอัตราการทำแห้งหรือการใช้อากาศเย็นเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลง มีการใช้ลูกกลิ้งในระบบสุญญากาศเพื่ออบแห้งอาหารที่อุณหภูมิต่ำลง(วิไร รังสาดทอง, 2547)

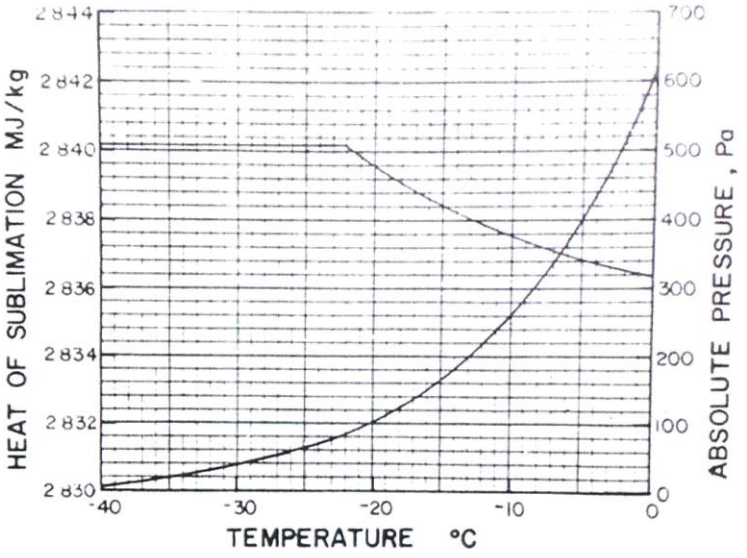
เครื่องทำแห้งแบบระเหิด (Freeze Dryer)

วิธีการอบแห้งแบบระเหิด เป็นกระบวนการระเหิดน้ำในสถานะแช่แข็งโดยตรงเป็นสถานะไอ ข้อดีของกระบวนการอบแห้งแบบระเหิด คือ การกำจัดความชื้นสามารถกระทำได้โดยที่ผลิตภัณฑ์ไม่ต้องสัมผัสกับอุณหภูมิสูงเกินไป นอกจากนี้ยังสามารถรักษาโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ในสภาพที่ยอมรับได้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง โดยทั่วไปกระบวนการนี้ประกอบด้วยการแช่แข็งก่อนแล้วจึงให้ความร้อนแก่ผิวผลิตภัณฑ์ ทำให้น้ำแข็งระเหิด ณ จุดนั้นแล้วไอถูกกำจัดออกไปทันที การระเหิดและกำจัดไอน้ำทำให้ผิวหน้าของน้ำแข็งลดน้อยลง ขณะที่ผิวหน้าของน้ำแข็งเคลื่อนห่างจากผิว ผลิตภัณฑ์มีการถ่ายเทความร้อนและการแพร่กระจายของไอ ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกอัตราการอบแห้งแบบระเหิดของผลิตภัณฑ์

องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องอบแห้งแบบระเหิดได้แก่ เครื่องระเหยซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นใช้เป็นแหล่งพลังงานของการอบแห้ง และเครื่องคอนเดนเซอร์ ซึ่งรวบรวมไอที่ได้จากผลิตภัณฑ์ทั้งเครื่อง

ระเหยและเครื่องคอนเดนเซอร์วางอยู่ในห้องสุญญากาศ และสภาวะสุญญากาศเกิดขึ้นโดยการใช้ปั๊มสุญญากาศ

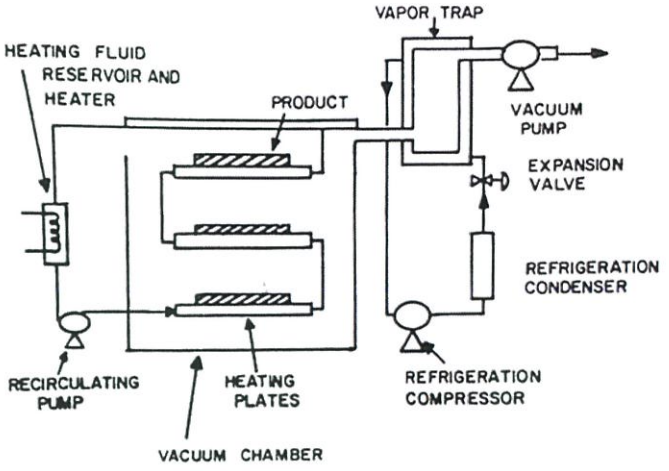
การทำแห้งเกิดขึ้นที่ความดันต่ำเพื่อให้น้ำกลายเป็นไอจากสถานะของแข็ง เพื่อให้การทำแห้งด้วยการระเหิดเกิดขึ้นได้ดี ควรรักษาความดันสัมบูรณ์ภายในห้องอบแห้งอย่างน้อย 620 Pa



รูปที่ 2.26 ความร้อนของการระเหิดและความดันไอของน้ำเหนือน้ำแข็ง,
(ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิค, 2535)

ความดันสัมบูรณ์ภายในห้องอบแห้งทราบได้จากอุณหภูมิที่ตัวจับไอ(vapor trap) ความดันนี้ตรงกับความดันไอเหนือน้ำแข็งที่อุณหภูมิของตัวจับไอ ปั๊มสุญญากาศออกแบบมาเพื่อดูดอากาศจากห้องสุญญากาศ ให้หมดเมื่อเริ่มต้นการทำงานและเพื่อกำจัดก๊าซที่ไม่ควบแน่น และอากาศที่อาจผ่านเข้าสู่ระบบ ปริมาตรของน้ำที่กลายเป็นไอมีปริมาณมากที่ความดันต่ำ ในระบบการทำแห้งแบบระเหิดนี้ดังนั้นการกำจัดไอโดยใช้ปั๊มสุญญากาศอย่างเดียวจำเป็นต้องใช้ปั๊มขนาดใหญ่ จึงใช้วิธีควบแน่นไอน้ำในรูปของแข็งในตัวจับไอ ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการลดปริมาณก๊าซที่ต้องการกำจัดออกจากระบบโดยปั๊มสุญญากาศ

ความร้อนที่ให้แก่อาหารเพื่อทำแห้งเป็นพลังงานความร้อนของการเป็นไอ โดยการใช้ชั้นกลางซึ่งมีของเหลวที่ถูกทำให้ร้อนหมุนเวียนอยู่ภายใน อุณหภูมิของชั้นนี้สามารถควบคุมได้ โดยการควบคุมอุณหภูมิหรือปริมาณของตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน อาหารที่อบแห้งควรวางอยู่บนแผ่นที่ร้อนนี้ การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้ทั้งจากการนำความร้อนจากแผ่นร้อน การพาความร้อนจากอากาศภายในห้องอบแห้งไปยังผิวอาหารและการแผ่รังสีความร้อน(รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิค, 2535)

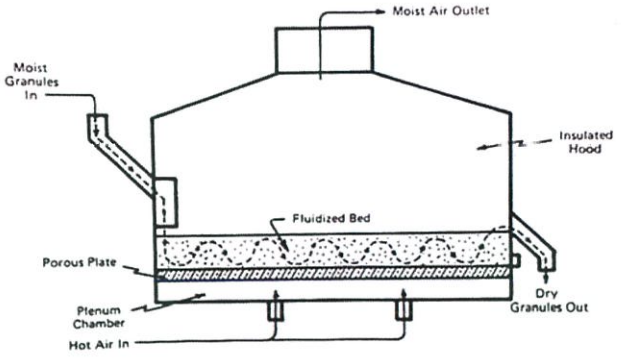


รูปที่ 2.27 เครื่องอบแห้งแบบระเหิด, (ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิค, 2535)

เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed Dryer)

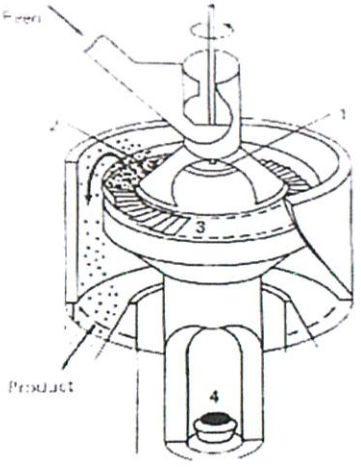
เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดประกอบด้วยถาดโลหะซึ่งมีรูตาข่ายอยู่ด้านล่างและบรรจุกองอาหารชิ้นเล็กๆสูงประมาณ 15 เซนติเมตร อากาศร้อนพัดขึ้นจากด้านล่างของเครื่องและทำให้อาหารเกิดการผสมและกวนอย่างรุนแรง อากาศจึงทำหน้าที่เป็นตัวกลางทำแห้งและทำให้เกิดฟลูอิไดซ์เบดด้วย วิธีนี้เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของหารให้มากที่สุด ทำให้การทำแห้งง่ายขึ้น เครื่องอาจทำงานแบบกะหรือแบบต่อเนื่องก็ได้ ซึ่งแบบหลังมักมีฐานสั่นสะเทือนเพื่อช่วยให้อาหารมีการสั่น ในระบบต่อเนื่องอาหารเคลื่อนที่จากถาดหนึ่งซึ่งอาจมีทั้งหมดถึง 6 ถาดด้วยแรงโน้มถ่วงโลกเพื่อให้ได้อัตราการผลิตที่สูง

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดมีขนาดกะทัดรัด สามารถควบคุมสภาวะการทำแห้งได้ดี ให้ประสิทธิภาพด้านความร้อนและอัตราการทำแห้งสูง อาหารถูกผสมโดยการฟลูอิไดซ์เบดในกระบวนการแบบกะทำให้ได้อาหารที่แห้งสม่ำเสมอ ช่วงความชื้นของผลิตภัณฑ์ในการทำแห้งแบบต่อเนื่องค่อนข้างกว้าง จึงต้องมีการใช้เครื่องอบแห้งแบบถังสำหรับการอบแห้งขั้นสุดท้าย การใช้งานเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดใช้ได้กับอาหารชิ้นเล็กซึ่งสามารถทำให้เกิดฟลูอิไดซ์เบดได้โดยไม่เกิดความเสียหาย เช่นเดียวกับการแช่เยือกแข็งแบบฟลูอิไดซ์เบด ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ คือ ถั่ว ผักหั่นเป็นแว่นหรือเป็นชิ้น เมล็ดธัญพืช อาหารประเภทแป้งหรืออาหารที่ขึ้นรูปด้วยเกลียวอัด



รูปที่ 2.28 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด, (ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิค, 2535)

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดชนิด Torbeb dryer เป็นเครื่องอบแห้งที่พัฒนามาขึ้นมาใหม่ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำแห้งอาหารเป็นชิ้นได้ การฟลูอิไดซ์เบดชิ้นอาหารเหล่านี้ทำได้โดยการหมุนรอบถังโดยอากาศร้อนที่เป่าโดยตรงจากเครื่องเผา เครื่องอบแห้งนี้ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสูงมาก จึงช่วยลดเวลาในการทำแห้งได้มาก ผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องการช่วงเวลาที่ทำให้เกิดการสมดุลเพื่อให้เกิดการกระจายความชื้นอย่างสม่ำเสมอก่อนการทำแห้งครั้งสุดท้าย เครื่องทำงานกึ่งต่อเนื่องและควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เหมาะสำหรับการทำให้ผงอาหารเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนหลวมๆ(วิไร รังสาดทอง, 2547)



รูปที่ 2.29 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดชนิด Torbeb dryer, (ที่มา : วิไร รังสาดทอง, 2547)

2.5 ผลกระทบต่ออาหาร

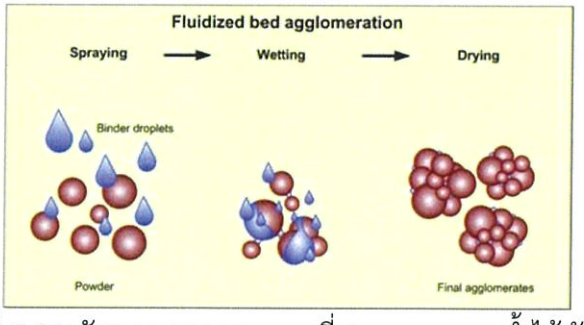
2.5.1 ลักษณะเนื้อสัมผัส

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารในการทำแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพ จึงจำเป็นต้องมีการจัดการเบื้องต้น (Pretreatment) เช่น การเติมแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำลวก ชนิดและลักษณะของการลดขนาดและการปอกเปลือกล้วนมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส

ของผักและผลไม้แห้งที่นำมาดูดคืนน้ำใหม่ อาหารที่ผ่านการลวกอาจสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสเนื่องจากการเกิดเจลของแป้ง ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งจึงมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเป็นอย่างมาก โดยทั่วไปการทำแห้งอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งที่ต่ำกว่า ตัวละลายเคลื่อนที่จากด้านในไปยังผิวอาหารในระหว่างที่น้ำถูกกำจัดออกในขั้นตอนการทำแห้ง

ลักษณะของเนื้อสัมผัสที่เกี่ยวข้องกับความหนาแน่นก่อนการอัดและความยากง่ายในการดูดคืนน้ำ องค์ประกอบของอาหาร วิธีทำแห้ง และขนาดของผลิตภัณฑ์เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสสำหรับอาหารแห้งแบบผง การแปรรูปอาหารที่มีไขมันต่ำเช่นน้ำผลไม้ มันฝรั่ง และกาแฟให้เป็นผงแห้งทำได้ง่ายกว่าอาหารประเภทที่มีไขมันสูงเช่น นมผง การทำให้ผงอาหารแห้งเหล่านี้สามารถละลายได้ทันทีทำได้โดยการทำให้เกิดกลุ่มก้อนที่เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ (Agglomeration) โดยกลุ่มก้อนนี้มีจุดสัมผัสกันน้อย ผิวของแต่ละอนุภาคจึงเปียกง่ายเมื่อมีการเติมน้ำใหม่และผงเหล่านี้จมลงใต้ผิวน้ำทำให้กระจายตัวได้ง่ายในของเหลว เรียกลักษณะดังกล่าวว่าความสามารถในการเปียก (Wettability) ความสามารถในการจม (Sinkability) ความสามารถในการกระจาย (Dispensability) และความสามารถในการละลาย (Solubility) ตามลำดับ สำหรับอาหารที่จัดเป็นผงละลายทันที (Instant) ต้องใช้เวลาสำหรับทั้ง 4 ขั้นตอนไม่นาน

ในการผลิตผงละลายทันทีต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มในการผลิต บรรจุและการขนส่งไปสู่ร้านค้าย่อย แต่อย่างไรก็ยังคุ้มค่าเพราะความสะดวกสบายในการนำมาใช้เนื่องจากมีการใช้อาหารผงหลากหลายชนิดเป็นส่วนผสมในอาหารอื่น จึงต้องทำให้ผงนี้มีความหนาแน่นก่อนอัดสูงและอนุภาคมีหลายขนาดอนุภาคเล็กๆไปอุดช่องว่างระหว่างอนุภาคใหญ่ จึงช่วยขจัดอากาศและช่วยให้มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น (วิไล รังสาดทอง, 2552)



รูปที่ 2.30 ลักษณะของอาหารผงที่สามารถละลายน้ำได้ทันที,
(ที่มา https://www.neuhaus-neotec.de)

2.5.2 กลิ่นและรส

ความร้อนนอกจากทำให้น้ำระเหยแล้วยังทำให้สารหอมระเหยบางชนิดสูญเสียไป ปริมาณการสูญเสียสารหอมระเหยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของของแข็งในอาหาร ความดันไอ และความสามารถในการละลายในไอน้ำของสารหอมระเหย สารหอมระเหยที่มีความสามารถในการระเหย

และการแทนที่สูงอาจเกิดการสูญเสียที่ช่วงแรกของการอบแห้ง เกิดการสูญเสียสารระเหยในช่วงหลังของการทำแห้งต่ำ การควบคุมสภาวะการทำแห้งในแต่ละขั้นตอนช่วยลดการสูญเสียให้น้อยที่สุด ปฏิกิริยาออกซิเดชันรงควัตถุ วิตามิน และไขมันในอาหารระหว่างการเก็บรักษาเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียกลิ่น อาหารแห้งซึ่งมีรูปพรุนอยู่ภายในทำให้เก็บกักก๊าซออกซิเจนได้มาก และอุณหภูมิในการเก็บรักษาและค่าปริมาณน้ำอิสระเป็นตัวกำหนดอัตราการเสื่อมเสียของอาหาร ปฏิกิริยาออกซิเดชันในนมผงแห้งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืน ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้สามารถลดได้โดยการบรรจุผลิตภัณฑ์ในสุญญากาศหรือเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำ การกำจัดแสงอัลตราไวโอเลตหรือแสงที่มองเห็นได้ การควบคุมรักษาความชื้นให้ต่ำ การเติมสารสังเคราะห์หรือสารธรรมชาติที่สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (วิไล รังสาดทอง, 2552)

วิธีอื่นๆที่ใช้ในการเก็บรักษากลิ่นในอาหารแห้ง ได้แก่

1) การดักเก็บสารหอมระเหยที่สูญเสียไปและนำกลับมาใส่ในผลิตภัณฑ์ระหว่างการทำแห้งใหม่

2) ผสมสารหอมระเหยที่กักเก็บได้กับสารตรึงกลิ่น ทำให้เป็นเม็ดและเติมเม็ดกลับไปในอาหารแห้ง เช่น ผงเนื้อแห้ง

3) การเติมเอนไซม์หรือการเร่งการทำงานของเอนไซม์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเพื่อผลิตกลิ่นจากสารตั้งต้นอาหาร

2.5.3 สี

การทำแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าของอาหาร การสะท้อนแสงและสี การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของคาโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์เกิดจากความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการทำแห้ง โดยทั่วไปการทำแห้งที่เวลานานกว่าและอุณหภูมิสูงกว่าทำให้สีเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาจากเอนไซม์ที่หลงเหลืออยู่ในอาหารทำให้เกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษา สามารถป้องกันได้โดยการลวกหรือการใช้กรดแอสคอร์บิกหรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อัตราการเกิดสีคล้ำระหว่างการเก็บรักษาผัก ผลไม้ที่มีซัลเฟอร์ในปริมาณไม่มากนักทำให้แปรผกผันกับปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหลืออยู่ ปริมาณซัลเฟอร์ที่ตกค้างจึงเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนสีผักผลไม้ในระหว่างการเก็บรักษา (วิไล รังสาดทอง, 2552)

2.5.4 คุณค่าทางโภชนาการ

ความสามารถในการละลายน้ำของวิตามินต่างๆแตกต่างกันเมื่อเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับแต่ละวิตามิน วิตามินบางชนิด เช่น ไรโบฟลาวิน อาจเกิดการอิ่มตัวและตกตะกอนในสารละลาย จึงเกิดการสูญเสียน้อย วิตามินอื่น เช่น กรดแอสคอร์บิก ทำให้ละลายน้ำจนกระทั่งความชื้นของอาหารลดต่ำลงมากและเกิดปฏิกิริยากับตัวทำละลายด้วยอัตราเร็วเท่าการทำแห้ง วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน เช่น กรดไขมันจำเป็นหรือวิตามิน เอ ดี อี เค ยังคงอยู่ในส่วนอาหารแห้ง (วิไล รังสาดทอง, 2552)

2.5.5 การดูดคืนน้ำ (Rehydration)

การดูดคืนน้ำไม่ใช่ปฏิกิริยาย้อนกลับของการทำแห้ง เป็นการเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะเนื้อสัมผัส การเคลื่อนที่ของตัวละลายและการสูญเสียสารระเหย ไม่สามารถเกิดแบบย้อนกลับไปเหมือนเดิมได้ ความร้อนลดระดับการดูดคืนน้ำของแป้งและความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ ทำให้โปรตีนจับตัวกันและลดความสามารถในการอุ้มน้ำ อาจใช้อัตราเร็วและระดับของการดูดคืนน้ำเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของอาหารได้ สภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมทำให้อาหารเกิดความเสียหายน้อยกว่าและดูดคืนน้ำได้เร็วกว่าอาหารที่ทำแห้งที่สภาวะที่ไม่เหมาะสม (วิไล รังสาดทอง, 2552)

<u>การอบแห้งอาหารและการรักษากลิ่นรส (Flavor)</u>

1) การรักษากลิ่นรสทางกายภาพ

วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีการอบแห้งแบบแช่แข็งได้รับความนิยมสูงสุดในการอบแห้งอาหาร เป็นวิธีการห่อปิดกลิ่นรสเหลวที่มีลักษณะสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) วิธี air suspension และวิธี rotation suspension separation เป็นวิธีเคลือบผิว (Coat) กลิ่นรสที่เป็นของแข็งโดยใช้สารห่อหุ้มบางชนิด

2) การห่อปิดกลิ่นรสโดยวิธีการอบทำแห้งแบบพ่นฝอย

เป็นวิธีการอบแห้งโดยฉีดพ่นวัสดุเหลวให้เป็นหยดละออง โดยใช้ลมร้อนทำการอบแห้งให้ของเหลวกลายเป็นผง นิยมใช้มากในกระบวนการผลิตอาหารผงแบบสำเร็จรูป (Instant food) เช่น การอบแห้งของเหลวจำพวกน้ำผลไม้ หรือของเหลวที่สกัดจากเมล็ดกาแฟ เป็นต้น ซึ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งเหล่านี้ถูกกำหนดโดยรูปแบบของกลิ่นรส (Flavor pattern) ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบกลิ่นรสหลากหลายชนิดที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ กรณีที่ใช้วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยในการอบแห้งอาหารเหลว การป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเนื่องจากความร้อนและการสูญหนีขององค์ประกอบกลิ่นที่มีอยู่ในวัสดุระหว่างการอบแห้งจึงมีความสำคัญมาก สารกลิ่นรสอาจจำแนกประเภทได้เป็น กลิ่นรสที่ละลายน้ำได้ และกลิ่นรสที่ชอบน้ำมัน (Lipophilic)

2.6 วัตถุเจือปนอาหาร (Food additive)

วัตถุเจือปนอาหาร (food additive) หมายถึง วัตถุที่ตามปกติไม่ได้ใช้เป็นอาหาร หรือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหาร ไม่ว่าวัตถุนั้นมีคุณค่าทางโภชนาการหรือไม่ก็ตาม แต่ใช้เจือปนในอาหารเพื่อประโยชน์ทางเทคโนโลยีการผลิต การบรรจุ การเก็บรักษา หรือการขนส่ง ซึ่งเป็นสารเติมแต่งอาหารที่เพิ่มเข้าไปในอาหารเพื่อรักษารสชาติหรือเพิ่มรสชาติและรูปลักษณ์ของมัน ที่มีผลต่อคุณภาพหรือมาตรฐานหรือลักษณะของอาหาร (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2547)

2.6.1 วัตถุประสงค์ของการใช้วัตถุเจือปนอาหาร

1) เพื่อให้อาหารมีความคงตัว เช่นการใช้อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ทำให้อาหารมีสภาพเป็นอิมัลชัน (emulsion) ลักษณะเนื้อสัมผัสคงตัวและป้องกันน้ำและน้ำมันไม่ให้เกิดการแยกชั้น (stabilizing agent) และเพิ่มความหนืด (thickening agent) ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีลักษณะเนื้อ

สัมผัสคงตัวและเป็นเนื้อเดียวกัน สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (anticaking agent) ช่วยให้อาหาร เช่น เกลือไม่เกาะกันและนำไปใช้ได้สะดวก

2) เพื่อรักษาคุณภาพโดยรวมของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การใช้วัตถุกันเสีย (preservative) เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารจากยีสต์ราแบคทีเรีย วัตถุกันหืน เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของอาหารที่มีน้ำมันและไขมันเป็นส่วนประกอบ และการเปลี่ยนสีของผักและผลไม้สด

3) เพื่อควบคุมความเป็นกรด-ด่างของอาหาร เช่น การเติมกรดลงไปในอาหาร เพื่อให้อาหารมีค่าพีเอชเป็นกรด ทำให้ช่วยลดอุณหภูมิและระยะเวลาในการฆ่าเชื้ออาหาร การใช้กรดเพื่อช่วยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในผงฟูเพื่อให้ขนมอบมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการ (ศิวพร ศิวเวชช, 2529)

2.6.2 ชนิดของวัตถุเจือปนอาหาร

1) สารกันเสีย คือสารที่เติมในอาหารเพื่อป้องกันการเสีย การบูดเน่าของอาหาร สารนี้ไปควบคุมการเจริญเติบโต หรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพของอาหาร สารกันเสียที่ใช้แพร่หลาย ได้แก่

(1) กรดและเกลือของกรดต่างๆ เช่น กรดน้ำส้ม (Acetic acid), กรดเบนโซอิค (Benzoic acid), กรดซอร์บิค (Sorbic acid), กรดโพรพิออนิค (Propionic acid)

(2) สารประกอบไนไตรท์ (Nitrite) มักเติมในเนื้อสัตว์ เพื่อให้เนื้อสัตว์มีสีชมพูหรือสีแดงน่ากิน และเพื่อชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์คอสติเดียมโบทูลินัม (Clostridium botuli num) ซึ่งผลิตสารพิษ Botulinumtoxin ที่เป็นอันตรายถึงชีวิตได้ อาหารที่ใส่สารประกอบชนิดนี้ เช่น เนื้อเค็ม เนื้อแดดเดียว ปลาแดดเดียว ไส้กรอก หมูแฮม เบคอน เป็นต้น

(3) โซเดียมเบนโซเอท (Sodium benzoate) หรือโปแตสเซียมเบนโซเอท (Potassium benzoate)โซเดียมซอร์เบท (Sodium sorbate) หรือโปแตสเซียมซอร์เบท (Potassium sorbate) โดยทั้งเบนโซเอทและซอร์เบตมีประสิทธภาพดี ในอาหารที่เป็นกรด (pH ต่ำ) จึงเหมาะกับการใช้ใน แยม เยลลี่ และอาหารหมักดอง

(4) คลอรีน ใช้ผสมในน้ำล้างวัตถุดิบหรือล้างเครื่องมือเพื่อฆ่าเชื้อโรค

2) สารกันหืน คือ สารที่ใช้เพื่อชะลอการเสียของอาหาร อันเนื่องมาจากมีสี กลิ่น รส ผิดไปจากเดิม ที่อาจเกิดเป็นสารประกอบใหม่ ที่อาจเป็นอันตรายต่อร่างกายได้ นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภท ไขมันและน้ำมัน นมผง เนย เป็นต้น

3) สารปรุงแต่งสี กลิ่น รส เพื่อแต่งสีให้อาหารมีลักษณะคล้ายธรรมชาติ หรือเพื่อให้มีสีสม่ำเสมอ และเพื่อแต่งสี กลิ่นรสของอาหารให้ได้ตรงตามต้องการของผู้บริโภค เป็นกลุ่มวัตถุเจือปนที่ช่วยคงรูปผัก ผลไม้ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปให้คงสภาพเดิมมากสุด (Branen A.L. et. al, 1990) ซึ่งมีสารดังต่อไปนี้

(1) กรดมะนาว หรือ กรดซิตริค (Citric acid) ใช้ในผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ เพื่อปรับปรุงกลิ่น รส และสี ของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น ป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้เก็บผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น นอกจากนี้กรดยังช่วยลดอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการแปรรูป แต่การเลือกใช้กรด ต้องขึ้นอยู่กับชนิดของกรดที่มีอยู่มากในผลไม้นั้นๆทั่วไป มีกรดซิตริค (กรดมะนาว) ส่วนองุ่นมีกรดทาร์ทาริค/Tataric acid (หรือเรียกว่ากรดมะ ขาม) นอกจากนั้นยังมีการใช้กรดอะซิติค หรือน้ำส้มสายชูในอาหารหมักดองด้วย กรดมะนาวนิยมเติมลงในน้ำลวก หรือน้ำแช่ผักและผลไม้ก่อนการแปรรูป ช่วยให้สีของผักผลไม้ขาว หรือไม่เปลี่ยนสี

(2) แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride) ใช้เติมลงในน้ำลวก น้ำแช่ผักและผลไม้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งหรือกรอบ ลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น เนื้อแน่น สมัยโบราณใช้น้ำปูนใส (ใช้ปูนขาวหรือปูนแดงผสมกับน้ำ แล้วปล่อยให้ปูนตกตะกอน) หรือใช้สารส้มแกว่งในน้ำ แต่สารเหล่านี้มีปัญหาเรื่องความเข้มข้นที่ใช้ไม่แน่นอน ปัจจุบันจึงนิยมใช้แคลเซียมคลอไรด์แทน อาหารที่ใช้ เช่น ผักดอง ผลไม้ดอง ผลไม้แช่อิ่ม ผลไม้กวน ผักผลไม้บรรจุกระป๋อง เป็นต้น

(3) โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ หรือโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ (Sodium/Potassium metabisulfite, KMS) เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติช่วยป้องกันไม่ให้เกิดเชื้อราในผักและผลไม้ นอกจากนี้ยังช่วยให้ผลไม้คงสีธรรมชาติ4) เกลือซัลไฟท์ (Sulfite) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfurdioxide) เป็นสารป้องกันการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำ เปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูรัส (Sulfurous acid) ซึ่งมีฤทธิ์ในการทำลาย หรือชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ใช้ในอาหารพวกผัก ผลไม้ น้ำหวานต่าง ๆ ไวน์ วุ้นเส้นแห้ง เส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง เส้นหมี่แห้ง ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งและผลไม้บรรจุกระป๋อง

4) สารช่วยทำแห้ง เป็นสารที่ถูกใส่เพิ่มเข้าไปเพื่อลดการเหนียวติดผนังของห้องอบแห้ง และมีการไหลของอนุภาคผงได้อย่างอิสระมากขึ้น ซึ่งสารช่วยทำแห้งแบ่งตามลักษณะหน้าที่มีหน้าที่ 4 อย่างคือ คือ เป็นสารที่ช่วยในการดูดซับ สารเพิ่มความยืดหยุ่น สารเพิ่มความคงตัว และเป็นสารเพิ่มปริมาณ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง ที่ถูกเติมลงไปในสารก่อนเข้าสู่เครื่องอบแห้ง ส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมอาหารมักใช้ มอลโตเด็กซ์ตริน เป็นสารในการทำแห้ง

(1) สารช่วยดูดความชื้น เป็นสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของอาหาร ใช้เติมในอาหารผงแห้งต่างๆ เช่นเครื่องดื่มผง กาแฟผง ซุปผง มักพบปัญหาการรวมตัวเป็นก้อนแข็ง จึงต้องเติมวัตถุป้องกันการรวมตัวเป็นก้อนเพื่อทำให้อาหารคงสภาพเป็นผงแห้ง อาหารที่ใช้วัตถุเจือปนกลุ่มนี้ เช่น ครีมเทียมผง กาแฟผง เครื่องดื่มผง น้ำตาลทรายชนิดผงละเอียด เกลือ เจลาตินผง หัวหอมผง กระเทียมผง ซอสผง แป้งเค้กสำเร็จรูป ผงฟู ซุปผง เป็นต้น

5) สารช่วยให้อาหารมีความคงตัว เช่น สารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) เป็นสารที่ช่วยให้ของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายซึ่งกันและกันรวมกันได้ เช่น ทำให้น้ำมันและน้ำสามารถรวมกันเป็นเนื้อเดียวกันได้ เป็นกลุ่มวัตถุเจือปนที่ช่วยทำให้อาหารเป็นเนื้อเดียวกันโดยไม่แยกชั้น นิยมนำมาใช้ใน

ผลิตภัณฑ์น้ำสลัด มายองเนส ซอส และน้ำจิ้มบางชนิด สารช่วยให้ข้น ทำให้อาหารมีลักษณะคงตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (พีระพรรณ โพธิ์ทอง, 8 เมษายน 2558)

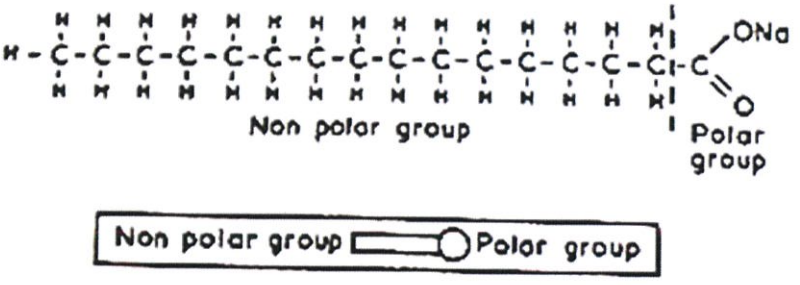
สารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifying agent)

สารอิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่อยู่สองชนิดในการทำให้เกิดอิมัลชัน คือ ช่วยลดแรงตึงระหว่างผิวหน้าของของเหลวต่างๆที่เกิดเป็นอิมัลชัน และป้องกันการรวมตัวของอนุภาคต่างๆของเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง ในอิมัลชันที่เกิดขึ้นแล้ว สารที่ใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์มีอยู่เป็นจำนวนมากและมีคุณสมบัติแตกต่างกัน สามารถแบ่งออกเป็น

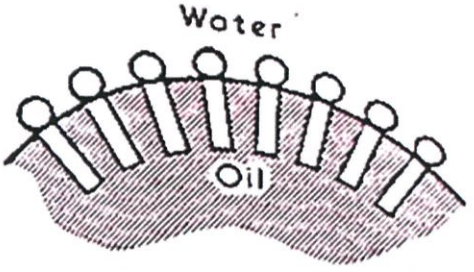
1) สารอิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากธรรมชาติ รวมถึงสารประกอบฟอสโฟไลปิดส์(phospholipids) ที่ได้จากถั่วเหลืองและไข่แดง และกัมชนิดต่างๆ เป็นต้น

2) สารอิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ ได้แก่ เลซิทิน โมโนและไดกลีเซอร์ไรด์ เอสเทอร์ของกลีเซอรอล โพรพีลีนไกลคอล เซลลูโลสอีเทอร์ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส เป็นต้น(ศิวาพร ศิวเวชช, 2535)

สารอิมัลซิไฟเออร์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโมเลกุลซึ่งมีทั้งกลุ่มที่มีขั้วและไม่มีขั้ว เช่น เมื่อพิจารณาโมเลกุลของโซเดียมพาล์มมิเตท (sodium palmitate) ดังรูปที่ 2.31 ส่วนของไฮโดรคาร์บอนของโมเลกุลเป็นกลุ่มที่ไม่มีขั้ว และกลุ่ม –COONa เป็นกลุ่มที่มีขั้ว เพื่อความสะดวกในการทำความเข้าใจกลุ่มที่ทำหน้าที่ไม่มีขั้วแสดงด้วยสี่เหลี่ยมผืนผ้า และกลุ่มที่มีขั้วแสดงด้วยวงกลม ในอิมัลชันใดๆ สารอิมัลซิไฟเออร์ถูกดูดซับตำแหน่งที่อยู่ระหว่างผิวร่วมของเฟสต่างๆ เพื่อลดแรงตึงระหว่างผิว โดยโมเลกุลของสารอิมัลซิไฟเออร์จัดตัวให้กลุ่มที่ไม่มีขั้วชี้ไปยังเฟสของน้ำมัน ขณะที่กลุ่มที่มีขั้วชี้ไปยังเฟสของน้ำที่ยึดอยู่ด้วย ดังรูปที่ 2.32 ดังนั้นชั้นหรือฟิล์มของสารอิมัลซิไฟเออร์ทำให้เกิดขึ้นที่ระหว่างผิวหน้าของน้ำและน้ำมัน ฟิล์มระหว่างผิวหน้าทำหน้าเป็นตัวป้องกันอนุภาคของเหลวต่างๆที่เป็นเฟสไม่ต่อเนื่องเหล่านี้มารวมตัวกันเนื่องจากแรงตึงระหว่างผิว



รูปที่ 2.31 โมเลกุลของโซเดียมพาล์มมิเตรท, (ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)



รูปที่ 2.32 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลสารอิมัลซิไฟเออร์ที่อยู่ระหว่างผิวร่วม
(ที่มา : รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2541)

สารอิมัลซิไฟเออร์อาจเลือกใช้โดยอาศัยสมดุลระหว่างค่าไฮโดรไฟล-ไลโพไฟล (hydrophile-lipophile balance : HLB) เป็นอัตราส่วนระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของกลุ่มไฮโดรฟิลิคต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของกลุ่มไฮโดรโฟบิคในโมเลกุล ค่า HLB ของสารอิมัลซิไฟเออร์อยู่ระหว่าง 1-20 สารที่มีค่าต่ำประมาณ 3-6 ทำให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (w/o) ส่วนสารที่ให้ค่าสูงประมาณ 8-18 มักทำให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (o/w) ของแข็งที่ละเอียดมากๆมักถูกดูดซับที่ระหว่างผิวหน้าในอิมัลชันและกระทำตัวเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์แม้ว่าไม่ค่อยมีประสิทธิภาพมากนักและของแข็งมักทำให้เปียกได้ง่ายด้วยเฟสของน้ำทำให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ

กัม (Gums)

กัมเป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ หรือไฮโดรฟิลิกคอลลอยด์ การใช้กัมในผลิตภัณฑ์อาหารนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆเพื่อให้ได้อาหารที่มีคุณภาพตามต้องการ เช่น ช่วยทำให้อาหารข้นหรือหนืด ช่วยให้อิมัลชันคงตัวสารแขวนลอยและฟองคงตัว ช่วยในการเกิดเจล เป็นต้น สามารถแบ่งออกเป็น

1) กัมที่ได้จากธรรมชาติ เช่น กัมอารบิก

2) กัมกึ่งสังเคราะห์ เช่น โซเดียม คาร์บอกซี เมททิล เซลลูโลส

3) กัมที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่นโพลีไวนิลไพโรลิโดน

กัมส่วนใหญ่สามารถละลายน้ำได้ค่อยข้างดี แต่ความหนืดของกัมมักขึ้นกับอุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นของกัมและปริมาณอิเลคโตรไลท์ที่มีอยู่ กัมบางชนิดช่วยให้เกิดสารละลายแขวนลอยและเกิดเจลได้ ฉะนั้นการนำมาใช้ในอาหารต้องศึกษาคุณสมบัติให้ตรงตามวัตถุประสงค์ก่อน(ศิวพร ศิวเวชช, 2535)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tansakul and Chaisawang. (2006) ศึกษาการนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่น และการแพร่กระจายความร้อนของกะทิ ตัวอย่างที่มีปริมาณไขมัน 20%, 25%, 30% และ 35% ที่อุณหภูมิ 60 – 80 °C จากการศึกษาพบว่า การนำความร้อน ค่าความร้อนจำเพาะ และค่าการแพร่กระจายความร้อนของกะทิอยู่ในช่วง 0.425–0.590 W/m°C, 3.277–3.711 kJ/kg °C, and

1.325–1.634 · 10^{-7} m^2/s ตามลำดับ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันความหนาแน่นของกะทิอยู่ในช่วง 969.00–983.05 kg/m^3 ซึ่งลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น แต่ยิ่งที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลต่อค่าการนำความร้อน ค่าความร้อนจำเพาะ และค่าการแพร่กระจายความร้อนของกะทิให้มีค่าสูงขึ้น และค่าความหนาแน่นของกะทิต่ำลงควบคู่ไปเช่นกัน

Simuang J. et. al ,(2004) ศึกษาคุณสมบัติการไหลของกะทิที่มีปริมาณไขมันที่แตกต่างกัน (15 – 30%) ศึกษาอยู่ในช่วงของอุณหภูมิ 70 – 90 °C ตัวอย่างเป็นของไหลแบบ pseudoplastic (เป็นของไหลประเภทนอนนิวตันเนียน) และเติมสาร Montanox 60 ประมาณ 0.6% และ CMC 0.4% เข้าไปในตัวอย่างกะทิก่อนทำการโฮโมจีไนเซชัน จากการศึกษาพบว่ากราฟของความหนืดที่อุณหภูมิความร้อน (70, 80 และ 90 °C) และจากกราฟที่อุณหภูมิ 25 °C การรักษาสภาพความที่มีผลต่อความหนืดของกะทิ โดยตัวอย่างที่ยิ่งมีความร้อนทำให้มีความหนืดลดลง ความหนืดที่ลดลงกับอัตราเฉือนที่เพิ่มขึ้นสำหรับทุกตัวอย่าง และที่ปริมาณไขมันสูงทำให้มีความหนืดมากกว่าที่ปริมาณไขมันต่ำ โดยกะทิเป็นคอลลอยด์ผสมกับน้ำมันหยดกระจายในส่วนของน้ำ เมื่อใช้แรงเฉือนอนุภาคอาจจัดเรียงตัวในทิศทางขนานกับแรงเฉือนและอนุภาคขนาดใหญ่อาจแตกเป็นอนุภาคขนาดเล็กด้วยแรงเฉือน อนุภาคสามารถไหลได้อย่างง่าย เป็นผลของความต้านทานที่เกิดจากการทำงานร่วมกันของอนุภาค

Peamprasart and Chiewchan (2006) ศึกษาผลของปริมาณไขมัน (15 – 30%) และอุณหภูมิที่อุ่น (70 – 90 °C) ต่อความหนืดของกะทิหลังการโฮโมจีไนเซชัน ผลการศึกษาพบว่าให้อุณหภูมิที่อุ่นกะทิก่อน เพื่อรักษาสภาพมีผลต่อความหนืดของกะทิ ที่ปริมาณไขมันสูงส่งผลให้มีความหนืดสูงกว่าที่ปริมาณไขมันต่ำ เมื่ออุณหภูมิที่อุ่นสูงขึ้นยิ่งพบว่าตัวอย่างมีความหนืดค่อนข้างลดลงจนอยู่ในระดับคงทีเมื่อเทียบกับอัตราเฉือนที่เพิ่มขึ้น แต่ที่ระดับเริ่มต้นมีความหนืดสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า มีการรวมกันของเม็ดไขมันขนาดเล็กที่พบในตัวอย่างที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิสูง ตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันสูงพบว่ามีเม็ดไขมันขนาดเล็กจับตัวกันและรวมตัวกันมากกว่าตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันต่ำ การปรากฏตัวของมวลรวมของเม็ดไขมันขนาดเล็กทำให้มวลรวมไปขัดขวางการไหล เป็นการต้านทานการไหลที่นำไปสู่การเพิ่มขึ้นความหนืดในการโฮโมจีไนเซชันเพื่อรักษาสภาพของกะทิ

Chiewchan N. et. al., (2006) ศึกษาผลกระทบของความดันในการโฮโมจีไนเซชันกับโครงสร้างไขมันกะทิ โดยการส่องกล้องจุลทรรศน์ พบว่าตัวอย่างกะทิที่ไม่มีการโฮโมจีไนเซชันมีหยดไขมันขนาดใหญ่กว่าตัวอย่างกะทิที่มีการโฮโมจีไนเซชัน ในระหว่างที่มีการโฮโมจีไนเซชัน ทำให้เกิดแรงเฉือนสูงจึงเป็นการลดขนาดของหยดไขมันให้เล็ก ไขมันขนาดเล็กที่ได้รับความดันจากการโฮโมจีไนเซชันที่สูงขึ้นเป็นการลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคไขมันมีผลทำให้เป็นการขัดขวางการไกล ดังนั้นที่ความดันในการโฮโมจีไนเซชันที่สูงจึงมีความหนืดที่มากกว่า

พธิญดา แก้วสวี (2552) ศึกษาการพาสเจอร์ไรซ์กะทิโดยใช้อุณหภูมิ 70 เป็นเวลา 3 นาที พบว่ากะทิพาสเจอร์ไรซ์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับกะทิสด แต่มีอายุการเก็บรักษาสั้น

เนื่องจากการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์และการออกซิเดชันของไขมันที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งโดยทั่วไปอายุการเก็บรักษาของกะทิพาสเจอร์ไรซ์ไม่เกิน 5 วัน และมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา

จันทิมา ภูงามเงิน และคณะ (2551) ศึกษาสภาวะในการให้ความร้อนต่อสีของกะทิที่มีปริมาณไขมัน 15-30% โดยใช้ความร้อนระดับสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ 100-130 °C โดยวิเคราะห์ค่าสี ในระบบ Hunter *L a b* จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลานานขึ้นมีผลทำให้น้ำกะทิมีสีเข้มมากขึ้น การให้อุณหภูมิสูง (มากกว่า 100 °C) ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลและมีผลให้ค่าความสว่าง(*L*)ต่ำลง ส่วนค่าสีแดง(*a*) และค่าสีเหลือง(*b*) มีค่าสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่าสีในน้ำกะทิหลังจากการฆ่าเชื้อที่สภาวะความร้อนระดับสเตอริไลส์ต่างๆ พบว่าความร้อน และเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของกะทิ สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีในส่วนของค่า *L* ของกะทิ พบว่า สีโดยปกติของไขมันนั้นมีสีขาวนวลที่มีลักษณะที่ค่อนข้างสว่างอยู่แล้ว เมื่อปริมาณไขมันสูงมากเท่าใดค่าความสว่างสูงตามไปด้วย เนื่องจากไขมันสามารถช่วยให้การกระจายแสงและสะท้อนแสงได้มากขึ้น

ธนธรณ์ เกิดสวัสดิ์ (2556) ศึกษาความคงตัวของกะทิโดยนำเนื้อมะพร้าวขูดมาคั้นกะทิด้วยอัตราส่วนน้ำกลั่นต่อเนื้อมะพร้าวเท่ากับ 1:1 ที่อุณหภูมิ 23 – 29 °C เติมสารลดแรงตึงผิว ซูโครสโมโนสเตียเรท (SE) หรือ พอลิออกซีเอทิลีนซอร์บิแทนโมโนโอลิเอท (TW) และโปรตีนโซเดียมแคซิเนทเพื่อให้มีความเข้มข้นสุดท้ายของ SE หรือ TW เป็น 0.1 – 0.2 % และโปรตีนโซเดียมแคซิเนทเป็น 0 – 3 % ให้ความร้อนแก่กะทิที่ 80 °C เป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นนำกะทิมาผ่านกระบวนการทาให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยการโฮโมจีไนเซชัน และทำการฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิ 121°C เป็นระยะเวลา 15 นาที เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 24±1 °C เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ จากการศึกษาพบว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีมวลโมเลกุลเล็กและโปรตีนโซเดียมแคซิเนทสามารถรักษาความคงตัวของกะทิสเตอริไลซ์ได้ หากปราศจากสารลดแรงตึงผิว กะทิเกิดการแยกชั้นเป็นชั้นครีมและชั้นน้ำ อย่างไรก็ตาม การเติม SE หรือ TW เพียงอย่างเดียวที่ระดับความเข้มข้น 0.1 % ไม่สามารถรักษาความคงตัวของกะทิหลังการฆ่าเชื้อและการเก็บรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การใช้โปรตีนโซเดียมแคซิเนทเพียงอย่างเดียวโดยไม่ต้องเติมสารลดแรงตึงผิวมวลโมเลกุลเล็กมีความสามารถในการรักษาความคงตัวของกะทิได้ ซึ่งอาจเกิดจากการที่โปรตีนโซเดียมแคซิเนทถูกดูดซับที่ผิวสัมผัสร่วมระหว่างน้ำมันกับน้ำเสริมจากโปรตีนมะพร้าวที่มีอยู่เดิม

Tangsuphoom and Coupland (2009) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติจุลภาคของอิมัลชันกะทิ การรักษาความร้อนที่ใช้ตามปกติเพื่อรักษาผลิตภัณฑ์กะทิ (-20, -10, 5, 70, 90 และ 120 °C) สภาพความไม่คงตัวของอิมัลชันและสูญเสียสภาพธรรมชาติของกะทิและพื้นผิวโปรตีนที่ใช้งานอยู่ ทำการโฮโมจีไนเซชันกะทิเพื่อทำให้กะทิมีความเป็นเนื้อเดียวกันและให้ความร้อนที่ 90 °C หรือ 120 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเนื่องจากการสูญเสียสภาพธรรมชาติ และมีการรวมตัวของโปรตีนมะพร้าว จากการศึกษาพบว่า ตัวอย่างอิมัลซิไฟเออร์กับแคซิเนท ไม่ได้รับผลกระทบจากการรักษาความร้อน ในขณะที่เตรียมไว้กับ WPI พบการรวมตัวที่กว้างขวางและการแยกเฟสหลังจากรักษา

