สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลกระทบของตัวแปรในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

EFFECT OF ENCAPSULATION PARAMETERS ON SPRAY DRYING OF VIRGIN COCONUT OIL

T104126

นายณัฐวุฒิ ซื่อเจริญกิจ
นางสาวลภัสญดา จิรเพียงทอง
นางสาวผัสพร ผ่องมาลัย
นางสาวพัชรินทร์ ชูศรีทอง

วศ.
ม.361 ณ
2551

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104126
วัน,เดือน,ปี 30 ต.ค. 2552

b 12102519
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF ENCAPSULATION PARAMETERS ON SPRAY DRYING OF VIRGIN COCONUT OIL

Mr. Nuttawut Zijaroenkit

Miss Laphatyada Jirapeangtong

Miss. Passaporn Pongmalai

Miss. Patcharin Chusritong

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUTT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลกระทบของตัวแปรในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

Effect of encapsulation parameters on spray drying of virgin coconut oil.

ผู้จัดทำ

1.นายณัฐวุฒิ ซื่อเจริญกิจ

2.นางสาวลภัสญดา จิรเพียงทอง

3.นางสาวผัสพร ผ่องมาลัย

4.นางสาวพัชรินทร์ ชูศรีทอง

.....

(ผศ.ดร.มาณฑี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง ผลกระทบของตัวแปรในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

โดย นายณัฐวุฒิ ซื่อเจริญกิจ
นางสาวลภัสญดา จิรเพียงทอง
นางสาวผัสพร ผ่องมาลัย
นางสาวพัชรินทร์ ชูศรีทอง

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.กรุณา วงษ์กระจ่าง

บทคัดย่อ

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มีกรดลอริกสูงซึ่งสามารถสร้างสารโมโนลอรินที่เป็นสารตัวเดียวกับสารที่อยู่ในน้ำนมมารดา ซึ่งช่วยสร้างภูมิคุ้มกันและยังเป็นสารปฏิชีวนะที่ทำลายเชื้อโรคหลายชนิด ตั้งแต่เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา ไปจนถึงไวรัสที่มีเกราะไขมันหุ้มเซลล์อยู่ โดยเฉพาะเชื้อไวรัสเอดส์ นอกจากนี้ยังมีวิตามินอีทำหน้าที่เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระจึงนิยมบริโภคเป็นอาหารเสริมมากขึ้น แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของของเหลวอีกทั้งยังมีกลิ่นเฉพาะตัวทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งาน จึงควรได้มีการแปรสภาพให้อยู่ในรูปผงเพื่อความสะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์

โครงการนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันให้อยู่ในรูปผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170, 200, 230 °c, เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารละลาย 30, 40, 50% W/W และอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว 3:1, 2:1 และ 1:1 โดยให้อุณหภูมิลมร้อนขาออกคงที่ที่ 100°c ใช้หัวฉีดแบบ Two-Fluid Nozzle และวางแผนการทดลองแบบ Box - Behnken ประกอบด้วย 15 การทดลอง ผงน้ำมันมะพร้าวที่ได้จะนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะต่าง ๆ อาทิ ปริมาณความชื้น, ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้, ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้, ปริมาณกรดไขมันอิสระ และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Response Surface Method (RSM) จากการศึกษาพบว่าปัจจัยทั้งสาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประการต่างมีผลต่อคุณลักษณะของผงน้ำมันมะพร้าวที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บสูงสุดที่ประมาณ 14.4% ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารละลาย 45% อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว 3:1 และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 230°C ซึ่งคิดเป็น 74.2% ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดในผงน้ำมันมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Effect of encapsulation parameters on spray drying of virgin coconut oil.

By Mr. Nuttawut Zijaroenkit

Miss Laphatyada Jirapeangtong

Miss Passaporn Pongmalai

Miss Patcharin Chusritong

Report for Bachelor's Degree of Food Engineering

Department of Food Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Advisor Asst.Prof.Dr.Maradee Phongpipatpong

Co-advisor Ms. Karuna Wongkrajang

Abstract

Virgin coconut oil (VCO) contain high Lauric acid and also monolaurin (monoglycerides form of Lauric acid) which can improve immune system. This is similar to those found in human breast milk. Virgin coconut oil is remarkable for its antimicrobial properties that kill harmful virus, bacteria, fungi and parasites. Besides, VCO still contain vitamin E which have the ability to neutralise harmful free radicals. Therefore virgin coconut oil can be consumed as a supplementary food and become increasingly popular. Most of VCO products are in the form of liquid food and still its own odor characteristic, these cause some limitations when use. Therefore it should be transformed in powder form for more convenience-oriented and health conscious food type.

The objection in this study is to investigate the effects of processing parameters including weight ratio of maltodextrin:virgin coconut oil at 3:1, 2:1, 1:1, emulsion concentration at 30, 40, 50% (W/W) and drying temperature at 170, 200, 230 ^{o}c on encapped oil characteristics by using spray drying technique. The result showed in order to choose the optimum condition to operate the best performance of spray dried virgin coconut oil product, the objective should be clearly specified, due to the significant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

interactions among these three parameters. The maximum encapsulated oil at occur at the condition with 45% emulsion concentration, ratio of maltodextrin:virgin coconut oil at 3:1 (w/w) and spray drying temperature at 230 ^{o}c.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ คำชี้แนะและแนวทางในการปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานที่ดี รวมไปถึง อ.กรุณา วงษ์กระจ่าง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง คอยให้แนะนำต่างๆ ฝึกให้นักศึกษารู้จักกระบวนการคิดและวิเคราะห์ผล และประสบการณ์ในการทำงานวิจัยอีกมากมาย

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ คูตะคุ (พี่แมน), คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ (พี่นุ้ย), คุณวรรณิกา ฉัทรอุทัย (ป้าติ๋ม) และคุณบุญนำ ผลโพธิ์ (พี่บุญนำ) เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการและธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านเอกสารการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจและแก้ไขข้อผิดพลาด จนทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายณัฐวุฒิ ชื่อเจริญกิจ
นางสาวลภัสญดา จิรเพียงทอง
นางสาวผัสพร ผ่องมาลัย
นางสาวพัชรินทร์ ชูศรีทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	VI
กิตติกรรมประกาศ	VII
สารบัญ	VIII
สารบัญตาราง	XII
สารบัญภาพ	XIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับมะพร้าว	4
2.1.1 ส่วนประกอบของมะพร้าว	4
2.1.2 การแปรรูปมะพร้าวและผลิตภัณฑ์จากมะพร้าว	5
2.1.3 การแปรรูปในอุตสาหกรรม	5
2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับน้ำมันมะพร้าว	6
2.2.1 ประเภทของน้ำมันมะพร้าว	6
2.2.2 องค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil)	8
2.2.3 บทบาททางสรีรวิทยาของน้ำมันมะพร้าว	10
2.2.4 บทบาทของน้ำมันมะพร้าวต่อสุขภาพ	13
2.2.5 บทบาทของน้ำมันมะพร้าวต่อความงาม	16
2.3 การเอนแคปซูเลชัน	18
2.3.1 จุดประสงค์พื้นฐานของการทำเอนแคปซูเลชัน	18
2.3.2 ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน	19
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลิ่นรสที่ผ่านการเอนแคปซูเลท	
2.4 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation techniques)	21
2.4.1 การเอนแคปซูเลทโดยใช้วิธีทางเคมี	22
2.4.2 การเอนแคปซูเลทโดยใช้เครื่องมือ	24
2.5 การโฮโมจีไนเซชัน	27
2.5.1 หลักการทำงานและประเภทของ Homogenizer	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5.2 เทคโนโลยีของเครื่อง Homogenizer ในปัจจุบัน	30
2.5.3 การนำ Homogenizer ไปใช้ประโยชน์ในระดับโรงงานอุตสาหกรรม	31
2.5.4 การแตกเซลล์	32
2.6 การอบแห้งแบบพ่นฝอย	33
2.6.1 อาหารที่ใช้ในการ Spray Drying	33
2.6.2 ลักษณะการไหลภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	33
2.6.3 หัวฉีดที่ใช้พ่นของเหลวในเครื่องอบแห้ง	34
2.6.4 การส่งผ่านความร้อนและมวลในห้องอบแห้ง	35
2.6.5 การแยกอาหารผงจากระบบการอบแห้ง	35
2.6.6 ค่าปัจจัยในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้	35
2.7 ชนิดของไฮโดรคอลลอยด์(สารที่ใช้ในการห่อหุ้ม)	38
2.7.1 แซนแทนกัม (Xanthan gum)	38
2.7.2 เมทิลเซลลูโลส (methylcellulose, MC)	39
2.7.3 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose, CMC)	39
2.7.4 ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (hydroxypropylcellulose, HPC)	40
2.7.5 ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส(hydroxypropylmethylcellulose, HPMC)	40
2.7.6 มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltrodexrin)	41
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42
2.9 วิธีการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ	43
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	45
3.1 วัตถุดิบ	45
3.2 วัสดุและเครื่องมือ	46
3.3 วิธีการทดลอง	46
3.3.1 การเตรียมอิมัลชัน	46
3.3.2 การอบแห้งแบบพ่นฝอย	47
3.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้	49
3.4.1 การหาค่าความชื้น	48
3.4.2 ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้	49
3.4.3 ปริมาณน้ำมันทั้งหมด	49
3.4.4 ปริมาณน้ำมันที่อยู่รอบนอกผิว	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4.5 ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้	50
3.4.6 เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่กักเก็บได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมด	50
3.4.7 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ	51
3.4.8 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้	51
3.5 การวางแผนและวิเคราะห์ผลการทดลอง	51
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	53
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำมันมะพร้าวผงที่สภาวะต่าง ๆตาม Box - Behnken Design	55
4.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับคุณลักษณะต่าง ๆของน้ำมันมะพร้าวผงที่ได้	57
4.2.1 ปริมาณความชื้น (% wb)	57
4.2.2 เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (%Yield)	59
4.2.3 ปริมาณน้ำมันทั้งหมด	61
4.2.4 ปริมาณน้ำมันถูกกักเก็บได้ (%Encapsulated oil)	63
4.2.5 เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่กักเก็บได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมด	65
4.2.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระ	67
4.2.7 Water Activity ของผลิตภัณฑ์	67
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการทดลอง	70
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	71
บรรณานุกรม	73
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก การปรับค่าความเร็วของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์	76
ภาคผนวก ข ค่า Water activity ต่ำที่สุดสำหรับจุลินทรีย์ในอุตสาหกรรมอาหาร	77
ภาคผนวก ค รูปอุปกรณ์ วัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ผงในการทดลอง	78
ภาคผนวก ง การปรับแต่งค่าตัวแปรในการทดลอง	81
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ผลทางสถิติของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 ตัวอย่างน้ำมันที่แสดงค่าปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว 9

2.2 ปริมาณคอเรสเตอรอลของน้ำมันชนิดต่างๆ 14

2.3 ค่าปัจจัยตัวแปรในการะบวนการอบแห้งที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้ 37

3.1 ปริมาณส่วนผสมในการเตรียมอิมัลชันจำนวน 2 กิโลกรัม 46

3.2 สภาวะการเตรียมตัวอย่าง 52

4.1 คุณสมบัติน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ของบริษัท ภูมิดิน 53

4.2 สภาวะการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง 55

4.3 ผลการทดลองการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผง 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่

2.1 ขั้นตอนการทำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ 8

2.2 ความแตกต่างของโมเลกุลไขมันในการเปลี่ยนเป็นพลังงาน 11

2.3 การเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงาน 11

2.4 ไมโครแคปซูลชนิด Single core 19

2.5 ไมโครแคปซูลชนิด Multi- core 19

2.6 โครงสร้างของไมโครแคปซูล 20

2.7 ตัวอย่างของการเอนแคปซูเลชัน ในเปลือกของไข่นก, เปลือกของเมล็ดพืช, สปอร์ของแบคทีเรีย และเปลือกหอย 20

2.8 กระบวนการของไมโครเอนแคปซูเลชัน 21

2.9 การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค Coacervation 23

2.10 การเอนแคปซูเลทโดยใช้ไลโปโซมในการหุ้ม 24

2.11 การเอนแคปซูเลทโดยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย 25

2.12 การเอนแคปซูเลทโดยเทคนิคฟลูอิดไดส์เบด 26

2.13 ลักษณะของหัวโรเตอร์ – สเตเตอร์ 28

2.14 Potor-Stator Homogenizer 29

2.15 Ultrasonic Homogenizer 30

2.16 Tissue culture Homogenizer 31

2.17 Microsizing valve 32

2.18 Two - Stage Microsizing Valve 32

2.19 ตัวอย่างผงของแซนแทนกัม 38

2.20 ตัวอย่างผงของเมทิลเซลลูโลส 39

2.21 ตัวอย่างผงของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 39

2.22 ตัวอย่างผงของไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส 40

2.23 ตัวอย่างผงของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส 40

3.1 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง 48

4.1 รูปภาพเปรียบเทียบอิมัลชันที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์แบบสองช่วงและสามช่วง 54

4.2 พื้นผิวผลตอบของค่าความชื้นผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงที่อุณหภูมิ 170, 200 และ 230°c 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

ภาพที่
4.3 พื้นผิวผลตอบของค่าเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงที่อุณหภูมิ 170, 200 และ 230°c 60
4.4 พื้นผิวผลตอบของปริมาณน้ำมันมะพร้าวทั้งหมดของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงที่อุณหภูมิ 170, 200 และ 230°c 62
4.5 พื้นผิวผลตอบของปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงที่อุณหภูมิ 170, 200 และ 230°c 64
4.6 พื้นผิวผลตอบของน้ำมันที่กักเก็บได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดของผงน้ำมันมะพร้าวของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงที่อุณหภูมิ 170, 200 และ 230°c 66
4.7 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในแต่ละการทดลอง 67
4.8 พื้นผิวผลตอบของค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงที่อุณหภูมิ 170, 200 และ 230°c 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

มะพร้าวเป็นพืชพื้นเมืองของไทย ซึ่งบรรพบุรุษได้นำมะพร้าวมาใช้ประโยชน์จากทุกส่วน จนมะพร้าวได้ชื่อว่าเป็นต้นไม้สารพัดประโยชน์ และเป็นพฤกษาชีวิน หรือ Tree of Life เนื่องจากเป็นที่มาของปัจจัยสี่ โดยปริมาณผลผลิตมะพร้าวผลในตลาดโลกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2547 พบว่าประเทศไทยมีผลผลิตมะพร้าวผลอยู่ในอันดับที่ 6 ประมาณ 1.38 -1.45 ล้านตันต่อปี (สถาบันคลังสมองของชาติ, 2005)

น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันจากพืชที่คนไทยใช้อุปโภคมาเป็นเวลานานแล้ว ใช้ทำน้ำมันสลัด ทำมายองเนส ใช้ในการทำขนมปังกรอบ, ทำนมข้นหวาน, ไอศกรีม เป็นต้น น้ำมันมะพร้าวที่ผลิตได้ภายในประเทศแต่ละปียังคงถูกใช้เพื่อการบริโภคถึงร้อยละ60ที่เหลือใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและการสกัดยารักษาโรค

น้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันอิ่มตัวสูง ภายในส่วนประกอบยังมีกรดลอริกสูงประมาณ 54.61% ทำให้น้ำมันมะพร้าวดีเด่นกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ เพราะมันมีความสามารถพิเศษ คือ สร้างภูมิคุ้มกัน เมื่อเราบริโภคน้ำมันมะพร้าวเข้าไปในร่างกาย กรดลอริกในน้ำมันมะพร้าวจะเปลี่ยนเป็นโมโนกลีเซอไรด์ ที่มีชื่อว่า โมโนลอริน ซึ่งเป็นสารตัวเดียวกับที่อยู่ในน้ำนมมารดาที่ช่วยสร้างภูมิคุ้มกันและยังเป็นสารปฏิชีวนะที่ทำลายเชื้อโรคได้หลายชนิด ตั้งแต่เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา ไปจนถึงไวรัสที่มีเกราะไขมันหุ้มเซลล์อยู่ กรดลอริกมีกลไกที่เข้าไปทำลายเกราะไขมันหุ้มเซลล์ไวรัส ทำให้เชื้อไวรัสหลายชนิดตาย เช่น เชื้อไวรัสเอดส์และไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งปากมดลูก และด้วยลักษณะที่เป็นกรดไขมันขนาดกลาง ทำให้มีคุณสมบัติพิเศษโดยสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้อย่างรวดเร็ว ทำให้มีไขมันสะสมในร่างกายน้อยมาก นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มอัตราการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงาน เพราะน้ำมันมะพร้าวมีคุณสมบัติกระตุ้นต่อมไทรอยด์ให้ทำงานเร็วขึ้น ทำให้คนกระฉับกระเฉง(Nevin, 2006) ด้วยเหตุนี้จึงนิยมบริโภคน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในรูปแบบของอาหารเสริมมากขึ้น แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของของเหลว อีกทั้งน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ยังมีกลิ่นเฉพาะตัวเนื่องจากไม่ได้ใช้สารเคมีใดเข้าไปดัดแปลง และด้วยความเคยชินที่ผู้บริโภคใช้น้ำมันพืชที่ผ่านกรรมวิธีที่ใช้สารเคมีฟอกสี ฟอกกลิ่นออกจนหมดทำให้ไม่ได้กลิ่นเวลาทำอาหาร ส่งผลให้รับประทานน้ำมันมะพร้าวได้ยาก จึงควรได้มีการแปรรูปให้อยู่ในรูปของผงโดยใช้เทคนิคการเอนแคปซูเลชันเพื่อเพิ่มความสะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์ และยังเป็นการช่วยในการกักเก็บกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันทั้งหมด(% encapsulated oil of total oil), ปริมาณกรดไขมันอิสระ(% free fatty acid) และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้แนวทางในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ผงน้ำมันมะพร้าวโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

1.4.2 เพิ่มความง่ายในการใช้งานให้กับตัวผลิตภัณฑ์ สะดวกต่อการบริโภค สามารถนำไปเป็นส่วนผสมของอาหารและยา

1.4.3 สามารถช่วยลดปริมาตรและค่าใช้จ่ายใน การขนส่งและการจัดเก็บรักษา

1.4.4 ได้เรียนรู้และเข้าใจถึงกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อเป็นการสนับสนุนและเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร นำไปสู่การปรับปรุงเทคโนโลยีของผู้ผลิต การสร้างมูลค่าเพิ่มและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันระดับประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับมะพร้าว (สำนักงานเกษตรจังหวัดประจวบคีรีขันธ์, 2550)

2.1.1 ส่วนประกอบของมะพร้าว (สำนักงานเกษตรจังหวัดประจวบคีรีขันธ์, 2550)

มะพร้าวเป็นพืชยืนต้น ขนาดกลาง เพาะปลูกได้ดีบริเวณดินทรายหรือชายทะเล ผลมีสีเขียวอ่อนและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อแก่จัด รับประทานได้ทั้งน้ำและเนื้อ ทุกส่วนในมะพร้าว 1 ต้นสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย ตั้งแต่