สภาพที่ 90 °C หรือ 120 °C ตัวอย่างที่เตรียมกับ Sodium dodecyl sulfate (SDS) มีเสถียรภาพความร้อน และตัวอย่างที่เตรียมกับ Tween 20 มีความคงตัวสมบูรณ์โดยความร้อนที่ 120°C จากการศึกษาพบว่าความคงตัวของอิมัลชันกะทิที่ถูกโฮโมจีไนเซชันกับความคงตัวพื้นผิวที่ใช้งานที่แตกต่างกันหลังจากการรักษาอุณหภูมิที่แตกต่างกัน กะทิที่ถูกโฮโมจีไนเซชัน มีความคงตัวลดลงหลังละลายจากการแช่แข็งหรือหลังการให้ความร้อนที่มีอุณหภูมิเพียงพอที่ทำให้เกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของกะทิ ตัวอย่างอิมัลซิไฟเออร์กับแคซิเนท มีความคงตัวต่อการรักษาอุณหภูมิที่ต่ำ อิมัลชันกะทิที่เตรียมไว้กับ Whey protein Isolate (WPI) มีความคงตัวต่อความร้อนที่ 70 °C แต่เกิดการเกาะกลุ่มและการหลอมรวมของหยดไขมัน หลังจากได้รับการรักษาที่ 90 °C และ 120 °c อิมัลชันกะทิที่ถูกโฮโมจีไนเซชันกับสารลดแรงตึงผิวที่มีโมเลกุลขนาดเล็กแสดงให้เห็นความคงตัวที่ดีกับการรักษาความร้อน แต่มีความไม่คงตัวเมื่อละลายจากการแช่แข็งเนื่องจากชั้นของผิวสัมผัสบางซึ่งเป็นผลต่อการป้องกันหยดไขมันจากการรวมตัวกัน

Hassan M.A. (1985) ได้ศึกษาผลิตภัณฑ์กะทิผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย น้ำกะทิวัตถุดิบเริ่มต้นมีปริมาณไขมันมากกว่า 30% ที่สภาวะการทำแห้งอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและขาออกเท่ากับ 190°C และ 90°C ตามลำดับ มีการเติมสารช่วยทำแห้งได้แก่หางนมและมอลโตเด็กซ์ตรินเท่ากับ10%-15% โดยมวล และ 5%-7% โดยมวลตามลำดับ คุณสมบัติกะทิผงที่ศึกษาได้แก่ ลักษณะปรากฏและคุณสมบัติการละลาย จากการศึกษาพบว่ากะทิสามารถละลายน้ำได้และมีความคงตัว เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์กะทิผงในบรรจุภัณฑ์ชนิดโพลีเอทิลีนที่อุณหภูมิห้อง เมื่อผ่านไปสามเดือนพบว่าผลิตภัณฑ์กะทิผงยังมีคุณสมบัติและลักษณะปกติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

Fazaeli M. et.al., (2012) ได้ศึกษาผลกระทบของสภาวะการทำแห้งและส่วนประกอบของวัตถุดิบต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์น้ำหม่อนผง โดยคุณสมบัติที่ศึกษาได้แก่ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ความหนาแน่นรวม ความสามารถในการละลาย อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและโครงสร้างระดับโมเลกุล สารมอลโตเด็กซ์ตรินและกัมอราบิคถูกใช้เป็นเป็นสารช่วยทำแห้ง ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ชนิดสารเด็กซ์โตส อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าอัตราการไหลของการอัดอากาศ ปริมาณของสารช่วยทำแห้ง ชนิดของสารมอลโตเด็กซ์ตริน และสัดส่วนของสารมอลโตเด็กซ์ตริน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสารมอลโตเด็กซ์ตรินชนิด 6DE เป็นสารช่วยทำแห้งที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งผลิตภัณฑ์น้ำหม่อนผง และทำให้คุณสมบัติทางกายภาพเช่น ปริมาณผงที่ได้ ความหนาแน่นรวม และความสามารถในการละลายมีค่าที่เหมาะสม

Reddy R.S. et.al., (2014) ได้ศึกษาอิทธิพลของการควบคุมสภาวะการทำแห้งต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์นมผงที่ผลิตจากนมแพะโดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ปริมาณของแข็งในน้ำนมและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า มีการเติมกลิ่นผลไม้ปรุงแต่งเพื่อกลบกลิ่นนมแพะที่ไม่ต้องการให้ปรากฏในผลิตภัณฑ์นมผง พบว่าค่าสี ปริมาณน้ำอิสระ และความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยของความสามารถในการละลาย ความสามารถในการเปียก และความสามารถในการกระจายตัว เท่ากับ 98.49%, 533.4 วินาที และ

81.48% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมกลิ่นผลไม้ปรุงแต่งช่วยให้ผลิตภัณฑ์นมผงไม่มีกลิ่นนมแพะซึ่งเป็นที่ต้องการในผลิตภัณฑ์นี้

Silva P.I. et.al., (2013) ได้ศึกษาการจำลองพฤติกรรมของการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่สารช่วยทำแห้งและอุณหภูมิที่ใช้ทำแห้งต่างกัน ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์องุ่นพันธุ์บลาซิลสกัดโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชั่น ชนิดของสารทำแห้งได้แก่ มอลโตเด็กตริน 30 % (ซึ่งเป็นปริมาณที่ควบคุม), กัม 25% + มอลโตเด็กตริน 5 % และ Capsul^{tm} 25% + มอลโตเด็กตริน 5% โดยมีอุณหภูมิการทำแห้งขาเข้าที่ระดับ 140 , 160 และ 180 °C ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าค่าตัวแปรคุณภาพของผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในระดับสูง (0.7-0.8) โดยที่ตัวแปรชนิดของสารช่วยทำแห้งประเภทมอลโตเด็กตริน 30 % และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าอยู่ที่ 180 °C ที่ทำให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงมีปริมาณสารแอนโทไซยานินสูงสุด , มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีต่ำ, ความชื้นต่ำ และมีการดูดซับความชื้นที่ต่ำ และจากการส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของผลิตภัณฑ์องุ่นพันธุ์บราซิลผงพบว่า ตัวอย่างที่เติมสารมอลโตเด็กตรินและกัมทำให้โครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า และเหมาะสมในการทำแห้งด้วยเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน

Nedovic V. et.al., (2011) ได้ศึกษาเทคนิคการแปรรูปอาหารด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน ซึ่งอธิบายว่าเทคนิคเอนแคปซูเลชันเป็นกระบวนการที่สารหรือวัตถุดิบถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่น สารที่นำมาใช้เคลือบต้องไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยทำหน้าที่เป็นชั้นป้องกันระหว่างสารอาหารที่อยู่ภายในกับสิ่งแวดล้อมภายนอก กระบวนการแปรรูปการผลิตที่นิยมใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันคือการอบแห้งแบบพ่นฝอยเนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการทำงานและมีลักษณะการทำงานแบบต่อเนื่อง เทคนิคเอนแคปซูเลชันช่วยกลิ่นรสสามารถปกป้องสารไม่ให้ทำปฏิกิริยากับส่วนผสมในอาหาร ลดการเกิดกลิ่นแปลกปลอมที่เกิดจากสารทำปฏิกิริยากัน ปกป้องสารให้กลิ่นรสจากแสงและปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยืดอายุการเก็บรักษาสารให้กลิ่นรส

Aguilera and Gonzalez (2015) ได้ศึกษาการใช้อุณหภูมิต่ำในการเคลือบที่อุณหภูมิ 70 และ 60 °C และอัตราการป้อนที่ต่ำของสารละลายที่ใช้เป็นสารเคลือบเพื่อเป็นสารห่อหุ้ม ซึ่งส่งผมทำให้เห็นถึงการห่อหุ้มสาร Carotenoid มากขึ้นเมื่อมีการเปรียบเทียบกับการใช้ที่อุณหภูมิ 80 °C โดยที่อัตรากรไหลของอนุภาคของของแข็งภายในห้องทำแห้งมีผลสำคัญต่อประสิทธิภาพการเคลือบสารห่อหุ้ม การสลายของของสารห่อหุ้มของสารแคโรทีนแสดงให้ถึงความสัมพันธ์ โดยตรงกับพารามิเตอร์ที่เป็นสี โดยมีการเคลือบที่ 70 °C แสดงให้เห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นของฟิล์มและตั้งแต่มีการป้องกันที่สูงขึ้นของเบตาแคโรทีนทำให้ มีสีของเบตาแคโรทีนที่สดใสขึ้น ซึ่งเกิดจากการสังเกตจากการรักษาของผงเคลือบที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

López and Lagaron (2012) ได้ทำการวิจัยเรื่องของการผลิตแคปซูลเวย์โปรตีนที่สารต้านอนุมูลอิสระเบตาแคโรทีนอยู่ภายด้านในของเวย์โปรตีน ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยกระแสไฟฟ้าโดยสารห่อหุ้มจากสำหรับ bioactive โดยวิธีการทดลองคือ มีการเตรียมอุปกรณ์ไฟฟ้าสถิตที่มีไฟฟ้าแรงสูงจากแหล่งจ่ายไฟ 0-30 กิโลโวลต์ที่ใช้กันภายในบ้านเรือนทั่วไป โดยขั้วบวกถูกติด

กับเข็มสแตนเลส (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มิลลิเมตร) โดยมีการเชื่อมต่อกับผ่านสาย PTFE และส่งไปยังเข็มฉีดยาพลาสติก ที่มีขนาด 5 มิลลิลิตร โดยใช้สนามไฟฟ้าสูงในช่วงแรงดันสูงที่สำคัญ (5-25 กิโลโวลต์) โดยหยดของเหลวพอลิเมอร์ถูกไปยังที่ปลายเข็ม(หัวพ่นฝอย)ทำให้เกิดการกระจายตัวของละอองออกมาเป็นรูปกรวยเทย์เลอร์ และในขณะที่มีการพ่นละอองถูกทอดยาวจากกรวยทรงสูง โดยมีการเร่งให้มีการตกลงด้านล่างและมีการพุ่งไปในฝั่งตรงข้ามจากสนามไฟฟ้าที่ได้ส่งเข้าไป และเมื่อสายของเส้นฝอยจากการพ่นได้สัมผัสกับสนามไฟฟ้าที่ได้ส่งเข้าไป กระแสไฟฟ้าเหล่านั้นทำการทำลายขนาดของเส้นฝอยให้มีขนาดที่เล็กลงตามที่เราได้ต้องการ และได้ผงเวย์โปรตีน ซึ่งผลของการห่มหุ้มการสารต้านอนุมูลอิสระเบตาแคโรทีน โดยใช้ Bioactive เป็นตัวห่อหุ้มสารชนิดนี้ จากการทดลองพบว่า การนำเทคนิคอิเล็กโทรสมาใช้ในการสร้างเวย์โปรตีน ซึ่งผลต่อการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

Pérez R et. al., (2015) ได้ทำการศึกษาการห่อหุ้มกรดโฟลิคโดยใช้เวย์โปรตีนเข้มข้นเป็นตัวห่อหุ้มโดยผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยกระแสไฟฟ้าและนำมาเปรียบเทียบกับการใช้กระบวนการอบแห้งในระดับนาโนในปัจจุบัน ซึ่งการทดลองหลังจากที่ได้ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยกระแสไฟฟ้าแล้วซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงการ โครงสร้างภายในและภายนอกของแคปซูล ซึ่งผลกรทดลองเรื่องโครงสร้างภายในและภายนอก โดยการทดลองใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ซึ่งทำให้เราได้เห็นขนาดและรูปร่างที่ดีขึ้น ซึ่งเมื่อนำขนาดของโมเลกุลแคปซูลมาทำการเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบนาโนสเปรย์พบว่าขนาดของโมเลกุลของแคปซูลที่มีการทำแห้งด้วยกระแสไฟฟ้ามีการกระจายที่ดีและขนาดที่เล็กกว่าการทำแห้งแบบธรรมดา และเนื่องจากการกระจายตัวที่ดีด้วยเทคนิคทำแห้งด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลดีในการผลิตอาหารและการผลิตยาเพื่อเป็นการออกฤทธิ์ของยาที่ดี

บทที่ 3
อุปกรณ์และการทดลอง

สืบเนื่องจากการศึกษาการผลิตกะทิผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (ชลดา รักษาธรรม และคณะ, 2555) ทำให้ทราบถึงสัดส่วนของสารที่ช่วยในการทำแห้งและสภาวะของเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกะทิผง จึงนำมาเป็นแนวทางในการศึกษาและทดลองกะทิผง โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) การศึกษาการเตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้กะทิเกิดการแยกชั้น ซึ่งวัตถุดิบอิมัลชันกะทินำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ

2) การศึกษาสภาวะการทำแห้งของกะทิผงที่เหมาะสม ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ปริมาณน้ำมัน (0%, 3%, 6%) และอุณหภูมิลมร้อน (150, 160, 170 °C) ซึ่งผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี-กายภาพ

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา

1. กะทิคั้นสดปราศจากการเติมน้ำ จาก บ.เอเชียติคอุตสาหกรรมเกษตร
2. สารอิมัลซิไฟเออร์ 3 ชนิด (สารธรรมชาติจากกลุ่มพืช, สารสังเคราะห์#1, สารสังเคราะห์#2)

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ
    1) เครื่องปั่นผสม
    2) เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer)
    3) เครื่องชั่งน้ำหนัก
    4) เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH Meter)
    5) เทอร์โมมิเตอร์
    6) บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร
    7) ทัพพี
2. ขั้นตอนการทำแห้ง
    1) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) รุ่น JCM Minilab SDE-10
    2) เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic Stirrer)
    3) ปั๊มวัตถุดิบ
    4) ปั๊มลม
    5) เทอร์โมมิเตอร์

6) เครื่องชั่งน้ำหนัก
7) แผ่นทำความร้อน (Hot plate)
8) หม้อสตูว์
9) กะละมังสแตนเลส
10) ทัพพี
11) ขวดโหลแก้ว
12) ถุงฟอยด์

3.3 การเตรียมอุปกรณ์

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) ประกอบได้ ห้องทำแห้ง (Drying Chamber), หัวฉีด (Atomizer) และแผงควบคุม (Control Panel) ซึ่งวัตถุดิบที่ผ่านการทำให้ข้น และถูกควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 40 °C ก่อนถูกป้อนเข้าห้องทำแห้งด้วยการพ่นผ่านหัวฉีดแบบของไหลสองชนิด (Two-Fluid Nozzle) เข้าสู่กระแสของลมร้อนที่อุณหภูมิ 150 - 170 °C มีการควบคุมอัตราการป้อนวัตถุดิบและควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่จุดทางออกเท่ากับ 80 – 90 °C ในการเตรียมเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เตรียมวัตถุดิบหรือสารละลายอิมัลชันกะทิโดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 40 °C ตลอดการป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

2. ประกอบชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยให้เรียบร้อยดังรูปที่ 3.1 ก่อนเปิดสวิตซ์เครื่องและเปิดปั๊มลม

3. ปรับอัตราการไหลของลมอยู่ที่ 3250 rpm

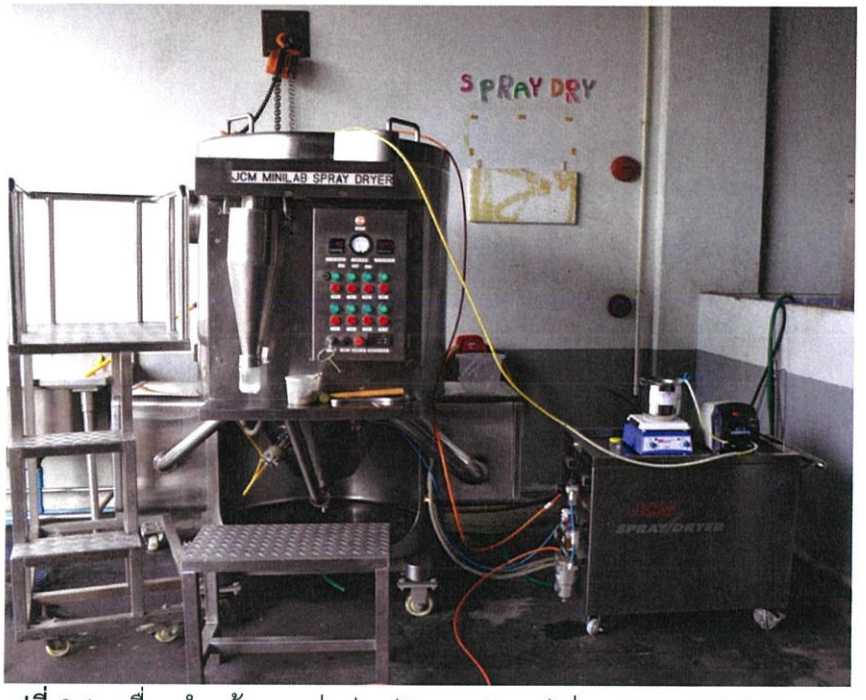
4. ปรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและขาออกเบื้องต้น เพื่ออุ่นเครื่องให้ทำงานได้อย่างเต็มที่ เมื่ออุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นให้ปรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าไปที่ 150, 160,170 °C และอุณหภูมิขาออกที่ 80 °C รอจนอุณหภูมิคงที่

5. เปิดปั๊มป้อนของเหลวที่อัตราการไหล 10 rpm ทดลองป้อนน้ำเปล่าเข้าเครื่องใช้หัวฉีด Two-Fluid Nozzle ที่ความดันลม 0.2 MPa

6. เมื่ออุณหภูมิลมร้อนคงที่เท่าระดับที่ปรับไว้จึงเริ่มป้อนสารละลายอิมัลชันน้ำกะทิที่เตรียมไว้เข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

7. เปิดสวิตซ์ค้อนที่ใช้ในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยมีหน้าที่เคาะผนังเครื่องไม่ให้ผงผลิตภัณฑ์เกาะที่ผนังเครื่อง ที่ความดัน 0.5 MPa

8. ขณะทำแห้ง สังเกตการทำงานของปั๊มลมที่ส่งไปกระแทกผนังของห้องอบแห้งซึ่งต้องส่งอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของผลิตภัณฑ์ที่บริเวณผนังห้องอบแห้ง



รูปที่ 3.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย(Spray Dryer) รุ่น JCM Minilab SDE-10

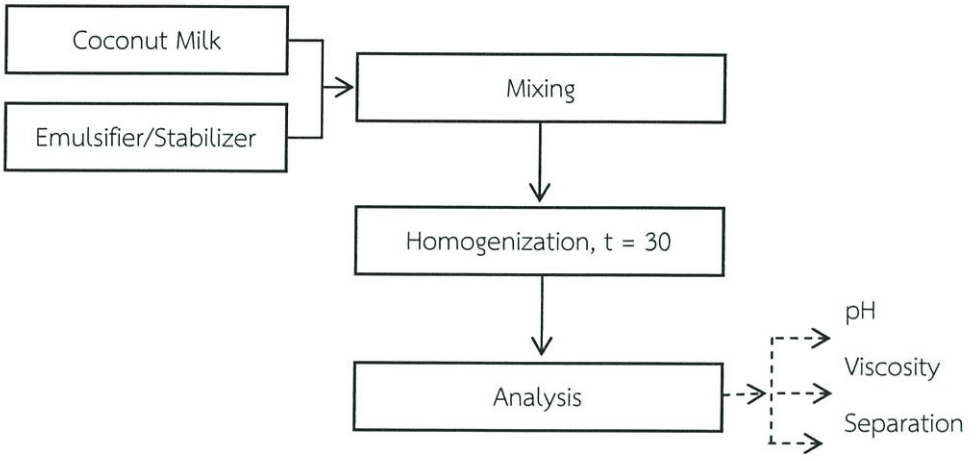
3.4 วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การเตรียมสารละลายอิมัลชันของกะทิและการทำแห้งกะทิผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยมีตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

ขั้นตอนที่ 1 : การเตรียมสารละลายอิมัลชันของกะทิ

ตอนที่ 1 : การเตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิเพื่อศึกษาการแยกชั้นเบื้องต้น

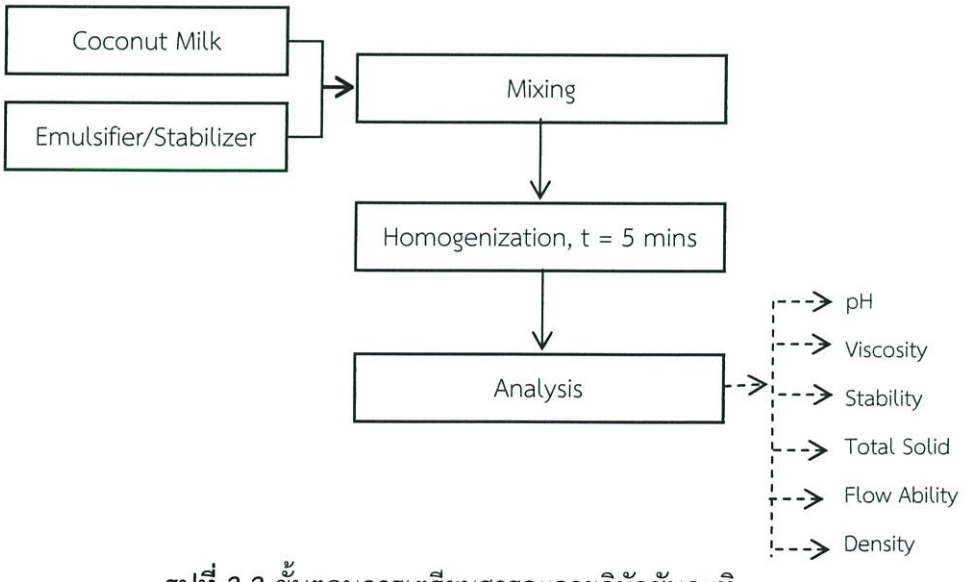
1. เตรียมหัวกะทิที่ผ่านการคั้นแบบไม่เติมน้ำ
2. นำน้ำกะทิ และสารอิมัลซิไฟเออร์ ที่เตรียมไว้มาผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่น โดยหากสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใส่มีมากกว่า 1 ชนิด และทำการค่อยๆใส่สลับกับการปั่นเพื่อให้เกิดการผสมได้ดียิ่งขึ้น
3. นำน้ำกะทิที่ผ่านการผสมแล้วมาทำการโฮโมจิไนเซชันหรือการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อป้องกันการแยกชั้น ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ทำการครอบปากภาชนะด้วยพลาสติกใสเพื่อป้องกันการกระเด็น ปั่นด้วยความเร็วรอบสูงสุด เป็นเวลา 30 นาที
4. นำสารละลายอิมัลชันกะทิบรรจุใส่ภาชนะทรงแคบและสูง เก็บไว้ในตู้เย็น สังเกตการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิเมื่อเวลาเปลี่ยนไป และวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของอิมัลชันกะทิ



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิมัลชันกะทิเพื่อศึกษาการแยกชั้นเบื้องต้น

ตอนที่ 2 : การเตรียมสารละลายอิมัลชันของน้ำกะทิ

1. เตรียมหัวกะทิที่ผ่านการคั้นแบบไม่เติมน้ำ
2. นำสารมอลโตเด็กซ์ตริน สารอิมัลซิไฟเออร์ และปริมาณสารละลายแป้งมาผสมตามแผนการทดลองให้เข้ากัน
3. นำส่วนผสมเข้าเครื่องคอลลอยด์มิลด์ที่ความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 5 นาที
4. นำสารละลายอิมัลชันกะทิที่ได้ไปวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของอิมัลชันกะทิ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอิมัลชันกะทิ

ขั้นตอนที่ 2 : การทำแห้งกะทิโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

1. ชั่งน้ำหนักสารละลายอิมัลชันของกะทิมาผสมกับสารช่วยทำแห้ง (มอลโตเด็กซ์ตริน) และทำการเติมน้ำมันมะพร้าวที่ระดับ 0-6% ตามแผนการทดลอง

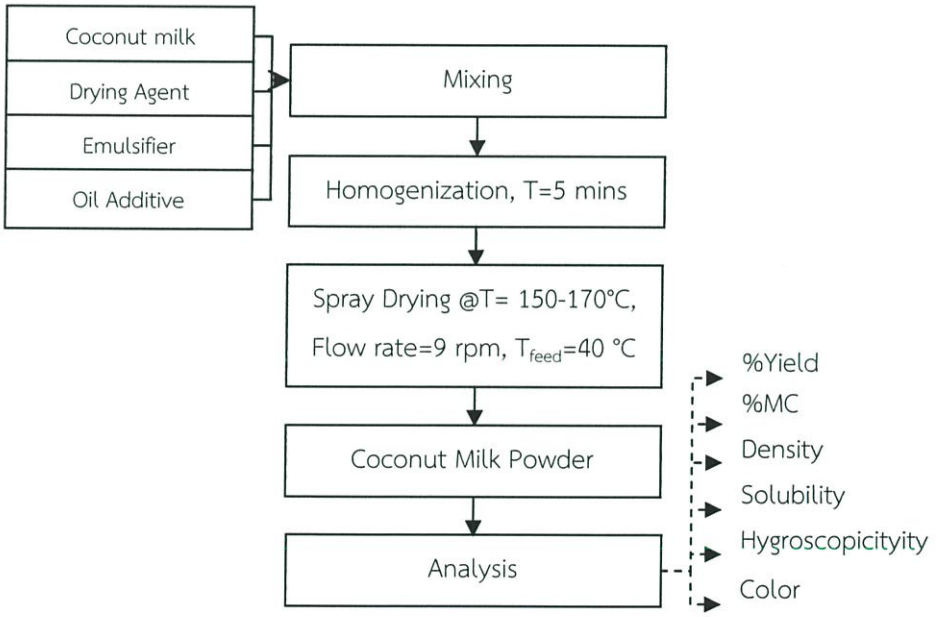
2. นำไปโฮโมจิไนเซชันด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง เป็นเวลา 5 นาที

3. ควบคุมอุณหภูมิของสารละลายอิมัลชันกะทิโดยคงไว้ที่ 40 °C ตลอดการป้อนวัตถุดิบ โดย

4. เปิดเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยแบบ two-fluids nozzle ปรับค่าปริมาณลมร้อนที่ใช้ในช่วง 150-170°C อุณหภูมิขาออก 80–90 °C ตามแผนการทดลอง

5. เมื่อเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมีอุณหภูมิคงที่ จึงเริ่มป้อนสารละลายอิมัลชัน กำหนดอัตราการป้อนการไหลของเหลว 9 rpm

6. เก็บผลิตภัณฑ์กะทิผงแห้งที่ได้ทั้งหมดไปชั่งน้ำหนัก บรรจุในถุงฟอยด์ และนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำแห้งกะทิโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.5 การวางแผนการทดลอง

3.5.1 การทดลองเบื้องต้น

เพื่อหาแนวทางอัตราส่วนของสารอิมัลซิไฟเออร์เบื้องต้น เป็นการศึกษาหาอัตราส่วนสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบ โดยอิงการศึกษาการผลิตกะทิผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (ชลดา รักษาธรรม และคณะ, 2555) แบ่งอัตราส่วนของสารเป็น 3 ชนิด ทั้งหมด 11 อัตราส่วน โดยการศึกษาแต่ละครั้งใช้ด้วยความเร็วรอบ 1450 rpm เป็นเวลา 30 นาที โดยอัตราส่วนของแต่ละสารเทียบกับน้ำหนักของกะทิ 800 มิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การทดลองเพื่อหาแนวทางอัตราส่วนของสารอิมัลซิไฟเออร์

การทดลองที่	สารธรรมชาติจากพืช (%โดยน้ำหนักวัตถุดิบ)	สารสังเคราะห์#1 (%โดยน้ำหนักวัตถุดิบ)	สารสังเคราะห์#2 (%โดยน้ำหนักวัตถุดิบ)
1	0.01	-	-
2	-	0.01	-
3	-	-	0.01
4	0.10	0.04	0.04
5	0.05	0.04	0.04
6	0.10	0.02	0.04
7	0.05	0.02	0.04
8	0.10	0.04	0.02
9	0.05	0.04	0.02
10	0.10	0.02	0.02
11	0.05	0.02	0.02
12	-	-	-

3.5.2 การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) และสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรปริมาณน้ำมัน และอุณหภูมิลมร้อนดังแสดงในตารางที่

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรและระดับตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)	สัญลักษณ์	ระดับ		
		-1	0	+1
ปริมาณน้ำมัน (%)	X_1	0	3	6
อุณหภูมิลมร้อน (°C)	X_2	150	160	170

จากตารางที่ 3.2 เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบ ปริมาณน้ำมันที่ระดับ 0%, 3% และ6% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 150°C, 160°C และ 170°C เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกะทิผง

3.5.3 การทำแห้งด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งผลิตภัณฑ์กะทิผงโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) รุ่น JCM Minilab SDE-10 ที่มีกำลังการผลิต 10 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีการควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังตารางที่ 3.3 ประกอบด้วย 2 ตัวแปร แบ่งตัวแปรออกเป็น 3 ระดับ ที่สภาวะต่างกันทำการทดลองทั้งหมด 11 การดังลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 สภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	สภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย		ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรปรับแต่ง
1.	อุณหภูมิลมร้อน	- ขาเข้า		150-170 °C
		- ขาออก	80 °C	
2.	เครื่องเป่าลม	ความเร็ว	3250 rpm	
3.	ปั๊มป้อนวัตถุดิบ		9 rpm	
4.	หัวฉีดวัตถุดิบ	- ชนิด	Two Fluid Nozzle	
		- ทิศทางการทำแห้ง	Parallel	
5.	เครื่องทำความร้อน	แผงความร้อน 4 ชุด	Auto 1 ชุด (3kW)	ใช้ 3 ชุด (1.5,3,3 kW)
6.	ความดันที่ใช้		0.5 MPa	
7.	ปั๊มลม	ความดันที่หัวฉีด	1.4 psi	

ตารางที่ 3.4 การวางแผนการทดลองของการผลิตผลิตภัณฑ์กะทิผง

การทดลองครั้งที่	ระดับตัวแปร	
	ปริมาณน้ำมัน (%) X_1	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C) X_2
1	0	150
2	0	160
3	0	170
4	3	150
5	3	160
6	3	170
7	6	150
8	6	160
9	6	170
10	3	160
11	3	160

เมื่อทำการทดลองครบทั้ง 11 การทดลอง นำผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้จากการทำแห้งไปวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์กะทิผงต่อไป

3.6 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลแบ่งเป็นการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพ 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้ การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของอิมัลชันของน้ำกะทิ การวิเคราะห์คุณลักษณะของกะทิผง และการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้

3.6.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของอิมัลชันกะทิ

3.6.1.1 ความเป็นกรดและด่าง (pH)

วิเคราะห์ความเป็นกรดและด่างด้วย pH Meter จากตัวอย่างขนาด 30 ml

3.6.1.2 ความหนืด (Viscosity, cP)

วิเคราะห์ความหนืดวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืด Brookfield Viscosity รุ่น LVDV - II+ P ที่อุณหภูมิ 25 °C ใช้หัววัดเบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18.84 mm

3.6.1.3 การแยกชั้น (Separation), (Raghavendra and Raghavarao, 2010)

วิเคราะห์ความคงตัวของวัตถุดิบ โดยการวัดค่าการแยกชั้น(%) เพื่อตรวจสอบระดับการแยกชั้นครีม โดยแบ่งตัวอย่างกะทิที่ผสมใส่หลอดทดลอง ตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สังเกตการแยกชั้นของสารละลายอิมัลชันกะทิ คำนวณดังสมการที่ 1

$$Separation(\%) = \frac{H_S}{H_E} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ H_S คือ ความสูงของสารละลายอิมัลชันกะทิส่วนใส และH_E คือ ความสูงทั้งหมดของสารละลาย

3.6.1.4 ปริมาณของแข็ง (Total Solid), (AOAC 990.20 , 2005)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 2-3 g บรรจุในถ้วยอะลูมิเนียม จากนั้นนำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำไปชั่ง คำนวณปริมาณของแข็ง คำนวณดังสมการที่ 2

$$\%Total\ Solid = 1 - (\frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100) \qquad (2)$$

เมื่อ w_1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น และ w_2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังการอบแห้ง

3.6.1.5 คุณสมบัติการไหล (Flow Ability, sec)

นำอิมัลชันกะทิเทลงในกรวยแก้วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายกรวยอยู่ที่ 0.5 เซนติเมตร จับเวลาการไหลของกะทิจากกรวยลงสู่ภาชนะที่ทราบปริมาตร และหยุดจับเวลาเมื่ออิมัลชันกะทิถึงระดับปริมาตรที่ต้องการ ทำ 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย

3.6.1.6 ความหนาแน่น (Density, kg/m^3)

คำนวณจากอัตราส่วนน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในภาชนะที่ทราบปริมาตร ทำ 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย

3.6.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์กะทิผง

3.6.2.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้ (Yield), (León F.M.et.al., 2010)

วิเคราะห์จากปริมาณกะทิผงที่ได้เทียบกับปริมาณวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย คำนวณดังสมการที่ 3

$$\%Yield = \frac{W_p \times (1 - W_{mc})}{((1 - W_b) \times W_1) + W_D} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ W_p คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์ผงที่ได้, W_{mc} คือ ความชื้นฐานเปียกของผลิตภัณฑ์ผง, W_b คือ ปริมาณความชื้นฐานเปียกของวัตถุดิบเริ่มต้น, W_1 คือ น้ำหนักวัตถุดิบเริ่มต้น และ W_D คือ น้ำหนักสารทำแห้ง

3.6.2.2 ปริมาณความชื้น (Moisture), (AOAC 927.05, 2005)

ชั่งตัวอย่างประมาณ 2-3 g ในถ้วยอะลูมิเนียม นำเข้าอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 °C จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง คำนวณปริมาณร้อยละของความชื้นที่หายไปเทียบน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น คำนวณดังสมการที่ 4

$$\%\, Moisture\,(wb) = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ w_1 คือ น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น และ w_2 คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังการอบแห้ง

3.6.2.3 ปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity)

วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระด้วยเครื่อง Water Activity Analyzer ยี่ห้อ AQUALAB รุ่น Series 3TE จำนวน 3 ซ้ำคำนวณค่าเฉลี่ย

3.6.2.4 ความสามารถในการละลาย (Solubility) (AOAC 950.81, 2005)

วิเคราะห์ความสามารถในการละลายโดยเตรียมผงตัวอย่าง 40 g ผสมน้ำปริมาตร 60 ml อุณหภูมิ 50 °C มาละลายผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง ส่วนที่ผ่านการกรองนำไปอบโดยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และคำนวณดังสมการที่ 5

$$\%\ Solubility\ = \frac{w_{S2}}{w_{S1}} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ w_{S1} คือ ปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์ผง และ w_{S2} คือ ปริมาณของแข็งในสารละลาย

3.6.2.5 ความสามารถในการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity) (Schuck P. et.al., 2012)

นำกะทิผงใส่ในขวดโหลที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัว (NaCl) ความชื้นสัมพัทธ์ 75% RH ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนัก คำนวณดังสมการที่ 6

$$Hygroscopicity\ = \frac{((w_2 - w_1 - w_0) \times 1000) + (w_1 \times M)}{(w_2 - w_0) \times 10} \quad (6)$$

เมื่อ w_0 คือ น้ำหนักภาชนะ, w_1 คือ น้ำหนักภาชนะและตัวอย่างเริ่มต้น, w_2 คือ น้ำหนักภาชนะและตัวอย่างหลังดูดความชื้นและ M คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น

3.6.2.6 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density, kg/m^3) (Reddy R.S. et.al., 2014)

คำนวณจากอัตราส่วนน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในภาชนะที่ทราบปริมาตร ทำ 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย

3.6.2.7 ค่าสี (Color) (Schuck P. et.al., 2012)

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าสีรวมของผงกะทิด้วยเครื่องวัดสี Color JC801 นำข้อมูลมาคำนวณดังสมการที่ 7

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (7)$$

เมื่อ L_1^*, a_1^*, b_1^* คือ ค่าสีของวัตถุดิบกะทิเริ่มต้น, L_2^*, a_2^*, b_2^* คือ ค่าสีของผลิตภัณฑ์กะทิผง

3.6.2.8 ความสามารถในการละลาย(โดยวิธีการเหวี่ยงแยก) (Solubility) (Fazaeli M. et.al., 2012)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5 g และน้ำหนักน้ำกลั่น 50 g ที่อุณหภูมิ 20±2 °C เทลงในบีกเกอร์ให้เข้ากันด้วยแท่งแก้วคนสาร เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำเอาเข้าเครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge) เป็นเวลา 5 นาที หลังจากการเหวี่ยงแยกแล้วนำส่วนที่ใสไปอบโดยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำมาคำนวณค่าความสามารถในการละลาย ดังสมการที่ 8

$$Solubility = \frac{(100+W)\times X_{DM}}{W\times(\frac{100-X_{RW}}{100})} \quad (8)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักผงที่ใช้, X_{RW} คือ ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ของผง(%w/w), X_{DM} คือ ปริมาณของแข็งส่วนใส(%w/w)

3.6.2.9 ความสามารถในการกระจายตัว (Dispersibility Index) (Schuck P. et al., 2012)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 10 g และน้ำหนักน้ำกลั่น 100 g ที่อุณหภูมิ 20±2 °C โดยคนไปในทิศทางเดียวกันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของบีกเกอร์ทั้ง2 ทิศทาง จากนั้นนำมากรองโดยเทลงบน Sieve ขนาด 212 μm เก็บส่วนที่ผ่านการกรองแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำส่วนที่ผ่านการกรองเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำมาคำนวณค่าความสามารถในการกระจายตัว ดังสมการที่ 9

$$DispersibilityIndex(DI) = \frac{(100+W)\times X_{DM}}{W\times(\frac{100-X_{RW}}{100})} \quad (9)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักผงที่ใช้, X_{RW} คือ ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ของผง(%w/w), X_{DM} คือ ปริมาณของแข็งส่วนที่ผ่านการกรอง(%w/w)

3.6.3 การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sensory Taste) (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2545)

ทำการเลือกตัวอย่างที่ดีที่สุดมา 1 ตัวอย่างจากการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี-กายภาพต่างๆ โดยใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเป็นเกณฑ์พิจารณาการเลือก จากนั้นนำไปทดสอบโดยนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ จำนวนทั้งหมด 20 คน ซึ่งแบบทดสอบที่ใช้เป็นแบบ Hedonic scaling test

Hedonic scaling test เป็นเครื่องมือสำหรับใช้วัดลักษณะของผลิตภัณฑ์และการยอมรับผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่ง โดยให้ระดับของความชอบและไม่ชอบผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ระดับสเกลความชอบที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ สเกลความชอบ 9 จุด (Nine-point hedonic scale) ซึ่งคำ ว่า Hedonic หมายถึง มีความพอใจในการกระทำ ผู้ทดสอบชิมสามารถให้ความพอใจของตนโดยการแสดงออกมาในรูประดับของความชอบและไม่ชอบผลิตภัณฑ์จากสเกลที่กำหนดทำการแปลระดับความรู้สึกของผู้ทดสอบเป็นตัวเลข ดังต่อไปนี้ ชอบมากที่สุด (Like extremely) มีคะแนนเป็น 9,ชอบมาก (Like very much) มีคะแนนเป็น 8, ชอบปานกลาง (Like moderately) มีคะแนนเป็น 7, ชอบเล็กน้อย (Like slightly) มีคะแนนเป็น 6, เฉยๆ (Neither like nor dislike) มีคะแนนเป็น 5, ไม่ชอบเล็กน้อย (Dislike slightly) มีคะแนนเป็น 4, ไม่ชอบปานกลาง (Dislike moderately) มีคะแนนเป็น 3, ไม่ชอบมาก (Dislike very much) มีคะแนนเป็น 2, ไม่ชอบมากที่สุด (Dislike extremely) มีคะแนนเป็น 1 แล้วนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน เพื่อทดสอบว่าตัวอย่างของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่

3.6.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอยู่ในรูปโพลิโนเมียลอันดับ 2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่ดีที่สุด ดังสมการที่ 10

$$y = f(x_i) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{2} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{2} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j} \sum \beta_{ij} x_i x_j \qquad (10)$$

เมื่อ x_i คือ ปริมาณน้ำมัน (%), x_j คืออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C), β_0, β_i, β_{ii}, β_{ij} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร และ y คือ คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารละลายอิมัลชันกะทิตามลำดับ

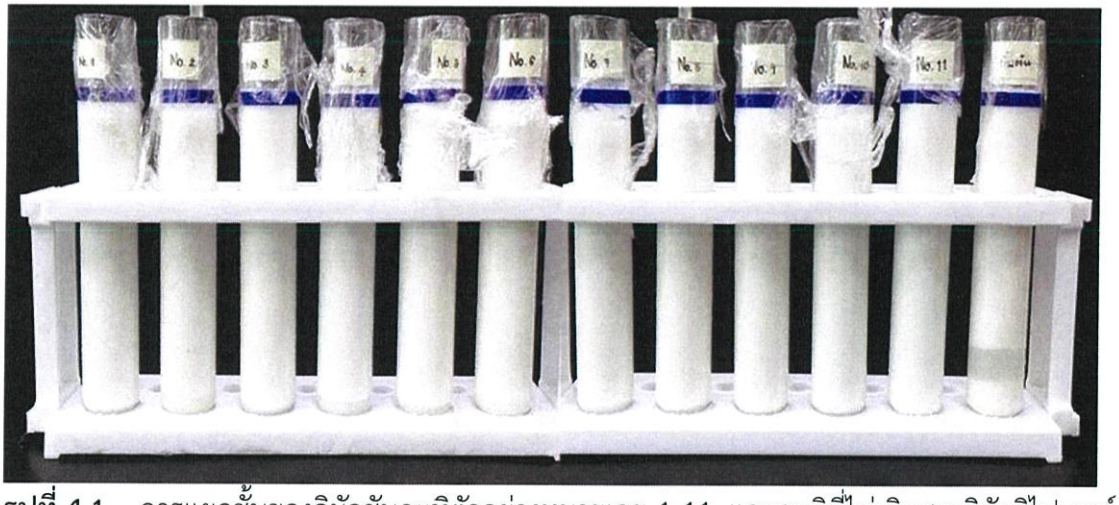
บทที่ 4
ผลการทดลอง

การผลิตกะทิผงมีปัจจัยหลายประการ โดยจำลองการเริ่มต้นตั้งแต่การขนส่งกะทิจากโรงงานหนึ่งไปสู่โรงงานทำกะทิผง ซึ่งระหว่างการขนส่งกะทิเกิดปัญหาการแยกชั้นของกะทิ ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ผลิตกะทิผงได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นเพื่อหาการผลิตกะทิผงที่ดีที่สุดด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและหาสัดส่วนของสารที่ช่วยในการทำแห้งและสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เกี่ยวข้องที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้กะทิเกิดการแยกชั้นระหว่างขนส่ง

4.1 ผลการวิเคราะห์การเตรียมสารละลายอิมัลชันกะทิ

ตอนที่ 1 : การเตรียมสารละลายอิมัลชันกะทิเพื่อศึกษาการแยกชั้นเบื้องต้น

เพื่อลดปัญหาการแยกชั้นของกะทิเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่ง จึงได้วิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาแนวทางการเลือกสัดส่วนสารที่ช่วยในการทำแห้งและสารอิมัลซิไฟเออร์ได้อย่างเหมาะสม ก่อนนำไปศึกษาเพื่อหาสภาวะทำแห้งทำแห้งแบบพ่นฝอยของกะทิผงในขั้นตอนต่อไป โดยการวิเคราะห์สารละลายอิมัลชันกะทิเบื้องต้นทำการเก็บกะทิใส่ในภาชนะทรงสูงไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C ตั้งไว้ 2 วัน วิเคราะห์ความหนืด ความเป็นกรด-ด่างและสังเกตการแยกชั้น



รูปที่ 4.1 การแยกชั้นของอิมัลชันกะทิตัวอย่างหมายเลข 1-11 และกะทิที่ไม่เติมสารอิมัลซิไฟเออร์ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของสารละลายอิมัลชันของกะทิ

No.	สารธรรมชาติจากพืช (X_1)	สารสังเคราะห์#1 (X_2)	สารสังเคราะห์#2 (X_3)	pH	VC	SP
1	0.01	-	-	6.15	21.28	2.50
2	-	0.01	-	6.16	21.03	2.50
3	-	-	0.01	6.21	18.43	0.00
4	0.10	0.04	0.04	6.20	33.23	3.33
5	0.05	0.04	0.04	6.23	29.87	10.00
6	0.10	0.02	0.04	6.19	29.57	4.17
7	0.05	0.02	0.04	6.28	21.72	10.00
8	0.10	0.04	0.02	6.28	18.85	8.33
9	0.05	0.04	0.02	6.29	19.21	10.00
10	0.10	0.02	0.02	6.25	16.91	6.67
11	0.05	0.02	0.02	6.16	18.67	6.67
12	-	-	-	6.23	12.69	29.17

หมายเหตุ : No. แทน การทดลองครั้งที่, X_1 แทน สารธรรมชาติจากกลุ่มพืช (%), X_2 แทน สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 (%) , X_3 แทน สารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 (%), VC แทน Viscosity (cP), SP แทน Separation (%)

ผลจากการศึกษาการเตรียมสารละลายอิมัลชันกะทิแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าอิมัลชันกะทิตัวอย่างหมายเลข 1-11 มี ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.15 - 6.29 ความหนืดอยู่ในช่วง 16.91 cP -33.23 cP การแยกชั้นอยู่ในช่วง 0 % - 10.00 % จากรูปที่ 4.1 พบว่ากะทิที่ปราศจากการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์หรือสารเพิ่มความคงตัวใดๆเกิดการแยกชั้นสูงสุดและมีค่าความหนืดต่ำที่สุด ส่วนกะทิที่เติมสารอิมัลซิไฟเออร์สามารถช่วยลดการแยกชั้นของครีมลงมาก นอกจากนั้นยังพบว่าการเติมสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 เพียงอย่างเดียวที่ระดับ 0.01% ไม่เกิดการแยกชั้นของครีมกะทิเมื่อเก็บรักษาไว้ที่ 4 °C เป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 48 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 มีผลกระทบต่อค่าความหนืด ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายอิมัลชันกะทิอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนสารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารอิมัลซิไฟเออร์ธรรมชาติจากกลุ่มพืช มีผลรองลงมาตามลำดับและเมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลอันดับที่สอง (ดังสมการที่ 1) เพื่ออธิบายผลกระทบของชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ต่อคุณสมบัติของสารละลายอิมัลชันกะทิ

$$Y = \beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_3X_3+\beta_{12}X_1X_2+\beta_{13}X_1X_3+\beta_{23}X_2X_3 \quad (1)$$

เมื่อ β_0 = จุดตัด (Intercept) หรือ Gran Mean

β_i = อธิบายผลเชิงเส้นตรง (Linear Effect) ของ X_i

β_{ij} = อธิบายผลของปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction Effect) ของ X_iและX_j

Y = ค่าการตอบสนองได้แก่ ความหนืด (Viscosity, cP), การแยกชั้น (Separation, %), และ ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

X_i = ตัวแปรต้น ซึ่งได้แก่ X_1 แทน สารธรรมชาติจากกลุ่มพืช (%), X_2 แทน สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 (%) และ X_3 แทน สารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 (%)

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการโพลิโนเมียลอันดับที่ 2 ของคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของสารละลายอิมัลชันกะทิ

สัมประสิทธิ์	VC	pH	SP
β_0	22.08060665***	6.143039919***	-0.17577896
β_1	-105.6070275**	0.001655996	103.030496
β_2	-85.82959179	1.678655145	245.0110711
β_3	-356.9407029***	6.011988478	198.5666266
β_{12}	-1491.022403	38.38120561	-2305.139535
β_{13}	6552.310931***	-51.61879439	-3411.806202
β_{23}	12485.13802***	-119.2824406	-657.560438
R^2	0.9855	0.6942	0.8982
S.E.	1.0622	0.0451	1.7833

หมายเหตุ : No. แทน การทดลองครั้งที่, X_1 แทน สารธรรมชาติจากกลุ่มพืช (%), X_2 แทน สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 (%) , X_3 แทน สารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 (%), VC แทน Viscosity (cP), SP แทน Separation (%), * แทน ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01-0.05, ** แทน ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.001-0.05 และ *** แทน ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.001

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชันกะทิ (pH)