2.1.1.1 กะลามะพร้าว วัสดุเหลือใช้จากผลมะพร้าว สามารถนำมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าได้มากมาย ได้แก่ ทำถ่านหุงต้ม ถ่านกัมมัน น้ำควันถ่านสำหรับใช้ป้องกันมอดแมลง ประดิษฐ์สิ่งของเครื่องใช้ และอุปกรณ์งานครัว

2.1.1.2 มะพร้าวผลอ่อน นอกจากจะนิยมบริโภคผลสดแล้ว ยังนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้อีก เช่น มะพร้าวเผา วุ้นมะพร้าว และเป็นส่วนประกอบของอาหารคาวหวานอีกมากมาย

2.1.1.3 มะพร้าวผลแก่ เนื้อมะพร้าวนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มากมาย ได้แก่ คั้นเป็นกะทิสดและกะทิกล่อง มะพร้าวอบน้ำผึ้ง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันไบโอดีเซล เป็นต้น

2.1.1.4 น้ำมะพร้าว ในน้ำมะพร้าวมีฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนซึ่งเป็นฮอร์โมนที่จำเป็นสำหรับผู้หญิง จึงเหมาะในการบริโภคโดยเฉพาะผู้หญิงวัยหมดประจำเดือน หรือหญิงที่ต้องการฮอร์โมนเพื่อปรับสมดุลย์ของร่างกาย นอกจากนี้น้ำมะพร้าวยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อีกมากมาย ได้แก่ วุ้นน้ำมะพร้าว น้ำส้มสายชู และเครื่องดื่ม

2.1.1.5 จั่นมะพร้าว อุดมด้วยน้ำตาลฟรุตโทส อันเป็นแหล่งอาหารของผึ้งและแมลงต่างๆ ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการนำน้ำหวานจากจั่นมะพร้าวมาทำน้ำตาล ไว้ปรุงอาหารคาวหวาน และทำน้ำตาลสด ไว้เป็นเครื่องดื่มที่ให้พลังงานได้อย่างดี

2.1.1.6 ยอดมะพร้าว ปัจจุบันเกษตรกรหันมาปลูกมะพร้าวตัดยอดกันมากขึ้น เนื่องจากได้ผลผลิตเร็ว และเป็นที่ต้องการของตลาดมากขึ้น ซึ่งยอดมพร้าวสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลากหลายเมนู เช่น แกงส้ม แกงคั่ว ยำ ส้มตำ ผัด เป็นต้น

2.1.1.7 ใบมะพร้าว เป็นวัสดุที่คนทุกยุคทุกสมัย ได้นำมาทำสิ่งของเครื่องใช้มากมาย ได้แก่ ไม้กวาด กระเช้า กระจาด ตะกร้า

2.1.1.8 เปลือกมะพร้าว เป็นเศษวัสดุที่มีมูลค่าไม่น้อยเช่นกัน เพราะสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ทำที่นอน ท่เช็ดเท้า ไม้กวาด และด้วยคุณสมบัติของเปลือกมะพร้าวที่มีการเก็บความชื้นได้ดี จึงนำมาใช้ประโยชน์ในการเป็นวัสดุเพาะกล้าสวไม้ และเป็นส่วนผสมของดินปลูกต้นไม้ อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.9 รกมะพร้าว อาจเป็นสิ่งที่คนทั่วไปมองข้ามไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ แต่ยังมีบางคนที่มีความคิดสร้างสรรค์ นำรกมะพร้าวมาประดิษฐ์ตกแต่งในงานศิลปะมากมาย เช่น การ์ด ส.ค.ส. ของชำร่วย กล่อง สมุด โน๊ต อัลบัม ฯลฯ

2.1.1.10 ลำต้น เมื่อมะพร้าวหมดอายุหรือถูกโค่นทิ้งแล้ว ลำต้นมะพร้าวยังนำมาใช้ประโยชน์ได้อีก เช่น ทำเฟอร์นิเจอร์ โต๊ะ เก้าอี้ ทำฝาผนังอาคารบ้านเรือน ทำรั้ว กระถางต้นไม้ และตกแต่งจัดสวน เป็นต้น

2.1.2 การแปรรูปมะพร้าวและผลิตภัณฑ์จากมะพร้าว

ประเทศไทยมีผลผลิตมะพร้าวเท่ากับ 2.75 ล้านตัน โดยมีปริมาณสัดส่วนตามชนิดของมะพร้าว ได้แก่ มะพร้าวผล มะพร้าวอ่อนและมะพร้าวตาล คือ ร้อยละ 89.14, 9.81 และ 1.04 ตามลำดับ มีสัดส่วนการใช้ประโยชน์แบ่งเป็นการบริโภคภายในประเทศร้อยละ 60 และร้อยละ 40 สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมและส่งออกมูลค่ารวมประมาณ 160 ล้านบาท โดยมีผลิตภัณฑ์ที่สำคัญได้แก่ มะพร้าวน้ำหอมทั้งลูก น้ำมันมะพร้าว และเส้นใยมะพร้าว และผลิตภัณฑ์กะทิจำนวนหนึ่ง มะพร้าวผล 1 ลูก น้ำหนักเฉลี่ย 2 กิโลกรัม ราคา 9 บาท หากมีการแปรรูปเป็นมะพร้าวขาว ได้ปริมาณ 0.6กิโลกรัม ราคา 12 บาท ถ้าแปรรูปเป็นกะทิได้ปริมาณ 0.5 กิโลกรัม ราคา 15 บาท (กรณีกะทิ UHT) และหากแปรรูปต่อเป็นน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ได้ปริมาตร 0.3 ลิตร ราคา 90บาท และจะมีวัสดุเหลือคือ กะลา น้ำมะพร้าว ใยมะพร้าว ผิวดำ และกากมะพร้าวมีมูลค่า 1.50 บาท,0.20 บาท,2.88 บาท,1 บาท และ 0.20 บาท ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ามะพร้าวมีห่วงโซ่อุปสงค์และอุปทานที่ซับซ้อนสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด

2.1.3 การแปรรูปในอุตสาหกรรม

2.1.3.1 การแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารจากเนื้อมะพร้าว

ผลิตภัณฑ์อาหารจากมะพร้าวส่วนใหญ่ได้จากเนื้อมะพร้าวซึ่งมีอยู่ 29-30 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักผล และจากน้ำมันมะพร้าวซึ่งมีอยู่ 21-26 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักผล ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ กะทิ กะทิเข้มข้น กะทิผง น้ำมันมะพร้าว แป้งมะพร้าว ส่วนผลิตภัณฑ์จากน้ำมะพร้าว ได้แก่ น้ำส้มสายชู น้ำ-มะพร้าวอ่อน น้ำตาลมะพร้าว ฯลฯ

อุตสาหกรรมเนื้อมะพร้าว นอกจากเราใช้มะพร้าวสดและแห้งในการประกอบอาหารในชีวิตประจำวันแล้ว มะพร้าวยังเป็นพืชที่มีบทบาทสำคัญยิ่งในภาคอุตสาหกรรมอีกด้วย การแปรรูปผลผลิตมะพร้าวในทางอุตสาหกรรมอาจแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่คือ

1. อุตสาหกรรมมะพร้าวแห้ง โดยนำเนื้อมะพร้าวมาตากแดดหรือย่างไฟแบบรมควัน อาจทำในรูปของอุตสาหกรรมในครอบครัว การทำมะพร้าวแห้งส่วนใหญ่จะทำเมื่อราคาของมะพร้าวตกต่ำ ซึ่งราคาของมะพร้าวก็ขึ้นอยู่กับผลผลิตตามฤดูกาลคือในช่วงระหว่างกรกฎาคม-ตุลาคมของทุกปี ผลผลิตมะพร้าวเข้าสู่ตลาดมาก ราคาจะตกต่ำ

2. อุตสาหกรรมน้ำมันมะพร้าว เป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่รับช่วงการผลิตมาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมมะพร้าวแห้ง มีความสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น อุตสาหกรรมทำนม ทำสบู่ เนยเทียม เป็นต้น สาเหตุที่น้ำมันมะพร้าวเป็นที่ยอมรับของทั่วไป เพราะมีกลิ่นและรสเฉพาะตัว ซึ่งเป็นที่ยอมรับของตลาด และปริมาณหาได้ค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี

3. อุตสาหกรรมกะทิเข้มข้น เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำกะทิมะพร้าวมาระเหยเอาน้ำออกบางส่วน แล้วนำไปบรรจุในภาชนะปลอดอากาศ ทำให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน และสะดวกต่อการใช้เพราะเมื่อนำกะทิดังกล่าวมาผสมเข้ากับน้ำก็จะคืนรูปเป็นกะทิธรรมดา การทำกะทิเข้มข้นทำอยู่ในวงจำกัด ปัจจุบันมีโรงงานด้านนี้ 2 โรง เนื่องจากในประเทศเรายังพอหามะพร้าวสดคั้นกะทิได้ง่าย แต่อาจจะจำเป็นสำหรับต่างประเทศ

4. อุตสาหกรรมมะพร้าวขูดแห้ง วิธีการคือนำเนื้อในมะพร้าวมาขูดลักษณะเดี่ยวกับเนื้อมะพร้าวสดขูดที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดทั่วไป หลังจากนั้นนำไปผ่านกรรมวิธีอบแห้งด้วยความร้อนประมาณ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 35 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงขาวนวล แต่ยังคงสภาพกลิ่น รส ของมะพร้าวแห้งทุกประการ

2.1.3.2 ผลิตภัณฑ์เพื่ออุตสาหกรรมอุปโภค

1. อุตสาหกรรมผลิตเส้นใยมะพร้าว เฉลี่ยแล้วกาบมะพร้าว 13 ผล สามารถผลิตเส้นใยมะพร้าวแห้งได้ 1 กิโลกรัม เส้นใยเหล่านี้ผ่านเครื่องตี แยกขุยมะพร้าวออกและตากแห้ง แล้วถูกส่งออกจำหน่ายในรูปของเส้นใยอัด หรือควั่นเกลียว อุตสาหกรรมที่ใช้เส้นใยมะพร้าวมาก ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตที่นอน เบาะรถยนต์ เบาะนั่งโซฟา พรมเช็ดเท้า แผ่นฉนวนป้องกันความร้อน เชือก ฯลฯ

2. อุตสาหกรรมแท่งเพาะชำ นำเอาฟองใยมะพร้าวมาเป็นเศษวัสดุเหลือใช้จากโรงงานเส้นใยโดยนำมาอัดเป็นแท่ง และผ่านกรรมวิธีอบแห้ง แล้วบรรจุกล่องส่งขายได้ ส่วนที่เหลือจากการอบแห้งก็นำมาบ่น และบรรจุถุงขายเป็นดินผสมเพื่อใช้ปลูกไม้กระถางใช้ในรูปของอุตสาหกรรมหรือส่งออกต่อไป

2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับน้ำมันมะพร้าว (สถาบันคลังสมองของชาติ, 2551)

ในการใช้มะพร้าวผล 1 ลูก น้ำหนักเฉลี่ย 2 กิโลกรัม ราคา 6 บาท หากมีการแปรรูปเป็นน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ได้ปริมาตร 0.3 ลิตร ราคา 90 บาท ซึ่งนับว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าได้อย่างสูง เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวที่บริสุทธิ์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง โดยสมบัติของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ที่สกัดโดยไม่ผ่านความร้อนและไม่ใช้สารเคมี

2.2.1 ประเภทของน้ำมันมะพร้าว

น้ำมันมะพร้าวอาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลักๆ ได้แก่ น้ำมันมะพร้าวทั่วไปหรือที่เรียกว่าน้ำมันมะพร้าวชนิด RBD (Refined, Bleache, Deodorized) และน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันมะพร้าวทั่วไป (RBD)

เนื้อมะพร้าวจะถูกนำมาทำให้แห้ง โดยการตากหรืออบในเตา เพื่อให้น้ำในเนื้อมะพร้าว ลดลง จากนั้นเนื้อมะพร้าวแห้ง (Copra) จะถูกบด และนำไปผสมกับน้ำเดือดก่อนที่จะผ่านต่อไปยังเครื่องนวดเพื่อคั้นน้ำมันออกมาให้ได้มากที่สุดหลังจากแยกกากออกส่วนผสมที่ได้จะถูกเคี่ยวช้าๆ ด้วยความร้อนต่ำเป็นเวลานาน เพื่อให้น้ำระเหยออกจนเหลือแต่น้ำมัน (หมายเหตุ : ผู้ผลิตบางรายอาจใช้วิธีต้ม Copra ที่บดแล้วและบางรายอาจใช้สารละลาย เพื่อช่วยให้สกัดน้ำมันได้มากขึ้นเศษกากมะพร้าวที่เหลือมีโปรตีนสูง และมักใช้เป็นอาหารสัตว์) น้ำมันที่ได้จะต้องผ่านขบวนการกรองเพื่อแยกสิ่งแปลกปลอมออก แล้วนำไปต้มเป็นเวลาหลายชั่วโมงเพื่อขจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ การฟอกสีและการกรองอีกครั้งจะทำให้ได้น้ำมันมะพร้าวที่ไม่มีสี และปราศจากกลิ่นหรือแม้แต่รสชาติ ผู้ผลิตส่วนมากจะเติมสีเพราะเกรงว่าน้ำมันใสๆจะไม่ถูกใจผู้บริโภค

2.2.1.2 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil)

น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์จะได้มาก็เฉพาะการสกัดจากเนื้อมะพร้าวสด ไม่มีการใช้ความร้อน ไม่ใช้สารเคมี จากการทดสอบในห้องทดลองทางวิทยาศาสตร์ พบว่า น้ำมันมะพร้าวที่สกัดด้วยวิธีธรรมชาติ เป็นน้ำมันมะพร้าวที่มีคุณภาพสูงมาก ยังคงมีกรดลอริค (Lauric acid)สูงถึง 50 - 53 % ซึ่งเป็นกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย และมีแร่ธาตุสารอาหารในปริมาณสูง เช่นโปรตีน แคลเซียม โซเดียม โพแตสเซียม น้ำมันยังคงรักษากลิ่น สี และรสชาติของมะพร้าวอยู่ ไม่สูญเสียไปเหมือนมะพร้าวที่ผ่านการทำให้แห้งและการกลั่นจากโรงงาน ถึงแม้ว่าน้ำมันมะพร้าวจะเป็นน้ำมันที่อยู่คู่กับคนไทยมาเป็นเวลานานแล้ว แต่น้ำมันมะพร้าวที่สกัดด้วยวิธีแบบธรรมชาติกลับห่างหายไป จึงต้องมีการนำเข้าน้ำมันมะพร้าวมาจากต่างประเทศ น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันจากพืชที่คนไทยใช้อุปโภคมาเป็นเวลานานแล้ว ใช้ทำน้ำมันสลัด ทำมายองเนส ใช้ในการทำขนมปังกรอบ ทำนมข้นหวาน ไอศกรีม เป็นต้น น้ำมันมะพร้าวที่ผลิตได้ภายในประเทศแต่ละปียังคงถูกใช้เพื่อการบริโภคถึงร้อยละ 60 ที่เหลือใช้ในอุตสาหกรรม ทำสบู่ ผงซักฟอก แชมพู เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมพลาสติก ฟอกหนัง ผ้าใบและใช้เป็นเชื้อเพลิงจุดตะเกียงให้แสงสว่าง

กรรมวิธีผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ในปัจจุบันมีรายละเอียดดังนี้ (ฝ่ายสิ่งแวดล้อมนิเวศวิทยาและพลังงาน, 2551)

- ขบวนการผลิตโดยใช้ระบบ Cold Press ซึ่งจะไม่มีการใช้ความร้อนใดๆ ทั้งสิ้น งานส่วนใหญ่จะทำด้วยมือเป็นที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์มากที่สุด โดยเริ่มจากการคัดเฉพาะมะพร้าวคุณภาพดี จากนั้นนำเนื้อมะพร้าวสดไปขูดหรือบดโดยใช้เครื่องขูด/บดมะพร้าว เนื้อมะพร้าวที่ขูดแล้วจะถูกนำไปใส่ถุงตาข่ายพิเศษ และคั้นน้ำกะทิออกด้วยมือหรือเครื่องอัดแบบใช้มือ(Manual Press)ดังรูปที่ 1 น้ำกะทิที่ได้จะถูกนำไปผสมกับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะพร้าวและปล่อยทิ้งไว้ให้แยกตัว(Culturing)ดังรูปที่ 2 ซึ่งใช้เวลาไม่เกิน 20 ชั่วโมง ส่วนผสมจะแยกตัวออกเป็น 3 ชั้น ชั้นบนจะเป็นส่วนของโปรตีนชั้นกลางจะเป็นน้ำมันมะพร้าว และชั้นล่างสุดจะเป็นน้ำ น้ำมันที่ได้จะถูกแยกออกมากรอง และแยกส่วนน้ำทิ้งไปแล้วปล่อยทิ้งไว้ให้แยกตัว ขบวนการที่ปล่อยน้ำมันทิ้งไว้ (Resting) ตามด้วยการแยกตัวและแยกน้ำออก (Decanting) และกรอง(Filtering) เรียกว่า "Curing" หรือ การบ่มน้ำมันมะพร้าวจะถูกแยกตัวและกรองครั้งสุดท้าย น้ำมันที่ได้จะเป็น น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์(Virgin Coconut Oil) ซึ่งจะมีคุณสมบัติพิเศษคือ นอกจากจะใสบริสุทธิ์แล้ว ยังจะมีกลิ่นหอม และรสชาติของมะพร้าวอ่อนๆ อีกด้วย

ภาพที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการทำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์

- การผลิตโดยวิธีการเหวี่ยงแยก (Centrifuge process) การผลิตน้ำมันมะพร้าวด้วยวิธีนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงกว่าวิธีข้างต้น เนื่องจากไม่มีการให้ความร้อนแก่น้ำมันในขั้นตอนการผลิตหลักการคือนำน้ำกะทิมาเหวี่ยงแยกของแข็ง และน้ำออกจากชั้นน้ำมันซึ่งมีการผลิตที่อาศัยกระบวนการทางกลศาสตร์และใช้เทคนิคควบคุมอุณหภูมิเพื่อแยกน้ำมันมะพร้าวออกจากน้ำกะทิ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์คือชั้นน้ำมันที่อยู่ด้านบนวิธีการนี้จะมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงเนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์เหวี่ยงแยกซึ่งมีราคาแพงจึงยังไม่เป็นที่นิยม

2.2.2 องค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (Virgin Coconut Oil) (ณรงค์, 2548)

ส่วนประกอบของน้ำมันมะพร้าวมีสารที่มีลักษณะเด่น ๆ ดังนี้

2.2.2.1 กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acids)