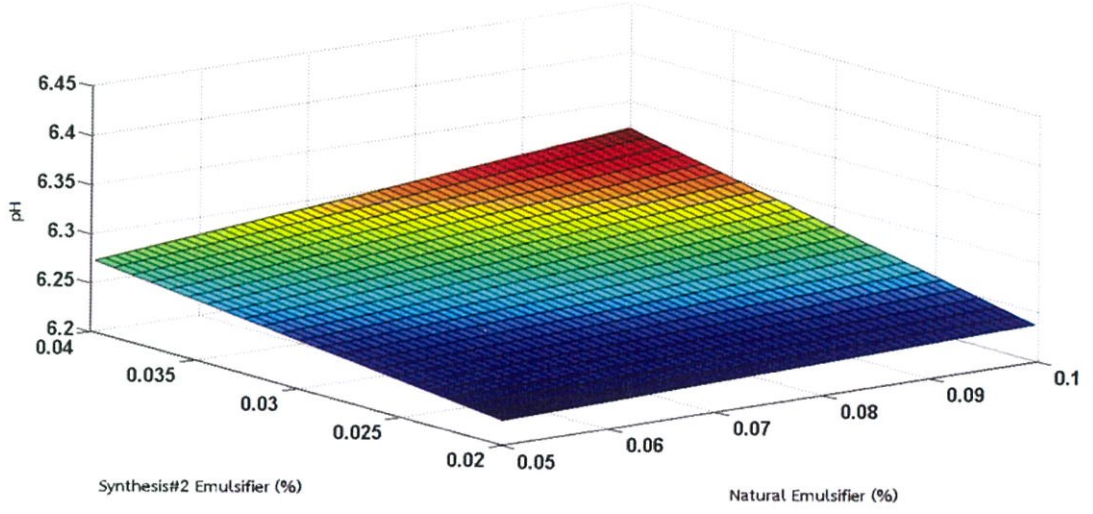
จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชันกะทิพบว่ามีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 6.15 - 6.29 เมื่อเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 อิมัลชันกะทิมีค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลง เมื่อนำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชันกะทิ สารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$pH = 6.143039919 + 0.001655996X_1 + 1.678655145X_2 + 6.011988478X_3 + 38.38120561X_1X_2 - 51.61879439X_1X_3 - 119.2824406X_2X_3$$

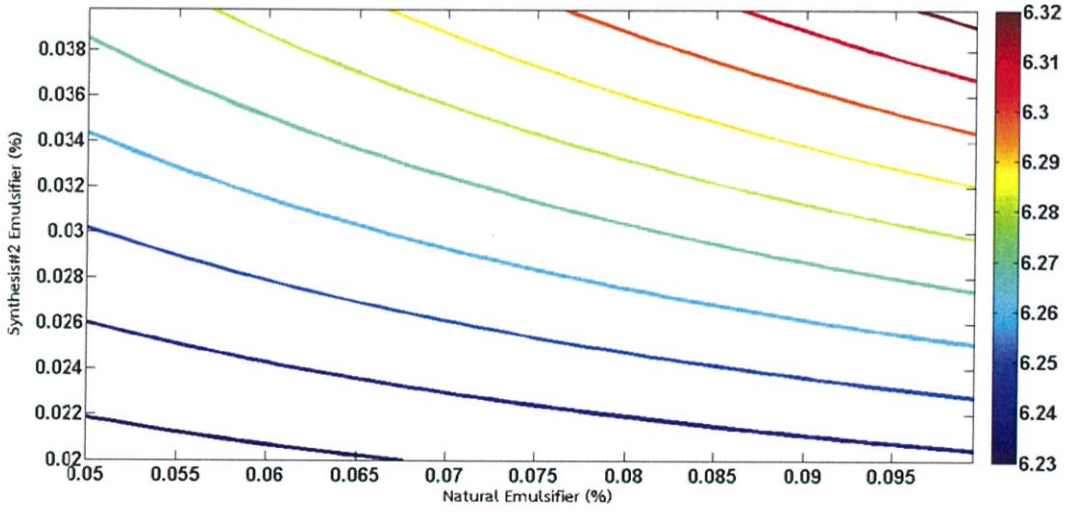
$$R^2 = 0.6942 \text{ , } S.E. = 0.0451 \text{ , } p = 0.3585 > 0.1$$

จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและพบว่าสมการข้างต้นสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดต่างๆต่อค่าความเป็นกรด-ด่างโดยมีความแม่นยำที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติต่ำกว่า 90 %

จากรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 (a) และ (b) พบว่าที่สารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่ 1 ที่ระดับ 0.01% และ 0.02% การเปลี่ยนแปลงสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืชไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชันกะทิมากนัก ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชันกะทิ เมื่อเพิ่มปริมาณสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเมื่อลดลงส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน ที่การเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 ที่ระดับ 0.04% การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืชส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชันกะทิ โดยหากเพิ่มปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืชทำให้อิมัลชันกะทิมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง และเมื่อเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ที่ระดับสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 ที่ระดับ 0.01% และ 0.02% สารอิมัลซิไฟเออร์จากธรรมชาติที่ระดับ 0.1% และสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ที่ระดับ 0.04% ทำให้อิมัลชันกะทิมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุดอยู่ที่ 6.32 และ 6.28 ตามลำดับ ในขณะที่ระดับสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 ที่ระดับ 0.04% สารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืชที่ระดับ 0.05% และสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ที่ระดับ 0.02% ทำให้อิมัลชันกะทิมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุดอยู่ที่ 6.25 อย่างไรก็ตามพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงระดับ 6 เท่ากันในทุกกลุ่ม

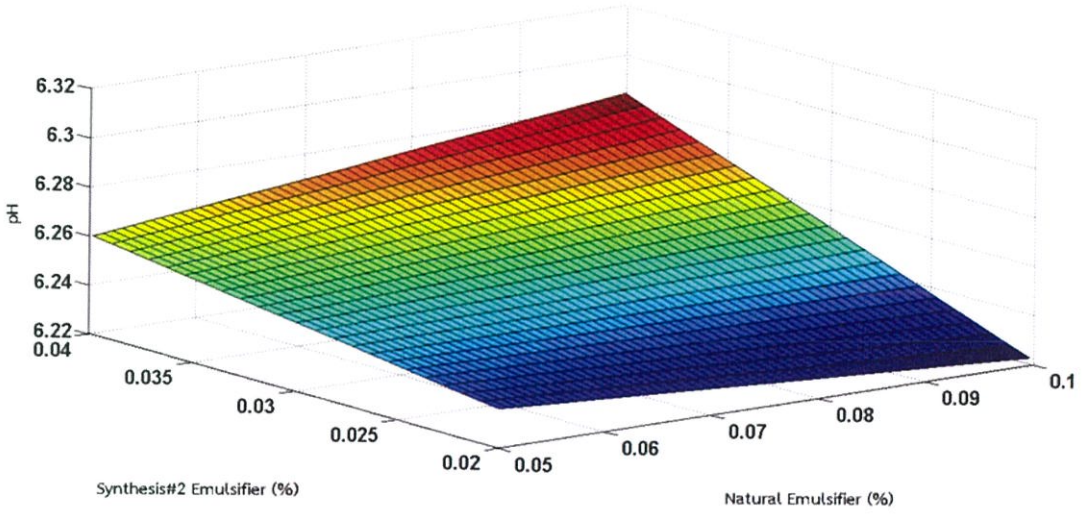


Synthesis#1 Emulsifier 0.01% (a)

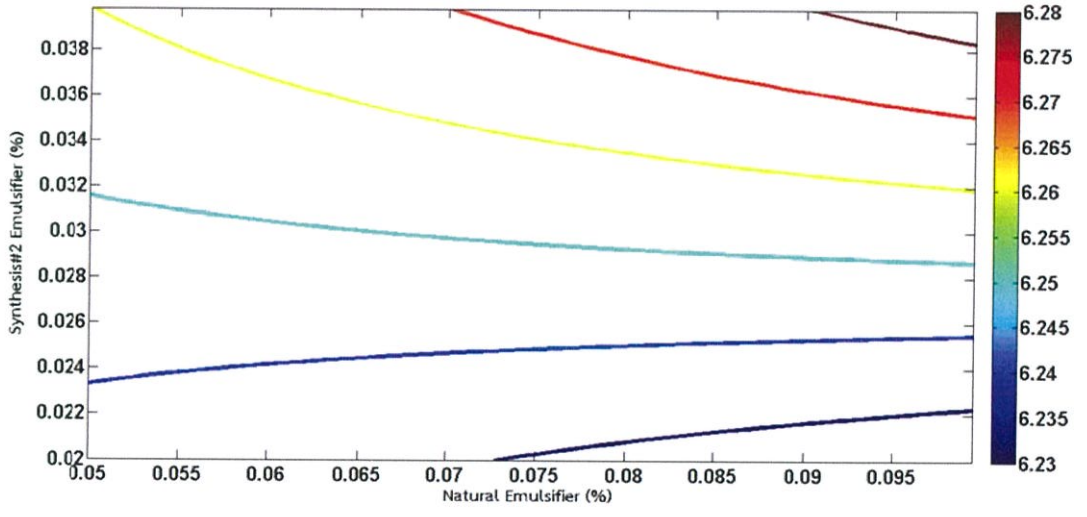


Synthesis#1 Emulsifier 0.01% (b)

รูปที่ 4.2 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ระดับ 0.01% ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง

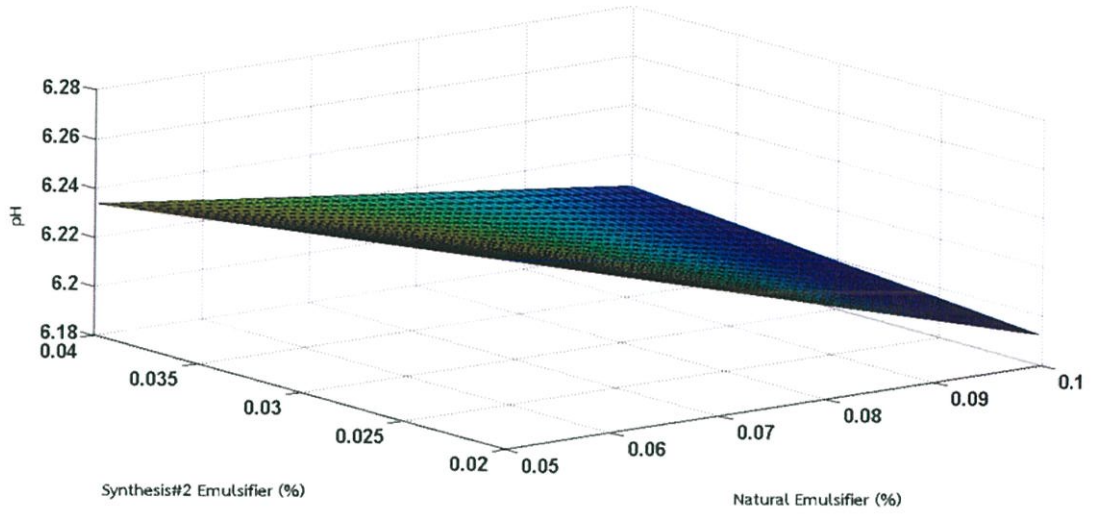


Synthesis#1 Emulsifier 0.02% (a)

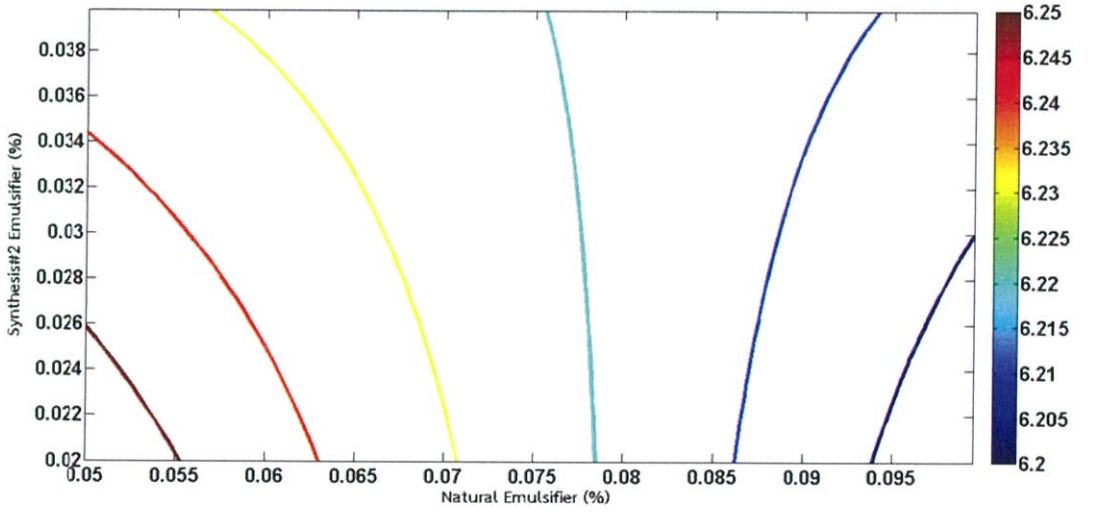


Synthesis#1 Emulsifier 0.02% (b)

รูปที่ 4.3 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ระดับ 0.02% ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง



Synthesis#1 Emulsifier 0.04% (a)



Synthesis#1 Emulsifier 0.04% (b)

รูปที่ 4.4 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ระดับ 0.04% ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของอิมัลชันกะทิ (Viscosity, cP)

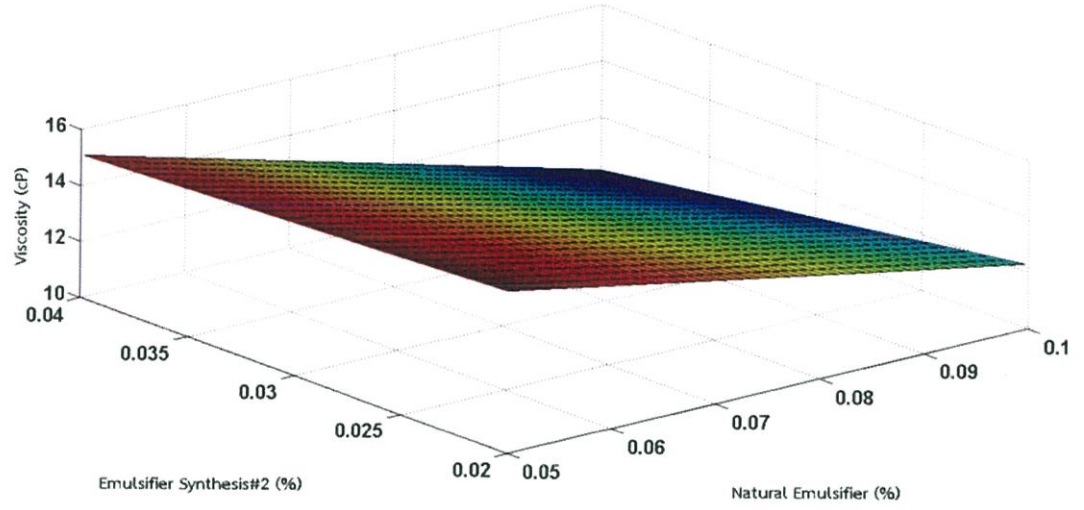
จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดของอิมัลชันกะทิพบว่ามีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 16.91 cP - 33.23 cP เมื่อเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 อิมัลชันกะทิมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นกว่ากะทิที่ปราศจากการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ เมื่อนำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของอิมัลชันกะทิ สารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$VC = 22.08060665 - 105.6070275X_1 - 85.82959179X_2 - 356.9407029X_3 - 1491.022403X_1X_2 + 6552.310931X_1X_3 + 12485.13802X_2X_3$$

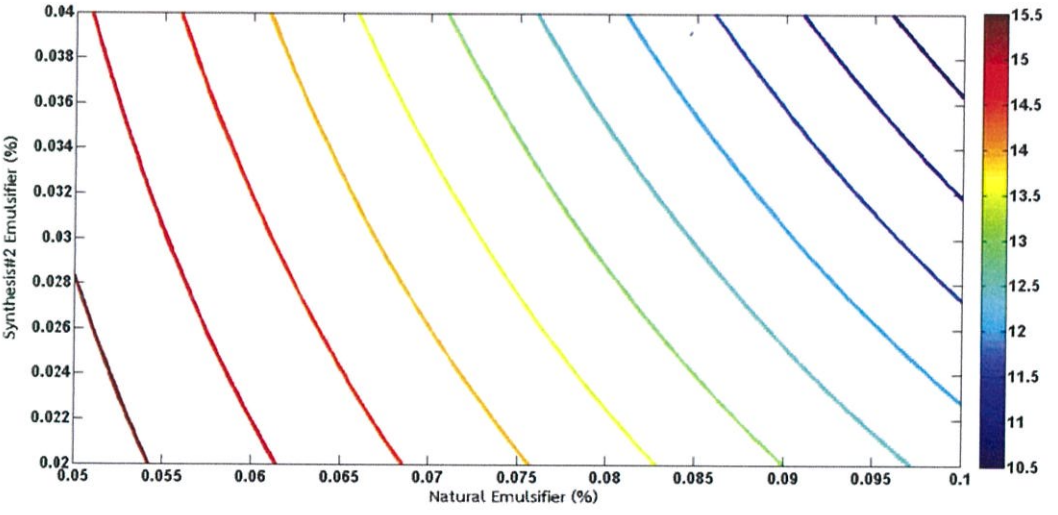
$$R^2 = 0.9855 , S.E. = 1.0622 , p = 0.0012 < 0.05$$

จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและพบว่าสมการข้างต้นแสดงความสัมพันธ์ของสารอิมัลซิไฟเออร์แต่ละชนิดต่อค่าความหนืดของอิมัลชันกะทิได้อย่างแม่นยำที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติมากกว่า 95%

จากรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 (a) และ (b) พบว่าที่สารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดที่ 1 ที่ระดับ 0.01% การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืชส่งผลต่อค่าความหนืดของอิมัลชันกะทิ โดยเมื่อปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืชเพิ่มขึ้นค่าความหนืดลดลง ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ไม่ส่งผลต่อค่าความหนืดของอิมัลชันกะทิมากนัก โดยมีค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 15.5 cP อยู่ที่ระดับสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช 0.05% และสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 0.02% ที่การเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 ที่ระดับ 0.02% การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืชไม่ส่งผลต่อค่าความหนืดอิมัลชันกะทิมากนัก ในขณะที่การเพิ่มปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ส่งผลทำให้ค่าความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 19.6 cP อยู่ที่ระดับสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช 0.05% และสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 0.04% ที่ระดับสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 ที่ระดับ 0.04% การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืชและสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ส่งผลทำให้ค่าความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสารอิมัลซิไฟเออร์ทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยมีค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 34 cP อยู่ที่ระดับสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช 0.1% และสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 0.04% โดยสามารถสรุปได้ว่าค่าความหนืดของอิมัลชันกะทิมีค่าสูงสุดที่การเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ทุกชนิดที่ระดับสูงสุด

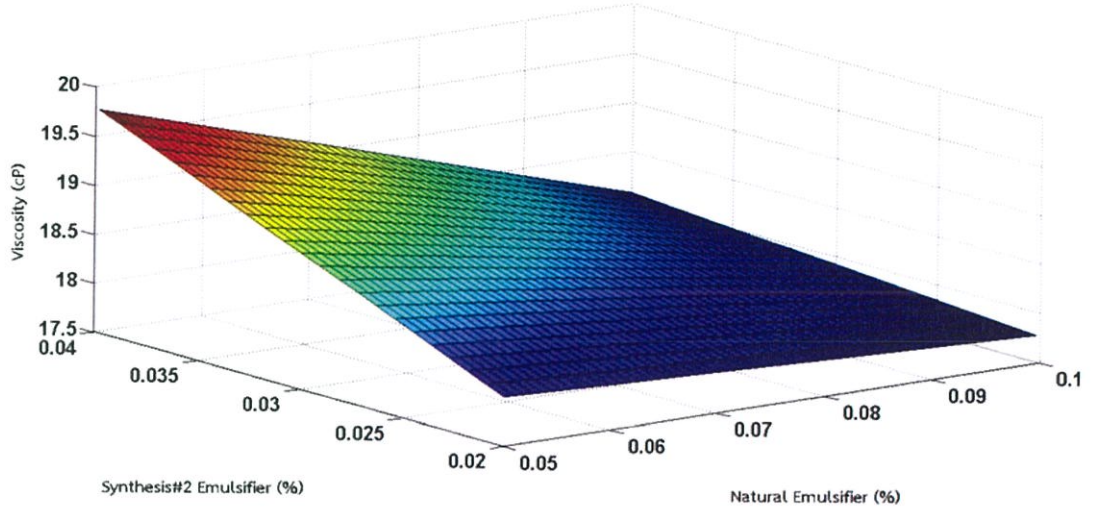


Synthesis#1 Emulsifier 0.01% (a)

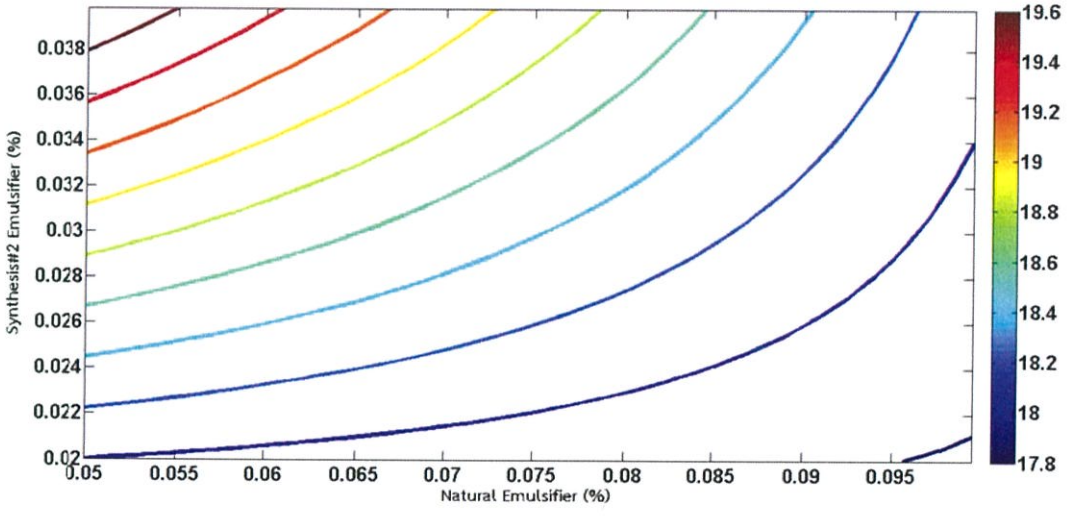


Synthesis#1 Emulsifier 0.01% (b)

รูปที่ 4.5 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ระดับ 0.01% ต่อค่าความหนืด

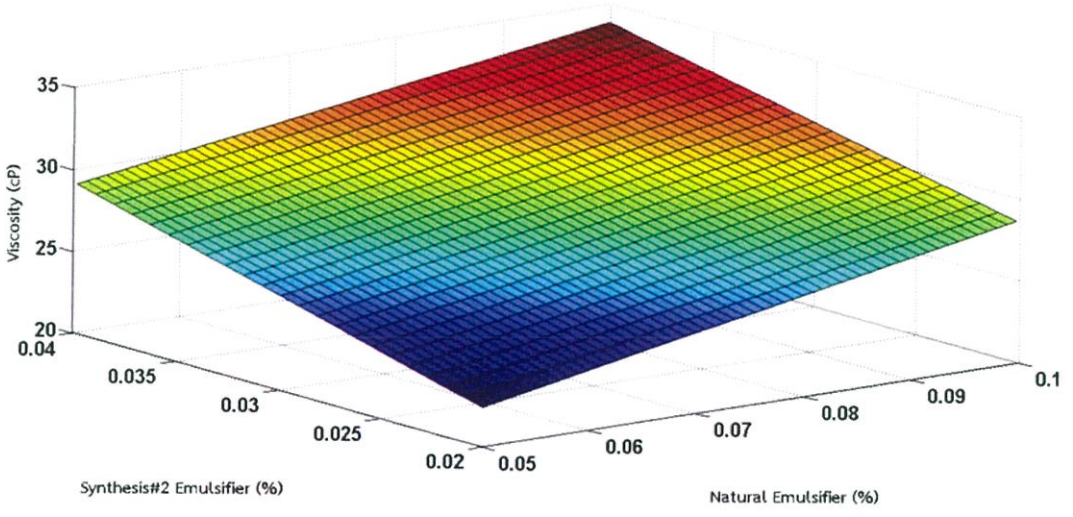


Synthesis#1 Emulsifier 0.02% (a)

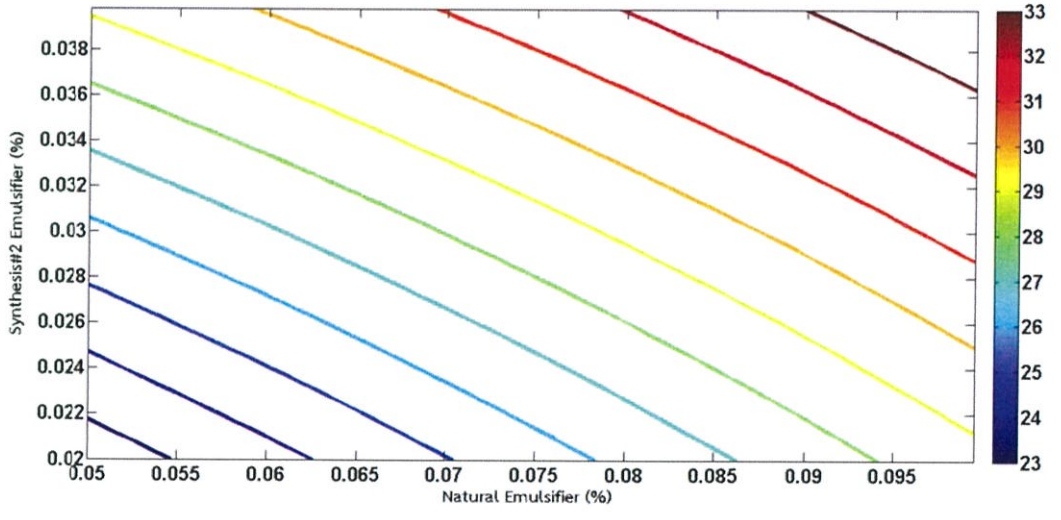


Synthesis#1 Emulsifier 0.02% (b)

รูปที่ 4.6 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ระดับ 0.02% ต่อค่าความหนืด



Synthesis#1 Emulsifier 0.04% (a)



Synthesis#1 Emulsifier 0.04% (b)

รูปที่ 4.7 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ระดับ 0.04% ต่อค่าความหนืด

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิ (Separation, %)

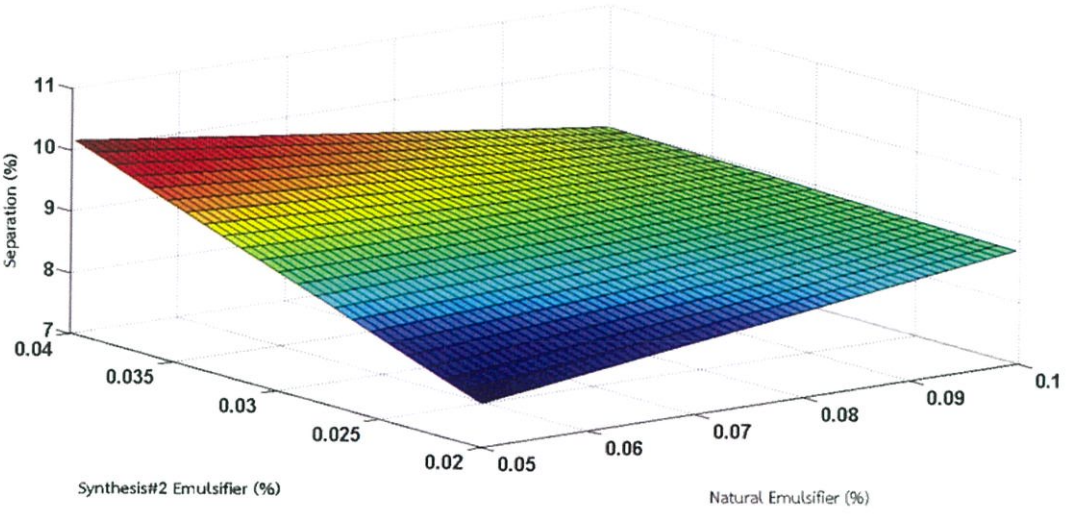
จากการวิเคราะห์ค่าการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิพบว่ามีค่าการแยกชั้นอยู่ในช่วง 0 % - 10.00% เมื่อเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 อิมัลชันกะทิมีค่าการแยกชั้นเพิ่มขึ้นกว่ากะทิที่ปราศจากการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ และพบว่าที่การเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ที่ระดับ 0.01% เพียงชนิดเดียวสามารถทำให้กะทิไม่เกิดการแยกชั้นได้ เมื่อนำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิ สารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืช สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$SP = -0.17577896 + 103.030496X_1 + 245.0110711X_2 + 198.5666266X_3 - 2305.139535X_1X_2 - 3411.806202X_1X_3 - 657.560438X_2X_3$$

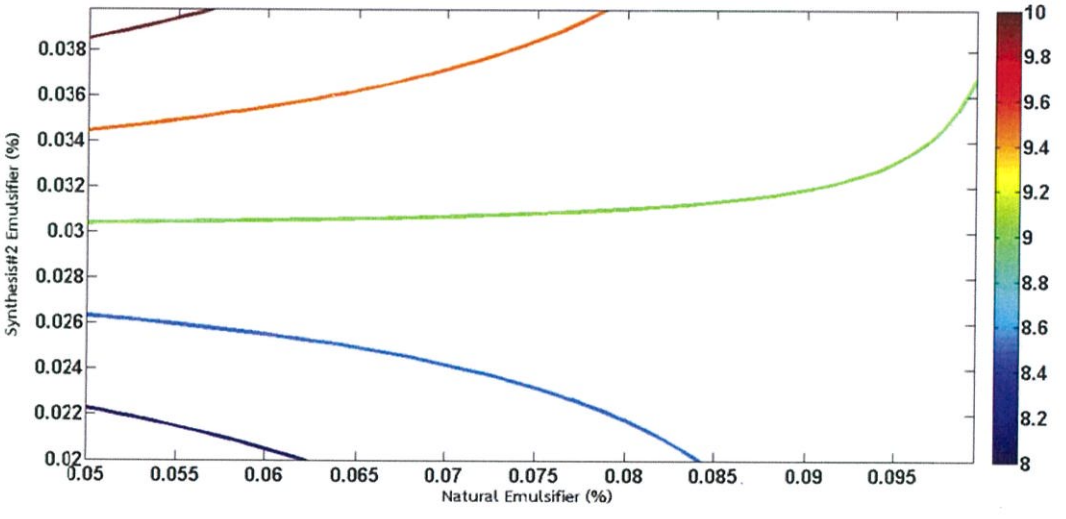
$$R^2 = 0.8982 , S.E. = 1.7833 , p = 0.0540 < 0.1$$

จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่าและค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดี พบว่าสมการข้างต้นแสดงความสัมพันธ์ของสารอิมัลซิไฟเออร์แต่ละชนิดต่อค่าการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิได้อย่างแม่นยำที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติมากกว่า 90%

จากรูปที่ 4.8, 4.9 และ4.10 (a) และ (b) พบว่าที่สารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 ที่ระดับ 0.01% และ 0.02% การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืชไม่ส่งผลต่อค่าการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิมากนัก ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ส่งผลต่อค่าการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิ โดยเมื่อปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 เพิ่มขึ้นอิมัลชันกะทิมีแนวโน้มการแยกชั้นมากขึ้นโดยเกิดการแยกชั้นสูงสุดเท่ากับ 10% และที่สารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 ที่ระดับ 0.04% การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืชส่งผลต่อการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิ โดยเมื่อปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืชเพิ่มขึ้นอิมัลชันกะทิมีแนวโน้มการแยกชั้นลดลง ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ส่งผลให้อิมัลชันกะทิเกิดการแยกชั้นมากขึ้น โดยมีค่าการแยกชั้นสูงสุดเท่ากับ 10% ที่ระดับการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืชที่ระดับ 0.05% และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 0.04% จึงสรุปได้ว่าสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 สามารถลดปัญหาการแยกชั้นของกะทิได้ จึงเลือกสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดดังกล่าวเพื่อใช้ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งผลิตภัณฑ์กะทิผงโดยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อไป

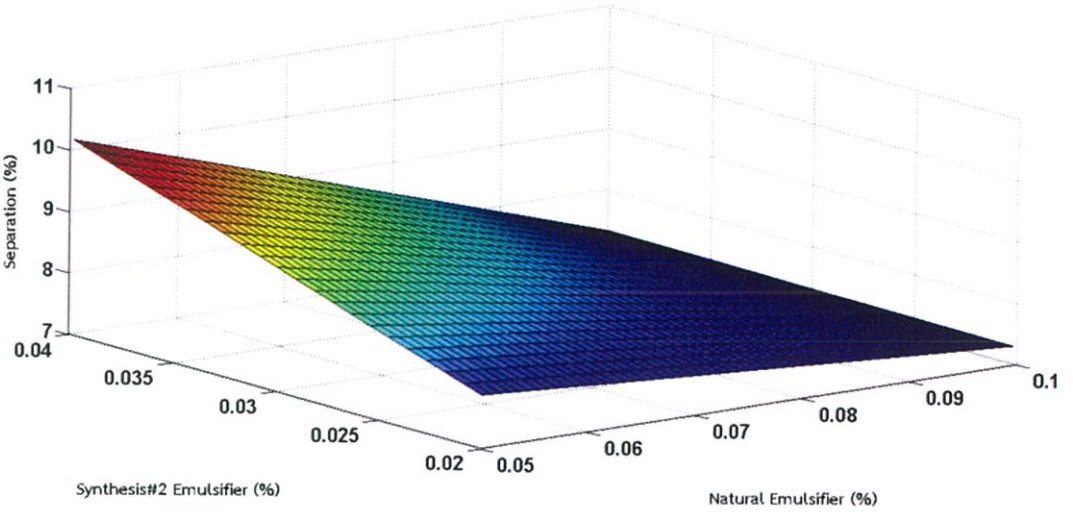


Synthesis#1 Emulsifier 0.01% (a)

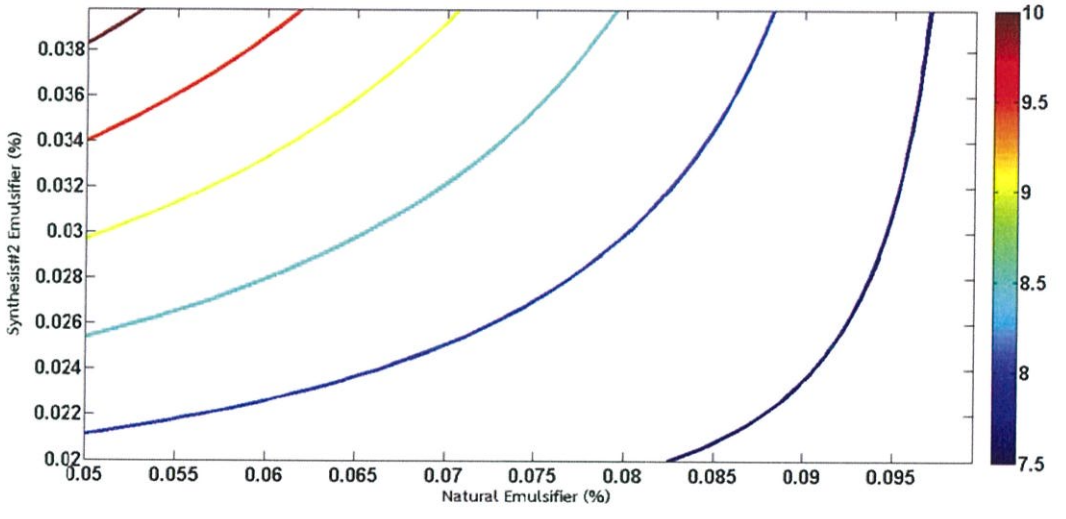


Synthesis#1 Emulsifier 0.01% (b)

รูปที่ 4.8 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารจากธรรมชาติ สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ระดับ 0.01% ต่อค่าการแยกชั้น

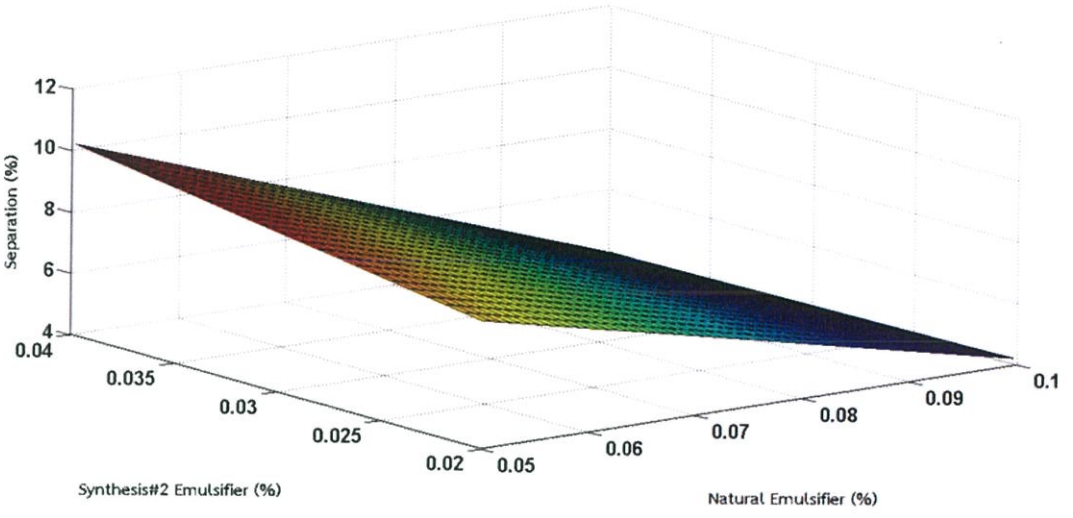


Synthesis#1 Emulsifier 0.02% (a)

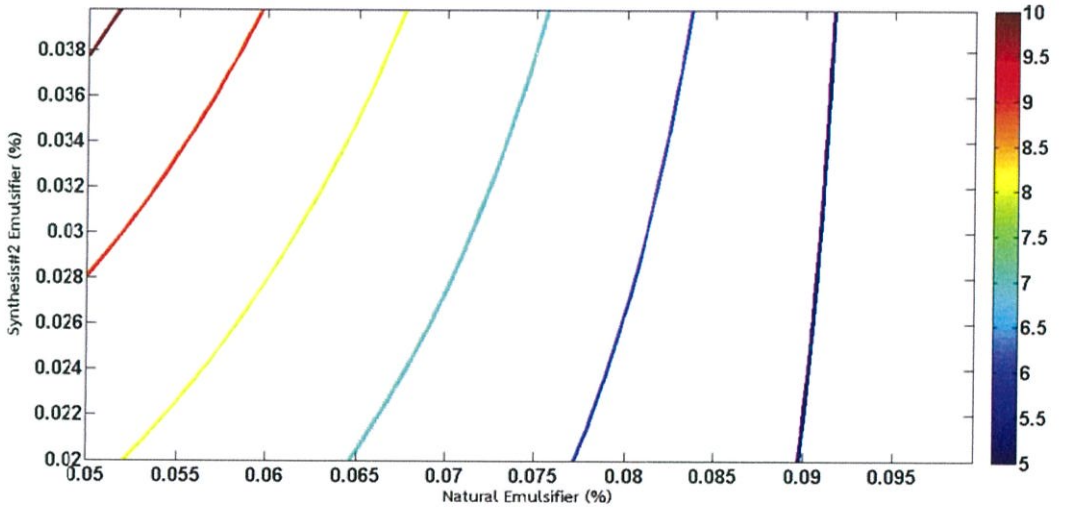


Synthesis#1 Emulsifier 0.02% (b)

รูปที่ 4.9 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารจากธรรมชาติ สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ระดับ 0.02% ต่อค่าการแยกชั้น



Emulsifier#1 0.04% (a)



Emulsifier#1 0.04% (b)

รูปที่ 4.10 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารจากธรรมชาติ สารสังเคราะห์ชนิดที่ 1 และสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 ระดับ 0.04% ต่อค่าการแยกชั้น

ตอนที่ 2 : การเตรียมสารละลายอิมัลชันกะทิ

การเตรียมสารละลายอิมัลชันกะทิเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการทำแห้งแบบพ่นฝอย ผสมและโฮโมจีไนเซอร์โดยเครื่องคอลลอยด์มิลล์เป็นระยะเวลา 5 นาที ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาผลของปริมาณน้ำมันมะพร้าวและอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้ง โดยการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของอิมัลชันกะทิในงานวิจัยนี้ได้แก่ ความหนืด, การแยกชั้น, ปริมาณของแข็ง, ความเป็นกรด-ด่าง, ความหนาแน่นและความสามารถการไหลของอิมัลชันกะทิ ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของอิมัลชันกะทิก่อนการทำแห้งที่ประมาณน้ำมันมะพร้าวระดับต่างๆ

Oil Addition (%)	VC	SP	TS	pH	Density	FA
0	476.8	0.0	63.3	5.8	1080.0	4.6
3	386.2	2.8	58.0	5.9	1218.7	18.4
6	19871.9	0.0	59.9	5.8	1128.8	8.2

หมายเหตุ : VC แทน Viscosity (cP), SP แทน Separation (%), TS แทน Total Solid (%), pH แทน ความเป็นกรด-ด่าง, DS แทน Density (kg/m^3) และ FA แทน Flow Ability (sec)

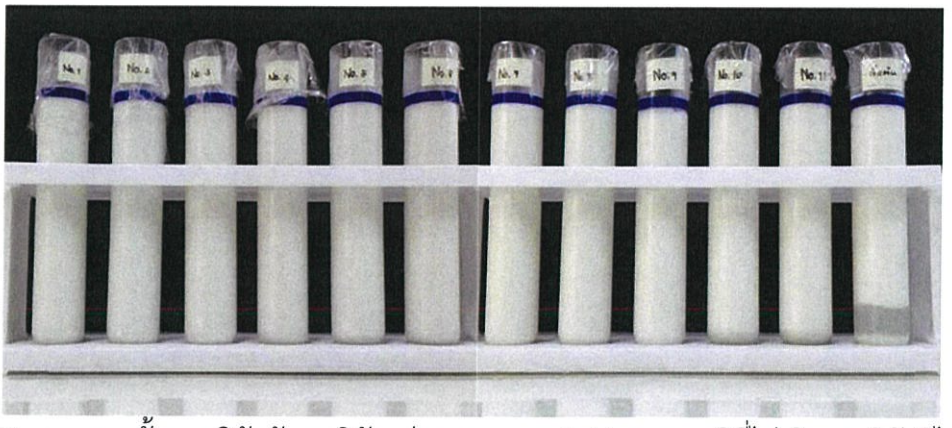
วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของอิมัลชันกะทิได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

4.1.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของอิมัลชันกะทิ (Viscosity, cP)

ความหนืดของของไหล หมายถึงแรงต้านทานการไหลซึ่งเป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของอาหารและการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งความหนืดของของไหลเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงเค้นเฉือน(Shear stress) และอัตราเฉือน(Shear rate) อิมัลชันกะทิจัดว่าเป็นของไหลประเภทนอนนิวโตเนียน(Non-Newtonian fluid) ชนิดซูโดพลาสติก(Pseudoplastic) นั่นคือเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนทำให้ความหนืดของอิมัลชันกะทิลดลง จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดของอิมัลชันกะทิพบว่ามีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 362.2 cP – 19871.9 cP เมื่อเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าวที่ระดับ 6% อิมัลชันกะทิมีค่าความหนืดสูงขึ้นกว่าที่การเติมที่ระดับ 0% และ 3% Premprasart and Chiewchan (2006) ได้ศึกษาผลของปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิการฆ่าเชื้อต่อความหนืดของอิมัลชันกะทิหลังการโฮโมจีไนเซชัน พบว่าเมื่อปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่การเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าวสูงขึ้นส่งผลให้ความหนืดของอิมัลชันกะทิมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ที่ปริมาณการเติมน้ำมันมะพร้าว 0 % มีค่าความหนืดสูงกว่าที่การเติมปริมาณน้ำมัน 3% อาจมีสาเหตุมาจากสารช่วยทำแห้งและปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ที่มีการเติมเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของปริมาณน้ำมันมะพร้าวส่งผลให้ทำให้มีค่าความหนืดลดลง

4.1.5 ผลการวิเคราะห์ค่าการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิ (Separation, %)

จากการวิเคราะห์ค่าการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิพบว่ามีค่าการแยกชั้นอยู่ในช่วง 0% - 2.8% เมื่อเติมปริมาณน้ำมันที่ระดับ 3% อิมัลชันกะทิเกิดการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิ ในขณะที่การเติมน้ำมันมะพร้าวที่ระดับ 0% และ 6% ส่งผลให้อิมัลชันกะทิมีค่าการแยกชั้นอยู่ที่ 0% หรือไม่เกิดการแยกชั้น จากรูปที่ 4.11 พบว่าการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ช่วยลดความสามารถในการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิได้ แต่ยังคงเกิดการแยกชั้นอยู่บ้างอันเป็นผลมาจากการเลือกชนิดและการปรับค่าของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ หากต้องการให้ไม่เกิดการแยกชั้นอย่างสมบูรณ์ต้องมีการศึกษาชนิดของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์และปรับค่าการทำงานให้ได้สภาวะที่ดีที่สุดที่ทำให้โมเลกุลภายในอิมัลชันกะทิไม่เกิดการแยกชั้น Premprasart and Chiewchan (2006) จากการศึกษาผลของปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิการฆ่าเชื้อต่อความหนืดของอิมัลชันกะทิหลังการโฮโมจีไนเซชัน กล่าวว่า ความคงตัวของอิมัลชันกะทิเกิดจากหลายปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ, ความดันที่ใช้ในการโฮโมจีไนเซชัน, ส่วนประกอบของอาหาร, ชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ และการเลือกตลอดจนการปรับค่าการทำงานของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ การปรับแก้แค่เพียงปัจจัยเดียวอาจไม่สามารถลดปัญหาการแยกชั้นได้ทั้งหมด ต้องมีการปรับปรุงและควบคุมคู่กับปัจจัยอื่นๆเพื่อลดปัญหาการแยกชั้นได้ดีที่สุด โปรตีนมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการช่วยลดปัญหาการแยกชั้นซึ่งทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในตัวอิมัลชันกะทิเอง ผลของความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการโฮโมจีไนเซชันส่งผลให้โปรตีนดังกล่าวเกิดการแปรสภาพทำให้ประสิทธิภาพในการรักษาความคงตัวของอิมัลชันกะทิอาจลดลงได้นำมาสู่ปัญหาการแยกชั้นของกะทิที่เกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานศึกษาและวิจัยเรื่องผลของความร้อนและการโฮโมจีไนเซชันต่อความคงตัวของอิมัลชันกะทิของ Tanhsuphoom and Coupland (2005) ซึ่งกล่าวว่าในขั้นตอนการทำโฮโมจีไนเซชัน ขนาดโมเลกุลของโปรตีนและไขมันถูกทำให้เล็กลงอันเกิดจากแรงเฉือน ซึ่งส่งผลต่อโปรตีนที่อยู่ในอิมัลชันกะทิที่ช่วยในเรื่องการรักษาความคงตัวของอิมัลชันกะทิ โมเลกุลของโปรตีนที่มีขนาดเล็กลงทำให้ไม่เพียงพอต่อการรักษาความคงตัวในอิมัลชันกะทิได้



รูปที่ 4.11 การแยกชั้นของอิมัลชันกะทิตัวอย่างหมายเลข 1-11 และกะทิที่ไม่เติมสารอิมัลซิไฟเออร์ตามลำดับ

4.1.6 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งของอิมัลชันกะทิ (Total Solid, %)

จากการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งของอิมัลชันกะทิพบว่ามีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 58.0% - 63.3% เมื่อเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าวที่ระดับต่างกัน พบว่าที่การเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าว 0% มีค่าปริมาณของแข็งของอิมัลชันกะทิสูงที่สุด เมื่อเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าวที่ 3% มีค่าปริมาณของแข็งลดลงเป็น 58.0 % และเพิ่มเป็น 59.9% ที่ระดับการเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าว 6% อาจมีสาเหตุมาจากการเติมสารช่วยทำแห้งและปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ที่มีการเติมเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของปริมาณน้ำมันมะพร้าว ทำให้ผลของการเติมน้ำมันมะพร้าวต่อค่าปริมาณของแข็งของอิมัลชันกะทิไม่มีแนวโน้มไปในทิศทางเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจน

4.1.7 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชันกะทิ (pH)

จากการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชันกะทิพบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5. 8 – 5.9 เมื่อเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าวที่ระดับต่างกัน พบว่าการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์และสารช่วยทำแห้งทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของอิมัลชันกะทิมีแนวโน้มลดลงจากกะทิดั้งเดิม อันเป็นผลมาจากกลุ่มสารอิมัลซิไฟเออร์และสารช่วยทำแห้งมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำ จึงทำให้อิมัลชันกะทิมีความเป็นกรดมากขึ้นแต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิสำเร็จรูป(มอก. 582-2528) ที่กำหนดให้กะทิต้องมีความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.5-6.5

4.1.8 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของอิมัลชันกะทิ (Density, kg/m^3)

จากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของอิมัลชันกะทิพบว่ามีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1080.0 kg/m^3 – 1218.7 kg/m^3 เมื่อเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าวที่ระดับต่างกัน ที่ปริมาณน้ำมัน 0 % หรือ ไม่เติมน้ำมันมะพร้าว มีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุดเท่ากับ 1080.0 kg/m^3 ที่ปริมาณน้ำมัน 3 % มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุดเท่ากับ 1218.7 kg/m^3 และมีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 1128.8 kg/m^3 ที่การเติมน้ำมันมะพร้าว 6% อาจมีสาเหตุมาจากการเติมสารช่วยทำแห้งและปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ที่มีการเติมเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของปริมาณน้ำมันมะพร้าว ทำให้ค่าความหนาแน่นที่ได้ไม่มีแนวโน้มไปในทิศทางเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างเด่นชัดเมื่อปริมาณน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น

4.1.9 ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถการไหลของอิมัลชันกะทิ (Flow Ability, sec)

จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถการไหลของอิมัลชันกะทิพบว่ามีค่าความสามารถการไหลอยู่ในช่วง 4.6 sec – 18.4 sec เมื่อเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าวที่ระดับต่างกัน ที่การเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าว 0% หรือ ไม่เติมน้ำมันมะพร้าวมีค่าความสามารถการไหลเร็วที่สุดเท่ากับ 4.6 วินาที ที่การเติมน้ำมันมะพร้าว 3% มีค่าความสามารถการไหลช้าที่สุดเท่ากับ 18.4 วินาที และมีแนวโน้มลดลงเท่ากับ 8.2 วินาทีที่การเติมน้ำมันมะพร้าว 6 % เนื่องจากที่การเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าว 0 % ไม่มีผลจากค่าความหนืดของน้ำมันทำให้อิมัลชันกะทิไหลได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ปริมาณน้ำมันที่ 3% และ 6% ความหนืดของน้ำมันและปริมาณสารทำแห้งตลอดจนสารอิมัลซิไฟเออร์ที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนน้ำมันมะพร้าว ส่งผลต่อการยืดเหนี่ยวของโมเลกุลภายใน ส่งผลให้มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น และทำให้มีความสามารถการไหลที่ช้ากว่าอิมัลชันกะทิที่ไม่มีการเติมน้ำมันมะพร้าว

4.2 ผลการวิเคราะห์การทำแห้งกะทิโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์กะทิผง มีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ต้องการ จากการศึกษาการเลือกชนิดของสารอิมัลซิไฟเออร์เพื่อลดปัญหาการแยกชั้นในอิมัลชันกะทิเบื้องต้นพบว่าการเติมสารสังเคราะห์ชนิดที่ 2 สามารถลดปัญหาการแยกชั้นได้มากที่สุด แต่สารดังกล่าวไม่สามารถรักษากลิ่นและรสของอิมัลชันกะทิได้ จึงจำเป็นที่ต้องมีการใช้ร่วมกับสารอิมัลซิไฟเออร์จากกลุ่มพืชตลอดจนสารช่วยทำแห้งเข้ามาร่วมด้วยเพื่อช่วยรักษากลิ่นและรสของอิมัลชันกะทิ เมื่อเตรียมอิมัลชันกะทิตามวิธีการทดลองแล้ว นำมาทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยวางแผนการทดลองและควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยดังตารางที่ 3.3 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพดังต่อไปนี้ได้แก่ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้, ความชื้น, ปริมาณน้ำอิสระ, ความหนาแน่นรวม, ความสามารถในการละลาย, ความสามารถในการดูดซับความชื้น และค่าสี ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของอิมัลชันกะทิและผลิตภัณฑ์กะทิผงที่สภาวะต่างๆ นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบโพลิโนเมียลอันดับที่ 2 (ดังสมการที่ 2) ของคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพต่างๆที่ได้ทำการศึกษาต่างๆได้แก่ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Yield, %), ความชื้น (Moisture Content, %), ปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity), ความหนาแน่นรวม (Bulk Density, kg/m^3), ความสามารถในการละลาย (Solubility, %), ความสามารถในการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity, %) และ ค่าสี (Color) เพื่ออธิบายผลกระทบของตัวแปรศึกษาโดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

$$Y = \beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2+\beta_{11}X_1^2+\beta_{22}X_2^2+\beta_{12}X_1X_2 \quad (2)$$

เมื่อ β_0 = จุดตัด (Intercept) หรือ Gran Mean

β_i = อธิบายผลเชิงเส้นตรง (Linear Effect) ของ X_i

β_{ii} = อธิบายผลเชิงเส้นโค้ง (Quadratic Effect) ของ X_i

β_{ij} = อธิบายผลของปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction Effect) ของ X_iและX_j

Y = ค่าการตอบสนองได้แก่ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Yield, %), ความชื้น (Moisture Content, %), ปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity), ความหนาแน่นรวม (Bulk Density, kg/m^3), ความสามารถในการละลาย (Solubility, %), ความสามารถในการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity, %) และ ค่าสี (Color)

X_i = ตัวแปรต้น ซึ่งได้แก่ X_1 แทนปริมาณน้ำมัน และ X_2 แทนอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์กะทิผงที่สภาวะต่างๆ

No.	X_1	X_2	Y	MC	Aw	BD	SB	HG	Color			
									L*	a*	b*	dE
1	0	150	31.40	1.59	0.155	844.23	75.23	5.44	100.510	0.30	0.30	9.69
2	0	160	70.74	1.51	0.252	786.98	69.69	6.09	101.482	-0.16	0.09	12.88
3	0	170	35.80	1.23	0.197	953.98	73.57	3.45	99.102	0.34	11.58	15.60
4	3	150	61.36	1.52	0.249	867.12	74.24	5.55	99.174	-0.44	0.54	6.52
5	3	160	58.98	1.14	0.212	857.28	71.97	5.87	99.338	-0.40	1.00	9.15
6	3	170	59.46	0.71	0.188	846.40	75.04	5.42	100.706	-0.28	4.40	10.90
7	6	150	49.69	3.65	0.230	854.24	80.16	5.56	101.096	0.26	1.87	11.84
8	6	160	58.28	1.97	0.304	810.82	84.77	6.36	97.500	1.09	0.57	7.91
9	6	170	41.24	1.69	0.236	884.21	59.36	5.71	97.794	0.80	7.37	10.29
10	3	160	52.49	1.46	0.153	819.98	78.18	4.53	98.808	0.10	2.51	9.66
11	3	160	65.38	1.77	0.263	803.59	77.01	5.65	100.440	0.26	-0.09	9.52

หมายเหตุ : No. แทน การทดลองครั้งที่, X_1 แทน ปริมาณการเติมน้ำมันมะพร้าว (%), X_2 แทน อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C), Y แทน Yield (%), MC แทน Moisture Content (%), Aw แทน Water Activity, BD แทน Bulk Density (kg/m^3), SB แทน Solubility (%) และ HG แทน Hygroscopicity (%)

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการโพลิโนเมียลอันดับที่ 2 ของคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์กะทิผง

สัมประสิทธิ์	Y	MC	Aw	BD	SB	HG	Color			
							L*	a*	b*	dE
β_0	-3169.918697	2.656656699	-8.651953216	15289.98949**	-769.1501838	-123.8669267	169.0879298	-47.67817544	752.3633333*	66.901984860
β_1	23.32509785	1.885849184	0.040836257	103.6319688	26.27433626	-2.81651818	2.386245614	-1.004941520	6.858444444	8.088152251*
β_2	40.08057217	-0.003203631	0.11028348	-184.8229307**	10.43390831	1.701570427	-0.855637719	0.599647368	-9.870016667**	-1.013008753
β_{11}	-0.928373586	0.068846889**	0.002805068	0.126170983	-0.070305962	0.020056289	-0.020374269	0.070953216**	0.121777778	0.233730249**
β_{22}	-0.124558168	-2.73957E-05	-0.000342544	0.590003008**	-0.032238112	-0.005586704	0.002656316	-0.001874211	0.032370000**	0.004203905
β_{12}	-0.107056565	-0.013330597*	-0.000302778	-0.664904762	-0.159565297	0.017774355	-0.015783333	0.004200000	-0.048183333	-0.062139336**
R^2	0.5360	0.8705	0.4039	0.6580	0.4971	0.5879	0.3741	0.7155	0.8565	0.8565
S.E.	12.0120	0.3776	0.0505	37.8240	6.4845	0.7257	1.4725	0.3629	1.9810	1.3139

หมายเหตุ Y แทน Yield (%), MC แทน Moisture Content (%), Aw แทน Water Activity, BD แทน Bulk Density (kg/m^3), SB แทน Solubility (%) และ HG แทน Hygroscopicity (%), * แทน ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01-0.05, ** แทน ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.001-0.05 และ *** แทน ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.001

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ของผลิตภัณฑ์กะทิผง (Yield, %)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้พบว่ามีค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้อยู่ในช่วง 31.40% - 70.74% เมื่อเติมน้ำมันมะพร้าวและปรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้งผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ระดับต่างๆ จากตารางที่ 4.4 พบว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 160 °C ให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้สูงที่สุดในทุกๆระดับการเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าว นั่นหมายความว่าที่อุณหภูมิดังกล่าวเกิดการทำแห้งผลิตภัณฑ์กะทิผงที่สมบูรณ์ที่สุด โดยปราศจากปัญหาการติดผนังห้องอบหรือการสะสมความร้อนที่ตัวผลิตภัณฑ์จนเกิดการหลอมละลายได้ Fazaeli M. et.al. (2012) ได้ศึกษาการทำแห้งผลิตภัณฑ์หม่อนผง พบว่า เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงขึ้น ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ก็เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้น การระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์จึงทำได้ง่าย ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ที่ลดลงช่วยลดปัญหาของการทำแห้งที่ไม่เพียงพอจนเกิดการสะสมที่ผนังห้องอบ ซึ่งที่การทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่ำกว่าพบปัญหาผลิตภัณฑ์ผงเกิดการสะสมอยู่ที่ผนังห้องอบทำให้ได้ค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ต่ำ แต่ในขณะเดียวกันงานวิจัยของ Papadakis S.E. et al. (2006) ได้ศึกษาการทำแห้งผลิตภัณฑ์ลูกเกดผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย รายงานว่าผลของการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ลดต่ำลง เนื่องจากเกิดปัญหาการเหนียวติดของผลิตภัณฑ์ (Stickiness) อุณหภูมิการทำแห้งที่สูงเกินไปอาจส่งผลต่ออุณหภูมิจุดหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะจากผลึกของแข็งกลายเป็นของเหลวอีกครั้ง ทำให้เกิดปัญหาการสะสมของผลิตภัณฑ์ที่ผนังห้องอบและมีการสะสมความร้อนสูงก่อให้เกิดการหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ เมื่อนำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

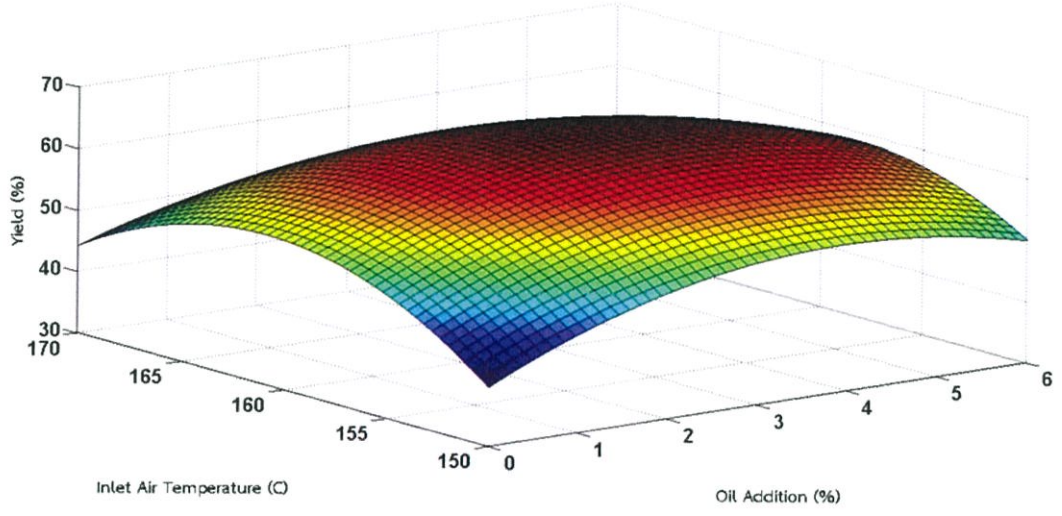
$$Y = -3169.918697 + 23.32509785X_1 + 40.08057217X_2 - 0.928373586X_1^{\ 2} - 0.124558168X_2^{\ 2} - 0.107056565X_1 X_2$$

$R^2 = 0.5360$, S.E. = 12.0120 , $p = 0.4391 > 0.1$

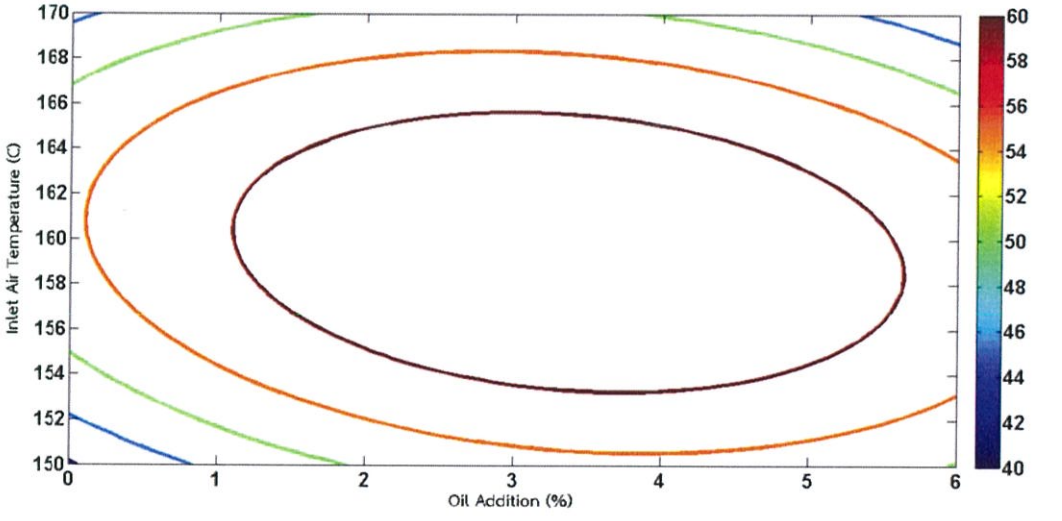
X_1 คือ ปริมาณน้ำมัน และ X_2 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและพบว่าสมการข้างต้นแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ไม่แม่นยำที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติต่ำกว่า 90%

จากรูปที่ 4.12 (a) และ (b) พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ โดยการเติมปริมาณน้ำมันในอิมัลชันกะทิที่ระดับ 3% ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้สูงสุดเท่ากับ 60%



Yield (a)



Yield (b)

รูปที่ 4.12 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์กะทิผง (Moisture Content, %)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้พบว่ามีค่าความชื้นที่ได้อยู่ในช่วง 0.71% - 3.65% เมื่อเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าวและปรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้งผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ระดับต่างๆ พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่าความชื้นมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่การเติมน้ำมันมะพร้าวที่ระดับ 0% ส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีค่าสูงกว่าที่ระดับ 3% และมีค่าสูงสุดที่ระดับ 6% โดยที่ระดับ 3% มีค่าความชื้นต่ำที่สุด นำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$MC = 2.656656699 + 1.885849184X_1 - 0.003203631X_2 + 0.068846889\ X_1^{\ 2} - 0.0000273957\ X_2^{\ 2} - 0.013330597\ X_1^{\ 2}\ X_2^{\ 2}$$

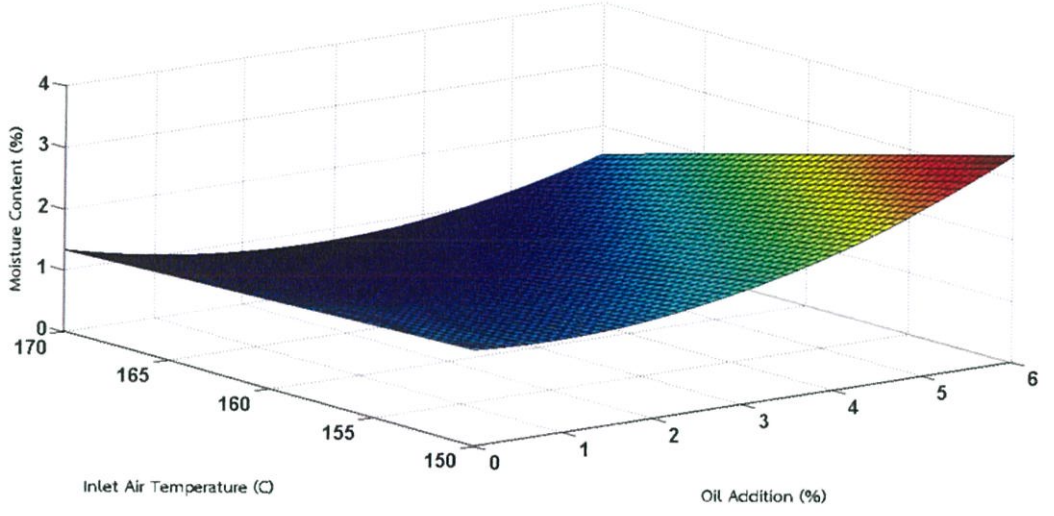
$R^2 = 0.8705$, S.E. = 0.3776 , p =0.0283 < 0.05

X_1 คือ ปริมาณน้ำมัน และ X_2 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

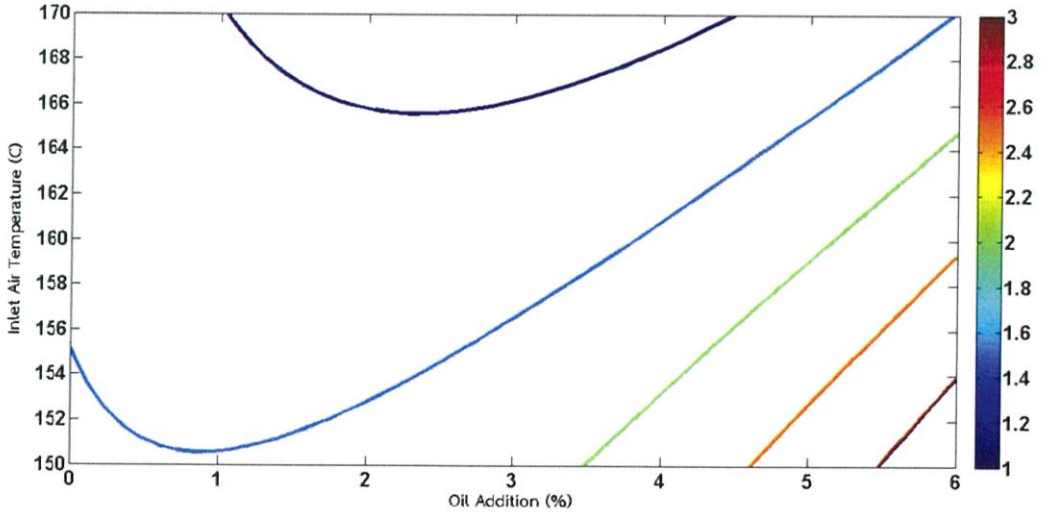
จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและพบว่าสมการข้างต้นแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้แม่นยำที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติมากกว่า 95%

จากรูปที่ 4.13 (a) และ (b) พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและปริมาณน้ำมันลดลงส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้มีแนวโน้มต่ำลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงอัตราการระเหยมีค่าสูงขึ้นทำให้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์สามารถระเหยออกได้ง่ายกว่าที่อุณหภูมิต่ำ และที่ระดับการเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าวสูงส่งผลให้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ระเหยได้ยากเนื่องจากอยู่ในรูปของไขมันทำให้มีค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ผงที่ไม่มีการเติมน้ำมันมะพร้าว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Silva P.I. et.al. (2013) เรื่องการศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์องุ่นผงพันธุ์บราซิล, Zhang H. et.al. (2013) เรื่องการศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์หอยสองฝาน้ำจืดชนิดผง และQuek S.Y. et.al. (2007) เรื่องการศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์แตงโมผง งานวิจัยทั้ง 3 เรื่องรายงานว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงขึ้นผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นต่ำลงเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนสูง มีแรงขับเคลื่อนของการระเหยน้ำที่ดีทำให้สามารถระเหยน้ำออกได้ง่ายกว่าที่อุณหภูมิต่ำถึงแม้ว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นที่ต่ำทำให้มีระยะการเก็บรักษาที่นานขึ้น แต่ก็มีข้อเสียการใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่สูงเกินไปอาจทำให้อาหารหรือผลิตภัณฑ์เกิดการสูญเสียในด้านกายภาพเช่น เกิดการไหม้ที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ทำให้มีสีที่เปลี่ยนไป หรืออาจทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการหลอมเหลวได้อีกครั้ง เพราะฉะนั้นใน

อาหารหรือผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทมีอุณหภูมิการทำแห้งที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ดีที่สุด โดยที่ปริมาณน้ำมันในอิมัลชันกะทิที่ระดับ 0% ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C ผลิตภัณฑ์ผงที่มีค่าความชื้นต่ำที่สุดเท่ากับ 1% และมีค่าความชื้นสูงที่สุดเท่ากับ 3% ที่ปริมาณน้ำมันมะพร้าว 6% โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 °C



Moisture Content (a)



Moisture Content (b)

รูปที่ 4.13 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อปริมาณความชื้น

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์กะทิผง (Water Activity)

ปริมาณน้ำอิสระหรือค่าวอเตอร์แอคทิวีตี้เป็นค่าที่มีความสอดคล้องกับความชื้น แต่แตกต่างกับความชื้นตรงที่ปริมาณน้ำอิสระเป็นค่าที่แสดงระดับน้ำอิสระภายในผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสียและความปลอดภัยของอาหาร โดยมีนิยามเป็นอัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหารต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ หากจำแนกตามประเภทของปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์กะทิผงถูกจัดให้เป็นอาหารแห้ง ที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.6 ซึ่งแบคทีเรียก่อโรคส่วนใหญ่ไม่เจริญเติบโต มีเพียงยีสต์และราบางชนิดเท่านั้นที่สามารถเจริญเติบโตได้ที่สภาวะดังกล่าว จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้พบว่ามีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.153-0.304 เมื่อเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าวและปรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้งผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ระดับต่างๆ นำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$Aw = -8.651953216 + 0.040836257X_1 + 0.11028348*X_2 + 0.002805068\ X_1^{\ 2} - 0.000342544\ X_2^{\ 2} - 0.000302778\ X_1\ X_2$$

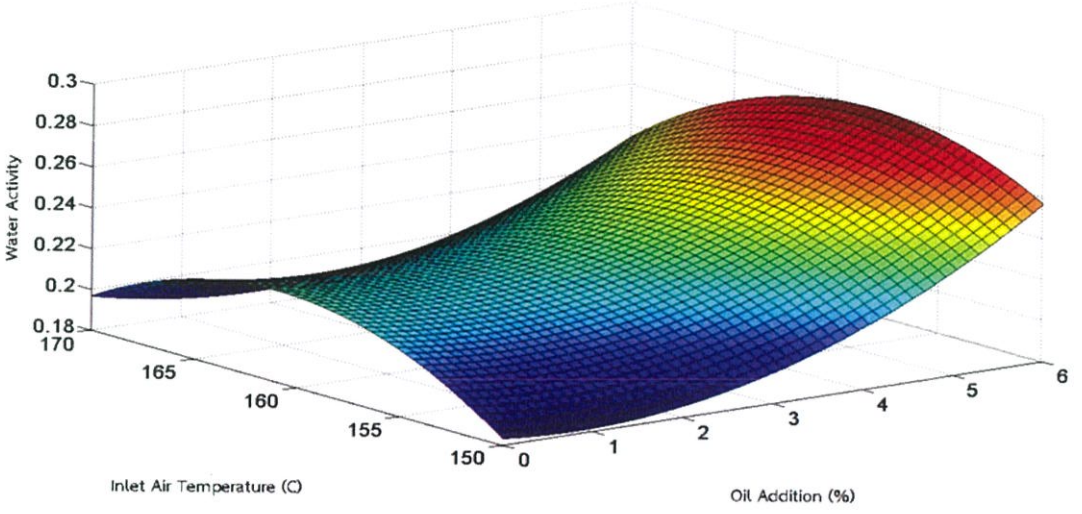
$R^2 = 0.4039$, S.E. = 0.0505 , p =0.6605 > 0.1

X_1 คือ ปริมาณน้ำมัน และ X_2 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

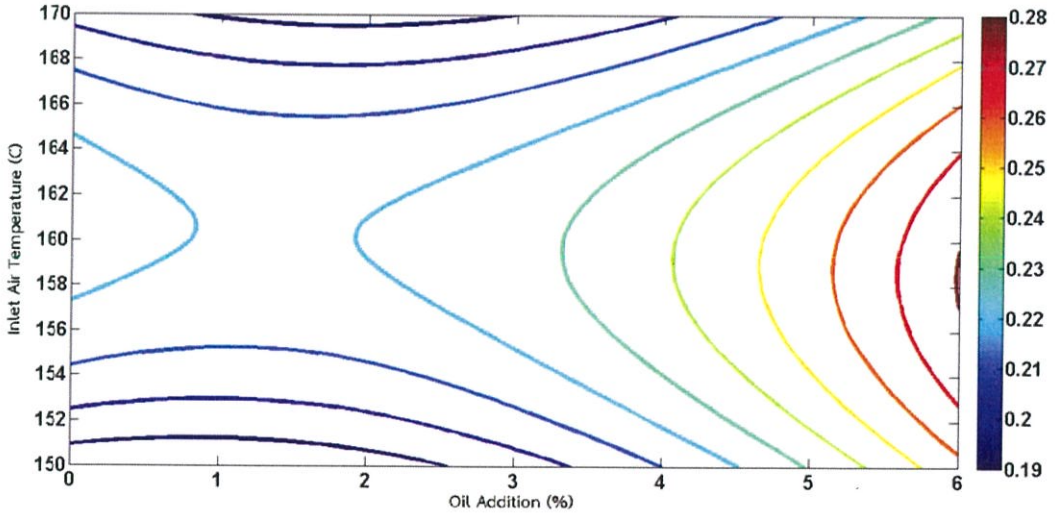
จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและพบว่าสมการข้างต้นแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ไม่แม่นยำที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติต่ำกว่า 90%

จากรูปที่ 4.14 (a) และ (b) พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันที่ระดับ 0% - 4 % ไม่ส่งผลต่อค่าปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์กะทิผงมากนัก แต่เมื่อปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นจากระดับ 4% - 6% ส่งผลต่อค่าปริมาณน้ำอิสระโดยที่ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้น ค่าปริมาณน้ำอิสระก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลต่อค่าปริมาณน้ำอิสระ โดยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C และ 150 °C มีแนวโน้มของค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำที่สุด การเติมน้ำมันมะพร้าวในอิมัลชันกะทิที่ระดับ 0% ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 °C ทำให้ค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำที่สุดเท่ากับ 0.19 และค่าปริมาณน้ำอิสระสูงที่สุดเท่ากับ 0.28 อยู่ที่ปริมาณน้ำมันที่ระดับ 6% โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C จากการศึกษางานวิจัยของ Reddy R.S. et.al. (2014) เรื่องการศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยของนมแพะและ Fazaeli M. et.al. (2012) ได้ศึกษาการทำแห้งผลิตภัณฑ์หม่อนผง รายงานว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้น ปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์ลดลงเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงสามารถขับน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้มาก ในขณะที่ Quek S.Y. et.al. (2007) ได้ศึกษาเรื่องการศึกษาการทำแห้ง

แบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์แตงโมผง พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าทำให้ค่าปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์และส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ โดยอุณหภูมิที่ใช้ทำแห้งมีค่าเหนือกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงอสัญฐาน (Glass transition temperature) แต่ไม่สูงเกินที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงเกิดการหลอมเหลวอีกครั้ง



Water Activity (a)



Water Activity (b)

รูปที่ 4.14 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อปริมาณน้ำอิสระ

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์กะทิผง (Bulk Density, kg/m^3),

ความหนาแน่นรวมเป็นสมบัติทางกายภาพซึ่งเป็นความหนาแน่นที่รวมที่ว่างระหว่างชิ้นวัสดุด้วย จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้พบว่ามีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 786.98 kg/m^3 – 953.98 kg/m^3 เมื่อเติมน้ำมันมะพร้าวและปรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้งผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ระดับต่างๆพบว่าที่ระดับปริมาณการเติมน้ำมันมะพร้าว 0% ค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มลดลงจนถึงอุณหภูมิ 160 °C และเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิ 170 °C ที่ปริมาณน้ำมัน 3% เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มลดลง และที่ปริมาณน้ำมัน 6% ค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มลดลงจนถึงอุณหภูมิ 160 °C และลดลงเมื่ออุณหภูมิ 170 °C ผลของปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มที่ไม่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างแน่ชัด เมื่อนำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นรวม ปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$BD = 15289.98949 + 103.6319688X_1 - 184.8229307\ X_2 + 0.126170983\ X_1^2 + 0.590003008\ X_2^2 - 0.664904762\ X_1\ X_2$$

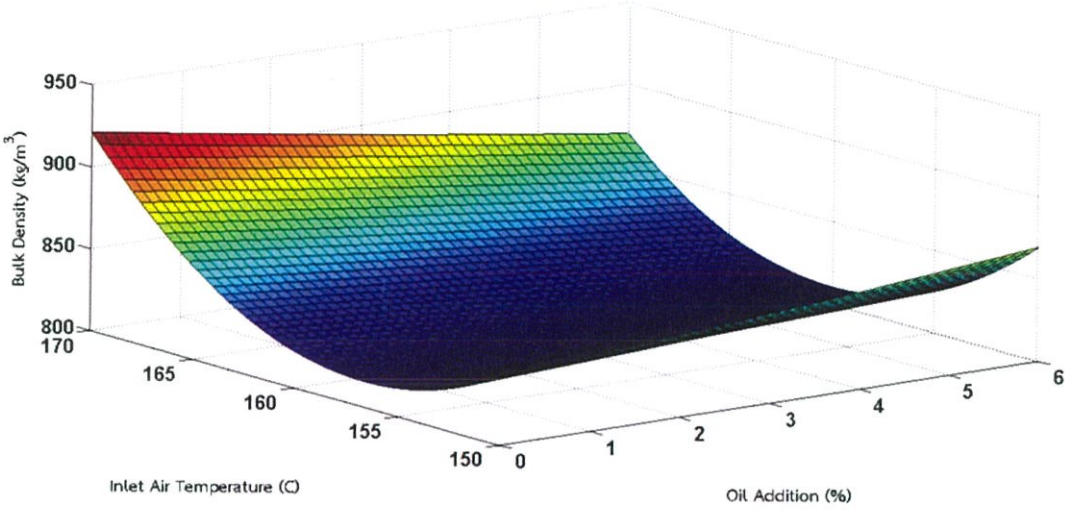
$R^2 = 0.6580$, S.E. = 37.8240 , $p = 0.2450 > 0.1$

X_1 คือ ปริมาณน้ำมัน และ X_2 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

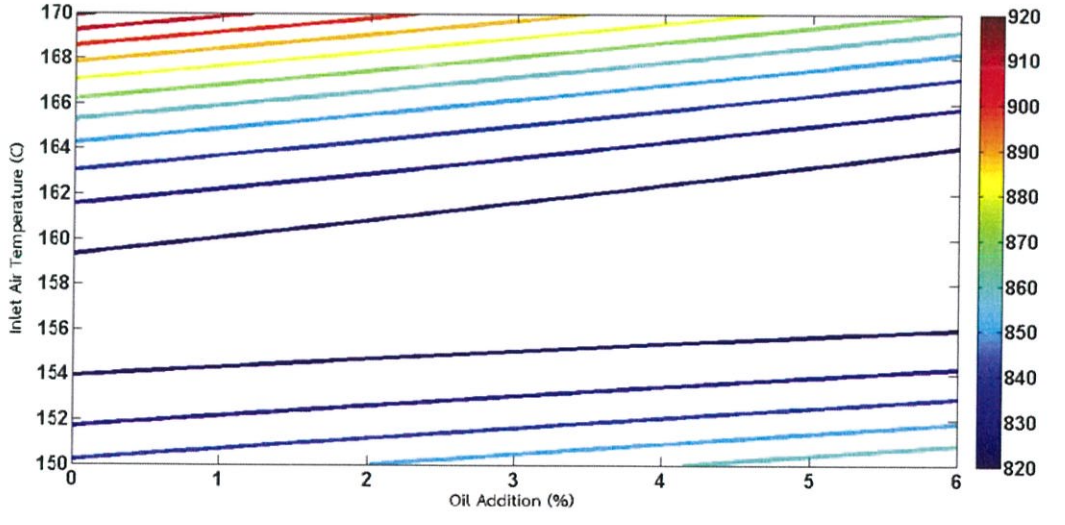
จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและพบว่าสมการข้างต้นแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อค่าความหนาแน่นไม่แม่นยำที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติต่ำกว่า 90%

จากรูปที่ 4.15 (a) และ (b) พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันไม่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นรวมในผลิตภัณฑ์กะทิผงมากนัก ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลต่อค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดโมเลกุลผงระหว่างทำแห้งอาจเกิดอย่างสมบูรณ์ ทำให้ลดการเกิดรูพรุนที่ผิวของโมเลกุลอากาศจึงไม่สามารถเข้าแทรกภายในโมเลกุลได้ ซึ่งขัดแย้งกับ Reddy R.S. et.al. (2014) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยของนมแพะและ Fazaeli M. et.al. (2012) ศึกษาการทำแห้งผลิตภัณฑ์หม่อนผง รายงานว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ผงมีแนวโน้มลดลงเนื่องจาก การใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่สูงทำให้เกิดการทำแห้งอย่างรวดเร็ว เกิดการสร้างโมเลกุลของผงที่ไม่สมบูรณ์ เกิดเป็นรูพรุนและอาจเกิดเปลือกแข็ง(Case hardening) อากาศจึงเกิดการแทรกตัวเข้าไปในโมเลกุลได้ ในขณะที่งานวิจัยของ Quek S.Y. et.al. (2007) ศึกษาเรื่องการศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ผลิตภัณฑ์แตงโมผง และ Kingwatee N. et.al. (2015) ศึกษากระบวนการผลิตน้ำลิ้นจี่ผงจากกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงขึ้น ค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มที่ไม่แน่นอนอาจเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันไป ที่ปริมาณน้ำมันระดับ 0% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C ให้ค่าความหนาแน่นรวมสูงที่สุดเท่ากับ 920 kg/m^3



Bulk Density (a)



Bulk Density (b)

รูปที่ 4.15 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อความหนาแน่นรวม

4.2.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์กะทิผง (Solubility, %)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้พบว่ามีค่าความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง 59.36 % – 84.77 % ที่ปริมาณน้ำมัน 0% อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 °C, ปริมาณน้ำมัน 3% อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C และปริมาณน้ำมัน 6% อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C มีค่าความสามารถในการละลายสูงที่สุด เมื่อเติมน้ำมันมะพร้าวและปรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้งผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ระดับต่างๆ นำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการละลาย ปริมาณน้ำมัน และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$SB = -769.1501838 + 26.27433626X_1 + 10.43390831X_2 - 0.070305962\ X_1^2 - 0.032238112X_2^2 - 0.159565297\ X_1\ X_2$$

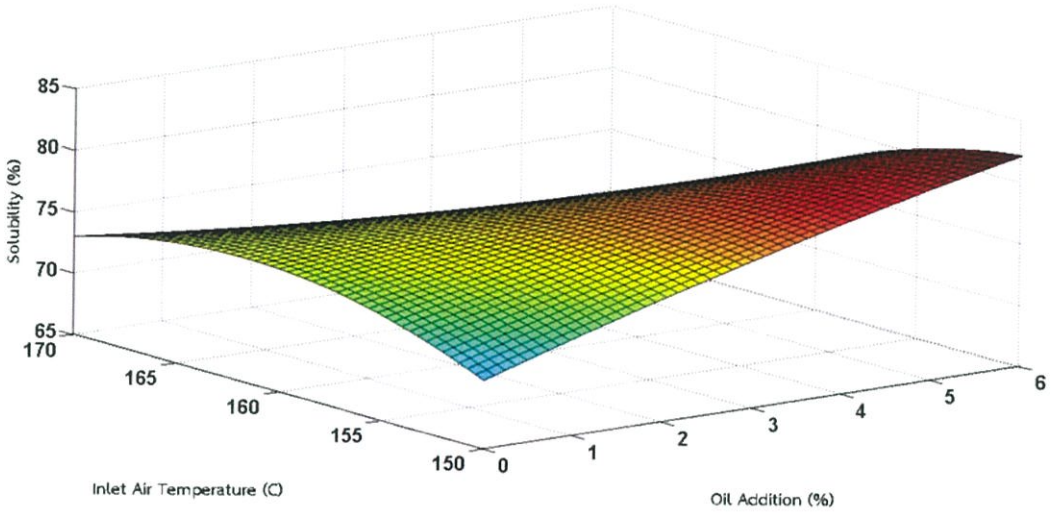
$R^2 = 0.4971$, S.E. = 6.4845 , p =0.5049 > 0.1

X_1 คือ ปริมาณน้ำมัน และ X_2 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

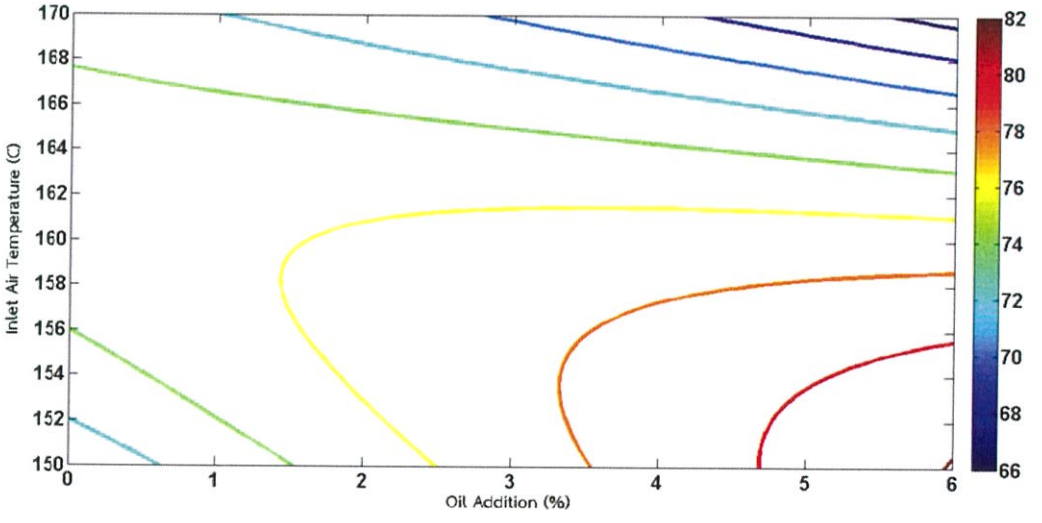
จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ สมการข้างต้นจึงไม่สามารถใช้อธิบายความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์กะทิผงต่อปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าได้อย่างแม่นยำที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติต่ำกว่า 90%

จากรูปที่ 4.16 (a) และ (b) พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลต่อความความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ การเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าวในอิมัลชันกะทิที่ระดับ 6% โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C ให้ค่าความสามารถในการละลายสูงที่สุดเท่ากับ 82% จากการศึกษางานวิจัยของ Reddy R.S. et.al. (2014) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยของนมแพะ และ Zhang H. et.al. (2013) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์หอยสองฝาน้ำจืดชนิดผง รายงานว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลายมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน เนื่องจากโปรตีนเกิดการแปรสภาพจากอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ทำแห้ง ทำให้สามารถละลายได้ยาก ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยของ Fazaeli M. et.al. (2012) ได้ศึกษาการทำแห้งผลิตภัณฑ์หม่อนผง รายงานว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากการใช้อุณหภูมิลมร้อนสูงในการทำแห้ง ทำให้เกิดโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ผงที่สมบูรณ์มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าและหนักกว่าผงที่เกิดจากการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้สามารถจมและเปียกได้ง่ายจึงละลายได้ง่ายกว่า ในขณะที่งานวิจัยของและQuek S.Y. et.al. (2007) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์แตงโมผง และ Kingwatee N. et.al. (2015) ศึกษากระบวนการผลิตน้ำลิ้นจี่ผงจากกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นความสามารถในการละลายมีแนวโน้มการ

เปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์และอุณหภูมิการทำแห้งที่เหมาะสมของแต่ละผลิตภัณฑ์ ที่ปริมาณน้ำมันระดับ 6% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 °C ให้ค่าความสามารถในการละลายสูงที่สุดเท่ากับ 82%



Solubility (a)



Solubility (b)

รูปที่ 4.16 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อความสามารถในการละลาย

4.2.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์กะทิผง (Hygroscopicity, %)

ความสามารถในการดูดซับความชื้นหมายถึงความสามารถในการดูดซับความชื้นจากบรรยากาศของผลิตภัณฑ์ จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้โดยเก็บตัวอย่างไว้ในภาชนะที่ควบคุมบรรยากาศโดยสารละลายเกลืออิ่มตัวโซเดียมคลอไรด์ พบว่ามีค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นอยู่ในช่วง 3.45 % - 6.36 % โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นต่ำสุดอยู่ที่ปริมาณน้ำมัน 0 % อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ปริมาณน้ำมัน 6% อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C เมื่อเติมน้ำมันมะพร้าวและปรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้งผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ระดับต่างๆ นำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการดูดซับความชื้น ปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$HG = -123.8669267 - 2.81651818X_1 + 1.701570427X_2 + 0.020056289\ X_1^{\ 2} - 0.005586704\ X_2^{\ 2} + 0.017774355\ X_1\ X_2$$

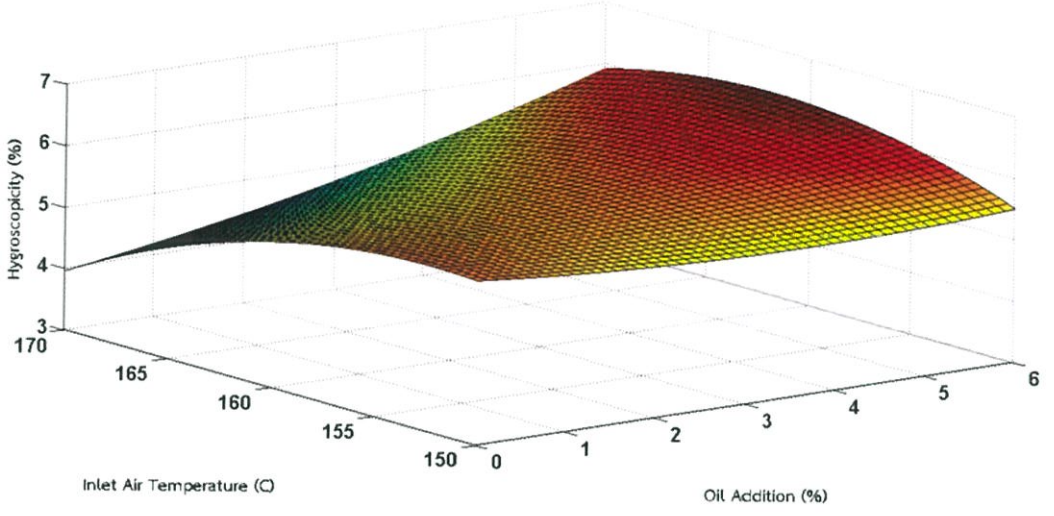
$R^2 = 0.5879$, S.E. = 0.7257 , $p = 0.3531 > 0.1$

X_1 คือ ปริมาณน้ำมัน และ X_2 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

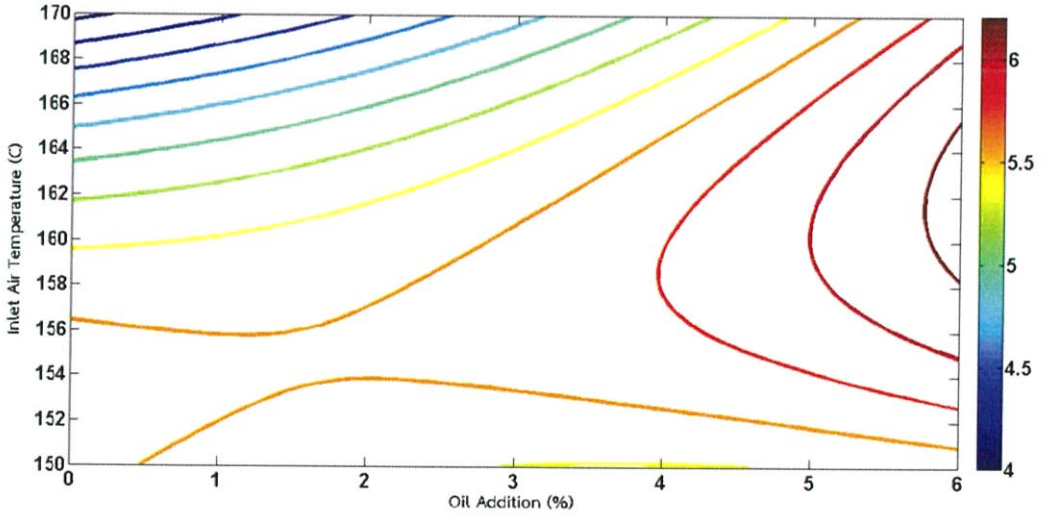
จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและพบว่าสมการข้างต้นแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นไม่แม่นยำที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติต่ำกว่า 90%

จากรูปที่ 4.17 (a) และ (b) พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้ ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับความชื้นมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำมันมะพร้าวที่ระดับ 0%-4% ไม่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับความชื้นมากนัก แต่ที่ระดับ 4%-6% เมื่อปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีความสามารถในการดูดซับความชื้นมากขึ้น เนื่องจากที่การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผงมีความแห้งและมีปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ที่ต่ำ จึงไม่ดูดซับความชื้นที่บรรยากาศเข้ามายังตัวผลิตภัณฑ์ แต่ในขณะที่การเพิ่มปริมาณน้ำมันมะพร้าวที่ระดับสูงขึ้นทำให้มีปริมาณน้ำอยู่ในผลิตภัณฑ์กะทิผงเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้มีค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นเช่นกัน Schuck P. et.al. (2012) ได้กล่าวว่าผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นต่ำกว่า 10% ในบรรยากาศควบคุมโดยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 75%RH จัดเป็นผลิตภัณฑ์กลุ่ม Non-hydroscopic powder หรือหมายความว่าผลิตภัณฑ์กะทิผงเป็นผลิตภัณฑ์ผงที่ไม่ดูดซับความชื้นจากบรรยากาศได้อย่างง่ายดาย และจากการศึกษางานวิจัยของ Silva P.I. et.al. (2013)

เรื่องการศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์องุ่นผงพันธุ์บราซิล รายงานว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงขึ้น แนวโน้มของค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นมีแนวโน้มที่ไม่คงที่ไม่เป็นไปในทางที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างเด่นชัด ปริมาณน้ำมันในอิมัลชันกะทิที่ระดับ 0% โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C ให้ค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นต่ำที่สุดเท่ากับ 4%



Hygroscopicity (a)



Hygroscopicity (b)

รูปที่ 4.17 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อความสามารถในการดูดซับความชื้น

4.2.7 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์กะทิผง (Color)

ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์กะทิผง (L*)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้พบว่ามีค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์กะทิผงอยู่ในช่วง 97.500 – 101.482 โดยมีค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์กะทิผงต่ำสุดอยู่ที่ปริมาณน้ำมัน 0 % อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ปริมาณน้ำมัน 6% อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C เมื่อเติมน้ำมันมะพร้าวและปรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้งผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ระดับต่างๆ นำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง ปริมาณน้ำมัน และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