น้ำมันมะพร้าว ประกอบด้วยกรดไขมันที่อิ่มตัว กว่า 90 % อะตอมของธาตุคาร์บอนของกรดไขมันที่อิ่มตัวจะต่อกันเป็นเส้น (Chain) โดยมีพันธะเดี่ยว (Single Bond) จับกันเองเป็นเส้นยาวตามจำนวนของคาร์บอน แต่ละอะตอมของคาร์บอนจะมีไฮโดรเจนติดอยู่ 2 ตัว เนื่องจากแต่ละอะตอมของคาร์บอนไม่สามารถรับไฮโดรเจนได้อีกเพราะไม่มีพันธะว่าง จึงเรียกน้ำมันที่มีกรดไขมันประเภทนี้ว่า "น้ำมันอิ่มตัว" กรดไขมันอิ่มตัวในน้ำมันมะพร้าวส่วนใหญ่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอน 8 – 14 ตัว กรดไขมันที่สำคัญได้แก่ กรดคาปริก (Carpic acid – C10), กรดลอริก (Lauric acid – C12) และกรดไมริสติก (Myristic Acid – C14) ทำให้โมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความยาวของเส้น (chain) ขนาดปานกลาง นอกจากนี้ น้ำมันมะพร้าวยังประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) แต่มีเพียง 9 % ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated Fatty Acid) คือ กรดไขมันที่มีอะตอมของคาร์บอน 1 ตัว ไม่มีไฮโดรเจน 2 ตัวมาจับ จึงต้องจับคู่กันเองด้วยพันธะคู่ (Double Bond) จึงเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่เพียงหนึ่งคู่ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated Fatty Acid) คือ กรดไขมันที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ ส่วนใหญ่กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนมาก จึงทำให้โมเลกุลมีความยาวมาก เช่น กรดลิโนเลอิก (Linoleic Acid – C18)

2.2.2.2 กรดลอริก (Lauric Acid)

น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันจากพืชชนิดเดียวในโลกที่มีกรดลอริก อยู่ในปริมาณที่สูงมาก ประมาณ 48 – 53 % และกรดลอริกนี้เอง ที่ทำให้น้ำมันมะพร้าวมีคุณสมบัติพิเศษในการเสริมสุขภาพและความงามของมนุษย์ น้ำมันมะพร้าวยังมีกรดคาปริก (Capric Acid) ซึ่งแม้ว่าจะมีน้อยกว่ากรดลอริก คือ มีเพียง 6-7 % แต่ก็ช่วยเสริมประสิทธิภาพของกรดลอริก องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชบางชนิด

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างน้ำมันที่แสดงค่าปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว

	Coconut Oil	Palm Kernel Oil	Palm Oil	Olive Oil	Soybean Oil
A. Saturated					
C6:0 Caproic	0.50	0.30	-	-	-
C8:0 Caprylic	8.00	3.90	-	-	-
C10:0 Capric	7.00	4.00	-	-	-
C12:0 Lauric	48.00	49.60	0.30	-	
C14:0 Myristic	17.00	16.00	1.10	-	0.10
C16:0 Palmitic	9.00	8.00	45.20	14.00	10.50
C18:0 Stearic	2.00	2.40	4.70	2.00	3.20
C20:0 Arachidic	0.10	0.10	0.20	-	0.20
B. Unsaturated					
C16:1 Palmitoleic	0.10	-	-	1.00	-
C18:1 Oleic	6.00	13.70	38.8	71.00	22.30
C18:2 Linoleic	2.30	2.00	9.40	10.00	54.50
C18:3 Linoleic	-	-	0.30	0.80	8.30
C20:4 Arachidonic	-	-	-	-	0.90
% Unsaturated	8.40	15.70	48.50	82.80	90.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.3 วิตามินอี (vitamin E)

น้ำมันมะพร้าวที่ไม่ผ่านขบวนการ RBD ยังคงมีวิตามินอีเหลืออยู่ และก็เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ทำให้น้ำมันมะพร้าวโดดเด่นกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ

2.2.3 บทบาททางสรีรวิทยาของน้ำมันมะพร้าว

น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบที่แตกต่างไปจากน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว และแต่ละองค์ประกอบก็มีบทบาททางสรีรวิทยาที่เสริมให้น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันที่ดีที่สุดสำหรับสุขภาพและความงามของผู้บริโภค ดังคำอธิบายต่อไปนี้

2.2.3.1 ความอิ่มตัว

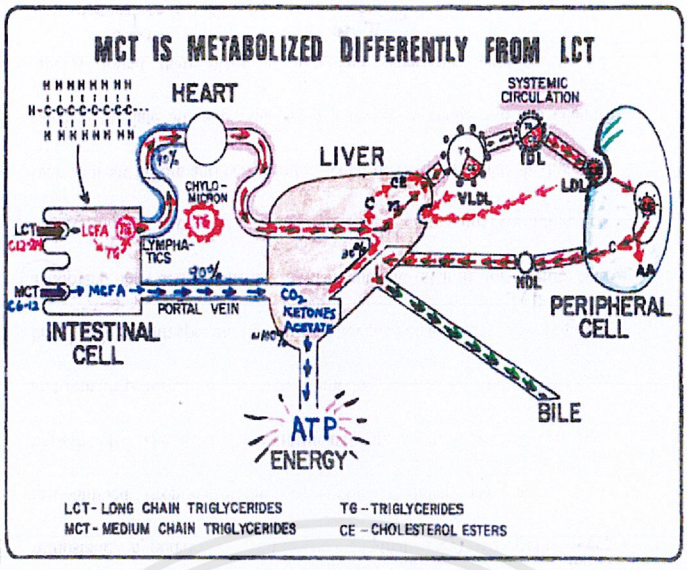
เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยกรดไขมันที่อิ่มตัวโดยที่พันธะ (Bond) ที่จับกันระหว่างอะตอมของคาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยว (Single Bond) ทำให้มีความเสถียรหรืออยู่ตัว (Stability)สูง จึงไม่ถูกอะตอมของไฮโดรเจนและออกซิเจนเข้าไปแทรก ซึ่งเรียกว่า Hydrogenation และ Oxidation ได้ง่ายๆ และไม่มีกลิ่นหืนเหมือนน้ำมันไม่อิ่มตัวโดยเฉพาะพวกที่เป็นน้ำมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated Oil) ซึ่งมีพันธะคู่หลายตำแหน่ง เมื่อถูกความร้อนสูงจะทำให้เกิดเป็นเกิดเป็น Trans Fatty Acids ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดทำให้เกิดผลร้ายต่อร่างกายมากมาย เช่น ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane) อันเป็นผลทำให้เซลล์อ่อนแอจนเชื้อโรคและสารพิษเข้าไปได้สะดวก ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง เปลี่ยนแปลงกลไกของร่างกายในการขจัดคอเลสเตอรอลโดยการขัดขวางการเปลี่ยนไปเป็นพลังงานในตับ จึงทำให้มีปริมาณคอเลสเตอรอลเพิ่มขึ้นในกระแสโลหิต ลดปริมาณและคุณภาพของนมน้ำเหลืองของมารดา เพิ่มโอกาสเป็นโรคเบาหวาน ลดปริมาณของฮอร์โมนเทสโตสเตอโรลในเพศชาย เป็นต้น

2.2.3.2 กรดไขมันขนาดกลาง

การที่กรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวที่โมเลกุลขนาดกลาง มีส่วนอย่างมากที่ทำให้มีคุณสมบัติเป็นเลิศ ดังจะเห็นได้จากกรณีดังต่อไปนี้

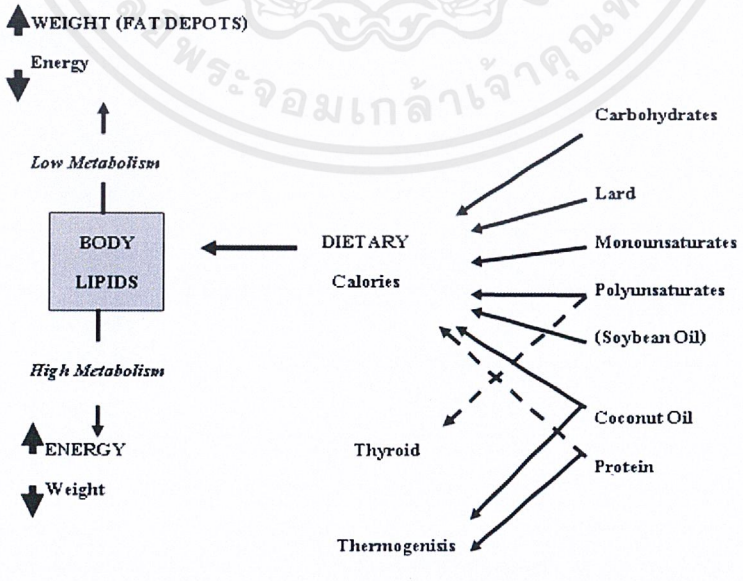
1. เปลี่ยนเป็นพลังงานได้อย่างรวดเร็ว : ร่างกายของมนุษย์สามารถเปลี่ยนน้ำมันมะพร้าวให้เป็นพลังงานอย่างรวดเร็ว เนื่องจากส่วนใหญ่ของกรดไขมันของน้ำมันมะพร้าวมีโมเลกุลขนาดกลาง ($C_8 - C_{14}$) เมื่อเราบริโภคเข้าไปมันจะผ่านจากกระเพาะอาหารไปยังลำไส้แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานที่ตับอย่างรวดเร็ว (ภายในหนึ่งชั่วโมง) ทำให้ไม่มีไขมันเหลือสะสมในร่างกาย ดังภาพที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 แสดงความแตกต่างของโมเลกุลไขมันในการเปลี่ยนเป็นพลังงาน

2. เพิ่มอัตราเมตาบอลิซึม : นอกจากจะเปลี่ยนเป็นพลังงานอย่างรวดเร็วดังได้กล่าวมาแล้ว น้ำมันมะพร้าวยังไปเร่งอัตราการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงาน หรือเมตาบอลิซึม (Metabolism) เพราะมันมีผลทำให้เกิดความร้อนสูง (Thermogenesis) โดยไปกระตุ้นต่อมไทรอยด์ให้ทำงานเร็วขึ้น คล้ายกับบุคคลประเภทไฮเปอร์ไทรอยด์ (Hyperthyroid) ที่ต่อม-ไทรอยด์ทำงานในอัตราที่สูงกว่าคนธรรมดา บุคคลพวกนี้จึงใช้พลังงานมาก ทำให้เป็นคนกระฉับกระเฉง (Active) และไม่อ้วน เพราะน้ำมันมะพร้าวที่บริโภคเข้าไปถูกเผาผลาญเป็นพลังงานหมดไม่สะสมเป็นไขมันในร่างกาย ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ช่วยลดน้ำหนัก : การบริโภคน้ำมันมะพร้าว นอกจากจะไม่ทำให้อ้วนแล้ว ยังสามารถลดความอ้วนจากผลของการเกิดความร้อนสูงในร่างกาย โดยการไปนำไขมันที่ร่างกายสะสมไว้ในส่วนต่างๆ ของร่างกาย ออกมาใช้เป็นพลังงาน ดังนั้นน้ำมันมะพร้าวจึงช่วยลดความอ้วนได้ จนมีคำที่ว่า “Eat Fat – Look Thin”

2.2.3.3 กรดลอริกและโมโนลอริก

น้ำมันมะพร้าวมีกรดลอริก (Lauric Acid) อยู่ประมาณ 50 % กรดนี้ มีส่วนที่ทำให้น้ำมันมะพร้าวดีเด่นกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ เพราะมีความสามารถพิเศษ คือ

1. สร้างภูมิคุ้มกัน : เมื่อเราบริโภคน้ำมันมะพร้าวเข้าไปในร่างกาย กรดลอริกในน้ำมันมะพร้าวจะเปลี่ยนเป็นโมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) ที่มีชื่อว่า โมโนลอริน (Monolaurin) ซึ่งเป็นสารตัวเดียวกับที่อยู่ในน้ำนมมารดา ที่ช่วยสร้างภูมิคุ้มกันให้กับทารกในระยะ 6 เดือนแรกที่ร่างกายยังไม่สร้างระบบภูมิคุ้มกันโรค

2. ฆ่าเชื้อโรค : โมโนลอรินเป็นสารปฏิชีวนะที่ทำลายเชื้อโรคทุกชนิดที่ดีกว่ายาปฏิชีวนะที่ใช้อยู่ในปัจจุบันที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย, เชื้อรา, ยีสต์, โปรโตซัว และไวรัสบางชนิดที่ยาปฏิชีวนะทั่วไปทำลายไม่ได้เนื่องจากมีเกราะที่เป็นไขมันห่อหุ้ม (Lipid-Coated Membrane) แต่เกราะนี้ก็จะถูกละลายโดยน้ำมันมะพร้าวเพื่อเปิดโอกาสให้โมโนลอรินเข้าไปฆ่าเชื้อโรค สารปฏิชีวนะในน้ำมันมะพร้าวไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ และจะถูกสร้างขึ้นในร่างกายของมนุษย์เมื่อบริโภคอาหารที่มีกรดลอริก อีกทั้งไม่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในลำไส้

2.2.3.4 กรดคาปริกและโมโนคาปริน

แม้ว่าจะมีอยู่เพียง 6-7 % แต่กรดคาปริก (Capric Acid) ก็ช่วยเสริมประสิทธิภาพของโมโนลอริน โดยการเปลี่ยนเป็นสารโมโนคาปริน (Monocaprin) เมื่อน้ำมันมะพร้าวถูกบริโภคเข้าไปในร่างกาย ซึ่งมีฤทธิ์เช่นเดียวกันกับโมโนลอริน ทั้งนี้ก็เพราะประสิทธิภาพของการทำงานของโมโนลอรินและโมโนคาปรินขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีอยู่

2.2.3.5 วิตามิน

น้ำมันมะพร้าวที่ผลิตจากมะพร้าวแห้งที่เก็บไว้นาน ๆ จะมีจุลินทรีย์ปนเปื้อน ตลอดจนถูกแสงแดดและความร้อน เมื่อนำไปสกัดน้ำมันมะพร้าวโดยวิธีหีบหรือการใช้ตัวทำละลาย จึงสูญเสียคุณสมบัติที่ดี โดยเฉพาะสิ่งที่ทำให้มันไม่หืน และเมื่อถูกนำไปผ่านขบวนการทางเคมี RBD ก่อนที่จะนำไปบริโภคจะสูญเสียวิตามินอีไป แต่ก็ยังเป็นน้ำมันที่ดีต่อสุขภาพ ตราบใดที่ไม่ได้ถูกเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยขบวนการเติมไฮโดรเจนหรือเติมสารกันเสีย (Preservatives) เพื่อรักษาสภาพให้คงทนและไม่หืน แต่น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ ซึ่งสกัดได้โดยวิธีหมัก หรือวิธีบีบเย็นไม่ใช้อุณหภูมิสูง และไม่ผ่านขบวนการทางเคมี จะยังคงมีวิตามินอีเหลืออยู่ วิตามินอีในน้ำมันมะพร้าว มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ต่อต้านอนุมูลอิสระ : วิตามินอี ทำหน้าที่เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) โดยการป้องกันเซลล์ไม่ให้ถูกเติมออกซิเจน และเป็นตัวต่อต้านอนุมูลอิสระ (Free Radicals) ซึ่งเกิดจากมลพิษในสิ่งแวดล้อม อาหารและเครื่องดื่ม การสูบบุหรี่ รังสี ความเครียด ฯลฯ โดยปกติร่างกายของมนุษย์มีสารต่อต้านอนุมูลอิสระคอยทำลายอนุมูลอิสระอยู่แล้ว แต่เมื่อบริโภคน้ำมันพืชประเภทไม่อิ่มตัวซึ่งถูกเติมออกซิเจน (Oxidized) ได้ง่าย ๆ ตั้งแต่เริ่มสกัด ตลอดจนระหว่างการขนส่ง การวางจำหน่าย และการเก็บรักษาก่อนบริโภค จึงเกิดเป็นอนุมูลอิสระได้ง่าย อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นน่าจะไปลบล้างประสิทธิภาพ (Neutralize) ของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในร่างกาย ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดผลเสียแก่เซลล์และเนื้อเยื่อ เนื่องจากอนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลที่เปลี่ยนสภาพโดยสูญเสียอิเล็กตรอน (Electron) จึงไปจับกับโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียงต่อไปเรื่อย ๆ เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เป็นผลทำให้เซลล์ผิดปกติไป เช่น เยื่อบุเซลล์ฉีกขาด เปลี่ยนสารพันธุกรรมใน นิวเคลียส เกิดการกลายพันธุ์ ทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวกับความเสื่อม (Degenerative Diseases) เช่น โรคหัวใจ, มะเร็ง, ไขข้ออักเสบ, เบาหวาน, โรคภูมิแพ้ ชราภาพก่อนวัย เป็นต้น

2. สารโทโคไทรอีนอล (Tocotrienol) วิตามินอีในน้ำมันมะพร้าว มีสารโทโคไทรอีนอล ซึ่งเป็นรูปของวิตามินอีที่มีอานุภาพสูงกว่าสารโทโคเฟอรอล (Tocopherol) ซึ่งอยู่ในวิตามินอีทั่วไป โดยเฉพาะที่มีอยู่ในเครื่องสำอางรักษาผิวถึง 40-60 เท่า ด้วยเหตุนี้น้ำมันมะพร้าวจึงต่อต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.4 บทบาทของน้ำมันมะพร้าวต่อสุขภาพ

สุขภาพของมนุษย์ ขึ้นอยู่กับสถานภาพ 4 ประการ คือ

2.2.4.1 การรักษาสุขภาพให้แข็งแรง

จากบทบาททางสรีรวิทยาของน้ำมันมะพร้าวที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ผู้บริโภคน้ำมันมะพร้าวมีสุขภาพดี แข็งแรง เพราะได้พลังงานทันทีที่บริโภคน้ำมันมะพร้าว นอกจากนั้นน้ำมันมะพร้าวยังมีคุณทางอาหาร โดยเฉพาะวิตามิน และเกลือแร่ ที่ช่วยให้ร่างกายแข็งแรง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มคุณค่าของอาหารโดยการเพิ่มการดูดวิตามิน เกลือแร่ และกรดอะมิโน เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก จึงถูกย่อยง่าย และเคลื่อนที่เร็วไปตามของเหลวในร่างกาย จึงเป็นที่นิยมใช้หุงต้มอาหารสำหรับคนไข้ที่มีปัญหาการย่อยไขมัน และยังใช้ในสูตรน้ำนม เพื่อให้ไขมันที่จำเป็นแก่เด็กทารก และช่วยในการดูดซึมแคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งจำเป็นสำหรับการพัฒนากระดูก

2.2.4.2 ช่วยให้ปลอดจากโรคไม่ติดเชื้อ

โรคไม่ติดเชื้อที่ น้ำมันมะพร้าวมีส่วนในการลดอัตราการเกิด ได้แก่

1. โรคหัวใจ : จากผลการวิเคราะห์พบว่า น้ำมันมะพร้าวมีคอเลสเตอรอลน้อยมาก เพราะมีเพียง 14 ส่วนในล้านซึ่งน้อยกว่าน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งมี 28 ส่วน และที่สำคัญคือ เมื่อบริโภคน้ำมันมะพร้าวเข้าไป ในร่างกาย ก็ไม่ได้เปลี่ยนเป็นคอเลสเตอรอลในกระแสโลหิต อีกทั้งยังไม่ได้ทำให้หลอดเลือดแข็งตัวเหมือนกับน้ำมันพืชประเภทไม่อิ่มตัว เช่น น้ำมันถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ถูกเติมไฮโดรเจน (Hydrogenate) ในขบวนการผลิต และถูกเติมออกซิเจน (Oxidize) ระหว่างเดินทางก่อนถูกบริโภค จนเกิดเป็น Trans Fatty Acids ซึ่งเป็นตัวการทำให้เกิดลิ่มเลือด และไปอุดตันหลอดเลือด นอกจากนั้นน้ำมันมะพร้าวยังมีวิตามินอีที่ช่วยขยายหลอดเลือดและป้องกันการแข็งตัวของหลอดเลือดที่เป็นสาเหตุของโรคหัวใจ นักโภชนาการสมัยใหม่จึงสรุปว่าน้ำมันมะพร้าวช่วยทำให้หัวใจมีสุขภาพดี เพราะเป็นหนึ่งในสองชนิดของน้ำมันบริโภค ซึ่งช่วยลดความหนืด (Stickiness) ของเลือดที่เป็นสาเหตุของโรคหัวใจ

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณคอเรสเตอรอลของน้ำมันชนิดต่าง ๆ

ชนิดของน้ำมัน	ปริมาณคอเรสเตอรอล (ส่วนต่อล้าน)
น้ำมันมะพร้าว	14
น้ำมันปาล์ม	18
น้ำมันถั่วเหลือง	28
น้ำมันข้าวโพด	50
เนยเหลว	3,150
น้ำมันหมู	3,500

2. โรคมะเร็ง : น้ำมันมะพร้าวมีประสิทธิภาพในการป้องกันไม่ให้เกิดโรคมะเร็งด้วยกลไก 2 วิธี คือ

เนื่องจากเป็นน้ำมันประเภทอิ่มตัวจึงไม่ถูกเติมไฮโดรเจน (Hydrogenate) และแตกตัวเมื่อถูกกับอุณหภูมิสูง และมีวิตามินอีช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของการกลายพันธุ์ของยีน เกิดเป็นเซลล์มะเร็ง และการทำร้ายเซลล์ การใช้น้ำมันมะพร้าวชโลมตัว ก็ช่วยป้องกันมะเร็งผิวหนังได้ดีกว่ายาทากันแดดราคาแพง

3. โรคอ้วน : โรคอ้วนนั้นมีความสัมพันธ์กับสภาพต่างๆ เช่น การมีไขมันในเลือดสูง เป็นโรคเบาหวานมีความดันโลหิตสูง เป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด ตลอดจนโรคข้ออักเสบ ภาวะหยุดหายใจขณะหลับ ฯลฯ การบริโภคน้ำมันมะพร้าวจะช่วยทำให้ร่างกายเกิดความร้อนสูง(ในขบวนการ Thermogenesis) ทำให้ร่างกายมีอัตราการเผาผลาญอาหาร หรือเมตาบอลิซึม (Metabolism) สูงเกิดเป็นพลังงานสำหรับใช้ในการดำรงชีวิต อีกทั้งยังช่วยทำลายไขมันที่ร่างกายสะสมอยู่นำไปใช้เป็นพลังงาน ดังนั้น ผู้บริโภคน้ำมันมะพร้าวเป็นประจำจึงไม่อ้วน

4. โรคเบาหวาน : ผลพลอยได้ของการเพิ่มอัตราการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงานจากการบริโภคน้ำมันมะพร้าวทำให้ร่างกายไม่สะสมน้ำตาล เพราะถูกใช้ไปเป็นพลังงานหมด อีกทั้งยังไม่ทำให้ผู้ป่วยอยากรับประทานอาหารที่เป็นแป้งหรือน้ำตาล จึงช่วยลดอัตราการเกิดโรคเบาหวานไปได้โดยปริยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โรคปวดเมื่อย โรคชราภาพก่อนวัย โรคมะเร็งผิวหนัง และโรคกระดูก : น้ำมัน-มะพร้าวเป็นน้ำมันที่ถูกดูดซึมเข้าทางผิวหนังได้ดี เพราะมีขนาดของโมเลกุลเล็กจึงนิยมใช้นวดตัวให้หายปวดเมื่อย และผ่อนคลายความเครียด อีกทั้งยังปกป้องการทำลายของแสงอัลตราไวโอเลตที่ทำให้ผิวหนังเหี่ยวย่นแก่ก่อนวัย และเป็นมะเร็งผิวหนัง ช่วยเสริมสร้างพัฒนาการของกระดูกให้แข็งแรง แพทย์แผนไทยจึงนิยมนำน้ำมันมะพร้าวมาประกอบเป็นสูตรยาแผนโบราณในการรักษาโรคที่เกี่ยวกับกระดูกอันเนื่องมาจากการประสบอุบัติเหตุ

2.2.4.3 ช่วยให้ร่างกายปลอดจากโรคติดเชื้อ

จุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคเป็นสาเหตุของโรคของมนุษย์มากมายเหลือคณานับ แต่ก็แปลกที่เด็กทารกแรกคลอดที่ดูดน้ำนมมารดาเป็นประจำมักไม่ค่อยเป็นโรคเหล่านี้ ทั้งนี้ก็เพราะมีภูมิคุ้มกันที่ได้มาจากน้ำนมมารดา ได้มีการค้นพบว่าสารสำคัญในนมน้ำเหลือง (Cholostum) ของมารดานี้ คือ กรดลอริก ซึ่งเมื่อเข้าไปในร่างกายก็เปลี่ยนไปเป็นสารโมโนลอริน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารปฏิชีวนะนั่นเอง ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าวพบว่ามีกรดลอริกสูงมากถึง 48-53% ซึ่งมากกว่าในน้ำนมมารดามาก ในปัจจุบันวงการแพทย์สมัยใหม่ได้แนะนำให้ประชาชนกินยาเม็ดที่มีโมโนลอรินเพื่อเพิ่มภูมิคุ้มกันโรค

2.2.4.4 การรักษาโรค

จากการที่น้ำมันมะพร้าวมีคุณสมบัติเป็นยาฆ่าเชื้อ และสามารถถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกายได้ดีและรวดเร็ว ตำราอายุรเวทของอินเดียจึงได้ใช้น้ำมันมะพร้าวรักษาโรคมาไม่ต่ำกว่า 4,000 ปี แพทย์แผนไทยก็ได้ใช้น้ำมันมะพร้าวรักษาโรคทั้งภายในและภายนอกมาเป็นเวลาช้านาน เช่น ในตำราพระโอสถพระนารายณ์ ตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยาได้ใช้น้ำมันมะพร้าวเป็นยานวดแก้ปวดเมื่อย ยารักษาโรคกระดูก ยารักษาแผลเน่าเปื่อย ส่วนตำราแพทย์แผนไทยในปัจจุบันก็แนะนำให้ใช้น้ำมันมะพร้าวรักษาโรคกระดูกที่เกิดจากอุบัติเหตุ, รักษาเม็ดผดผื่นคัน, ลบริ้วรอย, แผลฟกช้ำ, ซ่อมแซมส่วนสึกหรอ, ป้องกันแสงแดด และความร้อน แม้กระทั่งแพทย์แผนปัจจุบันชาวตะวันตกก็ให้คนไข้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับการย่อยอาหารหรือการดูดซึมอาหาร เด็กทารกรวมทั้งเด็กเล็กที่ไม่สามารถย่อยไขมัน กินน้ำมันมะพร้าวเป็นยารักษาโรค ศักยภาพของน้ำมันมะพร้าวในการรักษาโรคมีดังนี้

1. โรคที่เกิดจากการติดเชื้อต่าง ๆ เชื้อโรคที่กรดลอริกในน้ำมันมะพร้าวสามารถทำลายได้ ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย, เชื้อราและยีสต์, เชื้อโปรโตซัว และเชื้อไวรัส โมโนลอรินหรือสารปฏิชีวนะในน้ำมันมะพร้าวมีจุดเด่นสองประการ คือ ไม่ทำให้เกิดการดื้อยาของเชื้อโรค และสามารถฆ่าเชื้อโรคบางชนิดที่มีเกราะไขมันห่อหุ้มเซลล์ที่ยาปฏิชีวนะธรรมดาไม่สามารถฆ่าได้ แต่น้ำมันมะพร้าวสามารถละลายเกราะไขมันนี้ได้ แล้วจึงเข้าไปฆ่าเชื้อโรคเหล่านี้ เท่าที่ได้มีการวิจัยพบว่า เชื้อโรคที่มีเกราะไขมันห่อหุ้มนี้เป็นโรคร้ายในปัจจุบันที่รักษายากมาก เพราะทำลายมันไม่ได้อย่างดีก็หยุดไม่ให้มันขยายพันธุ์โรคเหล่านี้ เช่น ไวรัสโรคเอดส์ โรค SARS ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ และกำลังมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อยืนยันผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โรคผิวหนัง ผิวหนังที่ถูกอนุมูลอิสระเข้าทำลาย หรือจากการถูกทำร้าย จนเกิดเป็นแผลที่เชื้อโรคจะเข้าทำลายต่อโมโนลอรินในน้ำมันมะพร้าว ซึ่งเป็นสารปฏิชีวนะจะช่วยกำจัดเชื้อโรคเหล่านี้

3. รังแคหนังศีรษะ น้ำมันมะพร้าวมีสารปฏิชีวนะที่ทำลายเชื้อโรคที่ทำให้เกิดรังแค หากชโลมผมด้วยน้ำมันมะพร้าวจะช่วยรักษารังแคหนังศีรษะได้

2.2.5 บทบาทของน้ำมันมะพร้าวต่อความงาม

น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันที่ได้จากธรรมชาติปราศจากสารเคมีสังเคราะห์ใดๆเจือปน โดยเฉพาะยากำจัดศัตรูพืช ซึ่งมักจะมีอยู่ในน้ำมันพืชอื่นๆ เนื่องจากกรดไขมันในน้ำมันมะพร้าวมีขนาดโมเลกุลที่เล็ก ทำให้ถูกดูดซึมเข้าไปได้ง่าย เราสามารถใช้น้ำมันมะพร้าวในสภาพที่สกัดได้ตามธรรมชาติทันทีโดยไม่ต้องทำให้บริสุทธิ์ ฟอกสี และกำจัดกลิ่น ดังเช่นน้ำมันพืชอื่นๆ จึงปลอดภัยจากอันตรายจากสารเคมี น้ำมันมะพร้าวมีบทบาทต่อความงามในเรื่องดังต่อไปนี้

2.2.5.1 รูปร่างได้สัดส่วน ไม่อ้วน แต่แข็งแรง

เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวที่เราบริโภคเข้าไปสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ทันที จึงไม่มีไขมันสะสมในร่างกาย อีกทั้งยังกระตุ้นให้ต่อมไทรอยด์ทำงานดีขึ้น จึงนำเอาไขมันที่ร่างกายสะสมไว้ก่อนหน้าไปใช้เผาผลาญให้เกิดพลังงาน จึงช่วยลดความอ้วนได้ ดังนั้นผู้ที่บริโภคน้ำมันมะพร้าวเป็นประจำจึงไม่อ้วน (เพราะไม่มีไขมันสะสม) แต่ร่างกายก็สันทัดสมส่วนและแข็งแรง

2.2.5.2 ผิวสวย

การนวดหรือชโลมตัวด้วยน้ำมันมะพร้าว ช่วยให้ผิวสวย เพราะ :

1. ผิวดูอ่อนวัย : น้ำมันมะพร้าวที่ใช้ชโลมตัว ทั้งในรูปน้ำมันมะพร้าวสด ๆ หรือในรูปของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าว เช่น ครีมและโลชั่นจะทำให้ผิวพรรณนุ่มไม่แตกแห้งเป็นกระหรือฝ้า แต่ชุ่มชื้นและผิวเนียน ปราศจากริ้วรอยเหี่ยวย่น ทั้งนี้เพราะน้ำมันมะพร้าวมีวิตามินอีที่มีอานุภาพมากกว่าวิตามินอีในเครื่องสำอางช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระที่เป็นตัวการที่ทำให้เกิดการเสื่อมของเซลล์ผิวหนัง ป้องกันการเสื่อมโทรมของเซลล์จากขบวนการเติมออกซิเจน (Oxidation) ช่วยกำจัดเซลล์ผิวหนังที่ตายแล้วและทับถมกันจนทำให้ผิวแห้ง ขณะเดียวกันก็ช่วยกระตุ้นให้มีการสร้างเซลล์ใหม่ขึ้นมาแทนที่จึงทำให้ผิวพรรณดูอ่อนกว่าวัย

2. ผิวนุ่มและเนียน : ตามปกติผิวหนังจะสูญเสียความชื้นเพราะถูกแดดและลม น้ำมันมะพร้าวมีคุณสมบัติเป็นสารรักษาความชุ่มชื้น (Moisturizer) จึงช่วยให้ผิวหนังนุ่มและเนียน

3. ช่วยป้องกันและรักษาฝ้า และกระ : อนุมูลอิสระเป็นตัวการอันหนึ่งของการเกิดฝ้าและกระ วิตามินอีในน้ำมันมะพร้าวจะทำหน้าที่ทำลายอนุมูลอิสระเหล่านี้ เราสามารถใช้น้ำมัน-มะพร้าวเป็นยากันแดดได้ดีอีกทั้งยังไม่เหนียวเหนอะหนะเหมือนยากันแดดบางชนิด และราคาก็ถูกกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2.5.3 ผมงาม

เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันพืชที่มีคุณสมบัติเป็นตัวเพิ่มความชุ่มชื้น (Moisturizer) อีกทั้งยังมีสารปฏิชีวนะ (จากโมโนลอริน) และสาร Antioxidant (จากสารโทโค-ทรินอลในวิตามินอี) จึงมีส่วนทำให้ผมงาม จากคุณสมบัติดังต่อไปนี้ :

1. ช่วยปรับสภาพของผม : น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันHair Conditioner ที่ช่วยทำให้ผมนุ่มดำเป็นเงางาม เพราะมีวิตามินอีที่ช่วยเสริมการเจริญของเส้นผม

2. ช่วยรักษาสุขภาพของหนังศีรษะ : น้ำมันมะพร้าวช่วยรักษาสุขภาพของหนังศีรษะทั้งนี้ เพราะน้ำมันมะพร้าวมีสารปฏิชีวนะที่คอยทำลายเชื้อโรค หนังศีรษะจึงไม่มีรังแค และมีวิตามินอีที่ต่อต้านอนุมูลอิสระ หนังศีรษะจึงไม่เหี่ยวย่นแต่มีสุขภาพดี

3. ช่วยให้เส้นผมมีสุขภาพดี : เส้นผมประกอบด้วยส่วนนอก (Culticle) ที่ทำหน้าที่หุ้มส่วนใน (Cortex) หากส่วนนอกอยู่ในสภาพดี ไม่ฉีกขาด เส้นผมก็จะปกติ มีความยืดหยุ่น (Elasticity) ทนทานต่อการบิดงอและมีความเหนียว ส่วนในซึ่งประกอบด้วยโปรตีนที่เรียกว่าเคอราทิน (Keratin) ที่มีประกอบด้วยเส้นเล็กๆ มัดรวมกัน โปรตีนของเส้นผมจะสูญเสียหรือสลายตัวไปตามอายุขัย แต่อาจเร็วขึ้นจากการไม่รักษาผมให้ดี และการทำร้ายเส้นผม เช่น จากการดัดผม การย้อมผมด้วยน้ำยาเคมี แม้กระทั่งการหวีผมที่ใช้หวีที่คม น้ำมันมะพร้าวจึงช่วยลดปริมาณการสูญเสียของเส้นผม เพราะน้ำมันมะพร้าวมีคุณสมบัติยึดเกาะ (Affinity) กับโปรตีนของเส้นผมได้ดี อีกทั้งยังมีขนาดเล็กจึงแทรกซึมเข้าไปในเส้นผมได้สะดวก ในขณะที่น้ำมันทานตะวันและน้ำมันแร่ (Mineral Oil) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้เป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมน้ำมันใส่ผมไม่ได้มีส่วนช่วยแต่อย่างใด เพราะไม่สามารถซึมเข้าไปในเส้นผมได้เหมือนน้ำมันมะพร้าว (ณรงค์, 2548)

จากที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่า น้ำมันมะพร้าวมีบทบาทอย่างมากต่อสุขภาพ และความงามของมนุษย์ไม่ว่าจะใช้ในการบริโภคเป็นอาหาร หรืออาหารที่เป็นยาด้วย (nutraceutical หรือ functional food) และการใช้ภายนอกโดยการใช้ถูนวดตัว หรือชโลมผม เป็นต้น จากข้อมูลทั้งหมดหวังว่าจะจุดประกายกระตุ้นให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องหันกลับมาทบทวนข้อมูลเชิงวิชาการเพื่อทำการวิจัยและพัฒนา น้ำมันมะพร้าวซึ่งมีบทบาทสำคัญในการนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน เนื่องจากสภาพประเทศไทยมีแหล่งมะพร้าวที่สามารถตอบสนองความ-ต้องการของคนในประเทศและต่างประเทศได้ จึงควรช่วยกันสนับสนุนให้น้ำมันมะพร้าวกลับมาเป็นที่นิยมใช้และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่แพร่หลายในอนาคตต่อไป

104126
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation) (Desai, 2005)

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ผู้บริโภคเริ่มให้ความสนใจเกี่ยวกับเรื่องของอาหารเพิ่มมากยิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นเรื่องกลิ่นรสของอาหาร คุณค่าทางโภชนาการ หรือกระบวนผลิต โดยผู้บริโภคมีความต้องการและปรารถนาอาหารที่มีกลิ่นรสที่ดี มีสีที่น่ารับประทาน ลักษณะรูปร่างที่ดี มีคุณค่าทางโภชนาการ และมีกระบวนการการผลิตที่สะอาด, ปลอดภัย, ถูกสุขลักษณะ แต่เนื่องจากในระหว่างกระบวนการผลิตโดยเฉพาะกระบวนการทางความร้อนและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นั้นจะเกิดการสูญเสียสารให้กลิ่นรส คุณค่าทางโภชนาการไป ดังนั้นเทคโนโลยีการเอนแคปซูเลชันจึงเริ่มเข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้นในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจาก การเอนแคป-ซูเลชันเป็นเทคโนโลยีการควบคุมการปลดปล่อยสาร (controlled release technology) ทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้อยู่ในปริมาณที่ต้องการหรืออยู่ในปริมาณที่เหมาะสม และสามารถปลดปล่อยสารนั้นทีละน้อยได้เป็นเวลานานตามความต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสระหว่างกระบวนการผลิต โดยสารส่วนใหญ่ที่จะนำมาทำการเอนแคปซูเลชันจะเป็นสารจำพวก สารให้กลิ่นรส วิตามินต่างๆ ตลอดจนน้ำมันหรือน้ำมันหอมระเหย ซึ่งเทคโนโลยีนี้อาศัยหลักการเคลือบหรือการห่อหุ้ม เพื่อกักเก็บสารที่ต้องการไว้ในรูปของอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งสารที่ต้องการจะถูกเคลือบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน หรือสารโพลิเมอร์บางชนิด ที่มีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์มบางห่อหุ้มเคลือบสารที่ต้องการไว้ได้