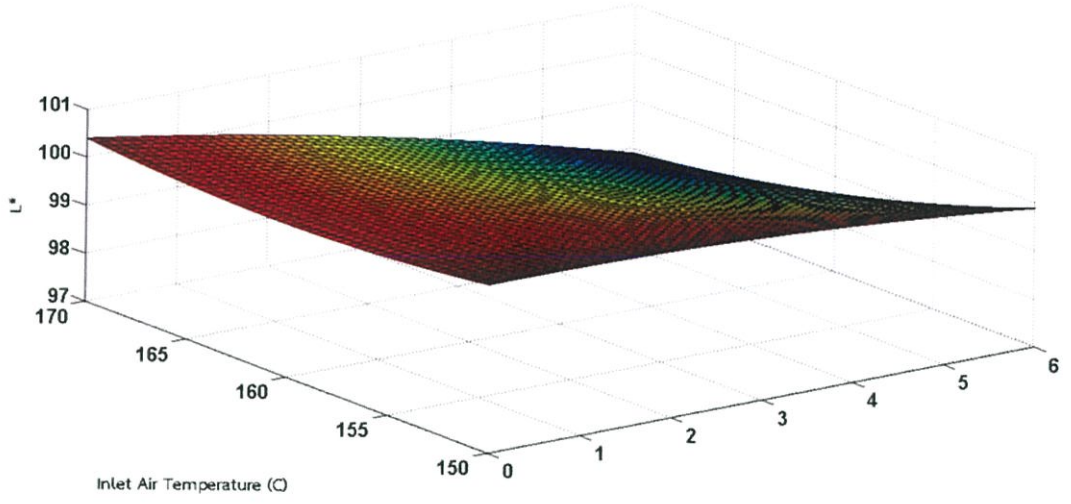
$$L^* = 169.0879298 + 2.386245614X_1 - 0.855637719\ X_2 - 0.020374269\ X_1^{\ 2} + 0.002656316\ X_2^{\ 2} - 0.015783333\ X_1\ X_2$$

$$R^2 = 0.3741\ ,\ S.E. = 1.4725\ ,\ p = 0.7069 > 0.1$$

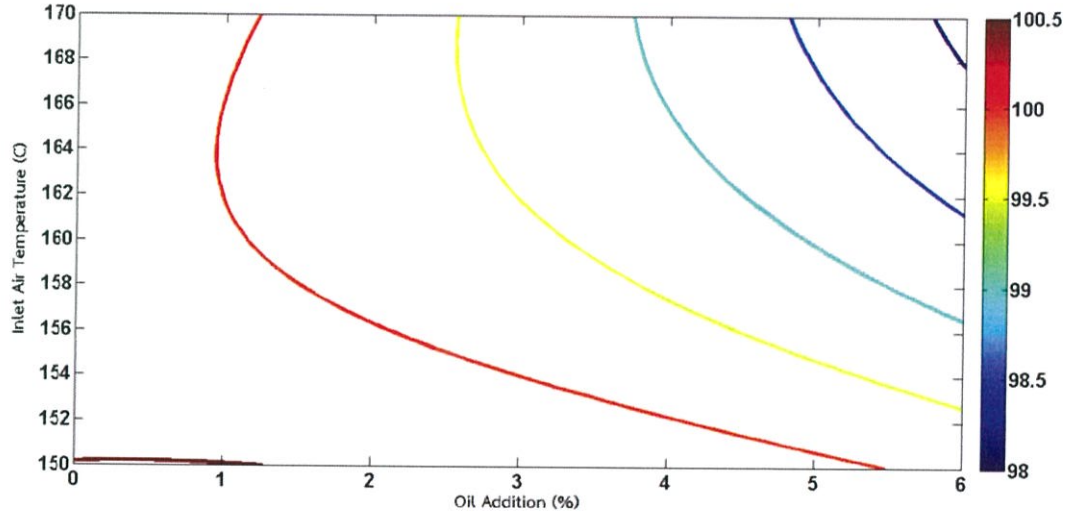
X_1 คือ ปริมาณน้ำมัน และ X_2 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ สมการข้างต้นจึงไม่สามารถใช้อธิบายค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์กะทิผงต่อปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าได้อย่างแม่นยำที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 90%

จากรูปที่ 4.18 (a) และ (b) พบว่าปริมาณน้ำมันที่ระดับ 6% โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C ให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์กะทิผงสูงที่สุด จากการศึกษางานวิจัยของ Reddy R.S. et.al. (2014) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยของนมแพะ Zhang H. et.al. (2013) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์หอยสองฝาน้ำจืดชนิดผง และQuek S.Y. et.al. (2007) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์แตงโมผง งานวิจัยทั้ง 3 เรื่องรายงานว่า เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงอาจเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้อาหารเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั้งเกิดจากการทำปฏิกิริยาจากเอนไซม์และไม่ได้เกิดจากการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ นอกจากนี้นอกจากนี้ยังมีปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (Caramelization) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้น้ำตาลจากกลุ่มสารช่วยทำแห้งหรือสารอิมัลซิไฟเออร์ที่อุณหภูมิสูง



L* (a)



L* (b)

รูปที่ 4.18 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าความสว่าง

ผลการวิเคราะห์ค่าแสดงความเป็นสีเขียวหรือสีแดงของผลิตภัณฑ์กะทิผง (a*)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้พบว่ามีค่าความเป็นสีเขียวหรือสีแดงของผลิตภัณฑ์กะทิผงอยู่ในช่วง -0.44 – 1.09 โดยมีค่าสีเขียวสูงสุด (ค่าa*ติดลบ) อยู่ที่ปริมาณน้ำมัน 3 % อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 °C และมีค่าสีแดงสูงสุด (ค่าa*เป็นบวก) อยู่ที่ปริมาณน้ำมัน 6% อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C เมื่อเติมน้ำมันมะพร้าวและปรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้งผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ระดับต่างๆ นำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสดงความเป็นสีเขียวหรือสีแดง ปริมาณน้ำมัน และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

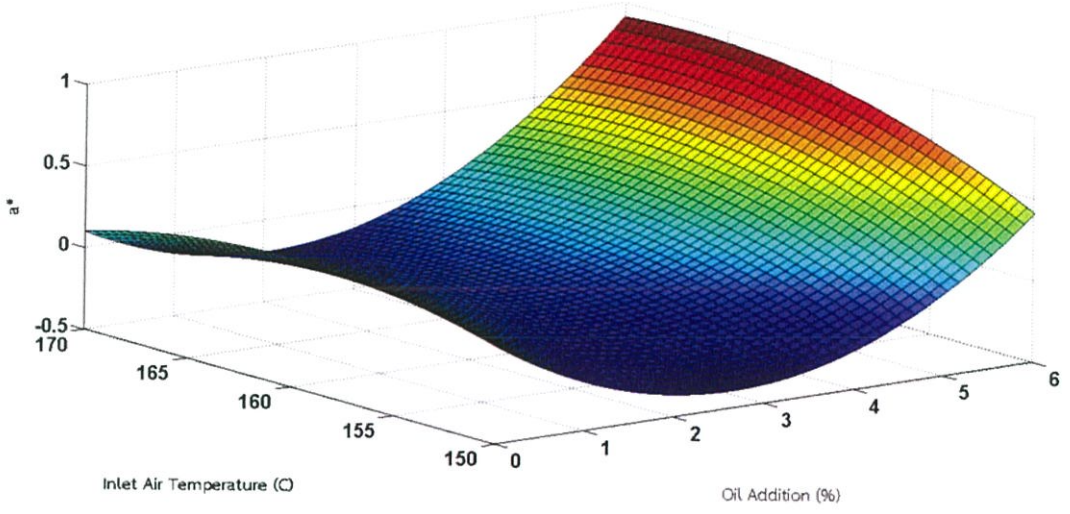
$$a^* = -47.67817544 - 1.00494152X_1 + 0.599647368X_2 + 0.070953216 X_1^{\ 2} - 0.001874211 X_2^{\ 2} + 0.0042 X_1 X_2$$

$R^2 = 0.7155$, S.E. = 0.3629 , p =0.1672 > 0.1

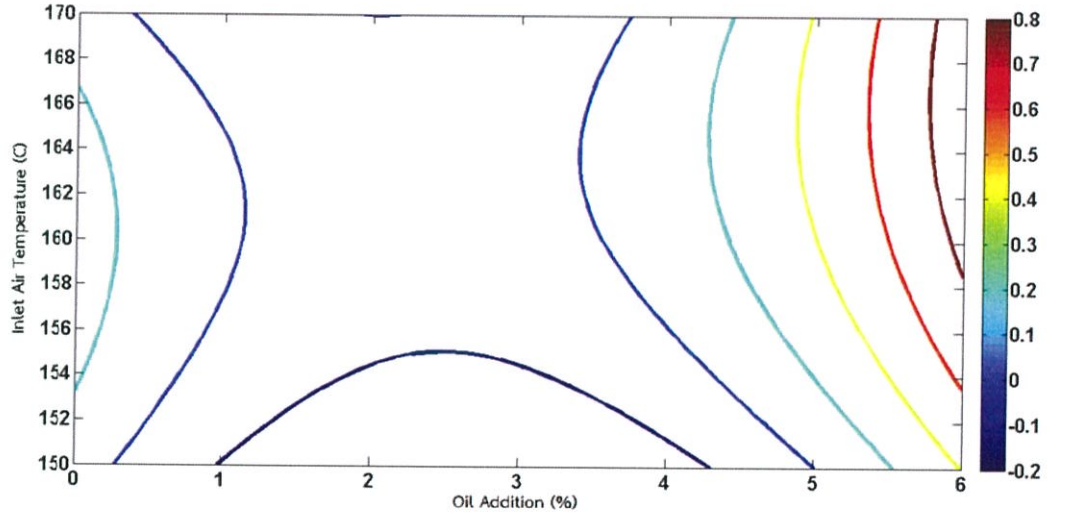
X_1 คือ ปริมาณน้ำมัน และ X_2 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและพบว่าสมการข้างต้นแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อค่าแสดงความเป็นสีเขียวหรือสีแดงได้แม่นยำที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติมากกว่า 90%

จากรูปที่ 4.19 (a) และ (b) พบว่าผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้มีค่าอยู่ระหว่างสีเขียวและสีแดง การเติมน้ำมันมะพร้าวที่ระดับ 6% โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C ทำให้ผลิตภัณฑ์กะทิผงแสดงค่าสีแดง และการเติมปริมาณน้ำมันมะพร้าวในอิมัลชันกะทิที่ระดับ 3% โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 °C ทำให้ผลิตภัณฑ์กะทิผงแสดงค่าสีเขียว จากการศึกษางานวิจัยของ Quek S.Y. et.al. (2007) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์แตงโมผง รายงานว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น ค่าแสดงความเป็นสีเขียวหรือสีแดงของผลิตภัณฑ์กะทิผง (a*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนสูงถึงที่อุณหภูมิหนึ่งจึงลดลงมา



a* (a)



a* (b)

รูปที่ 4.19 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าแสดงความเป็นสีเขียวหรือสีแดง

ผลการวิเคราะห์ค่าแสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินของผลิตภัณฑ์กะทิผง (b*)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้พบว่ามีค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินของผลิตภัณฑ์กะทิผงอยู่ในช่วง -0.09 – 11.58 โดยมีค่าสีน้ำเงินสูงสุด (ค่าb*ติดลบ) อยู่ที่ปริมาณน้ำมัน 3 % อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C และมีค่าสีเหลียงสูงสุด (ค่าb*เป็นบวก) อยู่ที่ปริมาณน้ำมัน 0% อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C เมื่อเติมน้ำมันมะพร้าวและปรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้งผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ระดับต่างๆ นำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าแสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ปริมาณน้ำมัน และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

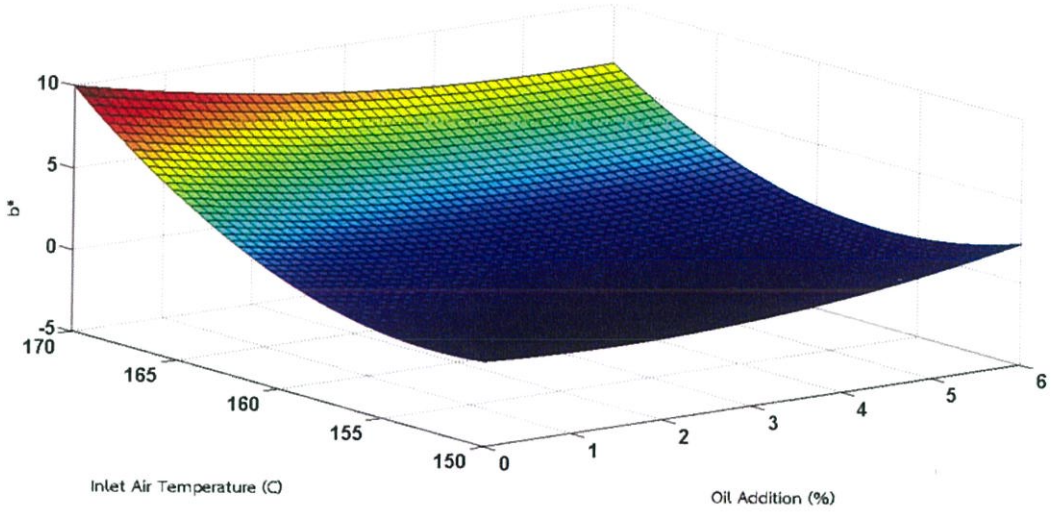
$$b^* = 752.3633333 + 6.858444444X_1 - 9.870016667\ X_2 + 0.121777778\ X_1^2 + 0.03237\ X_2^2 - 0.048183333\ X_1\ X_2$$

$R^2 = 0.8565$, S.E. = 1.9810 , $p = 0.0361 < 0.05$

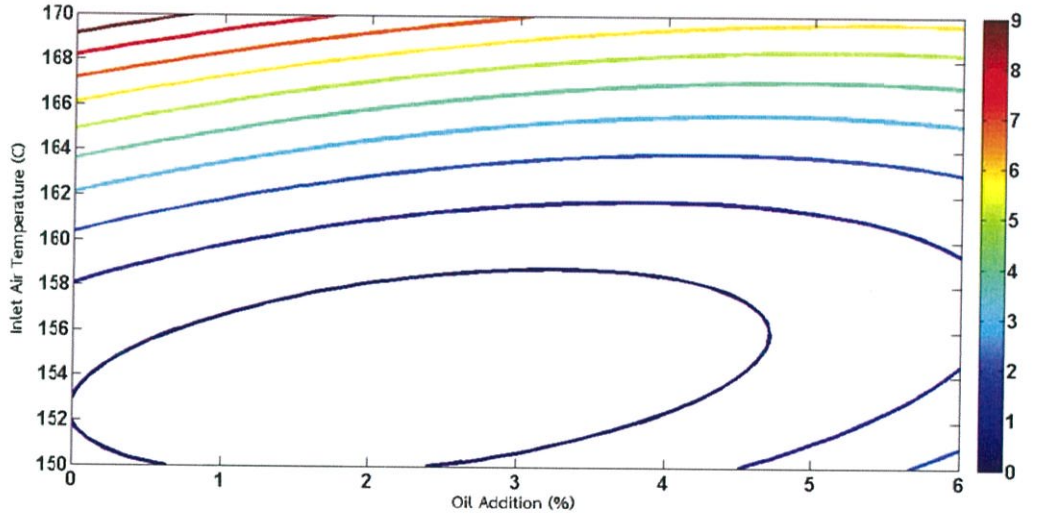
X_1 คือ ปริมาณน้ำมัน และ X_2 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและพบว่าสมการข้างต้นแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อค่าแสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินได้แม่นยำที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติมากกว่า 95%

จากรูปที่ 4.20 (a) และ (b) พบว่าผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้มีค่าอยู่ระหว่างสีน้ำเงินและสีเหลือง ที่ปริมาณน้ำมัน 0% โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C ทำให้ผลิตภัณฑ์กะทิผงแสดงค่าสีเหลือง และที่ปริมาณน้ำมัน 0% โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 °C ทำให้ผลิตภัณฑ์กะทิผงแสดงค่าสีน้ำเงิน โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันมะพร้าวไม่ส่งผลต่อค่าแสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินของผลิตภัณฑ์กะทิผง (b*) แต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กะทิผงมีแนวโน้มแสดงค่าสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเกิดเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) และปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (Caramelization) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้น้ำตาลจากกลุ่มสารช่วยทำแห้งหรือสารอิมัลซิไฟเออร์ที่อุณหภูมิสูงของผลิตภัณฑ์กะทิผง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Quek S.Y. et.al. (2007) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์แตงโมผง พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์น้ำแตงโมผงแสดงค่าสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น แต่ขัดแย้งกับงานวิจัยของ ของ Reddy R.S. et.al. (2014) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยของนมแพะ ที่กล่าวว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์นมผงจากนมแพะแสดงค่าสีเหลืองที่ต่ำลง



b* (a)



b* (b)

รูปที่ 4.20 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าแสดงความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

ผลการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์กะทิผง (dE)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้พบว่ามีค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์กะทิผงอยู่ในช่วง 6.52 – 15.60 โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีต่ำสุดอยู่ที่ปริมาณน้ำมัน 3 % อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 °C และมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีสูงที่สุดอยู่ที่ปริมาณน้ำมัน 0% อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C เมื่อเติมน้ำมันมะพร้าวและปรับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้งผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ระดับต่างๆ นำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์กะทิผง ปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

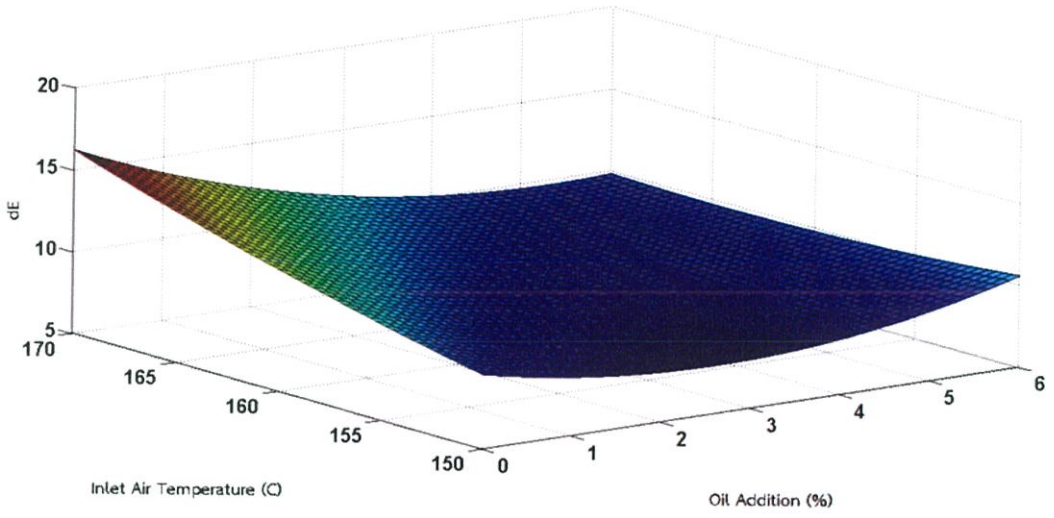
$$dE = 66.90198486 + 8.088152251X_1 - 1.013008753X_2 + 0.233730249\ X_1^{\ 2} + 0.004203905\ X_2^{\ 2} - 0.062139336\ X_1\ X_2$$

$R^2 = 0.8565$, S.E. = 1.3139 , $p = 0.0361 > 0.1$

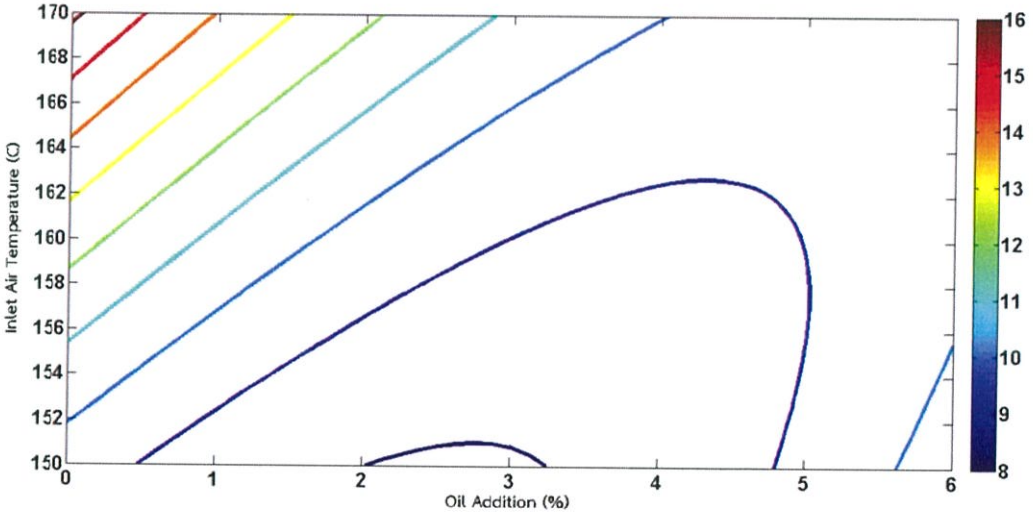
X_1 คือ ปริมาณน้ำมัน และ X_2 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

จากผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้มีค่า R^2 และค่า S.E. อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและพบว่าสมการข้างต้นแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสีได้ไม่แม่นยำที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติต่ำกว่า 90%

จากรูปที่ 4.21 (a) และ (b) พบว่า การเติมปริมาณน้ำมัน 0% โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170°C มีค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์กะทิผงมากที่สุด ที่การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำมันไม่ส่งผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสีมากนัก ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลโดยตรงต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Quek S.Y. et.al. (2007) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์แตงโมผง และ Silva P.I. et.al. (2013) ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยผลิตภัณฑ์องุ่นผงพันธุ์บราซิลพบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผงนั้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการเกิดเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) และปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (Caramelization) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้น้ำตาลจากกลุ่มสารช่วยทำแห้งหรือสารอิมัลซิไฟเออร์ที่อุณหภูมิสูง



dE (a)



dE (b)

รูปที่ 4.21 (a) และ (b) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสี

4.3 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กะทิผงที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

จากการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์กะทิผงโดยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย นำผลิตภัณฑ์กะทิผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกคุณสมบัติของกะทิผงที่ต้องการและหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ผลของคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์กะทิผงที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของตัวอย่างผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

No.	MC	Aw	BD	SB	HG	DP	SB(2)	Color		
								L*	a*	b*
A	0.56	0.196	1001.77	57.35	8.57	64.17	42.05	106.66	-1.36	-4.16
B	1.02	0.220	1036.16	78.22	8.33	78.33	51.02	106.50	-0.31	-2.53

หมายเหตุ MC แทน Moisture Content (%w/w), Aw แทน Water Activity, BD แทน Bulk Density (kg/m^3), SB แทน Solubility (%), HG แทน Hygroscopicity (%), DP แทน Dispersibility Index (%) และ SB(2) แทน Solubility (%)โดยวิธีการเหวี่ยงแยก

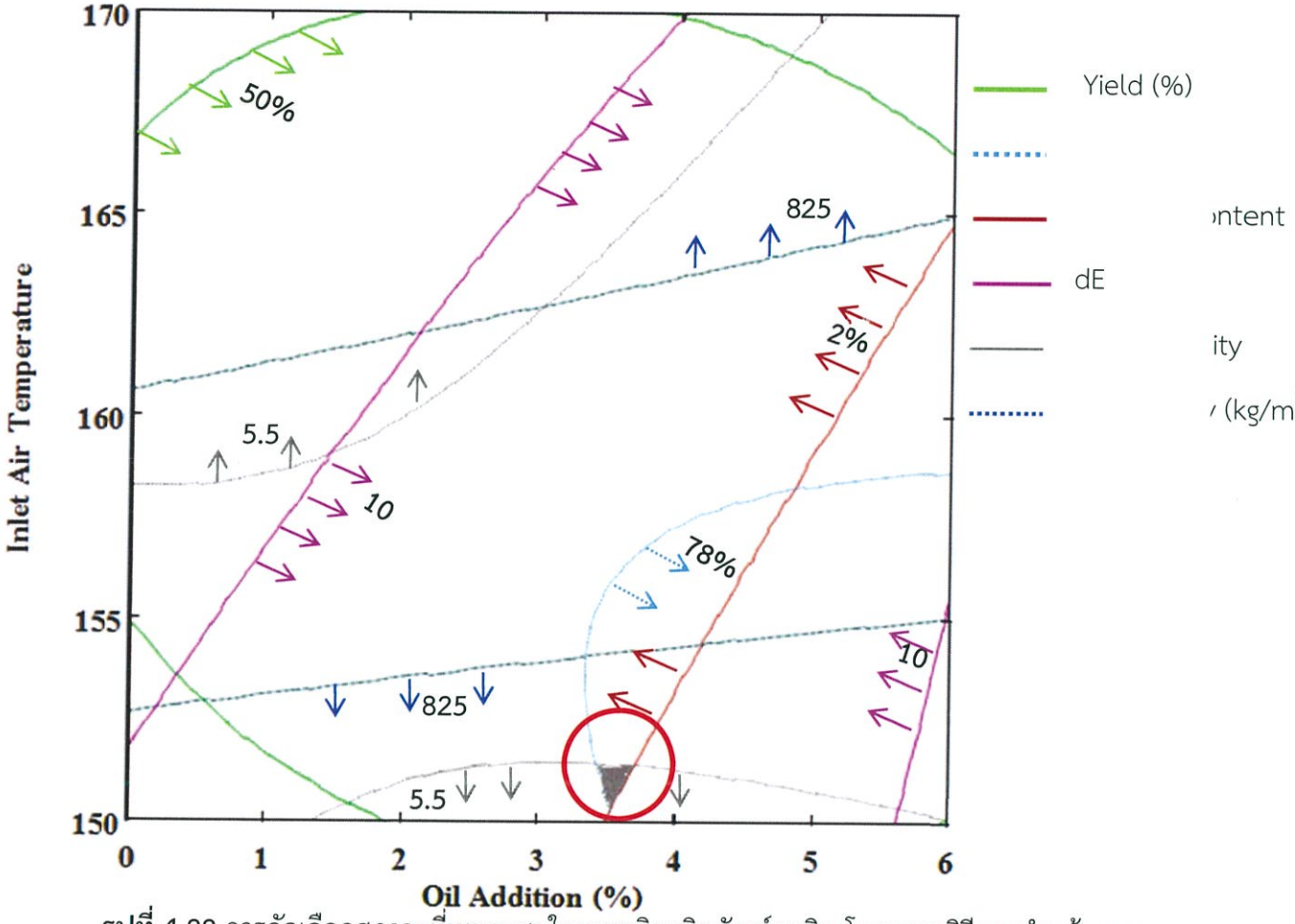
4.4 สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิต (Process Optimization)

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลทั้งหมด นำค่าที่ได้มาพิจารณาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมดังต่อไปนี้ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ 50% ขึ้นไป จากการนำผลิตภัณฑ์กะทิผงที่มีขายตามท้องตลาดมาวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบความสามารถในการละลายพบว่าควรมีค่า 78% ขึ้นไป และจากมาตรฐานกะทิผง (มอก. 583-2528) ผลิตภัณฑ์กะทิผงควรมีความชื้นต่ำกว่า 2% มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีต่ำกว่า 10 ความสามารถในการดูดซับความชื้นน้อยกว่า 5.5 และความหนาแน่นรวมมากกว่า 825 kg/m^3 ขึ้นไป

จากรูปที่ 4.22 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์กะทิผงมีค่าอยู่ในช่วงปริมาณน้ำมัน 3.40 % - 3.67% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150.5 °C - 151.5 °C ซึ่งจากการวิเคราะห์เมื่อนำมาพิจารณาสภาวะการผลิตตามการทดลองพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดใกล้เคียงกับสภาวะที่ 4 ที่ปริมาณการเติมน้ำมัน 3 % และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 °C

นำตัวอย่างกะทิผงสภาวะที่ 4 มาทดลองเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพในด้านความสามารถในการละลาย (Solubility) โดยวิธีการเหวี่ยงแยกตามวิธีของ Fazaeli M. et.al. (2012) และความสามารถในการกระจายตัว (Dispersibility) ตามวิธีของ Shuck P. et.al. (2012) พบว่ามีค่าเท่ากับ 35.70% และ 64.72% ตามลำดับ ซึ่ง Shuck et.al. (2012) รายงานว่าผลิตภัณฑ์ผงที่ดีควรมีลักษณะเป็น Instant Powder อันได้แก่ มีความสามารถในการเปียก (Wettable) ต่ำกว่า

120 วินาที, มีความสามารถในการกระจายตัวมากกว่า 95% และ มีความสามารถในการละลาย 99 % เมื่อนำผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้จากการทดลองในสภาวะที่ 4 มาเปรียบเทียบทำให้ทราบว่าตัวอย่างดังกล่าวมีคุณสมบัติต่ำกว่าคุณสมบัติของอาหารผงที่ดี จึงต้องมีการพัฒนาต่อยอดต่อไป



รูปที่ 4.22 การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์กะทิผงโดยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

4.5 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

สภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตโดยมีเกณฑ์ในการคัดเลือกเท่ากับ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ 50% ขึ้นไป, ความสามารถในการละลายมีค่า 78% ขึ้นไป, มีความชื้นต่ำกว่า 2%, มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีต่ำกว่า 10, ความสามารถในการดูดซับความชื้นน้อยกว่า 5.5 และความหนาแน่นรวมมากกว่า 825 kg/m^3 ขึ้นไป พบว่าสภาวะที่ดีที่สุด เท่ากับสภาวะที่ 4 ที่ปริมาณการเติมน้ำมัน 3 % และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 °C นำสภาวะดังกล่าวมาทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสกับผู้ทดลอง 20 คน ร่วมกับผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่มีขายตามท้องตลาด 2 ตัวอย่าง ,กะทิสด และตัวอย่างที่สภาวะที่ 11 (ที่ปริมาณน้ำมัน 3 % และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C) ที่ได้จากการทดลองการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยนำตัวอย่างที่กล่าว

มาปรุงอาหารประเภทของหวาน โดยควบคุมปริมาณเครื่องปรุงที่อัตราส่วนเท่าๆกัน ได้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ 20 คน ประเภทของหวาน

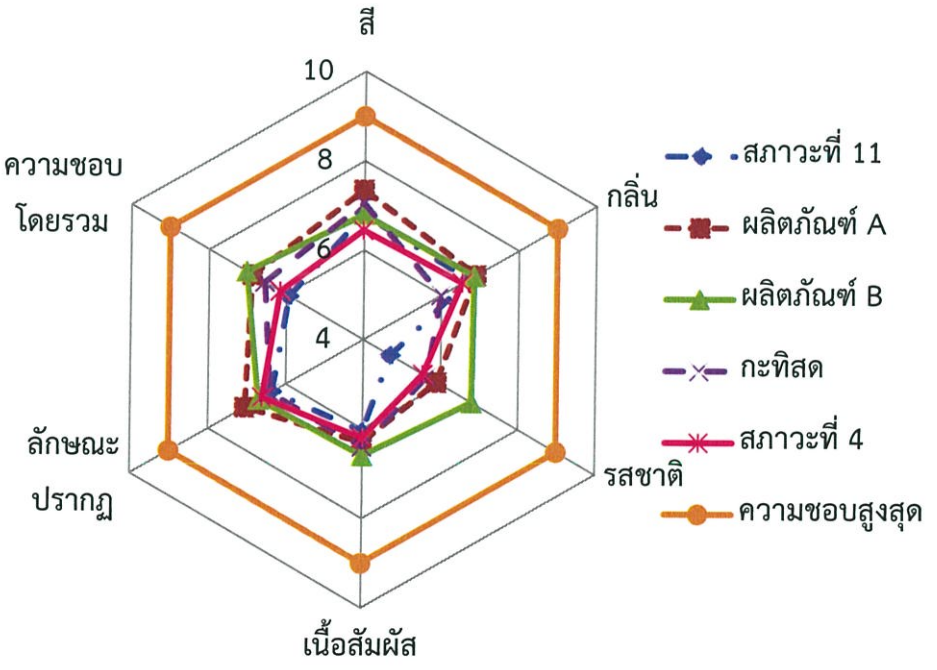
ตัวอย่าง	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ลักษณะปรากฏ	ความชอบโดยรวม
#4	6.45^{a}	6.55^{a}	5.55^{bc}	6.20^{a}	6.60^{a}	6.15^{cd}
A	7.35^{a}	6.90^{a}	5.90^{b}	6.30^{a}	7.05^{a}	6.88^{ab}
B	6.80^{a}	6.85^{a}	6.80^{a}	6.60^{a}	6.70^{a}	7.03^{a}
กะทิสด	7.05^{a}	6.00^{a}	5.65^{bc}	6.40^{a}	6.40^{a}	6.55^{abc}
#11	6.80^{a}	6.70^{a}	4.70^{d}	6.05^{a}	6.35^{a}	5.93^{cd}

อาหารประเภทของหวานที่ปรุงจากผลิตภัณฑ์กะทิผงต่างชนิดกันและกะทิสด เพื่อต้องการศึกษาและประเมินคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสอันได้แก่ สี, กลิ่น, รสชาติ, เนื้อสัมผัส, ลักษณะปรากฏและความชอบโดยรวม โดยผู้ทดสอบชิม 20 คน ผลการประเมินดังปรากฏในตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงคะแนนของผู้ทดสอบชิมต่อคุณลักษณะด้านต่างๆของแต่ละตัวอย่าง จากข้อมูลของผู้ทดสอบชิมพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับคะแนนในด้านค่าสีสูงสุดได้แก่ ผลิตภัณฑ์ A โดยค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ได้อยู่ที่ 7.35 ในด้านกลิ่นได้แก่ ผลิตภัณฑ์ A โดยค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ได้อยู่ที่ 6.90 ในด้านรสชาติ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ B โดยค่าเฉลี่ยของคะแนนอยู่ที่ 6.80 ในด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ A โดยค่าเฉลี่ยของคะแนนอยู่ที่ 6.60 ในด้านลักษณะปรากฏ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ B โดยค่าเฉลี่ยของคะแนนอยู่ที่ 7.05 และผลิตภัณฑ์ที่ได้รับคะแนนในด้านความชอบโดยรวมสูงสุดได้แก่ ผลิตภัณฑ์ B โดยค่าเฉลี่ยของคะแนนอยู่ที่ 7.03 พบว่าผู้ทดสอบมีความพึงพอใจแก่ผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมากกว่าผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้จากการทดลอง

เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าอาหารประเภทของหวานที่ปรุงจากผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่ได้จากการทดลองสภาวะที่ 4 , ผลิตภัณฑ์ A, ผลิตภัณฑ์ B, กะทิสด และสภาวะที่ 11 มีค่า p-value ในด้านสี, กลิ่น, เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏเท่ากับ 0.1297, 0.1035, 0.3966 และ 0.0718 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 หมายความว่าการทดสอบประสาทสัมผัสของคุณลักษณะในด้านสี, กลิ่น, เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดไม่มีความแตกต่างของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ แต่ในด้านรสชาติและความชอบโดยรวมมีค่า p-value เท่ากับ 0.0003 และ 0.0025 ตามลำดับ หมายความว่าการทดสอบประสาทสัมผัสของคุณลักษณะในด้านรสชาติและความชอบโดยรวมมีอย่างน้อย 1 ตัวอย่างที่แตกต่างจากกลุ่มตัวอย่างของผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปชนิดอื่นๆที่ระดับความ

เชื่อมั่นทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงใช้วิธีการจำแนกความแตกต่างด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) พบว่า ในด้านรสชาติของของหวานที่ปรุงจากผลิตภัณฑ์ B มีความแตกต่างจากทุกๆผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลิตภัณฑ์ A มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากตัวอย่างที่ได้จากการทดลองในสภาวะที่ 11 และผลิตภัณฑ์ B แต่ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่สภาวะที่ 4 และกะทิสด ผลิตภัณฑ์กะทิสดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากตัวอย่างที่ได้จากการทดลองสภาวะที่ 11, ผลิตภัณฑ์ A และ ผลิตภัณฑ์ B แต่ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่สภาวะที่ 4

จากผลการวิเคราะห์นี้สามารถสรุปได้ว่าผู้ทดสอบมีความพึงพอใจในคุณลักษณะด้านต่างๆในของหวานที่ปรุงจากผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่มีการจำหน่ายในท้องตลาดและกะทิสดมากกว่าผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้จากการทดลองที่สภาวะที่ 4 และ 11 และพบว่าทั้งผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในท้องตลาดชนิด A และ B มีค่าเข้าใกล้ค่าความชอบสูงสุดที่ระดับ 9 คะแนนมากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างชนิดอื่นๆ เมื่อนำมาแสดงการเปรียบเทียบในรูปแบบใยแมงมุมดังปรากฏในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 รูปแบบใยแมงมุมแสดงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของของหวานที่ปรุงจากผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปชนิดต่างๆและกะทิสด

เนื่องจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์กะทิผงสภาวะที่ 4 มีจำนวนไม่พอแก่การทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสประเภทอาหารคาวจึงได้นำตัวอย่างจากสภาวะที่ 11 มาเปรียบเทียบกับตัวอย่างผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดและกะทิสด เพื่อเปรียบเทียบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้

จากการทดลองมีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ที่มีขายตามท้องตลาดหรือไม่ โดยนำตัวอย่างที่กล่าวมาปรุงอาหารประเภทอาหารคาว โดยควบคุมปริมาณเครื่องปรุงที่อัตราส่วนเท่าๆกัน ได้ผลดังตารางที่ 4.8 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบ 20 คน ประเภทอาหารคาว

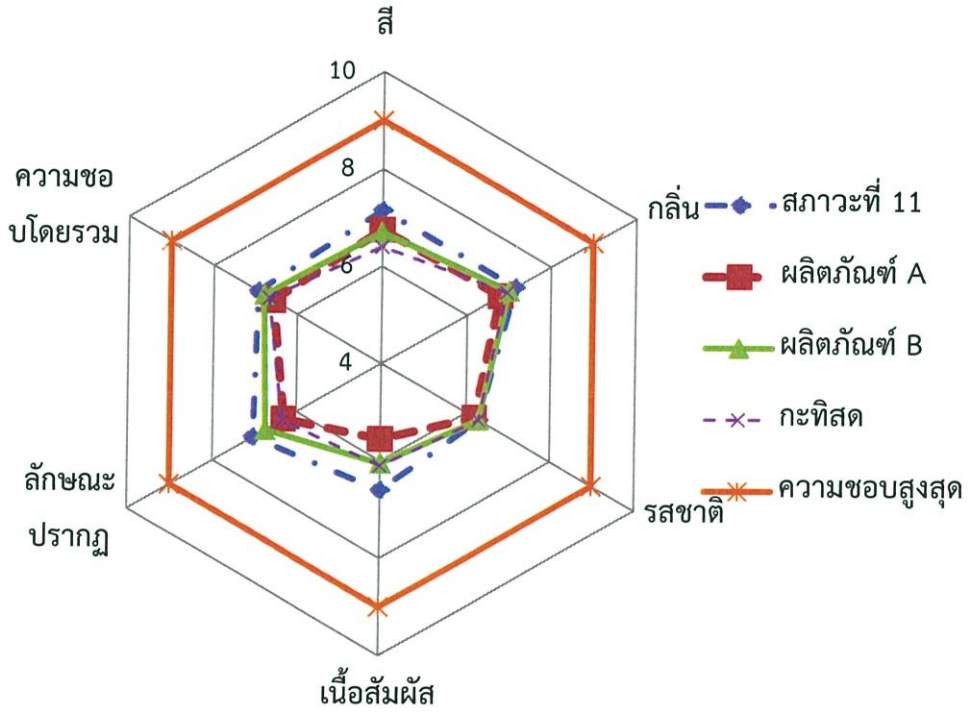
ตัวอย่าง	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ลักษณะปรากฏ	ความชอบโดยรวม
#11	7.15[a]	7.15[a]	6.30[a]	6.60[a]	7.05[a]	6.95[a]
A	6.75[a]	6.80[a]	6.20[a]	5.55[a]	6.30[a]	6.58[a]
B	6.70[a]	7.00[a]	6.30[a]	6.05[a]	6.75[a]	6.80[a]
กะทิสด	6.40[a]	6.95[a]	6.30[a]	6.10[a]	6.35[a]	6.68[a]

อาหารประเภทอาหารคาวที่ปรุงจากผลิตภัณฑ์กะทิผงต่างชนิดกันและกะทิสด เพื่อต้องการศึกษาและประเมินคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสอันได้แก่ สี, กลิ่น, รสชาติ, เนื้อสัมผัส, ลักษณะปรากฏและความชอบโดยรวม โดยผู้ทดสอบชิม 20 คน ผลการประเมินดังปรากฏในตารางที่ 4.8 ซึ่งแสดงคะแนนของผู้ทดสอบชิมต่อคุณลักษณะด้านต่างๆของแต่ละตัวอย่าง จากข้อมูลของผู้ทดสอบชิมพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับคะแนนในด้านค่าสีและค่ากลิ่นสูงสุดได้แก่ ตัวอย่างจากสภาวะที่ 11 โดยค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ได้อยู่ที่ 7.15 และ 7.15 ตามลำดับ ในด้านรสชาติพบว่าทั้ง ตัวอย่างจากสภาวะที่ 11, ผลิตภัณฑ์ B และกะทิสด มีค่าสูงสุดร่วมกันเท่ากับ 6.30 ในด้านเนื้อสัมผัส, ลักษณะปรากฏและความชอบโดยรวม ได้แก่ ตัวอย่างจากสภาวะที่ 11 โดยค่าเฉลี่ยของคะแนนอยู่ที่ 6.60, 7.05 และ 6.95 ตามลำดับ พบว่าผู้ทดสอบมีความพึงพอใจแก่ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้จากการทดลองมากกว่าผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและกะทิสด

เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าอาหารประเภทของหวานที่ปรุงจากผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่ได้จากการทดลองสภาวะที่ 11, ผลิตภัณฑ์ A, ผลิตภัณฑ์ B และกะทิสด มีค่า p-value ในคุณลักษณะทุกๆด้านอันได้แก่ สี, กลิ่น, รสชาติ, เนื้อสัมผัส, ลักษณะปรากฏและความชอบโดยรวม เท่ากับ 0.2465, 0.8358, 0.9882, 0.0874, 0.0514 และ 0.6925 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หมายความว่าการทดสอบประสาทสัมผัสของคุณลักษณะในทุกๆด้านอันได้แก่ ด้านสี, กลิ่น, รสชาติ, เนื้อสัมผัส, ลักษณะปรากฏและความชอบโดยรวมของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดไม่มีความแตกต่างของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการวิเคราะห์นี้สามารถสรุปได้ว่าผู้ทดสอบมีความพึงพอใจในคุณลักษณะด้านต่างๆในอาหารคาวที่ปรุงจากผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้จากการทดลองที่สภาวะ 11 มากกว่าผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้

จากที่มีการจำหน่ายในท้องตลาดและกะทิสด และพบว่าทั้งผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้จากการทดลองที่สภาวะ 11 มีค่าเข้าใกล้ค่าความชอบสูงสุดที่ระดับ 9 คะแนนมากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างชนิดอื่นๆ เมื่อนำมาแสดงการเปรียบเทียบในรูปแบบใยแมงมุมดังปรากฏในรูปที่ 4.24 ซึ่งหมายความว่าผลิตภัณฑ์กะทิผงที่ได้จากการทดลองเมื่อนำมาปรุงเป็นอาหารคาวสามารถเป็นที่ยอมรับและมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่มีจำนวนตามท้องตลาด



รูปที่ 4.24 รูปแบบใยแมงมุมแสดงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆของอาหารคาวที่ปรุงจากผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปชนิดต่างๆและกะทิสด

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการทดลองปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการผลิตผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งดังต่อไปนี้ อุณหภูมิลมร้อนขาออก 80 °C ปริมาณลมร้อนที่ใช้ 3250 rpm อัตราการป้อนวัตถุดิบ 9 rpm และความดันลมที่ใช้ 0.2 MPa โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยปริมาณการเติมน้ำมันมะพร้าว (0%, 3%, 6%) และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (150 °C, 160 °C, 170 °C)

จากการทดลองพบว่า

ในการทดลองเพื่อศึกษาความคงตัวของอิมัลชันกะทิเบื้องต้นพบว่า สารอิมัลซิไฟเออร์สังเคราะห์ชนิดที่ 2 ช่วยลดปัญหาการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิได้ดีที่สุด

การใช้สารอิมัลซิไฟเออร์สังเคราะห์ชนิดที่ 2 เพียงชนิดเดียวไม่สามารถรักษากลิ่นและรสจึงจำเป็นต้องใช้ร่วมกับสารอิมัลซิไฟเออร์ชนิดสารธรรมชาติจากกลุ่มพืชและสารช่วยทำแห้ง เพื่อช่วยรักษาคุณสมบัติทางด้านกลิ่นและรสของผลิตภัณฑ์กะทิผง ซึ่งสามารถลดปัญหาการแยกชั้นของอิมัลชันกะทิได้

ในการทดลองการทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า

ผลของปริมาณน้ำมันที่สภาวะต่างๆต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของอิมัลชันกะทิก่อนการทำแห้งพบว่า ที่ปริมาณน้ำมันที่ระดับ 0% อิมัลชันกะทิมีค่าปริมาณของแข็งสูงสุด ที่ปริมาณน้ำมันที่ระดับ 3% อิมัลชันกะทิเกิดการแยกชั้น, มีความเป็นกรด-ด่าง, ความหนาแน่นและความสามารถการไหลสูงที่สุดและที่ปริมาณการเติมน้ำมันมะพร้าวที่ระดับ 6% อิมัลชันกะทิมีค่าความหนืดสูงที่สุด

ปัจจัยสำคัญต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยของอิมัลชันกะทิเพื่อให้ได้คุณสมบัติของกะทิผงตรงตามความต้องการคืออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า รองลงมาคือปริมาณน้ำมันมะพร้าว

เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์กะทิผงมีความชื้นลดลง, ความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น, ความสามารถในการดูดซับความชื้นลดลง, ค่าแสดงความเป็นสีเหลืองมากขึ้น, และมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์กะทิผงมากขึ้น ในขณะที่ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้, ปริมาณน้ำอิสระ, ความสามารถในการละลาย, ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์และค่าแสดงความเป็นสีเขียวหรือสีแดง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดในทิศทางเพิ่มขึ้นหรือลดลง

เมื่อปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์กะทิผงมีปริมาณความชื้นสูงขึ้น, ปริมาณน้ำอิสระสูงขึ้น, ความสามารถในการละลายสูงขึ้น, ความสามารถในการดูดซับความชื้นสูงขึ้น, ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ลดลง และแสดงค่าความเป็นสีแดงมากขึ้น ในขณะที่ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้,

ความหนาแน่นรวม, ค่าแสดงความเป็นสีน้ำเงินและสีเหลืองและมีการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์กะทิผงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งอย่างเด่นชัด

ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้สูงสุดอยู่ที่การใช้อุณหภูมิ 154-164 °C และการเติมปริมาณน้ำมันที่ระดับ 1.2-5.5%

ความสามารถในการกระจายตัวอยู่ที่ 64.72% ซึ่งต่ำกว่าค่าความสามารถในการกระจายที่ดีของผลิตภัณฑ์ผงที่ดี

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆและการวิเคราะห์การยอมรับทางประสาทสัมผัสทำให้สามารถระบุสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์กะทิผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์กะทิผงมีค่าอยู่ในช่วงปริมาณน้ำมันมะพร้าว 3.40 - 3.67% และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150.5 - 151.5 °C ซึ่งจากการวิเคราะห์เมื่อนำมาพิจารณาสภาวะการผลิตตามการทดลองพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดเท่ากับสภาวะที่ 4 ที่ปริมาณการเติมน้ำมัน 3 % และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 °C

จากการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิม 20 คน แบ่งตัวอย่างการชิมออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ การปรุงของหวานและการปรุงอาหารคาวจากผลิตภัณฑ์กะทิผง พบว่าในประเภทของหวานที่ปรุงจากผลิตภัณฑ์กะทิผงผลการทดสอบพบว่า ตัวอย่างกะทิผงที่ได้จากการทดลองไม่มีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์กะทิผงที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและกะทิสดในด้านสี, กลิ่น, เนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏ แต่ในด้านรสชาติและความชอบโดยรวมพบว่าตัวอย่างกะทิผงที่ได้จากการทดลองมีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์กะทิผงที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและกะทิสด โดยผู้ทดสอบชิมมีความชอบในของหวานที่ปรุงจากผลิตภัณฑ์กะทิผงที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมากกว่ากะทิผงที่ได้จากการทดลอง ในประเภทอาหารคาวที่ปรุงจากผลิตภัณฑ์กะทิผงผลการทดสอบพบว่า ตัวอย่างกะทิผงที่ได้จากการทดลองไม่มีความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์กะทิผงที่มีจำหน่ายในท้องตลาดและกะทิสดในทุกๆด้าน

5.2 ปัญหาที่พบ

- กะทิเป็นอาหารที่สามารถเสื่อมเสียได้ง่าย จำเป็นต้องคำนึงสภาวะการเก็บรักษาก่อนเริ่มนำมาทำแห้งเป็นสำคัญเพื่อให้กะทิเริ่มต้นยังคงคุณภาพ
- อากาศและสภาพแวดล้อมส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์กะทิผงได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ควรศึกษาเรื่องการปรับค่าและชนิดของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์เพื่อลดปัญหาการแยกชั้นของกะทิอย่างสมบูรณ์

- การเก็บรักษาไม่ควรเก็บในที่ที่มีความชื้นและอุณหภูมิสูง เนื่องจากกะทิผงมีส่วนประกอบของไขมันเป็นหลัก หากเก็บในภาชนะโปรงแสงและไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงอาจเสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เสื่อมเสียได้ง่าย

- ศึกษาการนำอากาศร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

จันทิมา ภูงามเงิน., เกตินันท์ กิตติพงศ์พิทยา., สุดารัตน์ พุทธฤกษ์มงคล. และสุจิตรตรา เหมคช. 2551. ผลของปริมาณไขมันและความร้อนระดับสเตอริไลส์ต่อคุณภาพสีของน้ำกะทิ. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 18**. ฉบับที่ 1 ม.ค. - เม.ย. 2551.