เอนแคปซูเลชันเป็นกระบวนการที่ถูกพัฒนาขึ้นเมื่อ 40 ปีก่อน เป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่น สารที่ถูกเคลือบ (coated) หรือ ถูกยึดจับไว้ (entrapped) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือก๊าซซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไปเช่น core material, active, fill, internal phase หรือ payload สารที่นำมาเคลือบจะเรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ capsule ซึ่งสารที่นำมาห่อหุ้มสามารถป้องกันการสูญเสียสารที่ถูกหุ้มจากกระบวนการทางความร้อน เช่น การทอด การอบ การฆ่าเชื้อ และการแปรรูปต่างๆ

2.3.1 จุดประสงค์พื้นฐานของการทำเอนแคปซูเลชัน คือ

2.3.1.1 ทำให้ของเหลวมีพฤติกรรมคล้ายของแข็ง

2.3.1.2 เป็นการแยกสารที่ทำปฏิกิริยากันออกจากกัน

2.3.1.3 ลดความเป็นพิษของวัตถุดิบ

2.3.1.4 หลีกเลี่ยงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารกับสิ่งแวดล้อม

2.3.1.5 เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติพื้นผิวของวัตถุดิบ (ลักษณะทางกายภาพ)

2.3.1.6 ควบคุมการปลดปล่อยสารของวัตถุดิบ (ทำให้มีกลิ่นรสของสารมากที่สุดในผลิตภัณฑ์สุดท้าย)

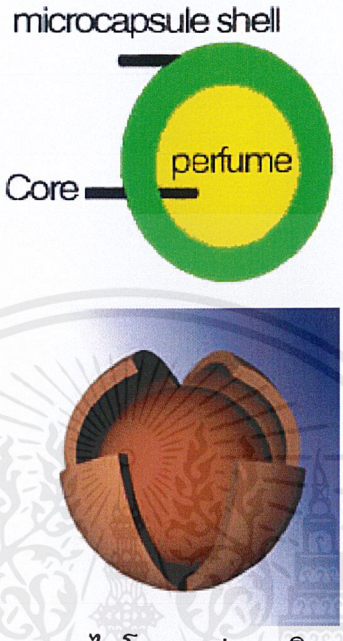
2.3.1.7 ลดการระเหยของของเหลว

2.3.1.8 ทำให้รสขมของสารหลังจากที่ผสมกันลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

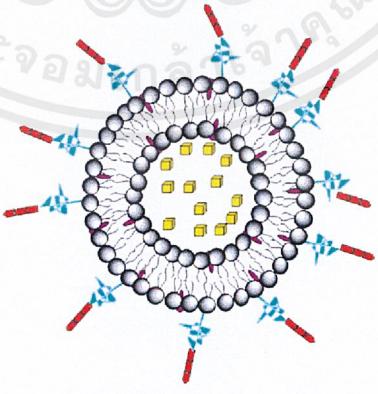
2.3.2 ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน (Desai, 2005)

2.3.2.1 Single core (True encapsulation) เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิค coacervation



ภาพที่ 2.4 แสดงไมโครแคปซูลชนิด Single core

2.3.2.2 Multi-core หรือ Matrix encapsulation เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสส่วนใหญ่ที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย สเปรย์ชิลลิง สเปรย์คลูลิง เอ็กซ์ทรูชันในการเอนแคปซูเลท

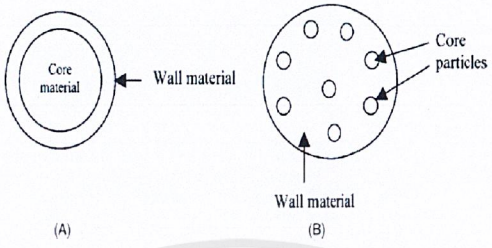


ภาพที่ 2.5 แสดงไมโครแคปซูลชนิด Multi- core

2.3.2.3 Multi-wall หรือ Control release เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่มีการเคลือบผิวครั้งที่สองโดยใช้เทคนิค fluidized bed หรือ centrifugal coating ทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในสภาวะที่ต้องการได้

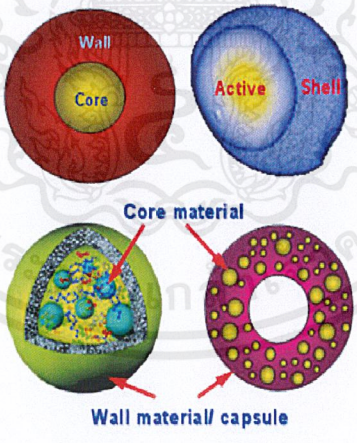
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของไมโครเอนแคปซูเลชันแบ่งได้เป็น 2 แบบ(Desai & Park, 2005) โดยแบบแรกเป็นโครงสร้างอย่างง่ายที่สุด คือ เป็นทรงกลมที่ถูกหุ้มด้วยเปลือกรอบๆเป็นผนังคล้ายไข่ไก่ ดังในภาพที่ 2.6 (A)



ภาพที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของไมโครแคปซูล

ส่วนแบบที่ 2 นั้นสามารถออกแบบให้มีสารที่ถูกห่อหุ้มการกระจายตัวอยู่ภายในไมโครแคปซูลเดียวกัน ดังในภาพที่ 2.6 (B) ตัวอย่างการห่อหุ้มสารตามธรรมชาติ ได้แก่ ไข่ไก่ สปอร์ของแบคทีเรียและเปลือกหอย(Soottitantawat, 2005) ดังแสดงในภาพที่ 2.7

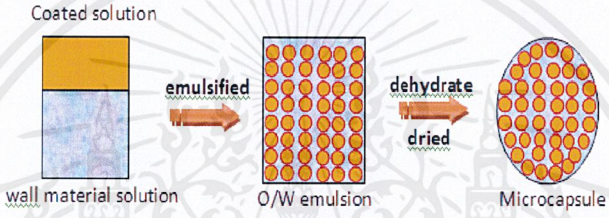


ภาพที่ 2.7 แสดงตัวอย่างของการเอนแคปซูเลชัน ในเปลือกของไข่นก, เปลือกของเมล็ดพืช, สปอร์ของแบคทีเรีย และเปลือกหอย

ประสิทธิภาพในการป้องกันและปลดปล่อยสารนั้นขึ้นอยู่กับส่วนประกอบและโครงสร้างของเปลือกที่มาห่อหุ้ม สภาวะเงื่อนไขระหว่างกระบวนการผลิต และสภาพแวดล้อมของการใช้งานไมโครแคปซูล เช่น อุณหภูมิ, ค่าความเป็นกรดด่าง, ความดัน, ค่าความชื้น เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการของไมโครเอนแคปซูเลชันของน้ำมันประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การทำอิมัลชันและการอบแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 2.5 ขั้นตอนแรก คือ การทำอิมัลชันของสารที่จะหุ้มกับสารละลายเข้มข้นของสารห่อหุ้มด้วยเครื่องกวนให้เป็นเนื้อเดียว(homogenizer) จากนั้นรีบทำอิมัลชันของน้ำมันในน้ำ (O/W Emulsion) ที่ได้ให้แห้งอย่างรวดเร็ว เพื่อไม่ให้มีเวลาเกิดการแยกเฟส จะได้เป็นชั้นของสารห่อหุ้มที่แห้งห่อหุ้มเม็ดสารที่ถูกหุ้มเล็กๆอยู่ภายในสารที่ถูกห่อหุ้ม (Coated or Entrapped Material) นั้นส่วนใหญ่เป็นของเหลว แต่สามารถเป็นของแข็งหรือก๊าซก็ได้ ซึ่งสารนี้สามารถเป็นได้ทั้งสารหอมระเหย ไขมันและน้ำมัน วิตามิน แร่ธาตุ เอนไซม์ และจุลินทรีย์ ส่วนสารห่อหุ้มนั้นอาจเรียกว่าแคปซูล เนื้อเยื่อ หรือเปลือก ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้ง น้ำตาล กัม น้ำตาลหลายโมเลกุล(polysaccharides) ทั้งจากธรรมชาติและที่สังเคราะห์ขึ้นมา โปรตีน ลิปิด และโพลิเมอร์ (Soottitantawat, 2005)



ภาพที่ 2.8 แสดงกระบวนการของไมโครเอนแคปซูเลชัน

ส่วนผสมอาหารอื่นๆที่ใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันได้แก่ กรด (Acid), ไขมัน (lipids), เอนไซม์ (enzymes), จุลินทรีย์ (microorganism), สารทดแทนน้ำตาล (artificial sweetener), วิตามิน (vitamins), เกลือแร่ (mineral), สี (colorants) และ เกลือ (salts)

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารให้กลิ่นรสที่ผ่านการเอนแคปซูเลท

2.3.3.1 คุณสมบัติทางเคมีของสารให้กลิ่นรสได้แก่ โครงสร้างเคมี ความมีขั้ว และความสามารถในการระเหย

2.3.3.2 คุณสมบัติของสารเคลือบ

2.3.3.3 สภาวะที่ใช้ในขั้นตอนการเอนแคปซูเลท

2.4 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation techniques)

(Gouin , 2004)

การเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสสามารถทำได้หลายวิธี วิธีการที่ใช้อย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรมได้แก่ เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) และ การเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคนิคอื่นๆเช่น สเปรย์ชิลลิงและคูลลิง (Spray chilling and cooling), coacervation, การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟูลอิดไดส์เบด (fluidized bed coating),

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กาใช้ไลโปโซมในการหุ้ม (Liposome entrapment), Inclusion complexation, rotational suspension separation และเทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

2.4.1 การเอนแคปซูเลทโดยใช้วิธีทางเคมี (Chemical process)

2.4.1.1 Coacervation การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคนี้ใช้ปรากฏการณ์การเกิดคอลลอยด์ซึ่งประกอบไปด้วยเฟส 3 เฟสซึ่งไม่ละลายซึ่งกันและกัน ได้แก่เฟสต่อเนื่องหรือเฟสของเหลว (continuous phase) เฟสของสารที่จะนำมาเอนแคปซูเลท (core material) และเฟสของสารเคลือบ (coating material phase) การทำให้เกิดการเคลือบผิวในกรณีนี้จะเกี่ยวข้องกับการปรับสภาพของ hydrophilic colloids 2 ชนิด ซึ่งมีประจุต่างกันให้อยู่ในสภาวะที่ประจุเป็นกลางและเคลือบอยู่บนผิวของสารแกนกลาง

ขั้นตอนการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค Coacervation ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่

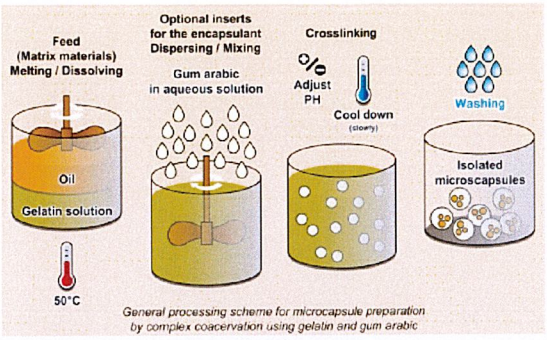
1. การเกิดอนุภาคหรือหยดของเหลวที่มีขนาดเล็ก
2. การเกิด coacervative wall
3. การแยกไมโครแคปซูลที่ได้ออกจากสารละลาย
4. การเกิด Coacervation ทำได้โดย
   - การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ
   - การปรับเปลี่ยน pH
   - การเติม ionic salt
   - การปรับความเข้มข้นและมวลโมเลกุล

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคนี้จะต้องทำการควบคุมการผสมเพื่อทำให้สารเคลือบเคลือบบนผิวของสารแกนกลางอย่างสม่ำเสมอ สารเคลือบที่ใช้ได้แก่ เจลาทิน การเคลือบผิวรอบๆสารแกนกลางเกิดจากการดูดซับ Hydrophilic phase ที่บริเวณผิวของสารแกนกลาง การเติม electrolyte เข้าไปในระบบจะทำให้เกิดการตกตะกอนของคอลลอยด์โดย electrolyte จะไปทำให้ประจุเป็นกลางซึ่งจะช่วยให้เกิดการเคลือบที่บริเวณผิวของสารแกนกลาง จากนั้นทำให้ไมโครแคปซูลที่ได้อยู่ในรูป solid microcapsule โดย desolvation หรือ thermal cross-linking ซึ่งการแยกสารที่ได้จะใช้วิธีการกรอง การแยกเหวี่ยง หรือการล้างโดยใช้สารละลายที่เหมาะสมแล้วนำมาทำแห้ง

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ในการห่อหุ้มกลิ่น วิตามิน สารหอมระเหย ส่วนผสมอาหารที่ไวต่อสิ่งเร้าและจุลินทรีย์

ปัญหาของเทคนี้คือ กระบวนการค่อนข้างซับซ้อนและเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 แสดงการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค Coacervation

2.4.1.2 Co-crystallization การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิค co-crystallization เกิดระหว่างการตกผลึกของซูโครสไซรัปในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด (95-97°Brix) ที่อุณหภูมิสูง (>120°C) โดยเติมสารให้กลิ่นรสลงไประหว่างการเกิดผลึก (spontaneous crystallization) ทำให้เกิดโครงสร้างผลึกที่มีขนาดเล็กล้อมรอบสารให้กลิ่นรสอยู่ภายในโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคนี้จะมี low hygroscopicity, good flowability และ dispersion properties

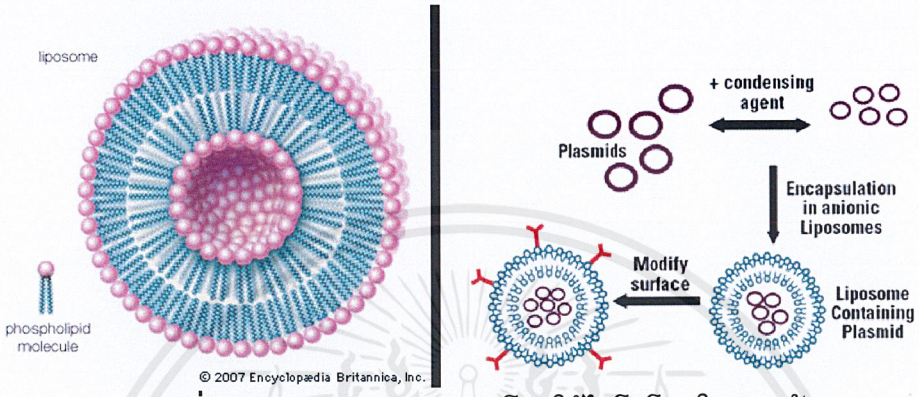
2.4.1.3 Molecular inclusion เป็นเทคนิคการเอนแคปซูเลทในระดับโมเลกุล วิธีการนี้จะใช้ไซโคลเด็กซ์ทริน (cyclodextrin) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอนไซม์ไกลโคสิล แทรนซะเฟอเรส (glycosyl-transferase) มาทำปฏิกิริยากับสตาร์ช เปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์วงแหวนที่ประกอบไปด้วยน้ำตาลกลูโคส 6,7 หรือ 8 เรียกว่า แอลฟา-, บีตา- หรือ แกมมา-ไซโคลเดกซ์ทรินตามลำดับ บริเวณตรงกลางโมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทรินจะมีลักษณะเป็น hydrophobic ส่วนที่ผิวนอกจะมีลักษณะเป็น hydrophilic เมื่ออยู่ในสารละลายโมเลกุลที่มีขั้วน้อยกว่าจะแทนที่โมเลกุลของน้ำที่อยู่ตรงกลางของโมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทริน สารประกอบที่เกิดขึ้นจะละลายได้น้อยและตกตะกอนแยกตัวออกมาจากสารละลาย เทคนิคนี้จะใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสที่ไม่เสถียรและ high added value flavor chemicals โมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทริน โดยปัจจัยที่มีผลต่อการกักเก็บสารให้กลิ่นรสที่ผ่านการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคนี้ ได้แก่ น้ำหนักและรูปร่างของโมเลกุล, คุณสมบัติทางเคมี (Chemical functionality), ความมีขั้ว (polarity) และความสามารถในการระเหย (volatility) ของสารแกนกลาง การ-ปลดปล่อยของสารแกนกลางจะเกิดขึ้นเมื่อสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมที่เป็นน้ำ หรือที่อุณหภูมิสูง

2.4.1.4 การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม (Liposome entrapment) วิธีนี้ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตยา (pharmaceutical industry) โดยจะใช้เป็นตัวส่ง วัคซีน ฮอร์โมน เอนไซม์ หรือวิตามิน เข้าไปในร่างกาย ปัจจุบันได้มีการนำมาประยุกษ์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไลโปโซมประกอบด้วยเฟสที่เป็นน้ำ (aqueous phase) ล้อมรอบโดยเมมเบรนที่ประกอบด้วยฟอสโฟไลปิด (phospholipids-base membrane) เมื่อฟอสโฟไลปิดกระจายตัวอยู่ในเฟสที่เป็นน้ำจะเกิดการ form เป็นไลโปโซมโดยอัตโนมัติ ไลโปโซมสามารถใช้ในการหุ้มสารที่ละลายได้น้ำหรือในไขมันไว้ภายในสารให้กลิ่นรสจะถูกเอนแคปซูเลทอยู่ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของเทคนิคนี้คือ ความคงตัวของไลโปโซมเมื่อใช้งานในสภาวะที่มีวอเตอร์แอคติวิตี้สูง

ปัญหาของวิธีนี้คือ ไมโครเอนแคปซูเลชันที่ได้โดยใช้วิธีนี้จะต้องเก็บรักษาในสารละลายเจือจางที่เหมาะสมด้วย ซึ่งจะเป็นอุปสรรคในกระบวนการผลิตขนาดใหญ่ ลำบากยุ่งยากในการเก็บรักษาและการขนส่ง



ภาพที่ 2.10 การเอนแคปซูเลทโดยใช้ไลโปโซมในการหุ้ม

2.4.2 การเอนแคปซูเลทโดยใช้เครื่องมือ (Mechanical processes)

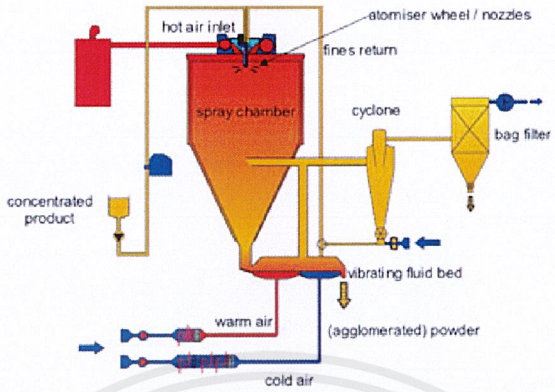
2.4.2.1 เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying technique) การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคการเอนแคปซูเลทที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่หาได้ง่าย และต้นทุนการผลิตในวิธีนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่น ขั้นตอนการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วย การนำตัวกลางที่ใช่ในการเคลือบ (carrier หรือ wall material) เช่น มอลโตเด็กซ์ตริน(maltodextrin), สตาร์ชดัดแปลง(modified starch), กัมหรือ ส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำ จากนั้นนำสารที่ให้กลิ่นรสที่ต้องการนำมาเอนแคปซูเลทมาผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้เคลือบ (carrier solution)โดยทั่วไปอัตราส่วนของสารเคลือบและสารแกนกลางจะอยู่ในช่วง 4:1 นำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ (homoginize) เพื่อให้เกิดหยดสารให้กลิ่นรสในสารของตัวกลางที่ใช้เคลือบ จากนั้นนำส่วนผสมของสารแกนกลางและสารเคลือบฟีดเข้าไปยังเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยตัวอย่างจะถูกพ่นเป็นละอองฝอยผ่านหัวฉีด(nozzle หรือ spinning wheel) ภายในห้องอบแห้งจะมีกระแสอากาศร้อนเคลื่อนที่ขนานหรือสวนทางกันผลิตภัณฑ์ เมื่อกระแสของอากาศร้อนสัมผัสกับละอองของหยดของของเหลวจะทำให้น้อระเหยออกไป จากนั้นอนุภาคของผลิตภัณฑ์และกระแสของอากาศร้อนจะเคลื่อนที่ไปยังไซโคลนซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้แยกผลิตภัณฑ์ออกจากกระแสลมร้อน ผลิภัณฑ์ที่ได้จะเป็นลักษณะแบบไมโครแคปซูล