ชลดา รักษาธรรม. และณัฐพงศ์ คูณพงษ์. 2555. การศึกษาการผลิตกะทิผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ณรงค์ โฉมเฉลา. 2551. มาใช้กะทิแทนนมกันเถอะ. **เอกสารวิชาการ ฉบับที่ มพ.3/2551**. เครือข่ายพืชปลูกพื้นเมืองไทย. กรุงเทพฯ.

ธนธรณ์ เกิดสวัสดิ์. และปาริฉัตร หงสประภาส. 2556. ผลของโปรตีนและสารลดแรงตึงผิวต่อความคงตัวของกะทิสเตอริไลซ. **เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51**: สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ. 2556. หน้า 65-72. (463 หน้า).

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 281) พ.ศ. 2547 เรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร ประกาศ ณ วันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2547.

ทศพรพรรณ รัตนภักดี. 2546. การผลิตและอายุการเก็บรักษาน้ำกะทิดัดแปลงไขมันพลาสเจอไรซ์. วิทยานิพนธ์. มหาลัยเกษตรศาสตร์.

นิศรา ฮะเจริญ., เอกพันธ์ แก้วมณีชัย. 2554. การเพิ่มความคงตัวต่อความร้อนในการแปรรูปและค่าความคงตัวต่อความเย็นในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์กะทิสเตอริไลส์. **การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ**. ครั้งที่2.

พธิญดา แก้วสวี. 2552. การใช้สารทดแทนไขมันในน้ำแกงกะทิไขมันต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข 2543.

พีรพรรณ โพธิ์ทอง. **วัตถุเจือปนในอาหาร (Food additive).** แหล่งที่มา: http://haamor.com/th/วัตถุเจือปนในอาหาร, 8 เมษายน 2558.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. **การประเมินทางประสาทสัมผัส.** พิมพ์ครั้งที่ 1. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535.**วิศวกรรมแปรรูปอาหาร : การถนอมอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. โอ.เอ สงพริ้นติ้ง เฮ้าส์. กรุงเทพฯ.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2541. **วิศวกรรมอาหาร : หน่วยปฏิบัติการในอุตสาหกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร Food Processing Technology. พิมพ์ครั้งที่ 4. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด. กรุงเทพฯ.

วิไล รังสาดทอง. 2552. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศิวพร ศิวเวชช. 2529. **วัตถุเจือปนอาหาร.** เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิวพร ศิวเวชช. 2535. **วัตถุเจือปนอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม.

สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม. 2555. **สถานการณ์อุตสาหกรรมมะพร้าวโลก.** [Online]. แหล่งที่มา : http://fic.nfi.or.th/food/content.php?id=17, 19 มีนาคม 2558.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2528. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิผง.** (มอก. 583-2528)

Aguilera C. P. and Gonzalez M.F. 2015. "Encapsulation of spray dried ß-carotene emulsion by fluidized bed coating technology" **LWT - Food Science and Technology**. 62.(2015). 187-193..

AOAC, 2005. "Official Methods of Analysis of AOAC International" 18th ed., 33.2.44 (method 990.20); 33.5.02 (method 927.05), 46.6.02 (method 950.81). **AOAC International**, Maryland, USA.

Branen A.L., Davidson P.M., and Salminen S. 1990. **Food Additive**. Marcell Dekker, INC.

Chiewchan N., Phungamngoen C. and Siriwattanayothin S. 2006. "Effect of homogenizing pressure and sterilizing condition on quality of canned high fat coconut milk" **Journal of Food Engineering** 73.(2006).38–44.

Fazaeli M., Emam-Djomeh Z., Ashtari A.K.and Omid M. 2012. "Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder" **Food and Bioproducts processing.** 90.(2012).667–675.

Gopala K.A., Gaurav Raj., Ajit S.B., Prasanth K. and Chandrashekar P. 2010. "Coconut Oil : Chemistry, Production and Its Applications - A Review" **Indian Coconut Journal**, July (2010).

Hassan M.A. 1985. "Production of Spray-Dried Coconut Milk Powder" **Pertanika**. 8.(1985). 127-130.

Kingwatee N., Apichartsrangkoon A., Chaikham P., Worametrachanon S., Techarung J. and Pankasemsuk T. 2015. "Spray drying *Lactobacillus casei* 01 in lychee juice varied carrier materials" **LWT – food Science and Technology.** 62.(2015).847-853 .

León F.M., Méndez-Lagunas L.L. and Rodríguez-Ramírez J. 2010. "Spray drying of nopal mucilage (Opuntia ficus-indica) : Effects on powder properties and characterization" **Carbohydrate Polymers.** 81.(2010).864–870.

López A. and Lagaron J. M. 2012. "Whey protein capsules obtained through electrospraying for the encapsulation of bioactives" **Innovative Food Science and Emerging Technologies.** 13.(2012).200–206.

Master K. 1979. **Spray Drying Handbook Third Edition.** John Wiley & Sons, Ltd, USA

Nedovic V. 2011. "An overview of encapsulation technologies for food applications" **Processing and Food Science.** 1.(2011).1806–1815.

Papadakis S.E., Gardeli C., Tzia C. 2006. "Spray drying of raisin juice concentrate. **Drying Technol.** 24.(2006): 173-180

Peamprasart T. and Chiewchan N. 2006. "Effect of fat content and preheat treatment on the apparent viscosity of coconut milk after homogenization". **Journal of Food Engineering** 77.(2006).653–658.

Pérez R., López-Nicolás R., Periago M. J., Ros G., Lagaron J.M., López-Rubio A. 2015. "Encapsulation of folic acid in food hydrocolloids through nanospray drying and electrospraying for nutraceutical applications" **Food Chemistry.** 168.(2015).124–133.

Quek S.Y., Chok N.K. and Swedlund P. 2007. "The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders" **Chemical Engineering and Processing.** 46.(2007).389-392.

Raghavendra S.N. and Raghavarao K.S.M.S. 2010. "Effect of different treatments for the destabilization of coconut milk emulsion" **Journal of Food Engineering.** 97.(2010).341–347.

Reddy R.S.,Ramachandra C.T.,Hiregoudar S., Nidoni U.,Ram J. and Kammar M. 2014. "Influence of processing conditions on functional and reconstitution properties of milk powder made from Osmanabadi goat milk by spray drying" **Small Ruminant Research.** 119.(2014).130–137.

Schuck P.,Dolivet A. and Jeantet R. 2012. **Analytical methods for food and dairy powders.** John Wiley & Sons, Ltd, USA.

Seow C.C., and Gwee C.N. 1997. "Coconut milk : chemistry and technology" **International Journal of Food Science and Technology.** 32.1997.189-201.

Silva P. I., Stringheta P. C., Teófilo R. F., Oliveira I. R. 2013. "Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis if responses" **Journal of Food Engineering.** 117.(2013).538–544.

Simuang J., Chiewchan N. and Tansakul A. 2004. "Effects of Heating and Homogenization on the Stability of Coconut Milk Emulsions". **Food Engineering & Physical Properties.**

Tangsuphoom N. and Coupland J.N. 2009. "Effect of thermal treatments on the properties of coconut milk emulsions prepared with surface-active stabilizers". **Food Hydrocolloids.** 23.(2009.1792–1800.

Tansakul A. and Chaisawang P. 2006. "Thermophysical properties of coconut milk". **Journal of Food Engineering.** 73.(2006).276–280.

Zhang H., Xia W.S., Xu Y.S., Jiang Q.X., Wang C.X. and Wang W.J. 2013. "Effects of spray-drying operational parameters on the quality of freshwater mussel powder". **Food and Bioproducts Processing.** 91.(2013).242-248.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์สารละลายอิมัลชันกะทิเบื้องต้น

ตาราง ก.1 ผลการวิเคราะห์สารละลายอิมัลชันกะทิเบื้องต้น

Experiment No.		Viscosity (cP)		pH		Separation (%)	
No.1	ซ้ำ 1	12.93	12.69	6.25	6.23	29.17	29.17
	ซ้ำ 2	12.60		6.22		29.17	
	ซ้ำ 3	12.54		6.23		29.17	
No.2	ซ้ำ 1	33.47	33.23	6.22	6.20	3.33	3.33
	ซ้ำ 2	33.15		6.20		3.33	
	ซ้ำ 3	33.07		6.19		3.33	
No.3	ซ้ำ 1	30.10	29.87	6.22	6.23	10.00	10.00
	ซ้ำ 2	29.61		6.23		10.00	
	ซ้ำ 3	29.89		6.23		10.00	
No.4	ซ้ำ 1	29.68	29.57	6.17	6.19	4.17	4.17
	ซ้ำ 2	29.78		6.20		4.17	
	ซ้ำ 3	29.25		6.21		4.17	
No.5	ซ้ำ 1	22.23	21.72	6.29	6.28	10.00	10.00
	ซ้ำ 2	22.20		6.28		10.00	
	ซ้ำ 3	20.73		6.27		10.00	
No.6	ซ้ำ 1	18.69	18.85	6.28	6.28	8.33	8.33
	ซ้ำ 2	18.54		6.29		8.33	
	ซ้ำ 3	19.32		6.27		8.33	
No.7	ซ้ำ 1	19.29	19.21	6.29	6.29	10.00	10.00
	ซ้ำ 2	19.20		6.28		10.00	
	ซ้ำ 3	19.14		6.29		10.00	
No.8	ซ้ำ 1	16.98	16.91	6.25	6.25	6.67	6.67
	ซ้ำ 2	17.35		6.26		6.67	
	ซ้ำ 3	16.41		6.25		6.67	
No.9	ซ้ำ 1	18.35	18.67	6.17	6.16	6.67	6.67
	ซ้ำ 2	18.45		6.16		6.67	
	ซ้ำ 3	19.21		6.15		6.67	
No.10	ซ้ำ 1	21.93	21.28	6.16	6.15	2.50	2.50
	ซ้ำ 2	21.75		6.15		2.50	
	ซ้ำ 3	20.15		6.15		2.50	
No.11	ซ้ำ 1	21.57	21.03	6.17	6.16	2.50	2.50
	ซ้ำ 2	20.10		6.16		2.50	
	ซ้ำ 3	21.43		6.16		2.50	
No.12	ซ้ำ 1	18.33	18.43	6.20	6.21	0.00	0.00
	ซ้ำ 2	18.39		6.22		0.00	
	ซ้ำ 3	18.57		6.22		0.00	

ภาคผนวก ข. ตาราง ANOVA การวิเคราะห์สารละลายอิมัลชันกะทิเบื้องต้น

ตารางที่ ข.1 ความหนืด (Viscosity)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.8332
R Square	0.6942
Adjusted R Square	0.2355
Standard Error	0.0451
Observations	11

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	6	0.018441	0.003073	1.513533	0.358513
Residual	4	0.008123	0.002031		
Total	10	0.026564			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
β_0	6.143039919	0.032726	187.7105	4.83E-09	6.052178	6.233902	6.052178	6.233902
β_1	0.001655996	1.425773	0.001161	0.999129	-3.95692	3.960236	-3.95692	3.960236
β_2	1.678655145	3.22346	0.520762	0.630031	-7.2711	10.62841	-7.2711	10.62841
β_3	6.011988478	3.22346	1.865073	0.135602	-2.93777	14.96175	-2.93777	14.96175
β_{12}	38.38120561	40.96608	0.936902	0.401852	-75.3589	152.1213	-75.3589	152.1213
β_{13}	-51.6187944	40.96608	-1.26004	0.276157	-165.359	62.12127	-165.359	62.12127
β_{23}	-119.282441	114.8222	-1.03884	0.357546	-438.08	199.515	-438.08	199.515

ตารางที่ ข.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.9927
R Square	0.9854
Adjusted R Square	0.9636
Standard Error	1.0622
Observations	11

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	6	305.6614	50.94357	45.15404	0.001246
Residual	4	4.512869	1.128217		
Total	10	310.1743			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
β_0	22.08061	0.771385	28.62463	8.86E-06	19.9389	24.22231	19.9389	24.22231
β_1	-105.607	33.60676	-3.14243	0.034766	-198.914	-12.2997	-198.914	-12.2997
β_2	-85.8296	75.97989	-1.12964	0.321782	-296.784	125.1244	-296.784	125.1244
β_3	-356.941	75.97989	-4.69783	0.009323	-567.895	-145.987	-567.895	-145.987
β_{12}	-1491.02	965.6079	-1.54413	0.197438	-4171.98	1189.935	-4171.98	1189.935
β_{13}	6552.311	965.6079	6.785685	0.002462	3871.354	9233.268	3871.354	9233.268
β_{23}	12485.14	2706.464	4.613082	0.009933	4970.79	19999.49	4970.79	19999.49

ตารางที่ ข.3 การแยกชั้น (Separation)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.9478
R Square	0.8982
Adjusted R Square	0.7456
Standard Error	1.7833
Observations	11

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	6	112.2798	18.7133	5.884572	0.054024
Residual	4	12.72025	3.180062		
Total	10	125.0001			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
β_0	-0.17578	1.295068	-0.13573	0.898592	-3.77146	3.419906	-3.77146	3.419906
β_1	103.0305	56.42195	1.826071	0.141873	-53.622	259.6829	-53.622	259.6829
β_2	245.0111	127.5616	1.920727	0.127165	-109.157	599.1789	-109.157	599.1789
β_3	198.5666	127.5616	1.556633	0.194546	-155.601	552.7345	-155.601	552.7345
β_{12}	-2305.14	1621.146	-1.42192	0.228112	-6806.16	2195.884	-6806.16	2195.884
β_{13}	-3411.81	1621.146	-2.10456	0.103121	-7912.83	1089.217	-7912.83	1089.217
β_{23}	-657.56	4543.846	-0.14471	0.891935	-13273.3	11958.18	-13273.3	11958.18

ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์สารละลายอิมัลชันกะทิ

ตาราง ค.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของสารละลายอิมัลชันกะทิเบื้องต้น

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	Viscosity (cP)	ค่าเฉลี่ย
1	ซ้ำ1	0	542.9	539.0
	ซ้ำ2	0	532.7	
	ซ้ำ3	0	541.5	
2	ซ้ำ1	0	454.7	456.1
	ซ้ำ2	0	455.3	
	ซ้ำ3	0	458.3	
3	ซ้ำ1	0	436.1	435.3
	ซ้ำ2	0	434.3	
	ซ้ำ3	0	435.5	
4	ซ้ำ1	3	386.9	380.3
	ซ้ำ2	3	375.5	
	ซ้ำ3	3	378.5	
5	ซ้ำ1	3	374.3	379.7
	ซ้ำ2	3	380.9	
	ซ้ำ3	3	383.9	
6	ซ้ำ1	3	378.5	384.6
	ซ้ำ2	3	388.3	
	ซ้ำ3	3	386.9	
7	ซ้ำ1	6	21645.0	21269.3
	ซ้ำ2	6	20876.0	
	ซ้ำ3	6	21287.0	
8	ซ้ำ1	6	20540.0	20603.0
	ซ้ำ2	6	19914.0	
	ซ้ำ3	6	21355.0	
9	ซ้ำ1	6	17416.0	17743.3
	ซ้ำ2	6	18178.0	
	ซ้ำ3	6	17636.0	
10	ซ้ำ1	3	401.6	401.0
	ซ้ำ2	3	400.9	
	ซ้ำ3	3	400.5	
11	ซ้ำ1	3	378.7	385.6
	ซ้ำ2	3	389.7	
	ซ้ำ3	3	388.3	

ตาราง ค.2 ผลการวิเคราะห์ค่าการแยกชั้นของสารละลายอิมัลชันกะทิเบื้องต้น

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	Separation (%)	ค่าเฉลี่ย
1	ซ้ำ1	0	0	0
	ซ้ำ2	0	0	
	ซ้ำ3	0	0	
2	ซ้ำ1	0	0	0
	ซ้ำ2	0	0	
	ซ้ำ3	0	0	
3	ซ้ำ1	0	0	0
	ซ้ำ2	0	0	
	ซ้ำ3	0	0	
4	ซ้ำ1	3	2.5	2.5
	ซ้ำ2	3	2.5	
	ซ้ำ3	3	2.5	
5	ซ้ำ1	3	2.5	2.5
	ซ้ำ2	3	2.5	
	ซ้ำ3	3	2.5	
6	ซ้ำ1	3	0	0
	ซ้ำ2	3	0	
	ซ้ำ3	3	0	
7	ซ้ำ1	6	0	0
	ซ้ำ2	6	0	
	ซ้ำ3	6	0	
8	ซ้ำ1	6	0	0
	ซ้ำ2	6	0	
	ซ้ำ3	6	0	
9	ซ้ำ1	6	0	0
	ซ้ำ2	6	0	
	ซ้ำ3	6	0	
10	ซ้ำ1	3	4.17	4.17
	ซ้ำ2	3	4.17	
	ซ้ำ3	3	4.17	
11	ซ้ำ1	3	5	5
	ซ้ำ2	3	5	
	ซ้ำ3	3	5	

ตาราง ค.3 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งของสารละลายอิมัลชันกะทิเบื้องต้น

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	Total Solid (%)	ค่าเฉลี่ย
1	ซ้ำ1	0	64.95	64.92
	ซ้ำ2	0	64.92	
	ซ้ำ3	0	64.89	
2	ซ้ำ1	0	60.63	60.56
	ซ้ำ2	0	60.57	
	ซ้ำ3	0	60.49	
3	ซ้ำ1	0	64.54	64.50
	ซ้ำ2	0	64.48	
	ซ้ำ3	0	64.49	
4	ซ้ำ1	3	61.04	61.11
	ซ้ำ2	3	61.07	
	ซ้ำ3	3	61.21	
5	ซ้ำ1	3	62.95	62.99
	ซ้ำ2	3	63.03	
	ซ้ำ3	3	62.98	
6	ซ้ำ1	3	56.54	56.62
	ซ้ำ2	3	56.57	
	ซ้ำ3	3	56.75	
7	ซ้ำ1	6	65.07	65.03
	ซ้ำ2	6	65.01	
	ซ้ำ3	6	65.02	
8	ซ้ำ1	6	59.93	59.92
	ซ้ำ2	6	59.93	
	ซ้ำ3	6	59.89	
9	ซ้ำ1	6	54.86	54.81
	ซ้ำ2	6	54.75	
	ซ้ำ3	6	54.82	
10	ซ้ำ1	3	54.73	54.62
	ซ้ำ2	3	54.49	
	ซ้ำ3	3	54.65	
11	ซ้ำ1	3	54.53	54.58
	ซ้ำ2	3	54.62	
	ซ้ำ3	3	54.58	

ตาราง ค.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายอิมัลชันกะทิเบื้องต้น

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	pH	ค่าเฉลี่ย
1	ซ้ำ1	0	5.80	5.90
	ซ้ำ2	0	5.96	
	ซ้ำ3	0	5.95	
2	ซ้ำ1	0	5.76	5.71
	ซ้ำ2	0	5.70	
	ซ้ำ3	0	5.67	
3	ซ้ำ1	0	5.90	5.93
	ซ้ำ2	0	5.93	
	ซ้ำ3	0	5.95	
4	ซ้ำ1	3	5.78	5.74
	ซ้ำ2	3	5.69	
	ซ้ำ3	3	5.74	
5	ซ้ำ1	3	5.88	5.88
	ซ้ำ2	3	5.88	
	ซ้ำ3	3	5.88	
6	ซ้ำ1	3	5.95	5.97
	ซ้ำ2	3	6.00	
	ซ้ำ3	3	5.97	
7	ซ้ำ1	6	5.66	5.68
	ซ้ำ2	6	5.70	
	ซ้ำ3	6	5.69	
8	ซ้ำ1	6	5.78	5.77
	ซ้ำ2	6	5.78	
	ซ้ำ3	6	5.74	
9	ซ้ำ1	6	5.95	5.94
	ซ้ำ2	6	5.95	
	ซ้ำ3	6	5.92	
10	ซ้ำ1	3	6.01	6.02
	ซ้ำ2	3	6.05	
	ซ้ำ3	3	6.01	
11	ซ้ำ1	3	5.98	5.99
	ซ้ำ2	3	5.98	
	ซ้ำ3	3	6.02	

ตาราง ค.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของสารละลายอิมัลชันกะทิเบื้องต้น

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	Density (kg/m^3)	ค่าเฉลี่ย
1	ซ้ำ1	0	1080	1080
	ซ้ำ2	0	1070	
	ซ้ำ3	0	1090	
2	ซ้ำ1	0	1090	1090
	ซ้ำ2	0	1090	
	ซ้ำ3	0	1090	
3	ซ้ำ1	0	1070	1070
	ซ้ำ2	0	1060	
	ซ้ำ3	0	1080	
4	ซ้ำ1	3	1090	1083
	ซ้ำ2	3	1080	
	ซ้ำ3	3	1080	
5	ซ้ำ1	3	1190	1187
	ซ้ำ2	3	1180	
	ซ้ำ3	3	1190	
6	ซ้ำ1	3	1290	1283
	ซ้ำ2	3	1270	
	ซ้ำ3	3	1290	
7	ซ้ำ1	6	1080	1073
	ซ้ำ2	6	1070	
	ซ้ำ3	6	1070	
8	ซ้ำ1	6	1080	1080
	ซ้ำ2	6	1070	
	ซ้ำ3	6	1090	
9	ซ้ำ1	6	1239	1233
	ซ้ำ2	6	1240	
	ซ้ำ3	6	1220	
10	ซ้ำ1	3	1280	1273
	ซ้ำ2	3	1280	
	ซ้ำ3	3	1260	
11	ซ้ำ1	3	1260	1267
	ซ้ำ2	3	1270	
	ซ้ำ3	3	1270	

ตาราง ค.6 ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถการไหลของสารละลายอิมัลชันกะทิเบื้องต้น

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	Flow Ability (sec)	ค่าเฉลี่ย
1	ซ้ำ1	0	5.40	4.63
	ซ้ำ2	0	5.00	
	ซ้ำ3	0	3.50	
2	ซ้ำ1	0	5.70	5.80
	ซ้ำ2	0	5.90	
	ซ้ำ3	0	5.80	
3	ซ้ำ1	0	4.80	3.39
	ซ้ำ2	0	3.30	
	ซ้ำ3	0	2.08	
4	ซ้ำ1	3	9.00	6.80
	ซ้ำ2	3	5.90	
	ซ้ำ3	3	5.50	
5	ซ้ำ1	3	7.00	6.40
	ซ้ำ2	3	5.80	
	ซ้ำ3	3	6.40	
6	ซ้ำ1	3	13.60	13.13
	ซ้ำ2	3	12.80	
	ซ้ำ3	3	13.00	
7	ซ้ำ1	6	3.40	3.40
	ซ้ำ2	6	3.50	
	ซ้ำ3	6	3.30	
8	ซ้ำ1	6	5.10	6.10
	ซ้ำ2	6	6.40	
	ซ้ำ3	6	6.80	
9	ซ้ำ1	6	15.50	15.20
	ซ้ำ2	6	14.80	
	ซ้ำ3	6	15.30	
10	ซ้ำ1	3	21.50	21.73
	ซ้ำ2	3	22.30	
	ซ้ำ3	3	21.40	
11	ซ้ำ1	3	57.00	44.10
	ซ้ำ2	3	56.10	
	ซ้ำ3	3	19.20	

ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผง

ตาราง ง.1 ผลการวิเคราะห์ความชื้นของผลิตภัณฑ์กะทิผง

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	Inlet Air Temperature (°C) X_2	Moisture (%)	ค่าเฉลี่ย
1	ซ้ำ1	0	150	1.50	1.59
	ซ้ำ2	0	150	1.60	
	ซ้ำ3	0	150	1.66	
2	ซ้ำ1	0	160	1.72	1.51
	ซ้ำ2	0	160	1.25	
	ซ้ำ3	0	160	1.54	
3	ซ้ำ1	0	170	0.73	1.23
	ซ้ำ2	0	170	1.22	
	ซ้ำ3	0	170	1.75	
4	ซ้ำ1	3	150	1.41	1.52
	ซ้ำ2	3	150	1.44	
	ซ้ำ3	3	150	1.71	
5	ซ้ำ1	3	160	1.27	1.14
	ซ้ำ2	3	160	1.07	
	ซ้ำ3	3	160	1.09	
6	ซ้ำ1	3	170	0.73	0.71
	ซ้ำ2	3	170	0.64	
	ซ้ำ3	3	170	0.77	
7	ซ้ำ1	6	150	2.60	3.65
	ซ้ำ2	6	150	3.83	
	ซ้ำ3	6	150	4.52	
8	ซ้ำ1	6	160	1.99	1.97
	ซ้ำ2	6	160	1.85	
	ซ้ำ3	6	160	2.06	
9	ซ้ำ1	6	170	1.94	1.69
	ซ้ำ2	6	170	1.69	
	ซ้ำ3	6	170	1.45	
10	ซ้ำ1	3	160	1.53	1.46
	ซ้ำ2	3	160	1.59	
	ซ้ำ3	3	160	1.25	
11	ซ้ำ1	3	160	2.05	1.77
	ซ้ำ2	3	160	1.68	
	ซ้ำ3	3	160	1.58	

ตาราง ง.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์กะทิผง

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	Inlet Air Temperature (°C) X_2	Water Activity	ค่าเฉลี่ย
1	ซ้ำ1	0	150	0.166	0.155
	ซ้ำ2	0	150	0.147	
	ซ้ำ3	0	150	0.153	
2	ซ้ำ1	0	160	0.247	252
	ซ้ำ2	0	160	0.249	
	ซ้ำ3	0	160	0.260	
3	ซ้ำ1	0	170	0.200	0.197
	ซ้ำ2	0	170	0.186	
	ซ้ำ3	0	170	0.205	
4	ซ้ำ1	3	150	0.258	0.249
	ซ้ำ2	3	150	0.240	
	ซ้ำ3	3	150	0.250	
5	ซ้ำ1	3	160	0.204	0.212
	ซ้ำ2	3	160	0.222	
	ซ้ำ3	3	160	0.209	
6	ซ้ำ1	3	170	0.180	0.188
	ซ้ำ2	3	170	0.203	
	ซ้ำ3	3	170	0.181	
7	ซ้ำ1	6	150	0.223	0.230
	ซ้ำ2	6	150	0.241	
	ซ้ำ3	6	150	0.227	
8	ซ้ำ1	6	160	0.299	0.304
	ซ้ำ2	6	160	0.312	
	ซ้ำ3	6	160	0.302	
9	ซ้ำ1	6	170	0.240	0.236
	ซ้ำ2	6	170	0.227	
	ซ้ำ3	6	170	0.240	
10	ซ้ำ1	3	160	0.150	0.153
	ซ้ำ2	3	160	0.157	
	ซ้ำ3	3	160	0.153	
11	ซ้ำ1	3	160	0.279	0.263
	ซ้ำ2	3	160	0.258	
	ซ้ำ3	3	160	0.251	

ตาราง ง.3 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์กะทิผง

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	Inlet Air Temperature (°C) X_2	Bulk Density (kg/m^3)	ค่าเฉลี่ย
1	ซ้ำ1	0	150	836.84	844.23
	ซ้ำ2	0	150	847.21	
	ซ้ำ3	0	150	848.65	
2	ซ้ำ1	0	160	782.63	786.98
	ซ้ำ2	0	160	794.34	
	ซ้ำ3	0	160	783.96	
3	ซ้ำ1	0	170	949.10	953.98
	ซ้ำ2	0	170	946.00	
	ซ้ำ3	0	170	966.86	
4	ซ้ำ1	3	150	853.92	867.12
	ซ้ำ2	3	150	867.92	
	ซ้ำ3	3	150	879.52	
5	ซ้ำ1	3	160	850.13	857.28
	ซ้ำ2	3	160	856.50	
	ซ้ำ3	3	160	865.22	
6	ซ้ำ1	3	170	831.60	846.40
	ซ้ำ2	3	170	851.87	
	ซ้ำ3	3	170	855.74	
7	ซ้ำ1	6	150	836.59	854.24
	ซ้ำ2	6	150	861.23	
	ซ้ำ3	6	150	864.91	
8	ซ้ำ1	6	160	802.06	810.82
	ซ้ำ2	6	160	807.11	
	ซ้ำ3	6	160	823.29	
9	ซ้ำ1	6	170	874.18	884.21
	ซ้ำ2	6	170	889.94	
	ซ้ำ3	6	170	888.50	
10	ซ้ำ1	3	160	812.11	819.98
	ซ้ำ2	3	160	821.90	
	ซ้ำ3	3	160	825.91	
11	ซ้ำ1	3	160	790.82	803.59
	ซ้ำ2	3	160	807.44	
	ซ้ำ3	3	160	812.52	

ตาราง ง.4 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์กะทิผง

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	Inlet Air Temperature (°C) X_2	Solubility (%)	ค่าเฉลี่ย
1	ซ้ำ1	0	150	75.10	75.23
	ซ้ำ2	0	150	75.14	
	ซ้ำ3	0	150	75.45	
2	ซ้ำ1	0	160	69.15	69.69
	ซ้ำ2	0	160	69.61	
	ซ้ำ3	0	160	70.31	
3	ซ้ำ1	0	170	73.28	73.57
	ซ้ำ2	0	170	73.65	
	ซ้ำ3	0	170	73.79	
4	ซ้ำ1	3	150	73.95	74.24
	ซ้ำ2	3	150	74.26	
	ซ้ำ3	3	150	74.51	
5	ซ้ำ1	3	160	71.81	71.97
	ซ้ำ2	3	160	72.13	
	ซ้ำ3	3	160	71.97	
6	ซ้ำ1	3	170	75.01	75.04
	ซ้ำ2	3	170	75.01	
	ซ้ำ3	3	170	75.10	
7	ซ้ำ1	6	150	85.34	80.16
	ซ้ำ2	6	150	80.23	
	ซ้ำ3	6	150	74.91	
8	ซ้ำ1	6	160	84.53	84.77
	ซ้ำ2	6	160	84.97	
	ซ้ำ3	6	160	84.82	
9	ซ้ำ1	6	170	59.81	59.36
	ซ้ำ2	6	170	60.42	
	ซ้ำ3	6	170	57.84	
10	ซ้ำ1	3	160	78.07	78.18
	ซ้ำ2	3	160	78.36	
	ซ้ำ3	3	160	78.11	
11	ซ้ำ1	3	160	76.85	77.01
	ซ้ำ2	3	160	77.01	
	ซ้ำ3	3	160	77.18	

ตาราง ง.5 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์กะทิผง

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	Inlet Air Temperature (°C) X_2	Hygroscopicity (%)	ค่าเฉลี่ย
1	ซ้ำ1	0	150	5.88	5.44
	ซ้ำ2	0	150	5.99	
	ซ้ำ3	0	150	4.44	
2	ซ้ำ1	0	160	5.92	6.09
	ซ้ำ2	0	160	4.11	
	ซ้ำ3	0	160	8.23	
3	ซ้ำ1	0	170	5.02	3.45
	ซ้ำ2	0	170	0.81	
	ซ้ำ3	0	170	4.52	
4	ซ้ำ1	3	150	5.60	5.55
	ซ้ำ2	3	150	5.44	
	ซ้ำ3	3	150	5.62	
5	ซ้ำ1	3	160	5.89	5.87
	ซ้ำ2	3	160	5.80	
	ซ้ำ3	3	160	5.92	
6	ซ้ำ1	3	170	5.35	5.42
	ซ้ำ2	3	170	5.36	
	ซ้ำ3	3	170	5.56	
7	ซ้ำ1	6	150	5.58	5.56
	ซ้ำ2	6	150	5.49	
	ซ้ำ3	6	150	5.61	
8	ซ้ำ1	6	160	7.45	6.36
	ซ้ำ2	6	160	6.14	
	ซ้ำ3	6	160	5.51	
9	ซ้ำ1	6	170	6.16	5.71
	ซ้ำ2	6	170	5.64	
	ซ้ำ3	6	170	5.32	
10	ซ้ำ1	3	160	3.35	4.53
	ซ้ำ2	3	160	5.44	
	ซ้ำ3	3	160	4.79	
11	ซ้ำ1	3	160	5.18	5.65
	ซ้ำ2	3	160	5.28	
	ซ้ำ3	3	160	6.49	

ตาราง ง.6 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์กะทิผง

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	Inlet Air Temperature (°C) X_2	Color						
				L* (น้ำกะทิ)	a*(น้ำกะทิ)	b*(น้ำกะทิ)	L*(กะทิผง)	a*(กะทิผง)	b*(กะทิผง)	dE
1	ซ้ำ1	0	150	91.19	-0.89	-1.90	100.53	0.32	0.30	9.67
1	ซ้ำ2	0	150	91.17	-0.85	-1.89	100.51	0.26	0.27	9.65
1	ซ้ำ3	0	150	91.14	-0.85	-1.93	100.51	0.27	0.31	9.70
1	ซ้ำ4	0	150	91.14	-0.92	-1.91	100.51	0.28	0.34	9.71
1	ซ้ำ5	0	150	91.12	-0.88	-1.90	100.49	0.36	0.30	9.70
ค่าเฉลี่ย				91.15	-0.88	-1.91	100.51	0.30	0.30	9.69
2	ซ้ำ1	0	160	89.29	-1.05	-3.70	101.50	-0.15	0.09	12.82
2	ซ้ำ2	0	160	89.24	-1.09	-3.71	101.50	-0.22	0.12	12.87
2	ซ้ำ3	0	160	89.21	-1.10	-3.73	101.47	-0.13	0.08	12.87
2	ซ้ำ4	0	160	89.18	-1.10	-3.72	101.48	-0.17	0.06	12.90
2	ซ้ำ5	0	160	89.14	-1.10	-3.71	101.46	-0.11	0.09	12.93
ค่าเฉลี่ย				89.21	-1.09	-3.71	101.482	-0.16	0.09	12.88
3	ซ้ำ1	0	170	96.65	-1.41	-3.70	99.12	0.31	11.63	15.62
3	ซ้ำ2	0	170	96.62	-1.46	-3.68	99.11	0.28	11.61	15.59
3	ซ้ำ3	0	170	96.59	-1.44	-3.74	99.10	0.34	11.58	15.63
3	ซ้ำ4	0	170	96.56	-1.42	-3.72	99.09	0.39	11.54	15.57
3	ซ้ำ5	0	170	96.53	-1.42	-3.71	99.09	0.38	11.54	15.57
ค่าเฉลี่ย				96.59	-1.43	-3.71	99.102	0.34	11.58	15.60

ตาราง ง.6 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์กะทิผง (ต่อ)

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	Inlet Air Temperature (℃) X_2	Color						
				L* (น้ำกะทิ)	a*(น้ำกะทิ)	b*(น้ำกะทิ)	L*(กะทิผง)	a*(กะทิผง)	b*(กะทิผง)	dE
4	ซ้ำ1	3	150	93.25	-0.18	0.15	99.20	-0.45	0.50	5.97
4	ซ้ำ2	3	150	92.62	-0.26	0.05	99.18	-0.43	0.49	6.58
4	ซ้ำ3	3	150	92.57	-0.30	0.08	99.17	-0.46	0.55	6.62
4	ซ้ำ4	3	150	92.49	-0.30	0.04	99.16	-0.41	0.64	6.70
4	ซ้ำ5	3	150	92.46	-0.26	0.05	99.16	-0.44	0.51	6.72
ค่าเฉลี่ย				92.68	-0.26	0.07	99.174	-0.44	0.54	6.52
5	ซ้ำ1	3	160	90.84	-0.15	-2.21	99.35	-0.32	0.95	9.08
5	ซ้ำ2	3	160	90.81	-0.20	-2.20	99.35	-0.45	1.03	9.13
5	ซ้ำ3	3	160	90.71	-0.20	-2.23	99.33	-0.43	1.00	9.21
5	ซ้ำ4	3	160	90.76	-0.11	-2.27	99.34	-0.39	1.00	9.19
5	ซ้ำ5	3	160	90.76	-0.21	-2.24	99.32	-0.39	1.00	9.15
ค่าเฉลี่ย				90.78	-0.17	-2.23	99.338	-0.40	1.00	9.15
6	ซ้ำ1	3	170	91.80	-0.75	-1.85	100.72	-0.27	4.43	10.92
6	ซ้ำ2	3	170	91.78	-0.73	-1.85	100.70	-0.28	4.39	10.90
6	ซ้ำ3	3	170	91.78	-0.79	-1.82	100.71	-0.30	4.40	10.89
6	ซ้ำ4	3	170	91.77	-0.76	-1.85	100.70	-0.24	4.39	10.91
6	ซ้ำ5	3	170	91.76	-0.78	-1.85	100.70	-0.29	4.38	10.91
ค่าเฉลี่ย				91.78	-0.76	-1.84	100.706	-0.28	4.40	10.90

ตาราง ง.6 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์กะทิผง (ต่อ)

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	Inlet Air Temperature (°C) X_2	Color						
				L* (น้ำกะทิ)	a*(น้ำกะทิ)	b*(น้ำกะทิ)	L*(กะทิผง)	a*(กะทิผง)	b*(กะทิผง)	dE
7	ซ้ำ1	6	150	89.91	-0.53	-1.47	101.09	0.27	1.88	11.70
7	ซ้ำ2	6	150	89.85	-0.52	-1.47	101.11	0.22	1.89	11.77
7	ซ้ำ3	6	150	89.76	-0.47	-1.51	101.09	0.30	1.86	11.85
7	ซ้ำ4	6	150	89.70	-0.52	-1.50	101.10	0.24	1.87	11.91
7	ซ้ำ5	6	150	89.65	-0.50	-1.50	101.09	0.25	1.87	11.95
ค่าเฉลี่ย				89.77	-0.51	-1.49	101.096	0.26	1.87	11.84
8	ซ้ำ1	6	160	90.01	-0.57	-1.01	97.50	1.11	0.57	7.84
8	ซ้ำ2	6	160	89.96	-0.56	-0.99	97.51	1.07	0.58	7.88
8	ซ้ำ3	6	160	89.94	-0.59	-1.00	97.50	1.09	0.56	7.90
8	ซ้ำ4	6	160	89.90	-0.64	-0.99	97.50	1.09	0.57	7.95
8	ซ้ำ5	6	160	89.87	-0.59	-1.04	97.49	1.11	0.55	7.97
ค่าเฉลี่ย				89.94	-0.59	-1.01	97.5	1.09	0.57	7.91
9	ซ้ำ1	6	170	90.75	-0.35	0.01	97.80	0.83	7.37	10.26
9	ซ้ำ2	6	170	90.73	-0.44	0.03	97.80	0.78	7.38	10.27
9	ซ้ำ3	6	170	90.70	-0.37	-0.02	97.80	0.78	7.38	10.32
9	ซ้ำ4	6	170	90.68	-0.41	0.01	97.79	0.78	7.38	10.31
9	ซ้ำ5	6	170	90.68	-0.45	0.01	97.78	0.84	7.33	10.28
ค่าเฉลี่ย				90.71	-0.40	0.01	97.794	0.80	7.37	10.29

ตาราง ง.6 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์กะทิผง (ต่อ)

Experiment No.	ซ้ำ	Oil(%) X_1	Inlet Air Temperature (°C) X_2	Color						
				L* (น้ำกะทิ)	a*(น้ำกะทิ)	b*(น้ำกะทิ)	L*(กะทิผง)	a*(กะทิผง)	b*(กะทิผง)	dE
10	ซ้ำ1	3	160	90.28	-0.49	-1.73	98.81	0.10	2.52	9.55
10	ซ้ำ2	3	160	90.21	-0.49	-1.75	98.81	0.09	2.53	9.62
10	ซ้ำ3	3	160	90.15	-0.48	-1.73	98.81	0.13	2.53	9.67
10	ซ้ำ4	3	160	90.10	-0.46	-1.74	98.81	0.08	2.49	9.70
10	ซ้ำ5	3	160	90.05	-0.49	-1.77	98.80	0.10	2.49	9.75
ค่าเฉลี่ย				90.16	-0.48	-1.74	98.808	0.10	2.51	9.66
11	ซ้ำ1	3	160	91.18	-0.97	-1.18	100.44	0.25	-0.09	9.40
11	ซ้ำ2	3	160	91.10	-0.91	-1.20	100.44	0.28	-0.09	9.48
11	ซ้ำ3	3	160	91.06	-0.99	-1.19	100.44	0.25	-0.09	9.53
11	ซ้ำ4	3	160	91.01	-0.97	-1.21	100.44	0.27	-0.09	9.58
11	ซ้ำ5	3	160	90.97	-0.92	-1.20	100.44	0.26	-0.09	9.61
ค่าเฉลี่ย				91.06	-0.95	-1.20	100.44	0.26	-0.09	9.52

ภาคผนวก จ. ตาราง ANOVA การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผง

ตารางที่ จ.1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Yield)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.770418399
R Square	0.593544509
Adjusted R Square	0.187089018
Standard Error	12.40232758
Observations	11

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	1123.096	224.6191	1.460294	0.343959
Residual	5	769.0886	153.8177		
Total	10	1892.184			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
β_0	-3424.450025	1993.726	-1.71761	0.146512	-8549.49	1700.586	-8549.49	1700.586
β_1	9.862177146	33.52087	0.29421	0.78042	-76.306	96.03033	-76.306	96.03033
β_2	43.2073064	24.94771	1.731915	0.143836	-20.9228	107.3374	-20.9228	107.3374
β_{11}	-1.272636559	0.865794	-1.46991	0.201539	-3.49823	0.952958	-3.49823	0.952958
β_{22}	-0.13434632	0.077921	-1.72412	0.145287	-0.33465	0.065957	-0.33465	0.065957
β_{12}	-0.009439865	0.206705	-0.04567	0.965343	-0.54079	0.521913	-0.54079	0.521913

ตารางที่ จ.2 ความชื้น (Moisture)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.933006
R Square	0.870499
Adjusted R Square	0.740999
Standard Error	0.377636
Observations	11

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	4.793057	0.958611	6.721975	0.028353
Residual	5	0.713043	0.142609		
Total	10	5.5061			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
β_0	2.656657	60.70649	0.043762	0.966788	-153.394	158.7077	-153.394	158.7077
β_1	1.885849	1.020669	1.84766	0.123921	-0.73786	4.509563	-0.73786	4.509563
β_2	-0.0032	0.759627	-0.00422	0.996798	-1.95589	1.94948	-1.95589	1.94948
β_{11}	0.068847	0.026362	2.611561	0.04758	0.00108	0.136613	0.00108	0.136613
β_{22}	-2.7E-05	0.002373	-0.01155	0.991234	-0.00613	0.006072	-0.00613	0.006072
β_{12}	-0.01333	0.006294	-2.11801	0.087727	-0.02951	0.002848	-0.02951	0.002848

ตารางที่ จ.3 ปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.635564
R Square	0.403941
Adjusted R Square	-0.19212
Standard Error	0.050488
Observations	11

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	0.008637	0.001727	0.677687	0.660082
Residual	5	0.012745	0.002549		
Total	10	0.021383			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
β_0	-8.65195	8.116212	-1.06601	0.335165	-29.5153	12.21143	-29.5153	12.21143
β_1	0.040836	0.136459	0.299256	0.776785	-0.30994	0.391616	-0.30994	0.391616
β_2	0.110283	0.101559	1.085905	0.327078	-0.15078	0.371349	-0.15078	0.371349
β_{11}	0.002805	0.003525	0.795868	0.462204	-0.00626	0.011865	-0.00626	0.011865
β_{22}	-0.00034	0.000317	-1.07987	0.329514	-0.00116	0.000473	-0.00116	0.000473
β_{12}	-0.0003	0.000841	-0.35982	0.733681	-0.00247	0.00186	-0.00247	0.00186

ตารางที่ จ.4 ความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.811159
R Square	0.657979
Adjusted R Square	0.315959
Standard Error	37.824
Observations	11

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	13761.47	2752.294	1.9238	0.24499
Residual	5	7153.275	1430.655		
Total	10	20914.74			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
β_0	15289.99	6080.367	2.514649	0.053523	-340.091	30920.07	-340.091	30920.07
β_1	103.632	102.2303	1.013711	0.357235	-159.159	366.4233	-159.159	366.4233
β_2	-184.823	76.08429	-2.42919	0.05944	-380.404	10.75796	-380.404	10.75796
β_{11}	0.126171	2.640455	0.047784	0.963738	-6.66133	6.913677	-6.66133	6.913677
β_{22}	0.590003	0.237641	2.48275	0.055653	-0.02087	1.200879	-0.02087	1.200879
β_{12}	-0.6649	0.6304	-1.05473	0.339823	-2.2854	0.95559	-2.2854	0.95559

ตารางที่ จ.5 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.705079
R Square	0.497136
Adjusted R Square	-0.00573
Standard Error	6.484513
Observations	11

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	207.8495	41.5699	0.988608	0.504862
Residual	5	210.2445	42.04891		
Total	10	418.094			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
β_0	-769.15	1042.413	-0.73786	0.493753	-3448.76	1910.457	-3448.76	1910.457
β_1	26.27434	17.52627	1.49914	0.194118	-18.7784	71.32705	-18.7784	71.32705
β_2	10.43391	13.04382	0.799912	0.460061	-23.0963	43.96412	-23.0963	43.96412
β_{11}	-0.07031	0.452677	-0.15531	0.882651	-1.23395	1.093338	-1.23395	1.093338
β_{22}	-0.03224	0.040741	-0.79129	0.464636	-0.13697	0.07249	-0.13697	0.07249
β_{12}	-0.15957	0.108075	-1.47643	0.19986	-0.43738	0.118251	-0.43738	0.118251

ตารางที่ จ.6 ความสามารถในการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.766747
R Square	0.587901
Adjusted R Square	0.175803
Standard Error	0.725703
Observations	11

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	3.756564	0.751313	1.426604	0.353069
Residual	5	2.633222	0.526644		
Total	10	6.389786			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
β_0	-123.867	116.6597	-1.06178	0.336906	-423.75	176.0165	-423.75	176.0165
β_1	-2.81652	1.961421	-1.43596	0.2105	-7.85851	2.225475	-7.85851	2.225475
β_2	1.70157	1.459776	1.165638	0.296337	-2.0509	5.454044	-2.0509	5.454044
β_{11}	0.020056	0.050661	0.395895	0.708511	-0.11017	0.150283	-0.11017	0.150283
β_{22}	-0.00559	0.004559	-1.2253	0.275027	-0.01731	0.006134	-0.01731	0.006134
β_{12}	0.017774	0.012095	1.469557	0.20163	-0.01332	0.048866	-0.01332	0.048866

ตารางที่ จ.7 ค่าความสว่าง (L*)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.611678
R Square	0.37415
Adjusted R Square	-0.2517
Standard Error	1.472511
Observations	11

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	6.481316	1.296263	0.597827	0.706946
Residual	5	10.84145	2.16829		
Total	10	17.32276			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
β_0	169.0879	236.7124	0.714318	0.506982	-439.401	777.5765	-439.401	777.5765
β_1	2.386246	3.979887	0.599576	0.574922	-7.84438	12.61687	-7.84438	12.61687
β_2	-0.85564	2.962008	-0.28887	0.784274	-8.46972	6.758445	-8.46972	6.758445
β_{11}	-0.02037	0.102795	-0.1982	0.850692	-0.28462	0.243867	-0.28462	0.243867
β_{22}	0.002656	0.009252	0.287122	0.785537	-0.02113	0.026438	-0.02113	0.026438
β_{12}	-0.01578	0.024542	-0.64312	0.548476	-0.07887	0.047304	-0.07887	0.047304

ตารางที่ จ.8 ค่าแสดงความเป็นสีเขียวหรือสีแดง (a*)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.845858
R Square	0.715476
Adjusted R Square	0.430953
Standard Error	0.362908
Observations	11

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	1.655922	0.331184	2.514645	0.167196
Residual	5	0.658511	0.131702		
Total	10	2.314433			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
β_0	-47.6782	58.33898	-0.81726	0.45095	-197.643	102.287	-197.643	102.287
β_1	-1.00494	0.980864	-1.02455	0.352564	-3.52633	1.516449	-3.52633	1.516449
β_2	0.599647	0.730002	0.821432	0.44878	-1.27688	2.476177	-1.27688	2.476177
β_{11}	0.070953	0.025334	2.800685	0.037963	0.005829	0.136077	0.005829	0.136077
β_{22}	-0.00187	0.00228	-0.82199	0.448489	-0.00774	0.003987	-0.00774	0.003987
β_{12}	0.0042	0.006048	0.694391	0.518373	-0.01135	0.019748	-0.01135	0.019748

ตารางที่ จ.9 ค่าแสดงความเป็นสีน้ำเงินหรือสีเหลือง (b*)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.925451
R Square	0.856459
Adjusted R Square	0.712917
Standard Error	1.98107
Observations	11

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	117.0844	23.41688	5.966636	0.036071
Residual	5	19.62319	3.924637		
Total	10	136.7076			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
β_0	752.3633	318.4653	2.362466	0.064553	-66.2777	1571.004	-66.2777	1571.004
β_1	6.858444	5.354413	1.280896	0.256424	-6.90551	20.6224	-6.90551	20.6224
β_2	-9.87002	3.98499	-2.4768	0.056061	-20.1138	0.373727	-20.1138	0.373727
β_{11}	0.121778	0.138296	0.880556	0.418865	-0.23372	0.47728	-0.23372	0.47728
β_{22}	0.03237	0.012447	2.600693	0.048209	0.000375	0.064365	0.000375	0.064365
β_{12}	-0.04818	0.033018	-1.45931	0.204296	-0.13306	0.036692	-0.13306	0.036692

ตารางที่ จ.10 ค่าแสดงความเปลี่ยนแปลงของสี (dE)

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.925465
R Square	0.856485
Adjusted R Square	0.712969
Standard Error	1.313946
Observations	11

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	5	51.51647	10.30329	5.967897	0.036056
Residual	5	8.632265	1.726453		
Total	10	60.14874			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
β_0	66.90198	211.2223	0.316737	0.76424	-476.062	609.8661	-476.062	609.8661
β_1	8.088152	3.551318	2.277507	0.071761	-1.0408	17.2171	-1.0408	17.2171
β_2	-1.01301	2.643047	-0.38327	0.717272	-7.80718	5.78116	-7.80718	5.78116
β_{11}	0.23373	0.091725	2.548157	0.051381	-0.00206	0.469517	-0.00206	0.469517
β_{22}	0.004204	0.008255	0.509239	0.632256	-0.01702	0.025425	-0.01702	0.025425
β_{12}	-0.06214	0.021899	-2.83753	0.036352	-0.11843	-0.00585	-0.11843	-0.00585

ภาคผนวก ฉ. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

ตารางที่ ฉ.1 ตารางวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้านค่างๆ

	No.	MC	Aw	BD	SB	HG	DP	SB(2)
ผลิตภัณฑ์ A	ซ้ำ1	0.51	0.165	996.31	56.91	8.56	64.86	39.52
	ซ้ำ2	0.55	0.186	1012.96	57.09	8.60	65.71	46.88
	ซ้ำ3	0.61	0.237	996.03	58.05	8.55	61.93	39.75
	ค่าเฉลี่ย	0.56	0.196	1001.77	57.35	8.57	64.17	42.05
ผลิตภัณฑ์ B	ซ้ำ1	0.99	0.203	1030.97	77.22	8.67	77.54	60.88
	ซ้ำ2	1.06	0.215	1049.19	78.31	8.09	79.58	46.69
	ซ้ำ3	1.03	0.243	1028.31	79.14	8.23	77.88	45.47
	ค่าเฉลี่ย	1.02	0.220	1036.16	78.22	8.33	78.33	51.02

หมายเหตุ MC = Moisture Content (%w/w), Aw = Water Activity, BD = Bulk Density (kg/m^3), SB = Solubility (%), HG = Hygroscopicity (%), DP = Dispersibility Index (%) และ SB(2) = Solubility (%) โดยวิธีการเหวี่ยงแยก

ตารางที่ ฉ.2 ตารางวิเคราะห์ค่าสี

		Color		
	No.	L*	a*	b*
ผลิตภัณฑ์ A	ซ้ำ1	106.67	-1.38	-4.13
	ซ้ำ2	106.67	-1.36	-4.16
	ซ้ำ3	106.66	-1.32	-4.19
	ซ้ำ4	106.66	-1.34	-4.15
	ซ้ำ5	106.66	-1.41	-4.15
	ค่าเฉลี่ย	106.66	-1.36	-4.16
ผลิตภัณฑ์ B	ซ้ำ1	106.5	-0.34	-2.51
	ซ้ำ2	106.5	-0.29	-2.52
	ซ้ำ3	106.5	-0.32	-2.52
	ซ้ำ4	106.5	-0.29	-2.56
	ซ้ำ5	106.5	-0.31	-2.54
	ค่าเฉลี่ย	106.5	-0.31	-2.53

ภาคผนวก ช. แบบฟอร์มการทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

HEDONIC SCALE SCORING TEST PREFERENCE

ชื่อผู้ทดสอบชิม.....เพศ.....อายุ.....