ข้อดีของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

- ต้นทุนการผลิตต่ำ
- เครื่องมือที่ใช้สามารถหาได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถปกป้องสารแกนกลางได้เป็นอย่างดี และสามารถเลือกใช้ตัวกลางในการเคลือบได้หลายชนิด



ภาพที่ 2.11 แสดงการเอนแคปซูเลทโดยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

2.4.2.2 การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบด (Fluidized bed coating หรือ Air suspension coating)

เทคนิคนี้เป็นการเคลือบผิวอนุภาคของแข็งโดยอนุภาคที่จะต้องการเคลือบผิวจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับกระแสอากาศที่เคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่ภายในห้องอบแห้งด้วยความเร็วสูง ในขณะเดียวกันตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบจะถูกฟีดผ่านหัวฉีดและพ่นเป็นละอองฝอยไปยังกระแสของอนุภาค (Particle stream) และเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาคความหนาของสารเคลือบผิวสามารถควบคุมได้โดยควบคุมระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่อยู่ในห้องอบแห้ง

การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบดประกอบไปด้วยขั้นตอนในการดำเนินงาน 3 ขั้นตอน คือ

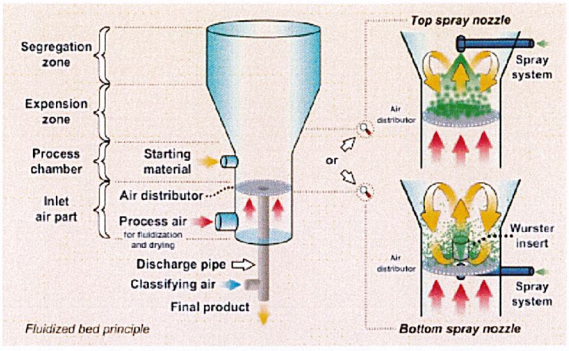
1. อนุภาคที่ต้องการเคลือบจะถูกทำให้ลอยตัว (Fluidized) อยู่ในกระแสอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง

2. สารเคลือบจะถูกพ่นฝอยผ่านหัวฉีดไปยังอนุภาคที่ต้องการเคลือบซึ่งจะทำให้เกิดฟิล์มรอบๆอนุภาค

3. หยดเล็กๆของสารเคลือบจะกระจายและสะสมอยู่บนผิวของอนุภาคจากนั้นตัวทำละลายหรือส่วนผสมของตัวทำละลายจะระเหยออกจากผิวของอนุภาคโดยอากาศร้อนและสารเคลือบจะเคลือบอยู่บนผิวของอนุภาค

เทคนิคนี้จะขึ้นกับหัวฉีดที่ใช้ในการสเปรย์สารเคลือบไปยังอนุภาคของสารให้กลิ่นรสที่เคลื่อนที่อยู่ในกระแสอากาศร้อนระหว่างกระบวนการฟลูอิดไดส์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคผลิตภัณฑ์จะอยู่ในช่วง 0.3-10 มิลลิเมตร วิธีการนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในการเคลือบ spray-dried flavor เนื่องจากสารที่ใช้จะละลายได้ทันที เทคนิคนี้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.12 แสดงการเอนแคปซูเลทโดยเทคนิคฟลูอิดไดส์เบด

2.4.2.3 เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถประยุกต์ใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสที่ไวต่อความร้อน การเอนแคปซูเลทจะเกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการแช่เยือกแข็งโดยขณะที่น้ำในสารละลายเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งสารละลายในส่วนที่เป็นน้ำยังไม่แข็งตัว (Non-frozen solution) จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยชะลอการแพร่ของสารให้กลิ่นรส เมื่อปริมาณผลึกเพิ่มมากขึ้นสารละลายที่มีสารให้กลิ่นรสละลายอยู่จะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวดและเริ่มตกผลึกโดยจับสารให้กลิ่นรสไว้ภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูป amorphous solid

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงซึ่งพบว่าสูงกว่าเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยประมาณ 50 เท่า เนื่องจากค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างสูง รวมถึงระยะเวลาการผลิตจะนานกว่าการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคอื่น

2.4.2.4 สเปรย์ชิลลิง (Spray chilling) และสเปรย์คูลลิง (spray cooling)

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคสเปรย์ชิลลิง (Spray chilling) และสเปรย์คูลลิง (spray cooling) จะคล้ายกันโดยสารแกนกลางจะกระจายตัวอยู่ในสารละลายที่ใช้ในการเคลือบ จากนั้นทำการฟีดของผสมที่ได้ผ่านหัวฉีด (atomizer) เพื่อทำให้เป็นละอองฝอย เทคนิคนี้ต่างจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ไม่มีการระเหยน้ำโดยของผสมระหว่างสารแกนกลางและสารเคลือบจะถูกฉีดพ่นไปยังอากาศเย็น (cooling or chilling air) ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้สารเคลือบเกิดการแข็งตัวรอบๆผิวของสารแกนกลาง

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคสเปรย์ชิลลิง สารที่ใช้ในการเคลือบจะเป็นสารพวก Fractionated หรือ hydrogenate vegetable oil ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 32-42 องศาเซลเซียส ในขณะที่เทคนิคสเปรย์คูลลิง สารที่ใช้เคลือบจะเป็นพวกน้ำมันพืช (vegetable oil) หรือสารชนิดอื่นที่มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 45-122 องศาเซลเซียส

ดังนั้นเทคนิคของสเปรย์ชิลลิง และสเปรย์คูลลิง จึงต่างกันที่ จุดหลอมเหลวของสารที่ใช้ในการเคลือบเท่านั้น โดยทั้งสองเทคนิคจะนิยมใช้ในการเอนแคปซูเลทสารที่มีกลิ่นรส วิตามิน เกลือแร่(Mineral) เนื่องจากสามารถเลือกจุดหลอมเหลวของสารเคลือบทำให้สามารถควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปลดปล่อย (control release) สารแกนกลางได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการเอนแคปซูเลทโดยวิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมอบ(Bakery product), ซุปผง (dry soup mixes) และผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของไขมันสูง

2.4.2.5 เอกซ์ทรูชัน (Extrusion)

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชันสามารถใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้ง่าย เช่น น้ำมันมะนาว(citrus oils) วิตามินซีและสีที่ใช้ในการผสมอาหารเป็นต้น โดยสารที่เคลือบจะอยู่ในรูปของมวลคาร์โบไฮเดรตที่หลอมเหลว ข้อดีของการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชัน คือ สามารถปกป้องสารให้กลิ่นรสให้มีความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากคาร์โบไฮเดรตเมทริกส์ (Carbohydrate matrices) ใน glassy state จะมีคุณสมบัติในการเป็น barrier ที่ดี

การเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชัน จะเกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารให้กลิ่นรสในมวลของคาร์โบไฮเดรตที่หลอมเหลว โดยส่วนผสมจะถูกบังคับให้เคลื่อนผ่านหัวไดล์ (Die) ไปยังของเหลวซึ่งใช้ในการดึงน้ำออก (dehydrating liquid) ซึ่งจะทำให้สารเคลือบเกิดการแข็งตัวและจับสารแกนกลางไว้ภายในของเหลวที่ใช้ในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ได้แก่ isopropyl alcohol ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นซึ่งมีความแข็ง (harden material) ซึ่งต้องนำไปผ่านขั้นตอนการทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆและทำให้แห้ง

การใช้เทคนิคเอกซ์ทรูชันจัดเป็นกระบวนการเอนแคปซูเลทอย่างแท้จริง (true encapsulation) โดยสารแกนกลางจะถูกล้อมรอบด้วยตัวกลางที่ใช้เคลือบอย่างสมบูรณ์เมื่อสัมผัสกับของเหลวที่ทำหน้าที่ดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบผิวจะแข็งตัว สารให้กลิ่นรสที่ติดอยู่ที่ผิวของผลิตภัณฑ์จะถูกกำจัดออกไปจึงทำให้ไม่มีสารให้กลิ่นรสหลงเหลืออยู่ที่ผิวของผลิตภัณฑ์การเอนแคปซูเลทจึงเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้เป็นระยะเวลานาน (excellent shelf life) ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเอนแคปซูเลทโดยวิธีนี้จะมีอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถเห็นได้ในลักษณะเป็นชิ้นผลิตภัณฑ์ (flavor pieces) ปัญหาของการใช้เอ็กซ์ทรูชัน คือ ไมโครแคปซูลที่ได้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ขนาดประมาณ 500–1000 mm ซึ่งไม่สามารถใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่ต้องการเนื้อสัมผัสที่ละเอียด

2.5 การโฮโมจีไนเซชัน (เอกดนัย, 2551)

การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenization) คือ การผสมวัตถุอย่างน้อย 2 ชนิด ให้มีขนาดของโมเลกุลเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่า การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันก็คือ การลดขนาดวัตถุให้มีขนาดเล็กที่สุดก็ได้ เทคนิคการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันมีหลายอย่าง เริ่มตั้งแต่วิธีการพื้นฐานอย่างการตัด, หั่น, บด, ปั่น, โม่ และกวน จนกระทั่งเทคนิคการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค ซึ่งเป็นคลื่นเสียงความถี่สูง เพื่อเร่งทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่แตกจนมีขนาดเล็กลง สำหรับในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แล้ว เครื่องมือที่ใช้ผสมตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกันคือเครื่อง Homogenizer และนอกจากเครื่องมือนี้จะใช้ผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วยังสามารถใช้เพื่อแตกเซลล์ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Homogenizer หรือ เครื่องผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับก่อกำเนิดความเร็วและแรงเฉือนสูง เพื่อลดขนาดวัตถุให้มีขนาดอนุภาคเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยการปั่น ตัด และผสมที่ความเร็วสูง เครื่อง Homogenizer สามารถใช้ได้กับตัวอย่างวัตถุหลายชนิด โดยจะใช้งานได้ดีกับผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นหรือมีปริมาณไขมันสูง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานหลายด้านทั้งงานด้านอาหาร (มักใช้กับนม อาหารสำหรับเด็กอ่อน น้ำผลไม้ และผลิตภัณฑ์ประเภทซอสปรุงรสต่างๆ) การเตรียมตัวอย่างยา งานวิจัยทางชีวภาพ และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น การบดและโม่กระดาษ การผสมตัวอย่าง และใช้ผสมผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นต้น นอกจากนี้ ยังนิยมใช้เครื่อง Homogenizer ในการแตกเซลล์ เพื่อนำตัวอย่างสารหรือองค์ประกอบภายในเซลล์ไปวิเคราะห์ด้วย

2.5.1 หลักการทำงานและประเภทของ Homogenizer

Homogenizer สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะการทำงานได้ 3 แบบ คือ

2.5.1.1 Rotor-Stator Homogenizers : โรเตอร์หรือสเตเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดแรงเฉือนสูงทำให้สามารถลดขนาดวัตถุได้ดี โดยแรงเฉือนนี้เกิดจากใบมีดที่วางเรียงตัวเป็นแถวโดยรอบบริเวณปลายด้ามผสม ใบมีดเหล่านี้จะเฉือนวัสดุทุกชนิดเข้ามาใน Stator Tip เมื่อโรเตอร์หมุนวัตถุตัวอย่างจะถูกดูดและหมุนเหวี่ยงผ่านออกมาทางช่องของสเตเตอร์ โดยทั่วไปแล้วจะใช้เวลาสำหรับผสมตัวอย่างประมาณ 20-60 วินาที จึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน

ภาพที่ 2.13 แสดงลักษณะของหัวโรเตอร์ - สเตเตอร์

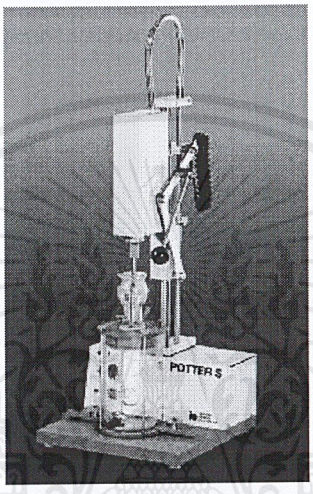
การทำงานของโรเตอร์-สเตเตอร์

โดยทั่วไปแล้ว Rotor-Stator Homogenizer ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการนั้นจะมีส่วนขับเคลื่อนอยู่ด้านบน ซึ่งมีมอเตอร์ที่หมุนด้วยความเร็วสูงประมาณ 8 ,000 – 60,000 rpm อยู่ด้านใน ขนาดของหัวโรเตอร์-สเตเตอร์ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามขนาดปริมาตรของตัวอย่าง ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้กับตัวอย่างที่มีปริมาตรตั้งแต่ 0.5-50 มิลลิลิตร หรืออาจได้มากสูงสุดถึง 10 ลิตร ขึ้นกับขนาดของเครื่อง โดยขนาดของทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์นั้นต้องสัมพันธ์กันอยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับที่เหมาะสม สเตเตอร์ไม่ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าโรเตอร์จนเกินไป เพราะจะทำให้ช่องว่างระหว่างโรเตอร์-สเตเตอร์นั้นมากเกินไป จึงไม่สามารถผสมตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอได้ และไม่ควรอยู่ชิดกันเกินไปเพราะอาจทำให้เกิดความร้อนสูงบริเวณหัวปั่น โดยอัตราส่วนระหว่างโรเตอร์ : สเตเตอร์ โดยทั่วไปแล้วอยู่ที่ 1 :1.5

ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันนั้น ตัวอย่างวัตถุจะต้องมีขนาดเล็กพอที่จะเข้าไปอยู่ภายในช่องบริเวณหัวของสเตเตอร์ได้ ถ้าตัวอย่างมีขนาดใหญ่เกินไปอาจต้องตัด หั่น หรือบด ให้เป็นชิ้นเล็กๆก่อนจึงจะนำเข้าสู่กระบวนการได้

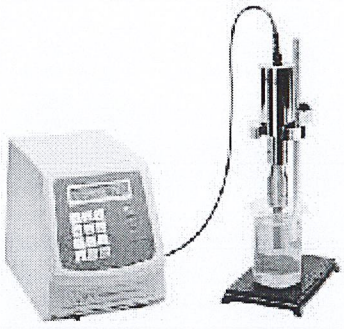


ภาพที่ 2.14 Potor-Stator Homogenizer

2.5.1.2 Ultrasonic Homogenizer : Homogenizer ชนิดนี้ทำงานโดยใช้การสร้างคลื่นความดันในตัวอย่างของเหลว เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม คลื่นความดันนี้จะเป็นผลให้เกิดการสร้างฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากและระเบิดออกอย่างรุนแรง เกิดเป็นสภาวะโพรงอากาศ (Cavitation) การระเบิดจะทำให้เกิดคลื่นกระแทก (Sock Wave) หรือเกิดเป็นคลื่นอัลตร้าโซนิคซึ่งมีพลังมากพอที่จะทำให้ตัวอย่างในของเหลวเกิดการแตกกระจายเป็นชิ้นเล็กๆได้ คลื่นอัลตร้าโซนิคที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ในช่วงความถี่ 18 ถึง 50 กิโลเฮิร์ต ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่หูของมนุษย์ไม่สามารถได้ยิน และทำให้เกิดแรงดันได้มากกว่า 500 บรรยากาศและอุณหภูมิมากกว่า 5000 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปแล้ว เครื่องมือที่ให้กำเนิดคลื่นอัลตร้าโซนิคทุกชนิด จะมีโครงสร้างการทำงานพื้นฐานคล้ายกัน แต่อาจมีข้อแตกต่างกันเล็กน้อยตามความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน ปริมาตรของตัวอย่าง และข้อจำกัดของพื้นที่การทำงาน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.15 Ultrasonic Homogenizer

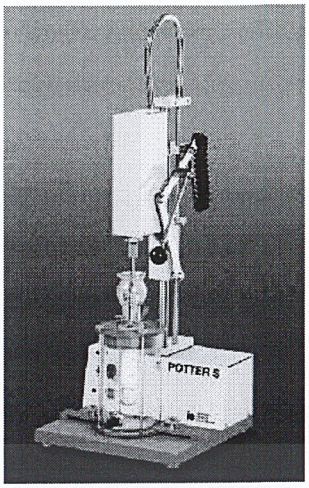
2.5.1.3 Piston Pump Homogenizers : เครื่อง Homogenizer ชนิดนี้เป็นเครื่องที่ใช้แรงอัดตัวอย่างผ่านช่องหรือท่อขนาดเล็ก หรือช่องวงกลม (Annular Gap) โดยการทำงานของปั๊มลูกสูบ เมื่อตัวอย่างของเหลวถูกอัดผ่านท่อด้วยความเร็วสูง จะทำให้เกิดแรงอัดปริมาณมหาสารดันตัวอย่างของเหลวผ่านช่องขนาดเล็กทำให้ตัวอย่างไหลทะลักออกมาทางช่องนั้น จนทำให้ตัวอย่างมีอนุภาคขนาดเล็กลงและเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น Homogenizer ชนิดนี้มักใช้กับตัวอย่างที่เป็นของเหลวหรือตัวอย่างที่มีของแข็งปริมาณน้อย และมักใช้ในระดับโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมนม ใช้สำหรับผสมน้ำนมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

2.5.2 เทคโนโลยีของเครื่อง Homogenizer ในปัจจุบัน

2.5.2.1 Tissue Culture Homogenizer

เครื่อง Homogenizer เป็นเครื่องมือที่ทำให้เกิดแรงเฉือนสูง จนทำให้อนุภาคตัวอย่างแตกกระจายออกเป็นชิ้นๆได้ แต่ในงานเพาะเลี้ยงเซลล์และเนื้อเยื่อจะมีแตกเซลล์เพื่อเก็บตัวอย่างสารที่อยู่ภายในเซลล์ รวมทั้งดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ และโปรตีน การทำให้เซลล์แตกโดยใช้เครื่อง Homogenizer อาจทำให้ตัวอย่างเหล่านี้เกิดความเสียหายได้จึงมีการคิดค้นหัวปั่นหรือหัวแทง (Plunger) ของเครื่อง Homogenizer ให้เป็นวัสดุประเภทแก้วโบโรซิลิเกต หรือ PTFE และมีกระบอกแก้วสำหรับใช้ปั่นย่อยตัวอย่าง ซึ่งต้องใช้คู่กัน หัวปั่นชนิดนี้จะช่วยให้การแตก-เซลล์สามารถทำได้อย่างนุ่มนวลขึ้นสามารถแตกเซลล์ได้โดยไม่ทำให้ตัวอย่างและองค์ประกอบภายในเซลล์เสียหาย จึงเหมาะกับงานวิเคราะห์เกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงเซลล์และเนื้อเยื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.16 Tissue culture Homogenizer