ชื่อผลิตภัณฑ์ กะทิผงสำเร็จรูป (ของหวาน) ชุดที่ 1

ข้อเสนอแนะ : ทดสอบรสชาติของตัวอย่างที่ให้ และตรวจสอบว่าท่านชอบ/ไม่ชอบมากเพียงใดในผลิตภัณฑ์ ใช้สเกลที่เหมาะสมเพื่อแสดงทัศนคติของท่านโดยการระบุระดับสเกลที่สามารถอธิบายความรู้สึกของท่านได้ดีที่สุด ดื่มน้ำหลังจากแต่ละผลิตภัณฑ์ถูกทดสอบแล้ว

ระดับสเกล

1=ไม่ชอบมากที่สุด	2=ไม่ชอบมาก	3=ไม่ชอบปานกลาง
4=ไม่ชอบเล็กน้อย	5=เฉยๆ	6=ชอบเล็กน้อย
7=ชอบปานกลาง	8=ชอบมาก	9=ชอบมากที่สุด

รายการ	รหัสตัวอย่าง				
	459	667	619	347	100
สี					
กลิ่น					
รสชาติ					
เนื้อสัมผัส					
ลักษณะปรากฏ					
ความชอบโดยรวม					

ข้อเสนอแนะ.....

.....

เหตุผลของความชอบหรือไม่ชอบผลิตภัณฑ์

459 : .....

667 : .....

619 : .....

347 : .....

100 : .....

ขอบคุณค่ะ

ภาคผนวก ซ. การวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกะทิผงสำเร็จรูป (ของหวาน)

ตาราง ซ.1 คะแนนค่าสีของการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของของหวาน

ผู้ทดสอบคนที่ (Panelists)	ผลิตภัณฑ์ (Samples)					รวม
	สภาวะที่ 4	ผลิตภัณฑ์A	ผลิตภัณฑ์B	กะทิสด	สภาวะที่ 11	
1	5	4	5	5	5	24
2	6	8	5	5	7	31
3	7	5	6	9	8	35
4	6	9	8	7	8	38
5	6	8	6	6	7	33
6	7	8	9	9	9	42
7	6	9	6	9	5	35
8	5	8	7	7	5	32
9	7	8	7	7	8	37
10	8	7	8	9	8	40
11	8	6	7	7	8	36
12	7	9	8	8	8	40
13	7	8	8	9	7	39
14	6	8	5	6	7	32
15	7	6	7	7	7	34
16	5	6	7	6	5	29
17	6	5	8	8	6	33
18	8	9	8	5	5	35
19	6	8	6	7	6	33
20	6	8	5	5	7	31
รวม	129	147	136	141	136	689
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.9445	1.4965	1.2397	1.4681	1.2814	
ค่าเฉลี่ย	6.45	7.35	6.80	7.05	6.80	

ตาราง ซ.2 คะแนนค่ากลิ่นของการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของของหวาน

ผู้ทดสอบคนที่ (Panelists)	ผลิตภัณฑ์ (Samples)					รวม
	สภาวะที่ 4	ผลิตภัณฑ์A	ผลิตภัณฑ์B	กะทิสด	สภาวะที่ 11	
1	6	5	5	5	7	28
2	6	4	7	4	7	28
3	8	9	7	6	5	35
4	6	6	7	8	6	33
5	6	7	7	7	7	34
6	7	7	8	5	8	35
7	5	7	7	7	4	30
8	5	8	8	4	6	31
9	7	8	8	7	8	38
10	9	9	7	6	6	37
11	8	5	5	5	8	31
12	7	8	7	8	7	37
13	8	8	9	7	9	41
14	5	7	6	8	6	32
15	7	7	7	6	6	33
16	4	5	5	5	4	23
17	7	7	8	5	7	34
18	8	6	6	5	9	34
19	5	8	7	5	6	31
20	7	7	6	7	8	35
รวม	131	138	137	120	134	660
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.3169	1.3727	1.0894	1.2978	1.4179	
ค่าเฉลี่ย	6.55	6.90	6.85	6.00	6.70	

ตาราง ซ.3 คะแนนค่ารสชาติของการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของของหวาน

ผู้ทดสอบคนที่ (Panelists)	ผลิตภัณฑ์ (Samples)					รวม
	สภาวะที่ 4	ผลิตภัณฑ์A	ผลิตภัณฑ์B	กะทิสด	สภาวะที่ 11	
1	6	6	8	3	2	25
2	3	5	6	7	4	25
3	5	7	9	6	8	35
4	6	5	5	8	4	28
5	7	6	6	6	7	32
6	7	5	7	4	5	28
7	1	3	7	2	2	15
8	4	4	4	1	2	15
9	7	8	9	5	6	35
10	4	5	5	5	3	22
11	7	6	6	8	7	34
12	9	8	9	9	7	42
13	7	7	6	5	5	30
14	4	8	7	5	5	29
15	6	6	7	5	5	29
16	4	5	6	6	4	25
17	7	7	6	8	5	33
18	8	5	7	9	4	33
19	2	7	8	7	4	28
20	7	5	8	4	5	29
รวม	111	118	136	113	94	572
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.0894	1.3727	1.3992	2.2070	1.7199	
ค่าเฉลี่ย	5.55	5.90	6.80	5.65	4.70	

ตาราง ซ.4 คะแนนค่าเนื้อสัมผัสของการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของของหวาน

ผู้ทดสอบคนที่ (Panelists)	ผลิตภัณฑ์ (Samples)					รวม
	สภาวะที่ 4	ผลิตภัณฑ์A	ผลิตภัณฑ์B	กะทิสด	สภาวะที่ 11	
1	5	6	6	6	3	26
2	6	5	5	5	5	26
3	6	5	7	9	8	35
4	5	5	5	7	5	27
5	8	8	8	8	8	40
6	8	7	8	7	7	37
7	5	6	8	7	6	32
8	5	5	5	4	4	23
9	7	7	7	7	7	35
10	5	5	6	6	6	28
11	7	6	6	8	7	34
12	8	7	8	8	8	39
13	8	8	8	8	8	40
14	5	8	7	5	5	30
15	7	7	7	7	7	35
16	5	6	6	6	5	28
17	6	6	6	7	6	31
18	5	5	5	5	5	25
19	6	7	8	2	6	29
20	7	7	6	6	5	31
รวม	124	126	132	128	121	631
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.1965	1.0809	1.1425	1.6351	1.4318	
ค่าเฉลี่ย	6.20	6.30	6.60	6.40	6.05	

ตาราง ซ.5 คะแนนค่าลักษณะปรากฏของการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของของหวาน

ผู้ทดสอบคนที่ (Panelists)	ผลิตภัณฑ์ (Samples)					รวม
	สภาวะที่ 4	ผลิตภัณฑ์A	ผลิตภัณฑ์B	กะทิสด	สภาวะที่ 11	
1	5	6	5	5	5	26
2	6	7	4	5	5	27
3	9	7	8	5	6	35
4	6	7	4	5	6	28
5	7	8	7	7	7	36
6	8	7	7	7	7	36
7	6	8	7	8	6	35
8	6	6	6	5	6	29
9	7	8	8	7	8	38
10	6	7	7	8	5	33
11	8	6	7	7	8	36
12	6	7	7	7	6	33
13	8	8	8	8	8	40
14	5	7	6	6	6	30
15	7	6	7	7	7	34
16	5	6	7	6	5	29
17	7	6	7	8	7	35
18	8	9	8	8	8	41
19	6	8	7	4	6	31
20	6	7	7	5	5	30
รวม	132	141	134	128	127	662
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.1425	0.8870	1.1743	1.3139	1.0894	
ค่าเฉลี่ย	6.60	7.05	6.70	6.40	6.35	

ตาราง ซ.6 คะแนนค่าความชอบโดยรวมของการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของของหวาน

ผู้ทดสอบคนที่ (Panelists)	ผลิตภัณฑ์ (Samples)					รวม
	สภาวะที่ 4	ผลิตภัณฑ์A	ผลิตภัณฑ์B	กะทิสด	สภาวะที่ 11	
1	5	6	7	5	3	26
2	4	5	6	7	4	26
3	5	7	9	6	8	35
4	5	6	6	8	7	32
5	7	8	6	6	7	34
6	8	7	8	6	6	35
7	5	7	7	6	6	31
8	5	5	5	3	5	23
9	7	8.5	8.5	7	7.5	38.5
10	5	7	7	8	4	31
11	7	6	7	6	7	33
12	8	8	8	8	7	39
13	8	8	8	7	7	38
14	5	8	7	5	5	30
15	7	6	7	7	6	33
16	5	6	7	7	5	30
17	7	6	8	8	7	36
18	7	7	7	9	6	36
19	6	8	6	7	6	33
20	7	8	6	5	5	31
รวม	123	137.5	140.5	131	118.5	650.5
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.2680	1.0745	1.0062	1.3945	1.3206	
ค่าเฉลี่ย	6.15	6.88	7.025	6.55	5.93	

ภาคผนวก ณ. ตาราง ANOVA คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกะทิผงสำเร็จรูป (ของหวาน)

ตารางที่ ณ.1 ค่าสี

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Panelists	68.59	19	3.61	2.9737698	0.0004002	1.7250291
Samples	8.94	4	2.235	1.8411012	0.1296674	2.4920493
Error	92.26	76	1.2139474			
Total	169.79	99				

ตารางที่ ณ.2 ค่ากลิ่น

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Panelists	61.6	19	3.2421053	2.4664665	0.0029515	1.7250291
Samples	10.5	4	2.625	1.996997	0.1034555	2.4920493
Error	99.9	76	1.3144737			
Total	172	99				

ตารางที่ ณ.3 ค่ารสชาติ

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Panelists	159.36	19	8.3873684	4.3858539	1.836E-06	1.7250291
Samples	45.46	4	11.365	5.9428925	0.0003243	2.4920493
Error	145.34	76	1.9123684			
Total	350.16	99				

ตารางที่ ณ.4 ค่าเนื้อสัมผัส

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Panelists	100.59	19	5.2942105	6.3503788	2.237E-09	1.7250291
Samples	3.44	4	0.86	1.0315657	0.3965568	2.4920493
Error	63.36	76	0.8336842			
Total	167.39	99				

ตารางที่ ณ.5 ค่าลักษณะปรากฏ

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Panelists	68.36	19	3.5978947	5.1650926	1.144E-07	1.7250291
Samples	6.26	4	1.565	2.2466944	0.0717987	2.4920493
Error	52.94	76	0.6965789			
Total	127.56	99				

ตารางที่ ณ.6 ค่าความชอบโดยรวม

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Panelists	68.5475	19	3.6077632	3.7424418	2.031E-05	1.7250291
Samples	17.435	4	4.35875	4.5214632	0.0024906	2.4920493
Error	73.265	76	0.9640132			
Total	159.2475	99				

ภาคผนวก ญ. วิธีการจำแนกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ต่างๆด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ในกลุ่มของหวาน

1.การจำแนกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ในด้านรสชาติ

1.หาค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ($\bar{x}$)

จาก $\bar{x} = \frac{\text{คะแนนของตัวอย่าง}}{\text{จำนวนผู้ทดสอบชิม}}$

ผลิตภัณฑ์	สภาวะที่ 4	ผลิตภัณฑ์ A	ผลิตภัณฑ์ B	กะทิสด	สภาวะที่ 11
คะแนน	111	118	136	113	94
ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	5.55	5.90	6.80	5.65	4.70

2.เรียงลำดับจากค่าเฉลี่ยที่มีมากไปสู่ค่าเฉลี่ยที่มีค่าน้อย

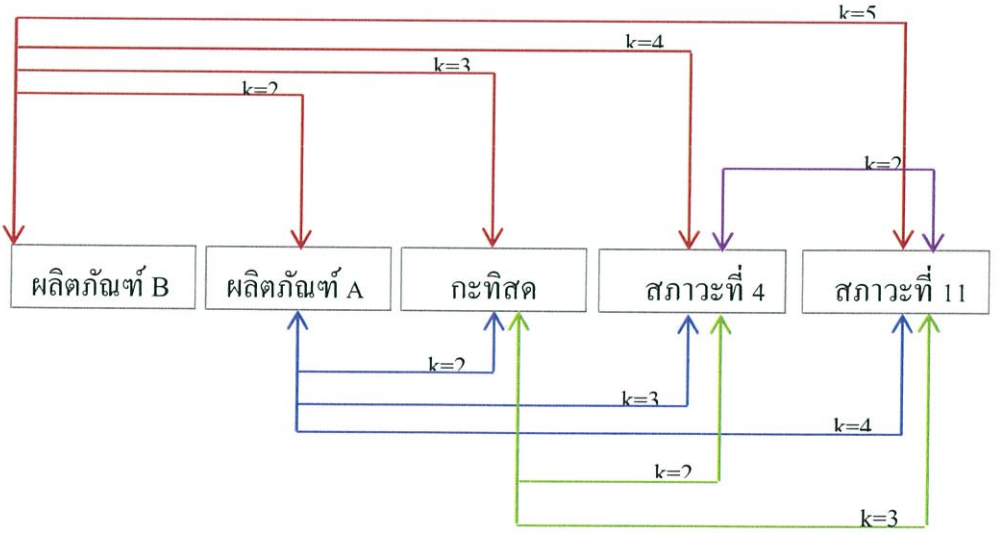
ผลิตภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์ B	ผลิตภัณฑ์ A	กะทิสด	สภาวะที่ 4	สภาวะที่ 11
ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	6.80	5.90	5.65	5.55	4.70

3.คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (SEM)

จาก $SEM = \sqrt{\frac{MS_{error}}{\text{จำนวนผู้ทดสอบชิม}}}$

แทนค่า $SEM = \sqrt{\frac{1.9124}{20}} = 0.3092$

4.เรียงค่าตามลำดับ k-value



5.ใช้ความห่าง (k) เป็นฐานในการเลือกค่าที่ได้รับจากภาคผนวก โดยที่ n=76 (df=76)

	k=2	k=3	k=4	k=5
r_k	2.818	2.968	3.068	3.132
R_k,[r_k][SEM}	0.8713	0.9177	0.9486	0.9684

6.เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างและค่า R_k

ผลิตภัณฑ์ B – สภาวะที่ 11	= 6.80-4.70	=	2.10	>	0.9684 (k=5)
ผลิตภัณฑ์ B – สภาวะที่ 4 (k=4)	= 6.80-5.55	=	1.25	>	0.9486
ผลิตภัณฑ์ B – กะทิสด	= 6.80-5.65	=	1.15	>	0.9177 (k=3)
ผลิตภัณฑ์ B – ผลิตภัณฑ์ A	= 6.80-5.90	=	0.90	>	0.8713 (k=2)
ผลิตภัณฑ์ A – สภาวะที่ 11	= 5.90-4.70	=	1.20	>	0.9486 (k=4)
ผลิตภัณฑ์ A – สภาวะที่ 4	= 5.90-5.55	=	0.35	<	0.9177 (k=3)
ผลิตภัณฑ์ A – กะทิสด	= 5.90-5.65	=	0.25	<	0.8713 (k=2)
กะทิสด – สภาวะที่ 11	= 5.65-4.70	=	0.95	>	0.9177 (k=3)
กะทิสด – สภาวะที่ 4	= 5.65-5.55	=	0.10	<	0.8713 (k=2)
สภาวะที่ 4 – สภาวะที่ 11 (k=2)	= 5.55-4.70	=	0.85	<	0.8713

คู่ที่มีผลของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่มีค่ามากกว่าค่า R_k จะแสดงว่าตัวอย่างคู่ดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ ส่วนคู่ที่มีผลของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างน้อยกว่าค่า R_k จะแสดงว่าตัวอย่างคู่ดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ

7.ผลของการวิเคราะห์

ผลิตภัณฑ์ B	ผลิตภัณฑ์ A	กะทิสด	สภาวะที่ 4	สภาวะที่ 11

หรือเขียนอยู่ในรูปรหัสของกลุ่ม

ผลิตภัณฑ์ B[a]	ผลิตภัณฑ์ A[b]	กะทิสด[bc]	สภาวะที่ 4[bc]	สภาวะที่ 11[d]

2.การจำแนกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ในด้านความชอบโดยรวม

1.หาค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ($\bar{x}$)

จาก $\bar{x} = \frac{\text{คะแนนของตัวอย่าง}}{\text{จำนวนผู้ทดสอบชิม}}$

ผลิตภัณฑ์	สภาวะที่ 4	ผลิตภัณฑ์ A	ผลิตภัณฑ์ B	กะทิสด	สภาวะที่ 11
คะแนน	123	137.5	140.5	131	118.5
ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	6.15	6.88	7.03	6.55	5.93

2.เรียงลำดับจากค่าเฉลี่ยที่มีมากไปสู่ค่าเฉลี่ยที่มีค่าน้อย

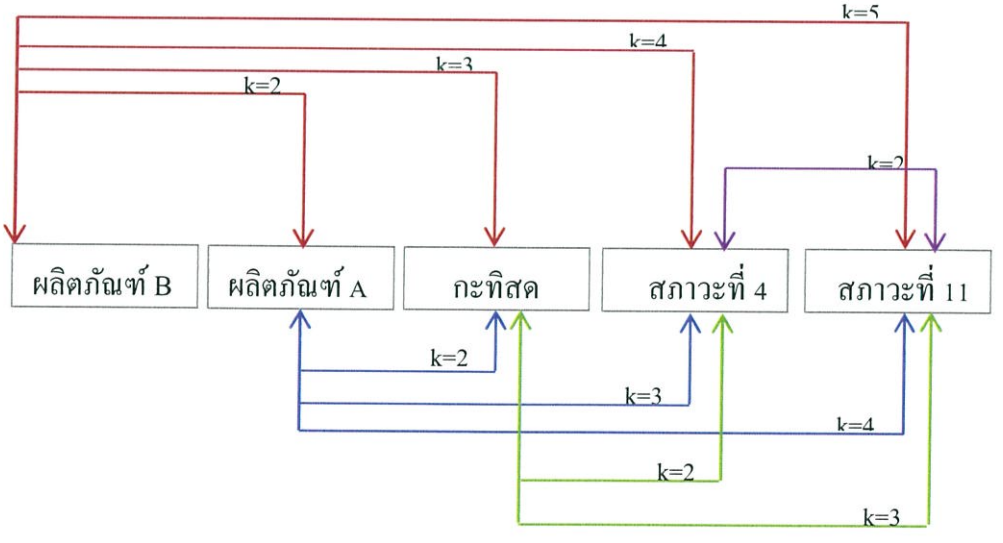
ผลิตภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์ B	ผลิตภัณฑ์ A	กะทิสด	สภาวะที่ 4	สภาวะที่ 11
ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	7.03	6.88	6.55	6.15	5.93

3.คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (SEM)

จาก $SEM = \sqrt{\frac{MS_{error}}{\text{จำนวนผู้ทดสอบชิม}}}$

แทนค่า $SEM = \sqrt{\frac{0.9640}{20}} = 0.2195$

4.เรียงค่าตามลำดับ k-value



5.ใช้ความห่าง (k) เป็นฐานในการเลือกค่าที่ได้รับจากภาคผนวก โดยที่ n=76 (df=76)

	k=2	k=3	k=4	k=5
r_k	2.818	2.968	3.068	3.132
R_k,[r_k][SEM}	0.6186	0.6515	0.6734	0.6875

6.เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างและค่า R_k

ผลิตภัณฑ์ B – สภาวะที่ 11	= 7.03-5.93	=	1.10	>	0.6875 (k=5)
ผลิตภัณฑ์ B – สภาวะที่ 4 (k=4)	= 7.03-6.15	=	0.88	>	0. 6734
ผลิตภัณฑ์ B – กะทิสด	= 7.03-6.55	=	0.48	<	0.6515 (k=3)
ผลิตภัณฑ์ B – ผลิตภัณฑ์ A	= 7.03-6.88	=	0.15	<	0.6185 (k=2)
ผลิตภัณฑ์ A – สภาวะที่ 11	= 6.88-5.93	=	0.95	>	0. 6734(k=4)
ผลิตภัณฑ์ A – สภาวะที่ 4	= 6.88-6.15	=	0.73	>	0.6515 (k=3)
ผลิตภัณฑ์ A – กะทิสด	= 6.88-6.55	=	0.33	<	0.6185 (k=2)
กะทิสด – สภาวะที่ 11	= 6.55-5.93	=	0.62	<	0.6515 (k=3)
กะทิสด – สภาวะที่ 4	= 6.55-6.15	=	0.40	<	0.6185 (k=2)
สภาวะที่ 4 – สภาวะที่ 11 (k=2)	= 6.15-5.93	=	0.22	<	0.6185

คู่ที่มีผลของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่มีค่ามากกว่าค่า R_k จะแสดงว่าตัวอย่างคู่ดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ ส่วนคู่ที่มีผลของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่างน้อยกว่าค่า R_k จะแสดงว่าตัวอย่างคู่ดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ

7.ผลของการวิเคราะห์



หรือเขียนอยู่ในรูปรหัสของกลุ่ม

ผลิตภัณฑ์ B^{a} ผลิตภัณฑ์ A^{ab} กะทิสด^{abc} สภาวะที่ 4^{cd} สภาวะที่ 11^{cd}

ตาราง ญ.1 Significant ranges for Duncan's multiple range test ที่ระดับร้อยละ 5

k / n1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	50	100
1	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
2	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09
3	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
4	3.93	4.01	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02
5	3.64	3.74	3.79	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83
6	3.46	3.58	3.64	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68
7	3.35	3.47	3.54	3.58	3.60	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61
8	3.26	3.39	3.47	3.52	3.55	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56
9	3.20	3.34	3.41	3.47	3.50	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52
10	3.15	3.30	3.37	3.43	3.46	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.48	3.48	3.48
11	3.11	3.27	3.35	3.39	3.43	3.44	3.45	3.45	3.46	3.46	3.46	3.46	3.47	3.48	3.48	3.48
12	3.08	3.23	3.33	3.36	3.40	3.42	3.44	3.44	3.46	3.46	3.46	3.46	3.47	3.48	3.48	3.48
13	3.06	3.21	3.30	3.36	3.38	3.41	3.42	3.44	3.46	3.46	3.46	3.46	3.47	3.47	3.47	3.47
14	3.03	3.18	3.27	3.33	3.37	3.39	3.41	3.42	3.44	3.46	3.46	3.46	3.47	3.47	3.47	3.47
15	3.01	3.16	3.25	3.31	3.36	3.38	3.40	3.42	3.43	3.44	3.46	3.46	3.47	3.47	3.47	3.47
16	3.00	3.15	3.23	3.30	3.34	3.37	3.39	3.41	3.43	3.44	3.46	3.46	3.47	3.47	3.47	3.47
17	2.98	3.13	3.22	3.28	3.33	3.36	3.38	3.40	3.42	3.44	3.46	3.46	3.47	3.47	3.47	3.47
18	2.97	3.12	3.21	3.27	3.32	3.36	3.37	3.39	3.41	3.43	3.46	3.46	3.47	3.47	3.47	3.47
19	2.96	3.00	3.19	3.26	3.31	3.36	3.37	3.39	3.41	3.43	3.46	3.46	3.47	3.47	3.47	3.47
20	2.96	3.10	3.18	3.25	3.30	3.34	3.36	3.38	3.40	3.43	3.44	3.46	3.46	3.47	3.47	3.47
22	2.93	3.08	3.17	3.24	3.29	3.32	3.36	3.37	3.39	3.42	3.44	3.46	3.46	3.47	3.47	3.47
24	2.92	3.07	3.15	3.22	3.28	3.31	3.34	3.37	3.38	3.41	3.44	3.46	3.46	3.47	3.47	3.47
26	2.91	3.06	3.14	3.21	3.27	3.30	3.34	3.36	3.38	3.41	3.43	3.46	3.46	3.47	3.47	3.47
28	2.90	3.04	3.13	3.20	3.25	3.30	3.33	3.35	3.37	3.40	3.43	3.46	3.46	3.47	3.47	3.47
30	2.89	3.04	3.12	3.20	3.25	3.29	3.32	3.35	3.37	3.40	3.43	3.44	3.46	3.47	3.47	3.47
40	2.86	3.01	3.10	3.17	3.22	3.27	3.30	3.33	3.35	3.39	3.42	3.44	3.46	3.47	3.47	3.47
60	2.83	2.98	3.08	3.14	3.20	3.24	3.28	3.31	3.33	3.37	3.40	3.43	3.45	3.47	3.48	3.48
100	2.80	2.95	3.05	3.12	3.18	3.22	3.26	3.29	3.32	3.36	3.40	3.42	3.45	3.47	3.53	3.53
α	2.77	2.92	3.02	3.09	3.16	3.19	3.23	3.26	3.29	3.34	3.38	3.41	3.44	3.47	3.61	3.67

* Using special protection levels based on degree of freedom

ภาคผนวก ฎ. การวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกะทิผงสำเร็จรูป (อาหารคาว)

ตาราง ฎ.1 คะแนนค่าสีของการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารคาว

ผู้ทดสอบคนที่ (Panelists)	ผลิตภัณฑ์ (Samples)				รวม
	สภาวะที่ 4	ผลิตภัณฑ์A	ผลิตภัณฑ์B	กะทิสด	
1	5	5	5	8	23
2	8	7	6	5	26
3	9	7	8	6	30
4	9	8	7	6	30
5	5	6	7	8	26
6	9	8	8	6	31
7	7	3	7	4	21
8	8	8	7	6	29
9	8	7	8	8	31
10	9	9	8	7	33
11	6	6	5	5	22
12	7	8	7	7	29
13	9	9	9	7	34
14	5	7	8	6	26
15	7	7	6	6	26
16	7	6	6	4	23
17	8	9	7	8	32
18	5	5	5	5	20
19	6	4	4	8	22
20	6	6	6	8	26
รวม	143	135	134	128	540
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.4965	1.6504	1.3018	1.3534	4.2302
ค่าเฉลี่ย	7.15	6.75	6.70	6.40	270

ตาราง ฎ.2 คะแนนค่ากลิ่นของการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารคาว

ผู้ทดสอบคนที่ (Panelists)	ผลิตภัณฑ์ (Samples)				รวม
	สภาวะที่ 4	ผลิตภัณฑ์A	ผลิตภัณฑ์B	กะทิสด	
1	7	5	4	7	23
2	7	6	5	8	26
3	9	6	8	7	30
4	7	8	9	6	30
5	7	6	6	8	27
6	9	7	7	5	28
7	6	6	7	7	26
8	9	9	9	8	35
9	7	6	8	9	30
10	9	7	7	5	28
11	8	8	7	6	29
12	6	7	7	8	28
13	8	8	9	8	33
14	4	6	8	6	24
15	7	6	7	6	26
16	7	7	6	4	24
17	7	7	7	9	30
18	8	9	8	7	32
19	6	5	4	8	23
20	5	7	7	7	26
รวม	143	136	140	139	558
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.3485	1.1517	1.4501	1.3563	3.2911
ค่าเฉลี่ย	7.15	6.80	7.00	6.95	27.90

ตาราง ฎ.3 คะแนนค่ารสชาติของการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารคาว

ผู้ทดสอบคนที่ (Panelists)	ผลิตภัณฑ์ (Samples)				รวม
	สภาวะที่ 4	ผลิตภัณฑ์A	ผลิตภัณฑ์B	กะทิสด	
1	7	6	4	6	23
2	7	5	4	6	22
3	6	8	9	7	30
4	6	5	7	5	23
5	7	6	6	8	27
6	5	6	7	6	24
7	7	4	5	4	20
8	8	8	7	7	30
9	7	8	7	8	30
10	9	5	6	6	26
11	6	8	7	6	27
12	6	8	6	8	28
13	3	4	5	4	16
14	6	5	7	8	26
15	6	6	7	6	25
16	5	5	7	5	22
17	7	7	7	7	28
18	7	8	7	5	27
19	6	5	5	7	23
20	5	7	6	7	25
รวม	126	124	126	126	502
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.2607	1.4364	1.2183	1.2607	3.5821
ค่าเฉลี่ย	6.30	6.20	6.30	6.30	25.10

ตาราง ฎ.4 คะแนนค่าเนื้อสัมผัสของการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารคาว

ผู้ทดสอบคนที่ (Panelists)	ผลิตภัณฑ์ (Samples)				รวม
	สภาวะที่ 4	ผลิตภัณฑ์A	ผลิตภัณฑ์B	กะทิสด	
1	7	4	3	5	19
2	7	5	4	6	22
3	7	8	9	6	30
4	6	4	8	4	22
5	7	5	5	6	23
6	7	4	7	7	25
7	8	3	5	2	18
8	8	7	7	7	29
9	7	8	8	8	31
10	9	4	6	7	26
11	8	8	8	6	30
12	7	7	6	6	26
13	5	5	6	7	23
14	5	6	6	8	25
15	7	6	6	6	25
16	5	5	5	6	21
17	6	6	6	4	22
18	5	5	5	5	20
19	5	4	5	8	22
20	6	7	6	8	27
รวม	132	111	121	122	486
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.1877	1.5381	1.4681	1.5526	3.7571
ค่าเฉลี่ย	6.60	5.55	6.05	6.10	24.30

ตาราง ฎ.5 คะแนนค่าลักษณะปรากฏของการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารคาว

ผู้ทดสอบคนที่ (Panelists)	ผลิตภัณฑ์ (Samples)				รวม
	สภาวะที่ 4	ผลิตภัณฑ์A	ผลิตภัณฑ์B	กะทิสด	
1	6	4	6	7	23
2	8	6	7	5	26
3	8	7	9	6	30
4	8	9	7	5	29
5	7	6	6	8	27
6	8	5	8	7	28
7	8	5	5	5	23
8	8	7	7	7	29
9	8	8	8	8	32
10	9	8	8	7	32
11	7	7	7	6	27
12	7	6	6	7	26
13	7	7	8	6	28
14	6	6	8	7	27
15	7	6	6	6	25
16	6	6	7	5	24
17	6	7	7	6	26
18	5	5	5	5	20
19	6	4	4	7	21
20	6	7	6	7	26
รวม	141	126	135	127	529
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.0501	1.3018	1.25131	0.9881	3.2196
ค่าเฉลี่ย	7.05	6.30	6.75	6.35	26.45

ตาราง ฎ.6 คะแนนค่าความชอบโดยรวมของการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารคาว

ผู้ทดสอบคนที่ (Panelists)	ผลิตภัณฑ์ (Samples)				รวม
	สภาวะที่ 11	ผลิตภัณฑ์ A	ผลิตภัณฑ์ B	กะทิสด	
1	7	5	6	6	24
2	8	7	6	5	26
3	8	7	9	6	30
4	6	7	8	5	26
5	7	6	6	8	27
6	7	6	8	8	29
7	7	4	6	4	21
8	9	8	7	7	31
9	7	7.5	8	8.5	31
10	9	7	7	7	30
11	7	8	7	6	28
12	6	7	6	7	26
13	6	6	8	7	27
14	6	6	8	7	27
15	7	6	6	6	25
16	6	7	6	6	25
17	7	8	7	8	30
18	7	8	7	6	28
19	6	4	4	8	22
20	6	7	6	8	27
รวม	139	131.5	136	133.5	540
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.9445	1.2061	1.1517	1.2169	2.7720
ค่าเฉลี่ย	6.95	6.58	6.80	6.68	27.00

ภาคผนวก ฏ. ตาราง ANOVA คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกะทิผงสำเร็จรูป (อาหารคาว)

ตารางที่ ฏ.1 ค่าสี

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Panelists	85	19	4.4736842	3.3420708	0.0002195	1.7719718
Samples	5.7	3	1.9	1.4193971	0.2465143	2.7664379
Error	76.3	57	1.3385965			
Total	167	79				

ตารางที่ ฏ.2 ค่ากลิ่น

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Panelists	51.45	19	2.7078947	1.8540541	0.0379384	1.7719718
Samples	1.25	3	0.4166667	0.2852853	0.8358186	2.7664379
Error	83.25	57	1.4605263			
Total	135.95	79				

ตารางที่ ฏ.3 ค่ารสชาติ

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Panelists	60.95	19	3.2078947	2.7352281	0.0017718	1.7719718
Samples	0.15	3	0.05	0.0426328	0.9881613	2.7664379
Error	66.85	57	1.172807			
Total	127.95	79				

ตารางที่ ฏ.4 ค่าเนื้อสัมผัส

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Panelists	67.05	19	3.5289474	2.1995626	0.0115404	1.7719718
Samples	11.05	3	3.6833333	2.29579	0.0873994	2.7664379
Error	91.45	57	1.604386			
Total	169.55	79				

ตารางที่ ฏ.5 ค่าลักษณะปรากฏ

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Panelists	49.2375	19	2.5914474	2.8290639	0.0012779	1.7719718
Samples	7.5375	3	2.5125	2.7428777	0.0514142	2.7664379
Error	52.2125	57	0.9160088			
Total	108.9875	79				

ตารางที่ ฏ.6 ค่าความชอบโดยรวม

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Panelists	36.5	19	1.9210526	1.7826618	0.0482443	1.7719718
Samples	1.575	3	0.525	0.4871795	0.6925422	2.7664379
Error	61.425	57	1.0776316			
Total	99.5	79				

ภาคผนวก ฐ. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กะทิผงสำเร็จรูปที่สภาวะที่ 4

ตาราง ฐ.1 ความสามารถในการละลายโดยวิธีการเหวี่ยงแยก

No.	ซ้ำ	ภาชนะ (g)	ก่อน (g)	หลังอบ (รวม) (g)	หลัง (g)	MC wb (%)	Total Solid (%)	ส่วนใส (g)	ส่วนข้น (g)	TS เทียบน้ำหนักทั้งหมด (g)	MC (%,wb)	TS เทียบผงที่ได้ (g)	Solubility(%)	ค่าเฉลี่ย
4	ซ้ำ1	10.46	3.07	10.60	0.14	95.55	4.45	42.24	11.13	1.88	1.52	4.92	38.16	35.70
	ซ้ำ2	12.43	3.07	12.56	0.13	95.87	4.13	38.09	14.76	1.57	1.52	4.92	31.98	
	ซ้ำ3	12.78	3.05	12.89	0.12	96.16	3.84	47.34	6.54	1.82	1.52	4.92	36.95	

ตาราง ฐ.2 ความสามารถในการกระจายตัว

No.	ซ้ำ	ภาชนะ (g)	ก่อน (g)	หลังอบ (รวม) (g)	หลัง (g)	MC wb (%)	Total Solid (%)	ส่วนที่ผ่านกรอง (g)	ส่วนที่ติด sieve (g)	TS เทียบน้ำหนักทั้งหมด (g)	MC (%,wb)	TS เทียบผงที่ได้ (g)	Dispersibility Index (%)	ค่าเฉลี่ย
4	ซ้ำ1	12.68	3.05	12.77	0.09	96.98	3.02	101.69	3.31	3.07	1.52	4.92	62.27	64.72
	ซ้ำ2	12.95	3.04	13.05	0.10	96.72	3.28	100.16	4.84	3.29	1.52	4.92	66.74	
	ซ้ำ3	12.96	3.09	13.06	0.10	96.77	3.23	99.22	5.78	3.21	1.52	4.92	65.16	

ภาคผนวก ฑ. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิสำเร็จรูป (มอก.582-2528)
(ฐานข้อมูลสถาบันอาหาร)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ชนิด คุณลักษณะที่ต้องการ วัตถุเจือปนอาหาร สารปนเปื้อน สุขลักษณะ ภาชนะบรรจุ ปริมาณ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการตรวจสอบและการวิเคราะห์กะทิสำเร็จรูป

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะกะทิสำเร็จรูปชนิดพาสเจอร์ไรซ์และชนิดสเตอริไลซ์

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 กะทิสำ เร็จรูป หมายถึง ของเหลวที่ได้จากการคั้นหรือบีบเนื้อของผลมะพร้าวห้าว ซึ่งมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า โคคอส นูซิเฟอรา ลินน์. (Cocos nucifera Linn.) แล้วผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อนเพื่อให้เก็บรักษาไว้ได้

2.2 สิ่งแปลกปลอม (foreign matter) หมายถึง วัตถุอื่นใดที่ปนเข้ามาในผลิตภัณฑ์ เช่น เส้นผม เศษดิน กรวด ทราย เป็นต้น

2.3 กะทิสำเร็จรูปชนิดพาสเจอร์ไรซ์ หมายถึง กะทิสำเร็จรูปที่ผ่านการใช้ความร้อนทำลายเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้อุณหภูมิสูงแต่ไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส และทำ ให้ผลิตภัณฑ์ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

2.4 กะทิสำเร็จรูปชนิดสเตอริไลซ์หมายถึงกะทิสำเร็จรูปที่ผ่านการใช้ความร้อนทำลายเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียสซึ่งสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์และสปอร์ที่จะทำให้อาหารเน่าเสียในระหว่างการเก็บครอบคลุมถึงการฆ่าเชื้อแบบยูเอชทีด้วย

3. ชนิด

3.1 กะทิสำเร็จรูปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

3.1.1 ชนิดพาสเจอร์ไรซ์

3.1.2 ชนิดสเตอริไลซ์

4. คุณลักษณะที่ต้องการ

4.1 ลักษณะทั่วไป

เป็นของเหลว ทึบแสง ปราศจากสิ่งแปลกปลอม ไม่มีกลิ่นหืน และกลิ่นน่ารังเกียจอื่นใดเมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนนแล้ว ต้องมีคะแนนของสีไม่น้อยกว่า 4 คะแนน และคะแนนของกลิ่นไม่น้อยกว่า 4 คะแนน เว้นแต่ในกรณีของกะทิที่ทำจากมะพร้าวที่ไม่ขูดผิวดำออกให้มีคะแนนของสีไม่น้อยกว่า 2 คะแนน

4.2 คุณลักษณะทางเคมี

ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางเคมีของกะทิสำเร็จรูป (ข้อ 4.2)

รายการที่	คุณลักษณะที่ต้องการ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีวิเคราะห์ตาม
1	ไขมัน ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	18	AOAC (1980) ข้อ 16.059
2	กรดไขมันอิสระ (ตามคำนวณเป็นกรดรอลิก) ร้อยละไม่เกิน	0.3	AOAC (1980) ข้อ 16.023
3	ความเป็นกรด-ด่าง	5.5 ถึง 6.5	ข้อ 12.2
4	ของแข็งทั้งหมด ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	22	AOAC (1980) ข้อ 16.032

5. วัตถุเจือปนอาหาร

ให้ใช้วัตถุเจือปนอาหารได้ตามชนิดและปริมาณที่กำหนดดังนี้

5.1 วัตถุกันเสีย

กะทิสำเร็จรูปชนิดสเตอริไลซ์ ห้ามใช้วัตถุกันเสียทุกชนิด

กะทิสำเร็จรูปชนิดพาสเจอร์ไรซ์ ให้ใช้วัตถุกันเสียดังต่อไปนี้อย่างใดอย่างหนึ่งหรือผสมกันได้ไม่เกิน 1 000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

5.1.1 กรดเบนโซอิกหรือเกลือเบนโซเอต(คำนวณเป็นกรดเบนโซอิก)

การวิเคราะห์ให้ปฏิบัติตาม AOAC (1980) ข้อ 20.021 ถึงข้อ 20.023

5.1.2 กรดซอร์บิกหรือเกลือซอร์เบต (คำ นวณเป็นกรดซอร์บิก)

การวิเคราะห์ให้ปฏิบัติตาม AOAC (1980) ข้อ 20.098 ถึงข้อ 20.100

5.1.3 เมทิลพาราไฮดรอกซีเบนโซเอต หรือโพรพิลพาราไฮดรอกซีเบนโซเอต

การวิเคราะห์ให้ปฏิบัติตาม The Chemical Analysis of Foods, 7th ec., David Pearson,J&A Churchill, London 1976 หน้า 36

5.2 สารกันการเกิดสีน้ำตาล

5.2.1 โซเดียมหรือโพแทสเซียมเมตาไฮโดรเจนซัลไฟต์ หรือโซเดียมหรือโพแทสเซียมไฮโดรเจนซัลไฟต์ ให้ใช้ได้ไม่เกิน 350 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อคำ นวณเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์

การวิเคราะห์ให้ปฏิบัติตาม AOAC (1980) ข้อ 20.106 ถึงข้อ 20.108

5.3 วัตถุกันหืน ในปริมาณที่เหมาะสม *

5.3.1 กรดแอล-อัสคอร์บิกหรือเกลืออัสคอร์เบต

5.3.2 แอลฟา-โตโคเฟอรอล

5.4 สารเสริมสารกันหืน ในปริมาณที่เหมาะสม*

5.4.1 กรดซิตริกหรือเกลือซิเตรต

5.5 สารทำ ให้คงตัว ในปริมาณที่เหมาะสม*

5.5.1 อัลจินหรืออัลจินิก หรือแอมโมเนียมอัลจิเนต หรือแคลเซียม หรือโพแทสเซียมหรือโซเดียม

อัลจิเนต หรือโพรพิลีนไกลคอลอัลจิเนต

5.5.2 กัม

5.5.3 เกลือแอมโมเนียมของฟอสฟอริเลเตดกลีเซอไรด์

หมายเหตุ * ในปริมาณที่เหมาะสม หมายถึง ในปริมารที่เหมาะสมตามกรรมวิธีการทำผลิตภัณฑ์ที่ถูกต้อง

6. สารปนเปื้อน

6.1 สารปนเปื้อนจะมีได้ไม่เกินเกณฑ์ที่กำ หนดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สารปนเปื้อน (ข้อ 6.1)

สารปนเปื้อน	เกณฑ์ที่กำหนด มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	วิธีวิเคราะห์ตาม
สารหนู	2	AOAC (1980) ข้อ 25.006 ถึงข้อ 25.011
ตะกั่ว	1	AOAC (1980) ข้อ 25.063 ถึงข้อ 25.067
ดีบุก	150	AOAC (1980) ข้อ 25.136 ถึงข้อ 25.138

7. สุขลักษณะ

7.1 สุขลักษณะในการทำ กะทิสำเร็จรูป ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดสุขลักษณะของอาหาร มาตรฐานเลขที่ มอก.34

7.2 กะทิสำเร็จรูปชนิดสเตอริไลซ์เมื่อนำกระป๋องไปอบเพาะเชื้อตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีวิเคราะห์อาหารทางจุลชีววิทยา เล่ม 1 อาหารกระป๋อง มาตรฐานเลขที่ มอก.335 เล่ม 1 สำ หรับอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำแล้ว กระป๋องต้องไม่บวม

7.3 กะทิสำเร็จรูปจะมีจุลินทรีย์ได้ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์ที่กำหนดทางจุลินทรีย์ (ข้อ 7.3)

ชนิดจุลินทรีย์	เกณฑ์ที่กำหนด		
	ชนิดพาสเจอร์ไรซ์	ชนิดสเตอริไลซ์	วิเคราะห์ตาม
จุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) โคโลนีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ไม่เกิน	20 000	ต้องไม่พบ	มอก.335 เล่ม 1
ซาลโมเนลลา (Salmonella)	ต้องไม่พบ	ต้องไม่พบ	มอก.335 เล่ม 1
สตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส			

(Staphylococcus aureus)	ต้องไม่พบ	ต้องไม่พบ	มอก.335 เล่ม 1
ราและยีสต์	ต้องไม่พบ	ต้องไม่พบ	มอก.335 เล่ม 1
โคลิฟอร์ม (Coliform) โดยวิธีเอ็มพีเอ็น			
ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร			AOAC (1980)
ของตัวอย่าง น้อยกว่า	3	3	ข้อ 46.016
คลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์			AOAC (1980)
(Clostridium perfringens)	ต้องไม่พบ	ต้องไม่พบ	ข้อ 46.031 ถึงข้อ
			46.036