2.5.2.2 Very-High-Pressure Technology (VHP)

Very-High-Pressure Technology หรือ VHP เป็นเทคโนโลยีของเครื่อง Homogenizer แบบ Piston pump เทคโนโลยีนี้เป็นการควบคุมการเคลื่อนที่ของของไหลภายใต้แรงดันสูงประมาณ 1500 บาร์ หรือ 21 ,750 psi ผ่านเข้าสู่ช่องเล็กๆภายใน Microsizing Valve ทำให้อนุภาคของไหลมีขนาดอนุภาคเล็กลงจนถึงขนาดไมครอน เรียกกระบวนการนี้ว่า Micronization โดยของไหลจะไหลผ่านใน Microsizing Valve ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวและแรงเฉือนอย่างรุนแรง ร่วมกับแรงอัด ความเร่ง และความดันที่ลดลง ผลที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการแตกของอนุภาคและการกระจายตัวของตัวอย่าง

หลังจากการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว อนุภาคที่ได้จะมีขนาดเดียวกัน คือ อยู่ในช่วง 0.2-2 ไมครอน ขึ้นอยู่กับแรงดันของกระบวนการ ส่วนคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเปลี่ยนแปลงตามแรงดันและชนิดของตัวอย่าง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแรงดันสูงจะทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กได้ดีกว่าแรงดันต่ำ ปัจจุบันมีระบบ Two-stage microsizing valve เป็นการลดขนาดตัวอย่าง 2 ครั้ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กและเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด

2.5.3 การนำ Homogenizer ไปใช้ประโยชน์ในระดับโรงงานอุตสาหกรรม

Homogenizer ถูกนำไปใช้ในการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท ครีม ยาสีฟัน ยาย้อมผม และอุปกรณ์อาบน้ำต่างๆ

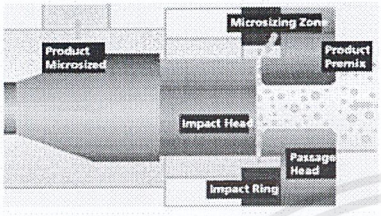
2.5.3.1 อุตสาหกรรมยา ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท ยาน้ำ ยาขี้ผึ้ง ยาเคลือบ และโลชั่น

2.5.3.2 อุตสาหกรรมอาหาร ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท มายองเนสมัสตาร์ต และสารแต่งกลิ่นต่างๆ

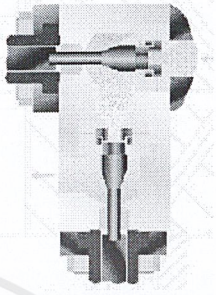
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.3 อุตสาหกรรมการเคลือบ ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท สี, หมึก, ขี้ผึ้ง (Wax), แอสฟัลต์ (น้ำมันดิน สำหรับเคลือบถนน), แลกเกอร์ และเรซิน

2.5.3.4 อุตสาหกรรมสิ่งยึดติด ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทเรซินเชื่อมวัตถุ (Epoxy) โพลียูริเทน และซิลิกอน และอุตสาหกรรมเคมี ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทพลาสติก และยาง



ภาพที่ 2.17 Microsizing valve



ภาพที่ 2.18 Two - Stage Microsizing Valve

2.5.4 การแตกเซลล์

เซลล์เป็นหน่วยย่อยที่สุดของสิ่งมีชีวิตซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ ผนังเซลล์, เยื่อหุ้มเซลล์, ไซโตพลาสซึม, นิวเคลียส และออร์แกเนลอื่นๆ ภายในไซโตพลาสซึม มีองค์ประกอบหลายอย่าง ได้แก่ กรดนิวคลีอิก, โปรตีน, คาร์โบรไฮเดรต, ไขมัน, เอนไซม์, เม็ดสี และน้ำ ในการที่จะแยกองค์ประกอบต่างๆของเซลล์ออกมาศึกษานั้น จำเป็นต้องทำลายผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ออกก่อน ในบางครั้งเซลล์อาจจะหลั่งสารที่ต้องการศึกษาออกมาได้ แต่ส่วนใหญ่แล้ว เซลล์ต้องถูกทำให้แตกก่อนเพื่อให้ส่วนประกอบภายในเซลล์หลุดออกมา การแตกเซลล์เป็นขั้นตอนที่สำคัญและต้องระวังเป็นพิเศษ กระบวนการทำต้องรวดเร็วและนุ่มนวล เพื่อไม่ทำให้องค์ประกอบภายในเซลล์ที่หลุดออกมาเสียหาย และยังมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีครบถ้วน เครื่องHomogenizerประเภทที่นิยมใช้กับการแตกเซลล์ คือ เครื่อง Homogenizer ชนิด Ultrasonic เพราะสามารถให้กำเนิดแรง เฉือนจากคลื่นความถี่สูงได้ โดยที่ไม่ทำลายองค์ประกอบอื่นของเซลล์ โดยเซลล์แต่ละชนิดจะใช้คลื่นความถี่สูงต่างกันในการแตก-เซลล์ หรือใช้เครื่อง Homogenizer ที่มีหัวปั่นเป็นแก้วโบโรซิลิเกตก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การอบแห้งแบบพ่นฝอย (ญาณิกาและคณะ, 2549)

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการทำแห้งที่เหมาะกับการทำแห้งที่เหมาะกับผลิตภัณฑ์เริ่มต้นที่เป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน(Homogeneous Solution) หรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน(Non-Homogeneous Solution) เป็นกรอบแห้งแบบรวดเร็ว อาหารสัมผัสกับความร้อนในระยะเวลาสั้น การอบแห้งแบบพ่นฝอยจะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ จะให้ของเหลวหรือสารละลายอาหารถูกทำเป็นละอองฝอยด้วยหัวอัดฉีด (Atomizer) เข้าไปในห้องทำแห้งซึ่งมีลมร้อนผ่านเข้ามา ทำให้ละอองฝอยของอาหารสัมผัสกับลมร้อนและเกิดการระเหยของน้ำในละอองฝอย อนุภาคที่แห้งจะลอยกระจายในลมร้อนแล้วเข้าสู่เครื่องแยกไซโคลนออกจากเครื่องเป็นผลิตภัณฑ์ผง อาหารที่ป้อนเข้าไปจะถูกควบคุมให้เหมาะสมกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ตัวแปรที่ถูกควบคุม เช่น ความหนืด ความเข้มข้น และองค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ลักษณะการไหล ตัว Atomizer (หัวอัดฉีด) การส่งผ่านความร้อนและมวล การแยกอาหารแห้งออกจากการแสลม เป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะอาหารผงและประสิทธิภาพการทำแห้ง

2.6.1 อาหารที่ใช้ในการ Spray Drying สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.6.1.1 แบบไม่เหนียวหนืด (Non-Sticky) ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพแน่นอน มีการดูดซับน้ำที่น้อยกว่าและมีอัตราการไหลไปยัง Chamber ที่คงที่ การออกแบบกระบวนการผลิตและเครื่องสามารถทำได้โดยง่าย เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภทหางนม โปรตีน แป้ง

2.6.1.2 แบบเหนียวหนืด (Sticky) จะมีผลิตภัณฑ์ที่คงเหลืออยู่ในรูปของไซรัปหรือติดอยู่ตามผนังของห้อง ซึ่งจะทำให้ค่าประสิทธิผลต่ำลงและเกิดปัญหาในกระบวนการโดยอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงไม่กี่องศาในกระบวนการผลิตก็อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้นได้ เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภท น้ำผัก ผลไม้ พวกตาลแลกโตส

2.6.2 ลักษณะการไหลภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

มีหลายแบบโดยทั่วไปแล้วจะสามารถแบ่งได้ 4 แบบ

2.6.2.1 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดสวนทางกัน

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดสวนทางกัน ของเหลวจะถูกพ่นใกล้กับส่วนบนของห้องอบแห้งและตกลงมา ขณะที่อากาศจะนำเข้าสู่เครื่องใกล้กับด้านล่างของห้องอบแห้ง และเคลื่อนที่สู่ด้านบนผ่านหยดเหลวผลิตภัณฑ์ที่แห้งจะออกจากด้านล่างของห้อง ขณะที่อากาศถูกกำจัดออกใกล้ส่วนบนของห้องอบแห้งอากาศที่เข้าซึ่งมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง จะสัมผัสโดยตรงกับผลิตภัณฑ์ซึ่งแห้งหรือเกือบแห้ง แต่ข้อเสียของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะลดลงเนื่องจากความร้อนที่มีต่อผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้อัตราไหลของอากาศต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อนข้างต่ำเพื่อหลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์ติดไปกับอากาศในปริมาณมาก เมื่ออากาศถูกดูดออกจากด้านบนของเครื่อง

2.6.2.2 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน จะมีการผสมอากาศเข้ากับหยดของเหลวที่เกิดขึ้นใหม่ที่เครื่อง Atomizer หลังจากการผสมตอนต้นแล้ว ผลิตภัณฑ์และอากาศจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับขณะที่กระบวนการทำแห้งดำเนินต่อไปผลิตภัณฑ์และอากาศส่วนใหญ่จะออกจากเครื่องอบแห้งที่ทางออกด้านล่างและเคลื่อนที่ไปยังระบบแยก การจัดตัวเช่นนี้เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ที่มีความไวต่อความร้อนเนื่องจากผลิตภัณฑ์เหลวสัมผัสกับอากาศเข้าอุณหภูมิสูงและผลิตภัณฑ์แห้งสัมผัสกับอากาศร้อนหลังจากอุณหภูมิลดลงอย่างมาก

2.6.2.3 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน

การไหลของผลิตภัณฑ์และอากาศผ่านเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน ผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่เครื่องด้วยตัว Atomizer ที่อยู่ใกล้กับศูนย์กลางห้องอบแห้ง อากาศที่เข้าส่วนบนจะเคลื่อนที่ลงมาด้านล่างของห้องอบแห้ง ซึ่งจะสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนไปยังช่องอากาศภายอนอก ผลิตภัณฑ์จะออกใกล้กับส่วนล่างของห้องอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิของอากาศที่เข้าเครื่องสูงอาจทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ระบบนี้มีความสามารถในการระเหยต่อหน่วยปริมาตรสูงขึ้น

2.6.4.4 เครื่องอบแห้งแบบฝอยที่มีการไหลขนานกัน

เครื่องอบแห้งแบบฝอยที่มีการไหลขนานกัน การไหลของผลิตภัณฑ์และอากาศค่อนข้างจะเป็นเส้นสม่ำเสมอจากด้านบนสู่ด้านล่างของห้องอบแห้งที่แคบ ผลิตภัณฑ์และอากาศจะออกจากห้องอบแห้งด้วยกัน แล้วเคลื่อนที่ไปยังส่วนที่ใช้แยกของระบบ ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบนี้จะแตกต่างจากชนิดกระแสไหลตามกัน คือ ความเร็วลมที่ใช้สูง ทำให้อุณหภูมิอากาศเข้าสูง ความเร็วลมนี้โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 2-3 เมตรต่อวินาที

2.6.3 หัวฉีดที่ใช้พ่นของเหลวในเครื่องอบแห้ง

มีหลายชนิดจำแนกออกเป็น 4 ชนิด คือ

2.6.3.1 Centrifugal Pressure Nozzle หัวจ่ายนี้จำเป็นต้องใช้ความดันในการอัดของเหลวผ่านช่องเปิดเล็กๆ แล้วเกิดแผ่นของเหลวขึ้นซึ่งจะแตกออกเป็นหยดเล็กๆตามต้องการสำหรับการอบแห้งแบบพ่นฝอย เครื่อง Nozzle นี้จะทำให้เกิดแผ่นของเหลวลักษณะเป็นกรวยซึ่งเกิดจากการบีบของเหลวให้ไหลผ่านช่องเปิดวงแหวนแคบๆ

2.6.3.2 Fan - Spray Nozzle ใช้ทำให้เกิดหยดเหลวโดยกระทบกระแสของเหลวบนช่องเปิดเล็กๆ ซึ่งออกแบบมาเพื่อให้เกิดแผ่นของเหลวในระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบของกระแสของเหลว แผ่นบางๆ ของของเหลวจะเกิดขึ้นแล้วแตกออกเป็นหยดของเหลว Fan-Spray Nozzle จะทำงานได้ดีที่สุดที่ความดันสูงและมีมุมการพ่นกว้างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3.3 Two - Fluid Atomizer หลักการ คือ การใช้กระแสก๊าซความเร็วสูงเพื่อให้กระทบกับกระแสของเหลวความเร็วต่ำ แล้วแตกออกเป็นหยดของเหลวเล็กๆ การกระทบของตัวของของเหลวในกระแสก๊าซจริงๆ อาจจะเกิดขึ้นภายในตัวอะตอมไมเซอร์ โดยทั่วไปตัวอะตอมไมซ์เหล่านี้ มักจะใช้กำลังมากและอาจจะไม่ประหยัดที่ความจุสูง หยดของของเหลวละเอียดเล็กๆ สามารถเกิดขึ้นที่อัตราการไหลต่ำ และใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง

2.6.3.4 Rotary atomizers จะใช้แรงเหวี่ยงให้เกิดแผ่นของของเหลว ซึ่งแตกออกเป็นหยดตามต้อง ของเหลวจะส่งเข้าไปยังผิวที่หมุนและเคลื่อนผ่านผิวเพื่อให้เกิดแผ่นบางที่เส้นรอบวง เนื่องจากแรงที่ทำให้เกิดแผ่นของเหวงขึ้นกับความเร็วของการหมุนโดยตรง ตัวอะตอมไมเซอร์ ชนิดนี้สามารถใช้กับอัตราการป้อน และคุณสมบัติของเหลวได้ในช่วงกว้างขนาดของหยดเหลว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของจานและอัตราการป้อน

2.6.4 การส่งผ่านความร้อนและมวลในห้องอบแห้ง

รายละเอียดเกี่ยวกับการส่งผ่านความร้อนและมวลในห้องอบแห้งที่แท้จริงยังไม่ทราบมาก เนื่องจากมีปัจจัยหลายตัวแปร เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และการกระจายตัวของละออง ทำการวัดค่าได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามจากทฤษฎีสามารถอธิบายดังนี้

2.6.4.1 ในระยะเริ่มต้น อุณหภูมิของอนุภาคจะเพิ่มขั้นถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก

2.6.4.2 ในระยะที่สอง เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นภายในอนุภาคเพิ่มขึ้นและค่าปริมาณน้ำอิสระ ที่ผิวหน้ามีค่าลดลง ดังนั้นทำให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าสูงถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก

2.6.4.3 ในระยะที่สามการแพร่ภายในจะถูกจำกัดลง

2.6.4.4 ปริมาณความชื้นวิกฤตจะลดต่ำลง จนทำให้ผิวหน้าของอนุภาคไม่ยอมให้สารกลิ่นรสผ่านไปได้ ดังนั้นสามารถป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสได้

2.6.5 การแยกอาหารผงจากระบบการอบแห้ง

เมื่อการระเหยนี้ออกจากหยดของเหลวเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว อาหารผงจะตกลงสู่ส่วนล่างของถังอบแห้งและถูกดูดออกมาตามท่อลมออก ซึ่งอาหารผงสามารถแยกออกจากอากาศร้อนด้วยระบบไซโคลน (Cyclone Separator) โดยอาศัยแรงเหวี่ยงและการถ่ายเทโมเมนตัม สามารถแยกของแข็งได้ถึงร้อยละ 95-98 ของปริมาณของแข็ง

2.6.6 ค่าปัจจัยในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้

ได้มีรายงานแสดงผลความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ผง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.6.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

ที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ อุณหภูมิอากาศเข้าและอุณหภูมิอากาศออกมีผลต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศเข้าเป็นการเพิ่มแรงขับ (Driving Force) ของน้ำในอนุภาคที่จะระเหยออกไป เป็นผลให้ความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) ของการอบแห้ง ในสภาพการทำงานจริง ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นสุดท้ายค่าหนึ่งเท่านั้น เพื่อได้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีตามต้องการ ดังนั้นอุณหภูมิอากาศออกต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้แน่นอน ในบางกรณีต้องเลือกสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิอากาศออกต่ำซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง เพื่อป้องกันการรวมตัวหรือดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บ

2.6.6.2 ความเข้มข้น

ถ้าเพิ่มปริมาณของแข็งในสารละลายที่ป้อนโดยที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่จะมีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากปริมาณของแข็งในอนุภาคที่พ่นฝอยจะเพิ่มขึ้นในขณะที่อัตราการระเหยน้ำยังคงเดิม ดังนั้นอัตราส่วนของความชื้นต่อของแข็งที่เหลืออยู่ในอนุภาคจะน้อยกว่าในกรณีที่ปริมาณของแข็งในสารละลายต่ำ ผลที่ได้ตามมาคือผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง

2.6.6.3 อัตราการป้อน

การเพิ่มอัตราการป้อนโดยที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ มีผลทำให้อนุภาคที่พ่นฝอยมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดใหญ่และความหนาแน่นต่ำ และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนโดยที่อัตราการไหลของอากาศร้อนเข้าและปริมาณความร้อนที่ให้ระบบคงที่มีผลทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

2.6.6.4 การไหลเวียนของลมร้อน

ลมแห้งที่เข้าในห้องอบแห้งจะถูกควบคุมอัตราการไหลด้วยมอเตอร์ สามารถปรับระดับให้อัตราลมร้อนเข้าออกเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ การปรับการไหลเวียนลมร้อนมีผลต่อความดันภายในห้องอบลมร้อน ถ้าความดันเปลี่ยนก็จะมีผลต่อปริมาณการระเหยของไอน้ำ ดังนั้น ระดับการหมุนเวียนลมภายในห้องอบมีผลต่อประสิทธิภาพอุปกรณ์การทำแห้ง โดยอัตราการไหลเวียนลมร้อนสูงทำให้การแยกไซโคลนมีประสิทธิภาพสูงและอัตราการไหลเวียนลมร้อนต่ำทำให้ระดับความชื้นคงเหลือในผลิตภัณฑ์ต่ำ

2.6.6.5 ปั๊ม

ปั๊มที่ใช้อัดของเหลวเข้าสู่หัวนอสเซิล ความเร็วของปั๊มมีผลต่อค่าความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและออก อัตราเร็วปั๊มมีผลต่ออัตรามวลเข้า ปริมาณของเหลวผ่านมากก็ต้องใช้พลังงานมากในการระเหยน้ำออก การที่อุณหภูมิทางออกลดลงนี้เป็นข้อจำกัดปั๊มทำให้อนุภาคไม่แห้งพอมีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้เหนียวหนืดหรือผนังห้องอบแห้งเปียก ขนาดปั๊มขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความหนืดของของเหลวที่จะทำแห้ง และขนาดท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มขนาดปั๊มทำให้อุณหภูมิทางออกลดลงและทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิทางเข้าและออกเพิ่มขึ้น การลดขนาดของปั๊มและคงอุณหภูมิขาเข้าและอัตราการไหลเวียนลมร้อนไว้จะเพิ่มความแห้งให้กับตัวผลิตภัณฑ์