8. ภาชนะบรรจุ

8.1 ภาชนะที่ใช้บรรจุกะทิสำเร็จรูปต้องสะอาด ไม่รั่วซึม ผิวภายในที่สัมผัสกับอาหารต้องไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารที่บรรจุ ถ้าภาชนะบรรจุเป็นกระป๋อง ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ภาชนะทำ ด้วยแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกสำ หรับบรรจุอาหาร : กระป๋อง กลมมาตรฐานเลขที่ มอก. 90

9. ปริมาณ

9.1 น้ำหนักสุทธิหรือปริมาตรสุทธิของกะทิสำเร็จรูปในแต่ละภาชนะบรรจุต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

10. เครื่องหมายและฉลาก

10.1 ที่ภาชนะบรรจุกะทิสำ เร็จรูปทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษรหรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) คำ ว่า "กะทิสำเร็จรูป"

(2) ชนิด

(3) ปริมาณไขมัน

(4) ชนิดและปริมาณวัตถุเจือปนอาหาร

(5) น้ำหนักสุทธิ เป็นกรัมหรือกิโลกรัม หรือปริมาตรสุทธิ เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร (ซม.3)

(6) วัน เดือน ปีที่หมดอายุสำ หรับชนิดพาสเจอร์ไรซ์ หรือวัน เดือน ปีที่ทำสำหรับชนิดสเตอริไลซ์

(7) ชื่อผู้ทำ หรือโรงงานที่ทำ หรือชื่อผู้จัดจำ หน่าย พร้อมสถานที่ตั้ง

(8) คำ แนะนำ ในการใช้และการเก็บรักษา

(9) ประเทศที่ทำ

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำ หนดไว้ข้างต้น

10.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

ภาคผนวก ฒ. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกะทิผง (มอก.583-2528)
(ฐานข้อมูลสถาบันอาหาร)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดคุณลักษณะที่ต้องการวัตถุเจือปนอาหารสารปนเปื้อน สุขลักษณะ ภาชนะบรรจุ ปริมาณ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการตรวจสอบและการวิเคราะห์กะทิผง

2. บทนิยาม

ความหมายของคำ ที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 กะทิผง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำ กะทิสดมาทำ ให้แห้งเป็นผงซึ่งเมื่อผสมน้ำแล้วสามารถนำไปใช้ได้ทันที

2.2 สิ่งแปลกปลอม (foreign matter) หมายถึง วัตถุอื่นใดที่ปนเข้ามาในผลิตภัณฑ์ เช่น เส้นผม เศษดิน กรวดทราย ชิ้นส่วนของแมลง เป็นต้น

3. คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป

มีลักษณะเป็นผงร่วน ปราศจากสิ่งแปลกปลอมใด ๆ

การตรวจสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC (1980)

3.2 สี กลิ่นรส และการละลาย

กะทิผงต้องมีสีและกลิ่นรสตามธรรมชาติของกะทิ และละลายได้ดีในน้ำ เมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนนแล้วต้องได้คะแนนของแต่ละสมบัติจากผู้ตรวจสอบทุกคนไม่น้อยกว่า 4 คะแนน

3.3 คุณลักษณะทางเคมี

ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางเคมีของกะทิผง (ข้อ 3.3)

รายการที่	คุณลักษณะที่ต้องการ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีวิเคราะห์ตาม
1	ไขมัน ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	60	AOAC (1980)
2	กรดไขมันอิสระ ไม่น้อยกว่า (ไนโตรเจนทั้งหมด x 6.25)	9	AOAC (1980)
3	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	2	AOAC (1980)
4	กรดไขมันอิสระ (คำนวณเป็นกรดลอริก)ร้อยละไม่เกิน	0.9	AOAC (1980)

4. วัตถุเจือปนอาหาร

หากมีการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กำหนดดังต่อไปนี้

4.1 วัตถุกันเสีย

ห้ามใช้วัตถุกันเสียทุกชนิด

การวิเคราะห์ให้ปฏิบัติตาม AOAC (1980)

4.2 สารกันหืน

4.2.1 บิวทิเลเตด ไฮดรอกซีอะนิโซล และบิวทิเลเตดไฮดรอกซีโทลูอีน อย่างใดอย่างหนึ่งหรือรวมกัน ต้องไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม

การวิเคราะห์ให้ปฏิบัติตาม IUPAC (1979) 2.622 : Determination of Butylated Hydroxyanisole and Butylated Hydroxytoluene

4.2.2 แอลฟา-โตโคเฟอรอล ให้ใช้ได้ในปริมาณที่เหมาะสมตามกรรมวิธีการผลิต

4.3 สารเสริมกันหืน ให้ใช้ได้ในปริมาณที่เหมาะสมตามกรรมวิธีการผลิต

4.3.1 กรดซิตริกหรือเกลือซิเตรต

4.4 สารอิมัลซิฟาย ให้ใช้ได้ในปริมาณที่เหมาะสมตามกรรมวิธีการผลิต

4.4.1 อัลจินหรือกรดอัลจินิก หรือแอมโมเนียมอัลจิเนตหรือแคลเซียม หรือโพแทสเซียม หรือโซเดียมอัลจิเนต หรือโพรพิลีน ไกลคอลอัลจิเนต

4.4.2 กัม

4.4.3 เกลือแอมโมเนียมของฟอสฟอริเลเตดกลีเซอไรด์

4.5 สารยึด (binder) ให้ใช้ได้ในปริมาณที่เหมาะสมตามกรรมวิธีการผลิต

4.5.1 โซเดียมเคซีเนต

4.5.2 นมผงขาดมันเนย (skimmed milk powder)

4.5.3 อื่น ๆ

5. สารปนเปื้อน

5.1 สารปนเปื้อน ให้มีได้ในปริมาณที่กำหนดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สารปนเปื้อน (ข้อ 5.1)

สารปนเปื้อน	เกณฑ์ที่กำหนด มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	วิธีวิเคราะห์ตาม
สารหนู	2	AOAC (1980)
ตะกั่ว	1	AOAC (1980)
ดีบุก	150	AOAC (1980)

6. สุขลักษณะ

6.1 สุขลักษณะในการทำ กะทิผง ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด สุขลักษณะของอาหาร มาตรฐานเลขที่ มอก.34

6.2 ชนิดและจำนวนจุลินทรีย์ที่มีในกะทิผง ต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์กำหนดทางจุลินทรีย์ (ข้อ 6.2)

ชนิดจุลินทรีย์	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีวิเคราะห์ตาม
จุลินทรีย์ทั้งหมด โคโลนีต่อกรัม ต้องไม่เกิน	1×10^4	มอก. 335 เล่ม 1 มอก. 335 เล่ม 1
ซาลโมเนลลา (Salmonella)	ต้องไม่พบ	มอก. 335 เล่ม 1
สตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส (Staphylococcus aureus)	ต้องไม่พบ	มอก. 335 เล่ม 1
ราและยีสต์ โคโลนีต่อกรัม ไม่เกิน	10	AOAC (1980)
โคลิฟอร์ม โดยวิธี เอ็ม พี เอ็น ต่อกรัมของตัวอย่าง	น้อยกว่า 3	AOAC (1980)
คลอสตริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (Clostridium perfringens)	ต้องไม่พบ	

หมายเหตุ มอก.335 เล่ม 1 หมายถึง มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีวิเคราะห์อาหารทางจุลชีววิทยา เล่ม 1 อาหารกระป๋อง

7. ภาชนะบรรจุ

7.1 ภาชนะบรรจุกะทิผงต้องสะอาด แห้ง ปิดได้สนิท และป้องกันความชื้นได้

8. ปริมาณ

8.1 น้ำหนักสุทธิของกะทิผง ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

9. เครื่องหมายและฉลาก

9.1 ที่ภาชนะบรรจุกะทิผงทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) คำ ว่า "กะทิผง"

(2) ชนิดและปริมาณวัตถุเจือปนอาหารที่ใช้ (ถ้ามี)

(3) น้ำหนักสุทธิ เป็นกรัมหรือกิโลกรัม

(4) วัน เดือน ปีที่ทำ

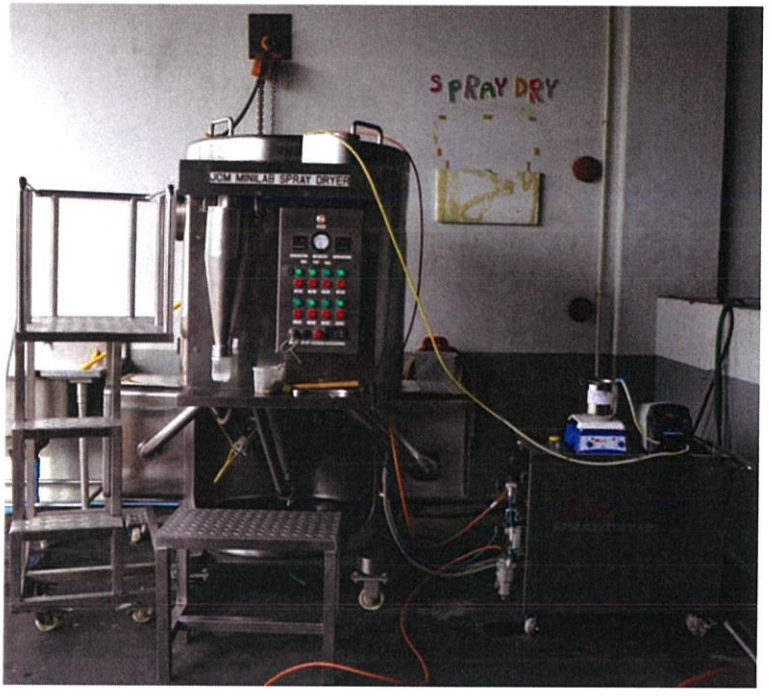
(5) ชื่อผู้ทำ หรือโรงงานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง

(6) วิธีใช้

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

9.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

ภาคผนวก ณ. ภาพเครื่องมือ อุปกรณ์ วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ในการทดลอง



รูปที่ ณ.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย อัตราการผลิต 10 กิโลกรัม/ชั่วโมง



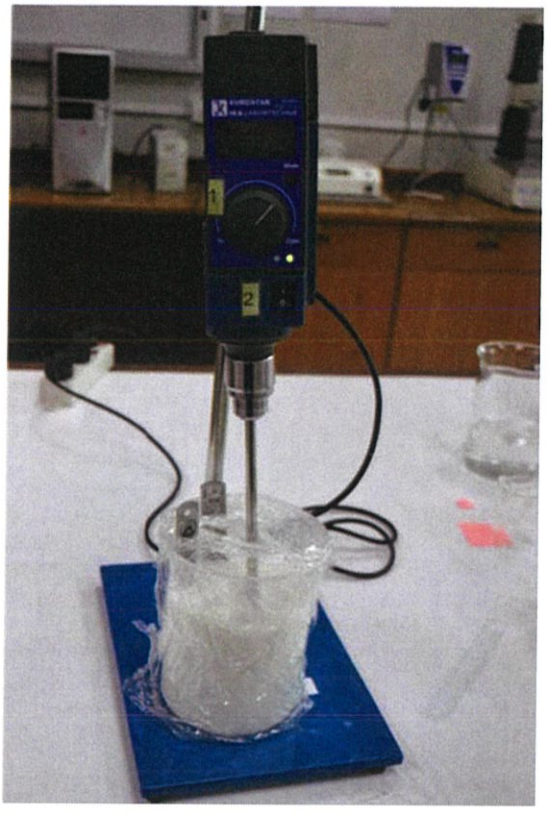
รูปที่ ณ.2 Atomizer ชนิด Two-fluid nozzle



รูปที่ ณ.3 เครื่องผสม Colloid Mill



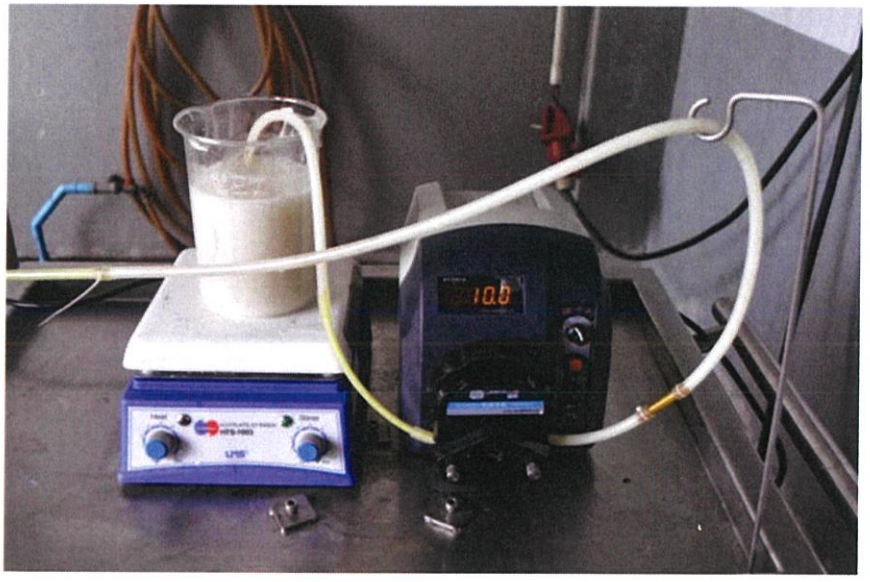
รูปที่ ณ.4 เครื่องปั่น (ยี่ห้อ Champ)



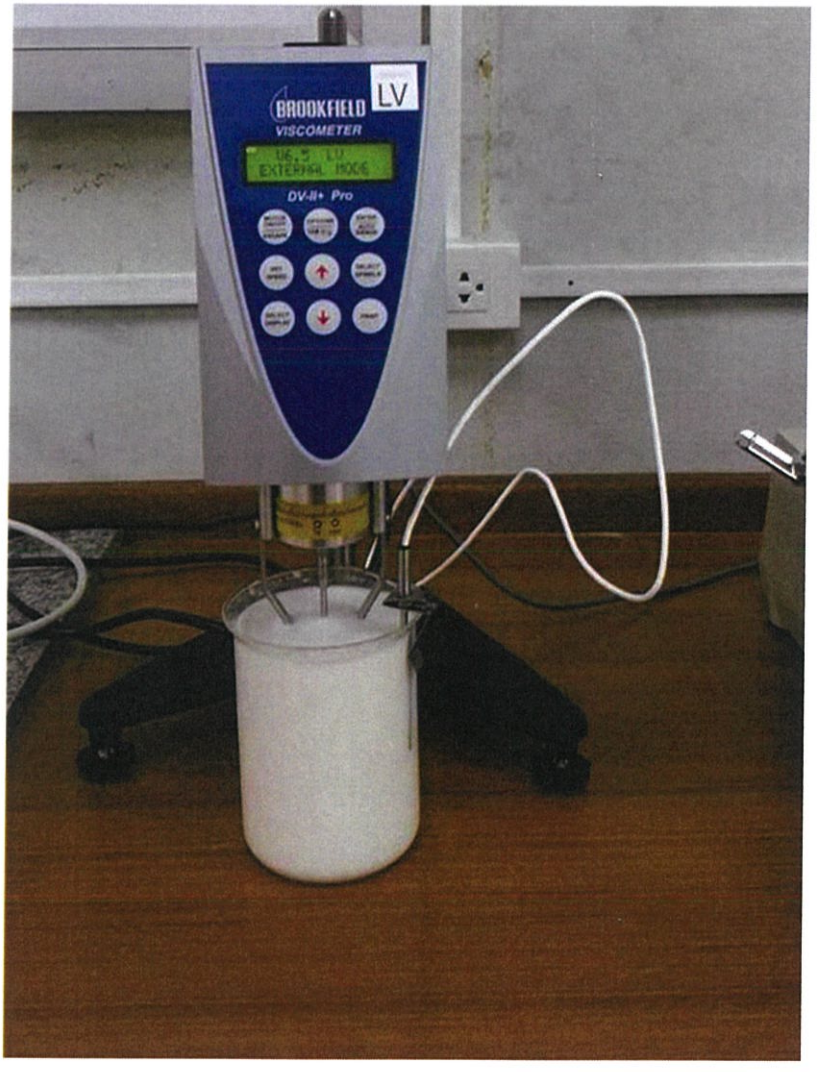
รูปที่ ณ.5 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (ยี่ห้อ Kika รุ่น EURO-ST PDV)



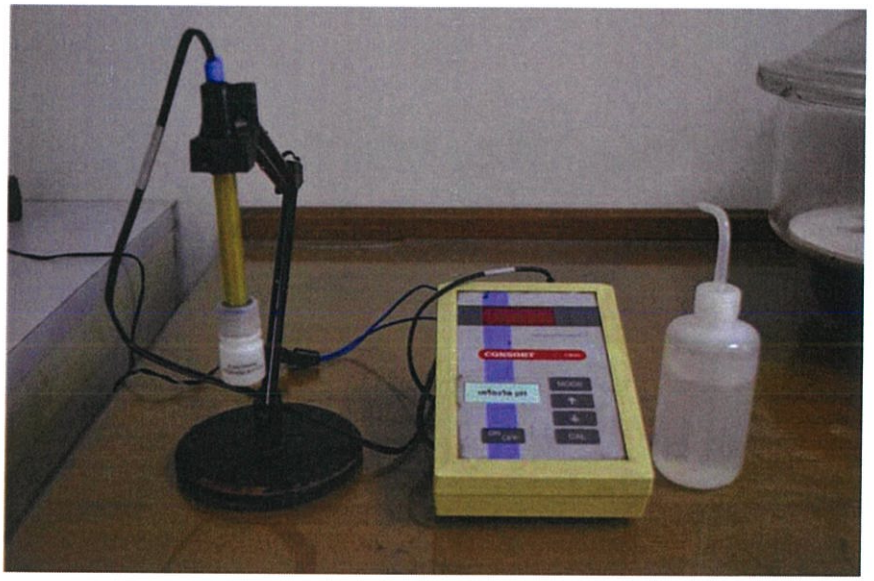
รูปที่ ณ.6 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (ยี่ห้อ Armfield รุ่น Multi-Purpose)



รูปที่ ณ.7 Magnetic Stirrer และ Hygienic Pump



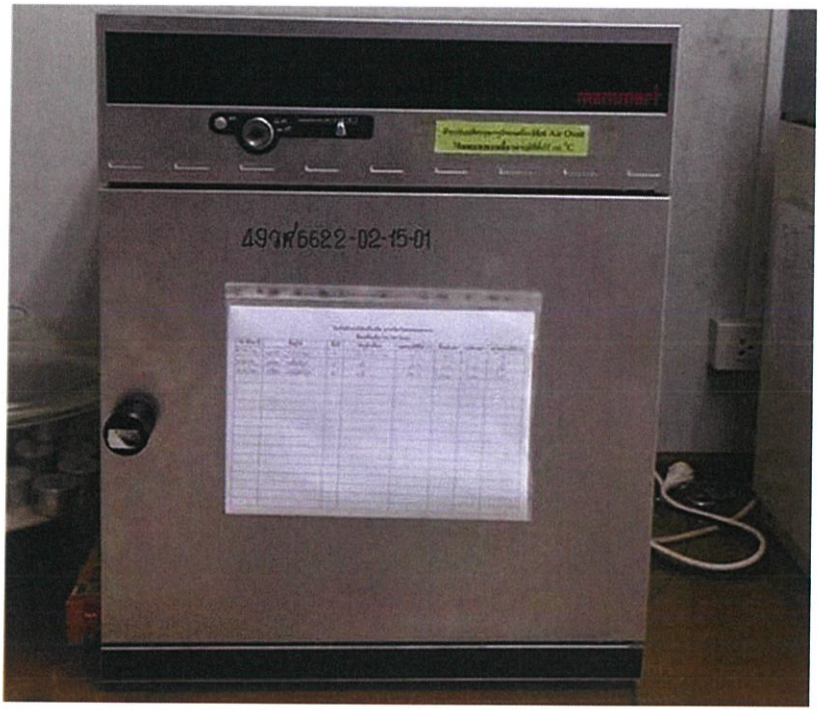
รูปที่ ณ.8 เครื่องวัดความหนืด (ยี่ห้อ Brookfield Viscometer รุ่น DV-|+ Pro)



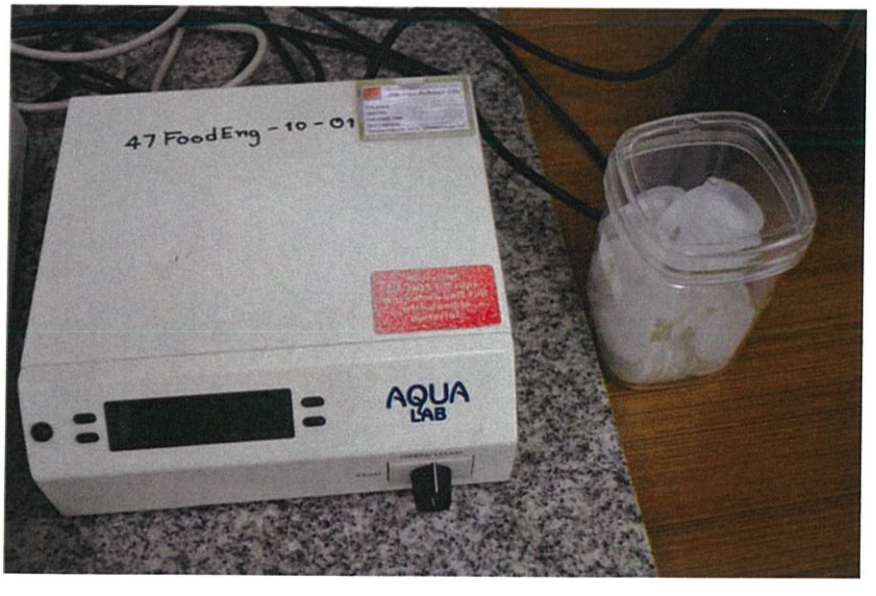
รูปที่ ณ.9 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (ยี่ห้อ CONSORT รุ่น CB30)



รูปที่ ณ.10 เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ Vacuum Oven (ยี่ห้อ MMM รุ่น vacuce11)



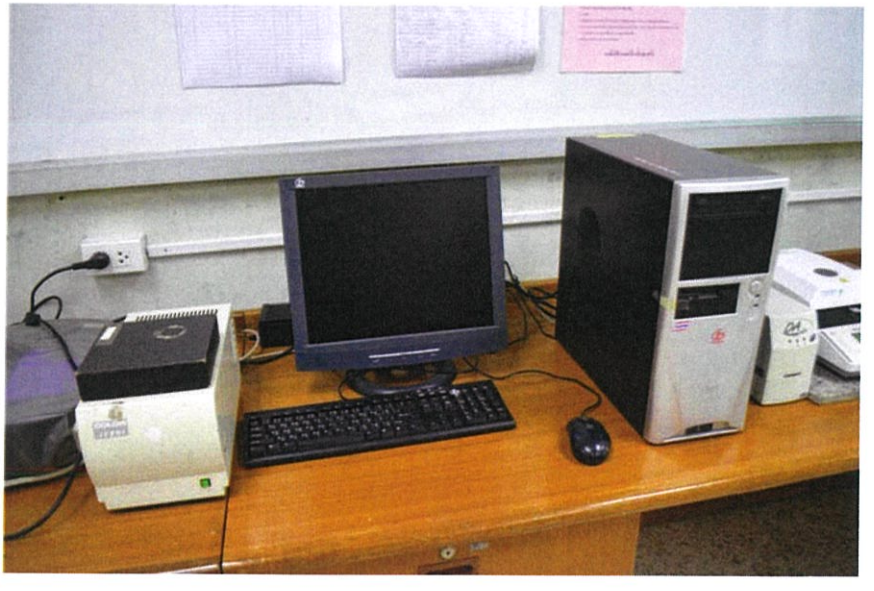
รูปที่ ณ.11 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน Hot Air Oven (ยี่ห้อ Memmert รุ่น UFB400)



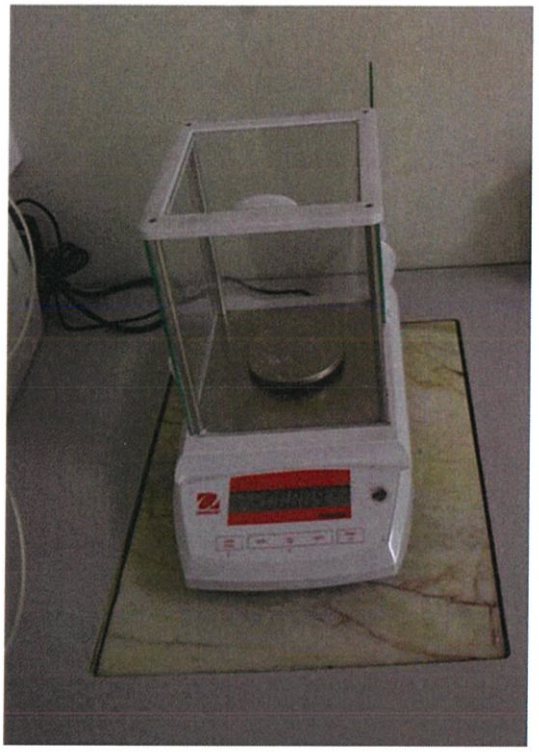
รูปที่ ณ.12 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ Water Activity Analyser (ยี่ห้อ AquaLab รุ่น Series 3TE)



รูปที่ ณ.13 เครื่องเหวี่ยงสารให้ตกตะกอน Centrifuge (ยี่ห้อ Hettich)



รูปที่ ณ.14 เครื่องวัดสี (รุ่น Color JC801)



รูปที่ ณ.15 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ OHAUS)



รูปที่ ณ.16 ขวดโหลสารละลาย NaCl สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับความชื้น



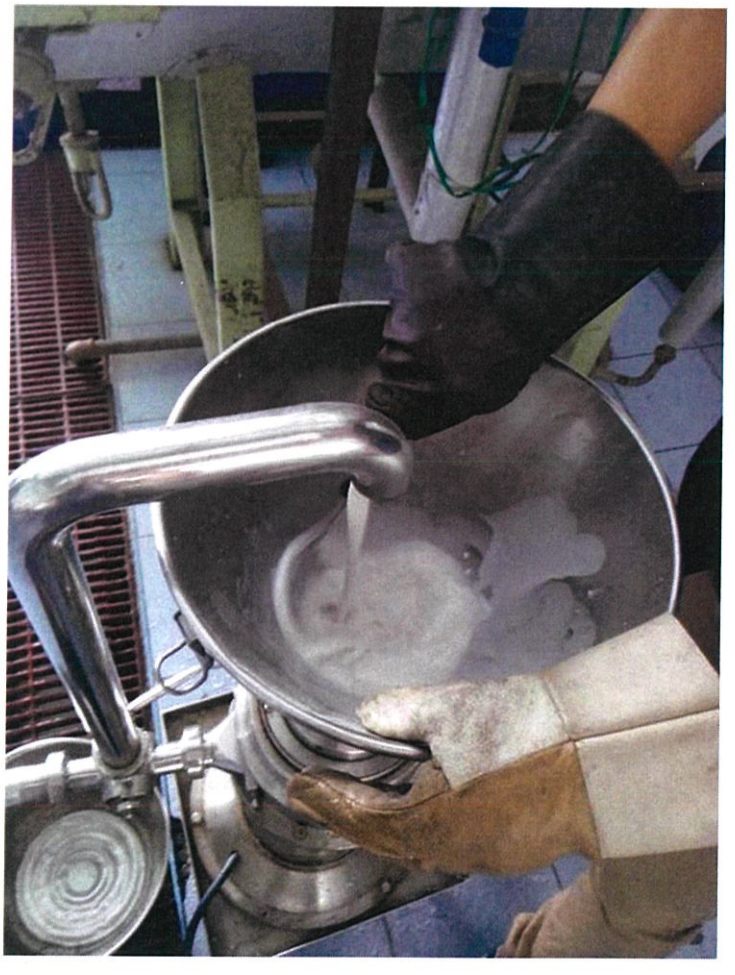
รูปที่ ณ.17 อุปกรณ์สำหรับการหาความหนาแน่นรวม



รูปที่ ณ.18 อุปกรณ์สำหรับการศึกษาความสามารถการไหล



รูปที่ ณ.19 อุปกรณ์สำหรับการศึกษาความสามารถในการละลาย



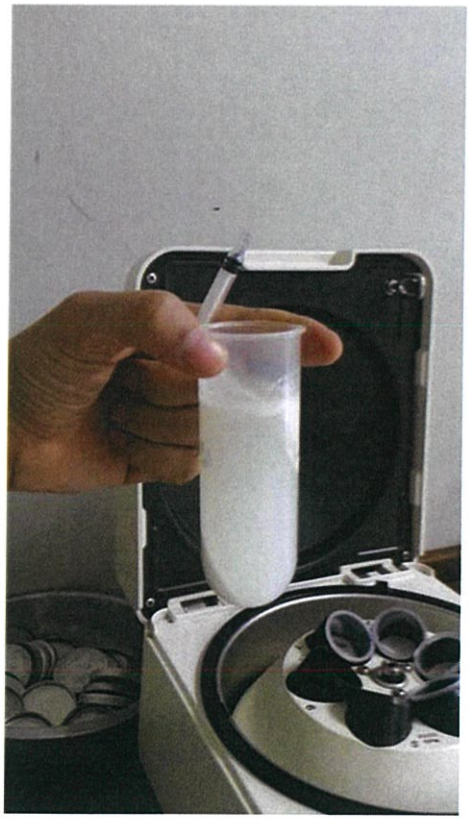
รูปที่ ณ.20 การผสมกะทิกับสารอิมัลซิไฟเออร์และสารช่วยทำแห้ง



รูปที่ ณ.21 ผลิตภัณฑ์กะทิผงที่สภาวะต่างๆ



รูปที่ ณ.22 อุปกรณ์เหวี่ยงแยกสำหรับการทดลองความสามารถในการละลาย



รูปที่ ณ.23 ตัวอย่างหลังผ่านการเหวี่ยงแยกแบ่งเป็นส่วนใสและส่วนข้น



รูปที่ ณ.24 การเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส



รูปที่ ณ.25 ชุดตัวอย่างอาหารคาวและขอหวานสำหรับผู้ทดสอบชิม 1 ท่าน



รูปที่ ณ.26 ผู้ทดสอบการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กะทิผง



รูปที่ ณ.27 ผู้ทดสอบการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กะทิผง



รูปที่ ณ.28 การทำงานระหว่างการทดลอง



รูปที่ ณ.29 การทำงานระหว่างการทดลอง



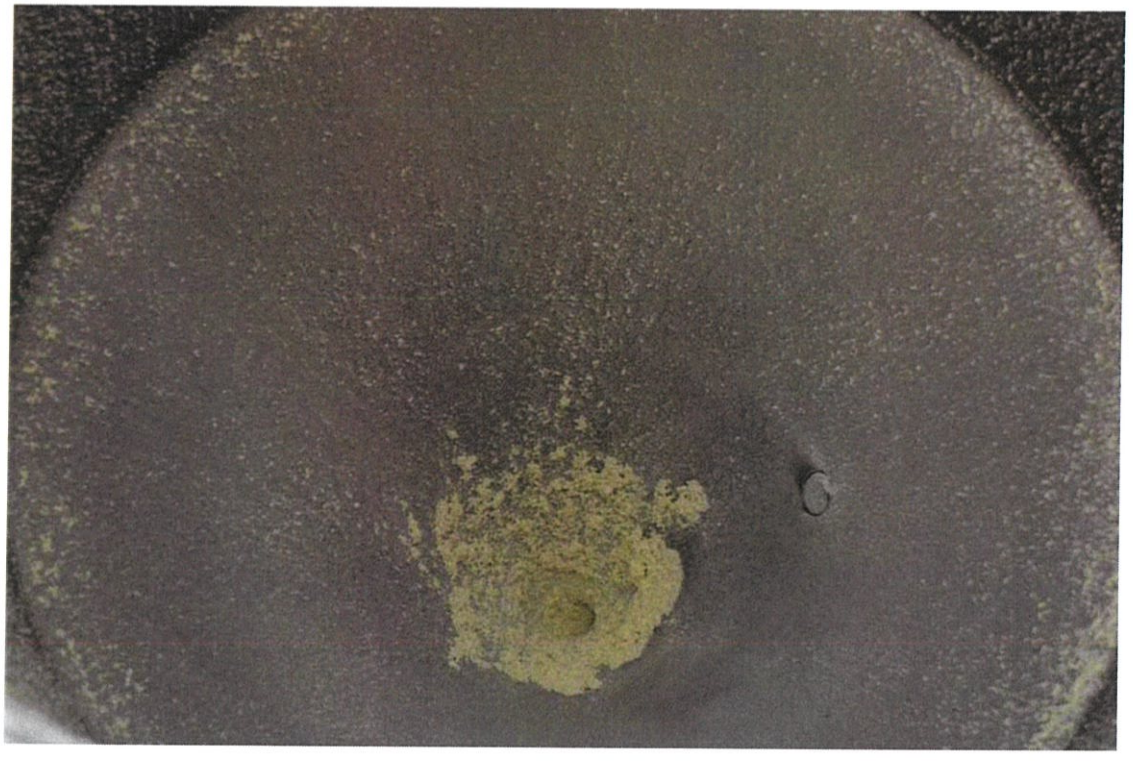
รูปที่ ณ.30 การเก็บผงตัวอย่างที่ติดอยู่ภายในห้องอบแห้ง



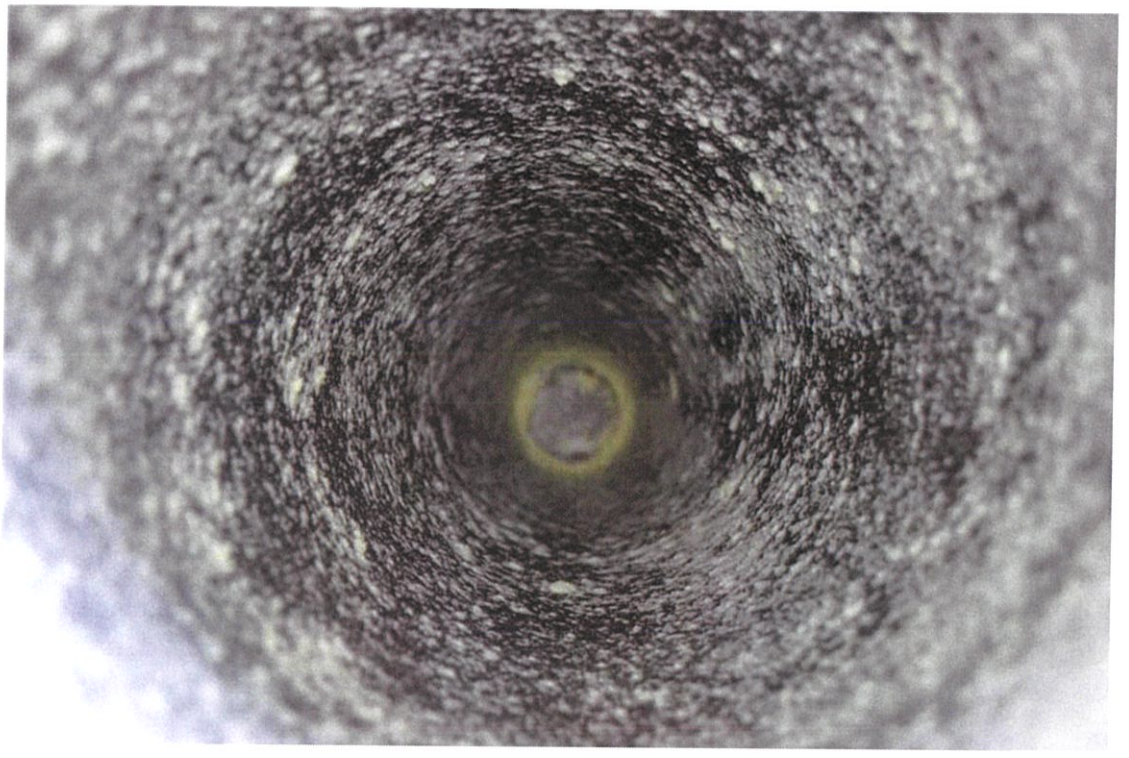
รูปที่ ณ.31 การเก็บผงตัวอย่างที่ติดอยู่ภายในห้องอบแห้ง



รูปที่ ณ.32 ภาพของตัวอย่างกะทิผงที่ติดอยู่บนฝาห้องอบที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C



รูปที่ ณ.33 ภาพของตัวอย่างกะทิผงที่ติดอยู่ภายในห้องอบที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C



รูปที่ ณ.34 ภาพของตัวอย่างกะทิผงที่ติดอยู่ภายในไซโคลนที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C



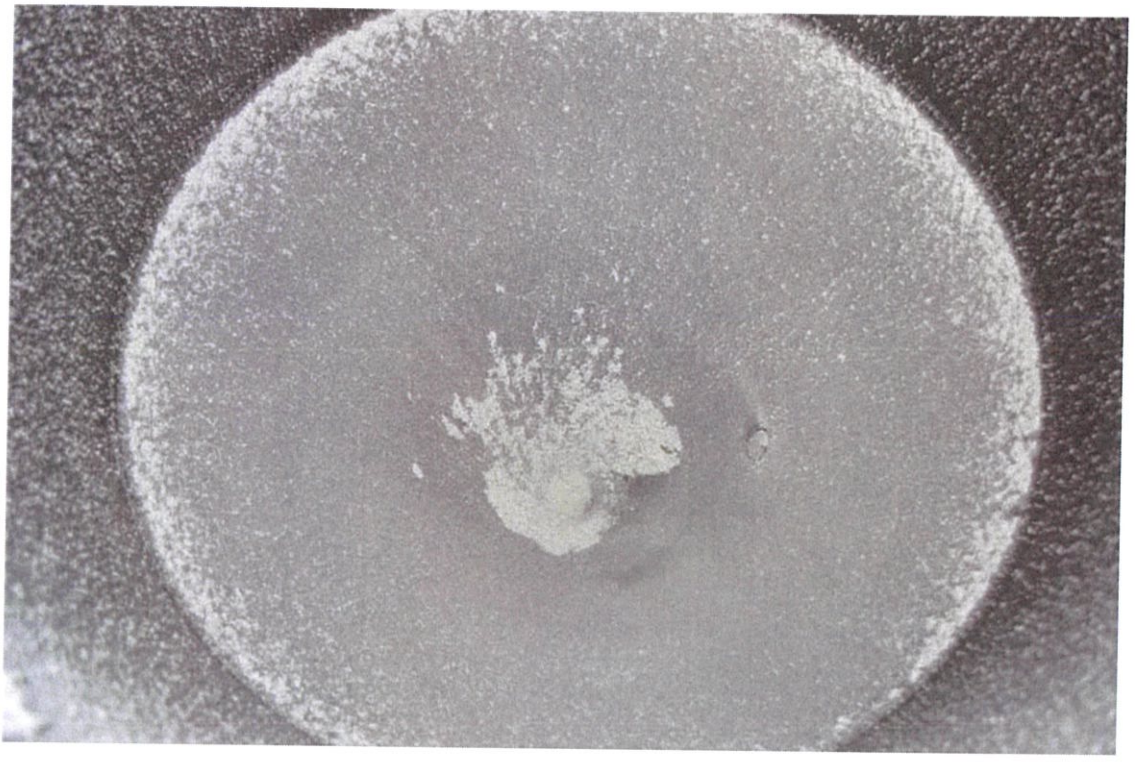
รูปที่ ณ.35 ภาพของตัวอย่างกะทิผงที่เกิดการข้นเหนียวภายในท่อที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C



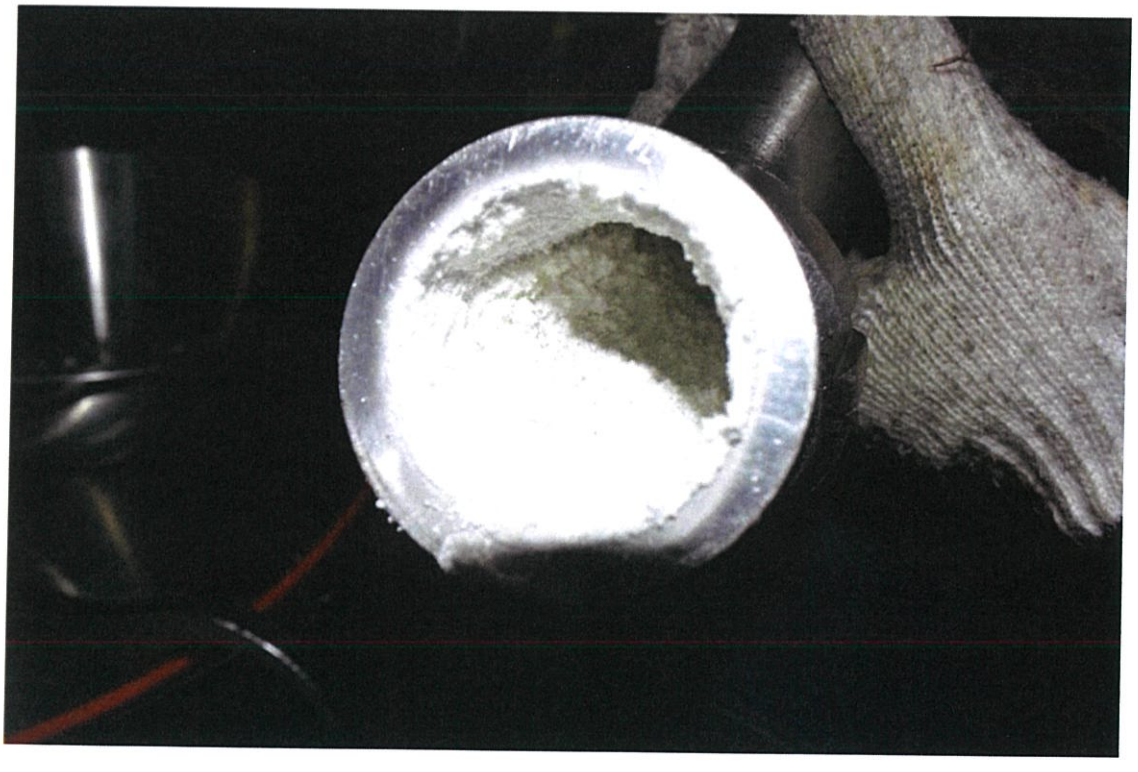
รูปที่ ณ.36 ภาพของตัวอย่างกะทิผงที่เกาะที่หัวพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C



รูปที่ ณ.37 ภาพของตัวอย่างกะทิผงที่ติดอยู่บนฝาห้องอบที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C



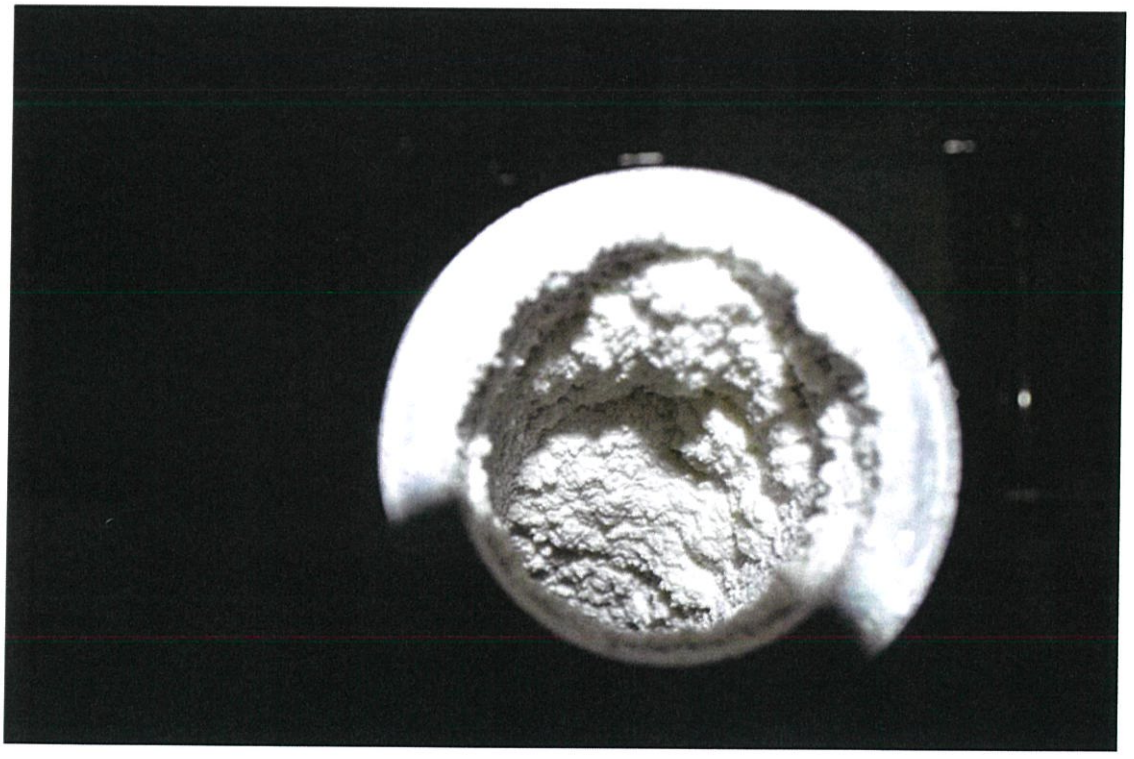
รูปที่ ณ.38 ภาพของตัวอย่างกะทิผงที่ติดอยู่ภายในห้องอบที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C



รูปที่ ณ.39 ภาพของตัวอย่างกะทิผงที่ติดอยู่ภายในท่อที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C



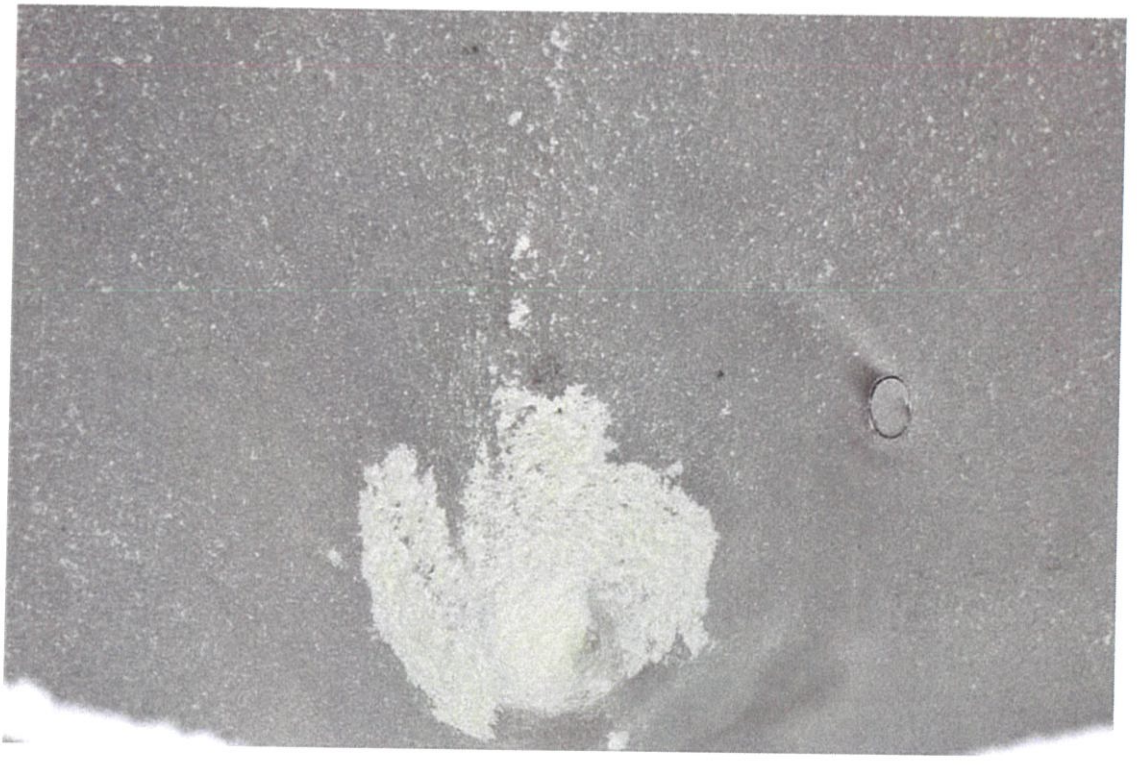
รูปที่ ณ.40 ภาพของตัวอย่างกะทิผงที่เก็บได้จากภายในห้องอบที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C



รูปที่ ณ.41 ภาพของตัวอย่างกะทิผงที่เก็บได้ติดอยู่ภายในท่อบริเวณเซนเซอร์วัดอุณหภูมิขาออกที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C



รูปที่ ณ.42 ภาพของตัวอย่างกะทิผงที่หัวพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C



รูปที่ ณ.43 ภาพของตัวอย่างกะทิผงที่ติดอยู่ภายในห้องอบที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 °C