2.6.6.6 อัตราการพ่น (spray)

อัตราการพ่นคือปริมาณลมพอเพียงที่ใช้อัดให้ของเหลว(ของผสม สารแขวนลอย) เกิดการกระจาย อาจใช้แก๊สอื่นในการอัดได้ อัตราการพ่นมีผลต่อขนาดผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำให้ขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ที่ได้เล็กลงและความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้นทำให้อนุภาคของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีขนาดใหญ่และความพรุนมาก (พิพัฒน์, 2548)

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าปัจจัยตัวแปรในการะบวนการอบแห้งที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้

ตัวแปรต้น/ตัวแปรตาม	อัตราการดูดอากาศออก (เพิ่ม)	ความชื้นของอากาศ (เพิ่ม)	อุณหภูมิขาเข้า (เพิ่ม)	อัตราของอากาศที่เข้า (เพิ่ม)	อัตราการป้อนวัตถุดิบ (เพิ่ม)	ตัวทำละลายที่แทนที่น้ำ	ความเข้มข้น (เพิ่ม)
อุณหภูมิขาออก	(เพิ่ม) ความร้อนสูญเสียในกระบวนการผลิตน้อยลง	(เพิ่มเล็กน้อย) มีพลังงานถูกเก็บสะสมในรูปความชื้น	(เพิ่มมาก) เป็นอัตราส่วนโดยตรง	(ลดเล็กน้อย) ปริมาณอากาศที่ต้องให้ความร้อนเพิ่มขึ้น	(ลด) เพิ่มปริมาณพลังงานในการให้ความร้อน	(เพิ่มมาก) สูญเสียพลังงานในการทำให้ตัวทำละลายร้อนน้อยลง	(เพิ่ม) น้ำที่จะระเหยมีปริมาณลดลง
ขนาดอนุภาค	-	-	-	(ลดลงมาก) ต้องใช้พลังงานมากในการกระจาย	(เพิ่มเล็กน้อย) ทำให้ของไหลมีการกระจายดีขึ้น	(ลดเล็กน้อย) ลดแรงตึงผิว	(เพิ่มมาก) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น
ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์	(เพิ่ม) จะสูญเสียความดันบางส่วนในการระเหยน้ำ	(เพิ่ม) จะสูญเสียความดันบางส่วนในการทำให้อากาศแห้ง	(ลด) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะต่ำลง	-	(เพิ่ม) น้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ความดันสูญเสียเพิ่มขึ้น	(ลดลงมาก) ไม่มีการป้อนน้ำทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งมากขึ้น	(ลดเล็กน้อย) น้ำที่ระเหยน้อยลงทำให้สูญเสียความดันลดลง
ค่า yield	(เพิ่ม) ทำให้ประสิทธิภาพในการแยกขนาดที่ไซโคลนดีขึ้น	(ลดเล็กน้อย) ความชื้นที่มากขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ติดกัน	(เพิ่มเล็กน้อย) ผลิตภัณฑ์ที่แห้งจะช่วยป้องกันการติดกัน	-	ขึ้นอยู่กับการปรับแต่ง	(เพิ่ม) พวกที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำจะทำให้การทำแห้งง่ายขึ้น	(เพิ่มเล็กน้อย) อนุภาคที่ใหญ่ทำให้ประสิทธิภาพการแยกขนาดดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ (สารที่ใช้ในการห่อหุ้ม) (ปิติกานต์และคณะ, 2551)

2.7.1 แซนแทนกัม (Xanthan gum)

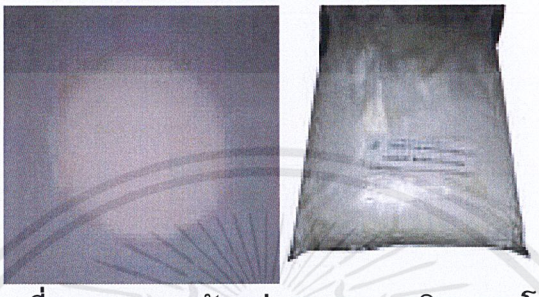
ภาพที่ 2.19 แสดงตัวอย่างผงของแซนแทนกัม

แซนแทนกัมเป็นกัมที่ได้จากการกระบวนการหมักแบคทีเรียบริสุทธิ์ คือ Xanthomonas campestris หลังจากเกิดกระบวนการหมักแล้วจะนำสารละลายที่ได้มาตกตะกอนแยกเอาแซนแทนกัมออก ด้วย ไอโซ โพรพิลแอลกอฮอล์ ทำให้แห้งแล้วนำมาบดเป็นผงละเอียด แซนแทนกัม นิยมใช้มากในอาหาร เพราะมีสมบัติพิเศษที่สำคัญคือ กระจายตัวและละลายได้ดีทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงถึงแม้จะมีความเข้มข้นต่ำและทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ มีความคงตัวสูงต่อความร้อนและความเป็นกรด-ด่าง นอกจากนั้นสารละลายแซนแทนกัม ยังมีสมบัติเป็นชูโดพลาสติก ซึ่งมีความสำคัญต่อกลิ่น ลักษณะปรากฏ และลักษณะสัมผัสขณะรับประทาน (mouthfeel) แซนแทนกัมใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืดเพิ่มความคงตัวและทำให้อนุภาคแขวนลอยได้ดี เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้กับไอศกรีมเพราะเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะมีผลกับความหนืดน้อยมาก ถ้านำ แซนแทนกัมมาผสมกับ โลคัสบีนกัม จะนิยมนำมาใช้กับอาหารประเภทขนมหวาน ซอสมะเขือเทศสำหรับ พิซซ่า ไส้ขนมอบ และไส้พาย นอกจากนั้นยังผสมกับทั้งโลคัสบีนกัมและ กัวร์กัม ในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ความข้นหนืด และคุณสมบัติเฉพาะตามความต้องการสำหรับอาหารชนิดหนึ่ง ๆ เช่น ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภท ของหวานที่เป็นน้ำแข็ง(frozen desserts), เนยแข็งที่ผ่านกรรมวิธีพาสเจอไรซ์ (pasteurized process cheese spread), เนยแข็งชนิดนุ่มรสอ่อนๆทำจากนมข้นที่สกัดเอาครีมออกแล้วมีสีขาว (cottage cheese), น้ำปรุงสลัด (salad dressing) , นมเปรี้ยว(sour cream) และ น้ำเชื่อมผลไม้ (fruit syrups) และยังอาจใช้กับผลิตภัณฑ์เยลลี่ที่ทำจากแป้งเพื่อช่วยลดระยะเวลาการแข็งตัวของส่วนผสมที่มีน้ำตาลต่ำ ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์เหนียวขึ้นและยังคงความอ่อนนุ่มเอาไว้ จริงๆแล้วกัมชนิดนี้จะไม่นิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตลูกกวาด ยกเว้นในการผลิตเม็ดอมขึ้นรูปโดยใช้พิมพ์กดเป็นตัวเลือกแทนกัมทรากาแคนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 เมทิลเซลลูโลส (methylcellulose, MC)

เมทิลเซลลูโลสเตรียมได้จากการแช่เส้นใยเซลลูโลสในสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้เซลลูโลสพองตัวก่อน ได้เซลลูโลสที่เป็นด่าง แล้วไปทำปฏิกิริยากับเมทิลคลอไรด์จะได้เป็น เมทิลเซลลูโลส เป็นไฮโดรคอลลอยด์ ที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือจะเกิดเป็นเจลได้เมื่อได้รับความร้อนและจะกลับเป็นของเหลวที่มีความข้นหนืดเมื่อปล่อยให้เย็นลงความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นขึ้นเมื่อสารละลายได้รับความร้อน



ภาพที่ 2.20 แสดงตัวอย่างผงของเมทิลเซลลูโลส

ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อของส่วนผสมให้มีความข้นเหนียวและฟูขึ้นขณะตีให้ฟองอากาศแทรกตัวเข้าไป ฟิลม์ของของเหลวที่ล้อมรอบฟองอากาศจะมีความแข็งแรง คงตัวดีและป้องกันการสูญเสียความชื้นระหว่างการอบผลิตภัณฑ์ หลังจากการอบเรียบร้อยแล้ว ยังใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดให้กับ ครีม ซุป ซอสชนิดต่างๆ ไส้พาย มีคุณสมบัติช่วยทำให้อิมัลชันชนิดน้ำมันมีความคงตัวดีที่อุณหภูมิต่ำ โดยนำ MC และ HPMC มาทำให้เกิดการกระจายตัวในน้ำร้อนก่อนโฮโมจิไนซ์อิมัลชัน ช่วยชะลอการพองตัว และการดูดน้ำของไฮโดรคอลลอยด์

2.7.3 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose, CMC)

ภาพที่ 2.21 แสดงตัวอย่างผงของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

เป็นอนุพันธ์ของอีเทอร์ของเซลลูโลสตัวหนึ่ง หรือรู้จักกันในอีกชื่อว่าเซลลูโลสสกัมมีสีขาวหรือเหลืองเล็กน้อยเตรียมได้จากการแช่เซลลูโลสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อช่วยให้เซลลูโลสพองตัวออกแล้วจึงทำปฏิกิริยากับโซเดียมมอโนคลอแอซีแอล (Sodium monochloroacetate) CMC ละลายได้ทั้งน้ำเย็นและน้ำร้อนและให้สารสะลายที่มีความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากร่างกายไม่สามารถย่อย CMC ได้ ดังนั้น CMC จึงนิยมใช้เพราะไม่เพิ่มแคลอรี่ในผลิตภัณฑ์ CMC ให้ความหนืดที่ดี ใช้ในผลิตภัณฑ์ เครื่องดื่มผงฟร้อมดื่ม ในไอศกรีม น้ำสลัด ซอสมะเขือเทศ เติมลงในไอศกรีมจะช่วยอุ้มน้ำ ลดการเคลื่อนตัวของน้ำ ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อนุ่ม และเมื่อไอศกรีมแข็งตัวจะไม่เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่

2.7.4 ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (hydroxypropylcellulose, HPC)

ภาพที่ 2.22 แสดงตัวอย่างผงของไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส

มีคุณสมบัติพิเศษ คือ ละลายน้ำได้ดีในอุณหภูมิต่ำกว่า 40 °C และจะไม่ละลายน้ำเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 40-45°C เมื่อ HPC รวมกับพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ยิ่งพอลิเมอร์น้ำหนักโมลกุลสูงขึ้นจะทำมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นด้วย

2.7.5 ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (hydroxypropylmethylcellulose, HPMC)

ภาพที่ 2.23 แสดงตัวอย่างผงของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

คุณสมบัติพิเศษ คือจะเกิดเป็นเจลได้เมื่อได้รับความร้อนและจะกลับเป็นของเหลวที่มีความข้นหนืดเมื่อปล่อยให้เย็นลง จึงนำไปใช้กับอาหารประเภททอดMC และ HPMC จะช่วยน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร ถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อผลิตภัณฑ์อาหารมากเกินไป และช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหรือความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์อาหารด้วย ทั้ง MC และ HPMC สามารถละลายได้ในน้ำเย็นให้สารละลายมีความหนืดและใสเนียน โดยจุดเด่นคือมีคุณสมบัติเกิดเจลได้ขณะร้อน เช่นเดียวกับ MC การเกิดเจลได้ขณะร้อนมีความสำคัญต่อคุณภาพอาหารทอดได้ และสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เกิดความหนืดแก่ผลิตภัณฑ์อาหารได้ระดับต่างๆ กันเป็นช่วงกว้างๆ และกระจายตัวได้ดีในอุณหภูมิที่ต่ำ และจะกลายเป็นเจลในอุณหภูมิที่สูง (วรรณา, 2549)

2.7.6 มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltrodexrin)

แป้งที่ถูกไฮโดรไลซ์ (Hydrolysed starches) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า มอลโตเด็กซ์ตริน มักจะผลิตออกมาในรูปผงแห้งมากกว่าที่จะผลิตในรูปของสารละลายโดยมีความชื้นน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ มีคุณสมบัติค่อนข้างที่จะไม่ดูดความชื้นเมื่อเทียบกับแบะแซ (Corn Syrup) โดยเฉพาะที่มีค่า DE ต่ำๆ จะมีความสามารถในการดูดความชื้นได้น้อยที่สุด นอกจากนี้มอลโตเด็กซ์ตรินยังมีคุณสมบัติให้ลักษณะความเป็นเนื้อ(Body)แก่ผลิตภัณฑ์มี Bulk Density อยู่ในช่วง 32 – 36 ปอนด์ต่อตารางฟุต และมีความหวานเล็กน้อยหรืออาจจะไม่หวานเลย ขึ้นอยู่กับค่า DE ของมอลโตเด็กซ์ตริน เมื่อนำมอลโตเด็กซ์ตรินไปละลายน้ำ อาจจะได้สารละลายใสหรือขุ่นขึ้นอยู่กับชนิดของมอลโตเด็กซ์ตรินที่นำมาใช้ นอกจากนี้มอลโตเด็กซ์ตรินยังสามารถละลายในอาหารที่เป็นของเหลว เช่น นม, น้ำผลไม้, ซุป และผลิตภัณฑ์อื่นๆที่เป็นสารละลายน้ำได้ดี โดยอาจจะใส่เป็นผงโดยตรงหรือนำมาละลายในน้ำก่อนซึ่งความสารมารถในการละลายของมอลโตเด็กซ์ตรินจะขึ้นอยู่กับค่า DE และชนิดของอาหารที่นำมาใช้ (Wang, 1995)

มอลโตเด็กซ์ตรินถูกใช้อย่างกว้างขวางในการเอ็นแคปซูเลชันโดยใช้การอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อกักเก็บกลิ่นและป้องกันการเกิดออกซิเดชัน มีการค้นพบว่าการใช้มอลโตเด็กซ์ตรินที่ค่า DE ต่างๆ ในอิมัลชันที่มีสัดส่วนน้ำหนักแห้งของสารห่อหุ้มต่อน้ำหนักของน้ำมันเป็น 2.0 (มีสัดส่วนน้ำมันเป็น 33% w/w ของน้ำหนักแห้งทั้งหมด) ไม่มีผลต่อขนาดของหยดน้ำมันและมีอิทธิพลเล็กน้อยต่อประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลชันน้ำมันด้วยเทคนิคสเปรย์ดราย อย่างไรก็ตามมอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE สูง และมีมวลโมเลกุลต่ำๆ ถูกใช้ในการเพิ่มความหนาแน่นซึ่งจะช่วยกันออกซิเจนได้มากขึ้น จึงเป็นการยืดอายุการเก็บรักษา แต่ในขณะเดียวกันเนื่องจากว่าถ้าค่ามวลโมเลกุลต่ำๆ อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (glass transition) ก็จะต่ำลง ทำให้ผงที่ได้มีความสามารถในการดูดความชื้นมากขึ้น

เหตุผลที่เราเลือกมอนโตเด็กซ์ตริน

1. มีราคาที่เหมาะสมต้นทุนที่ได้ทำการทดลอง
2. มีการใช้กันอย่างกว้างขวาง หาได้สะดวกและได้รับการยอมรับตามคุณสมบัติ
3. มีความเหมาะสมกับการนำมาเป็นสารห่อหุ้มน้ำมันได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Fuchs และคณะ(2005) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันพืชให้เป็นผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้น้ำมันพืช5เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และใช้มอลโต-เด็กซ์ตรินและอคาเซียกัมในอัตราส่วน 3/2 เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ในกระบวนการทำเอนแคปซูเลชันนั้นประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การทำอิมัลชัน การอบแห้งแบบพ่นฝอยและการทำให้เกิดการรวมตัวกันด้วยฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อหาสภาวะที่เหมะสมในการอบแห้งแบบพ่นฝอยและการทำให้เกิดการรวมตัวกันด้วยฟลูอิดไดซ์เบดจะมีการวิเคราะห์คุณสมบัติของผงที่ได้ทั้งก่อนและหลังการทำให้เกิดการรวมตัวกัน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคือที่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง 40 % และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออก คือ 220 และ 100 ตามลำดับ และทำให้เกิดการรวมตัวด้วยฟลูอิดไดซ์เบดเพื่อเพิ่มความสามารถในการลำเลียงรักษา

Huynh และคณะ(1999) ได้ศึกษาผลของชนิดของสารห่อหุ้ม (แป้งดัดแปลง+มอลโตเด็กซ์-ตริน และ เวย์โปรตีน + มอลโตเด็กซ์ตริน), น้ำหนักแห้งในอิมัลชัน, เปอร์เซ็นต์น้ำมันและอุณหภูมิลมร้อนขาออกต่อความสามารถในการเอนแคปซูเลชันเลมอนออย พบว่าชนิดของสารห่อหุ้มและน้ำหนักแห้งในอิมัลชันส่งผลโดยตรง แต่เปอร์เซ็นต์น้ำมันและอุณหภูมิลมขาออกไม่ส่งผลเท่าไรนัก โดยที่สภาวะที่เหมาะสมคือที่ น้ำหนักแห้งในอิมัลชัน 40% w/w, เปอร์เซ็นต์น้ำมัน18% และอุณหภูมิลมขาออก 65°C

Bae and Lee (2008) ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างเวย์โปรตีนและมอลโตเด็กซ์ตรินต่อประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชันน้ำมันอะโวคาโด พบว่าการใช้ WPI เพียงเดียวและที่อัตราส่วน WPI/MD (90 : 10) จะได้ผงที่มีลักษณะเป็นทรงกลมและผิวราบเรียบ ในขณะที่ที่อัตราส่วน WPI/MD (50 : 50) และ (10 : 90) จะได้ผงที่มีลักษณะผิวขรุขระ และยังพบว่าการเพิ่มสัดส่วนของมอลโตเด็กซ์ตริน ส่งผลให้ความหนาแน่นจริงและความสามารถในการละลายเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องมาจากการเพิ่มของปริมาณของแข็งและมีสารห่อหุ้มที่สามารถละลายน้ำได้ดี จากผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน WPI/MD ไม่มีผลมากนักต่อประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชัน

เทพกัญญา ตันตโยทัย (2545) ศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์ต่อความคงตัวของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ โดยอิมัลชันในการทดลองแรกประกอบด้วย น้ำมันมะพร้าว 8, 14 และ 20 %(w/w) อิมัลซิไฟเออร์ ได้แก่ Tween 60 (Polyoxyethylene Sorbitan Monostearate หรือ Montanox 60), Sucrose Ester และ Sugar Ester โดยมีความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์ 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.0 %(W/W) ซึ่งเตรียมสารละลายของอิมัลซิไฟเออร์โดยละลายอิมัลซิไฟเออร์ในน้ำปราศจากไอออน (50 องศาเซลเซียส) โฮโมจีไนซ์ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ แบบ Rotor/Stator ใช้ความเร็วรอบประมาณ 16,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที พบว่าการใช้อิมัลซิไฟเออร์ผสมมักทำให้อิมัลชันมีความคงตัวดีกว่าการใช้อิมัลซิไฟเออร์เพียงชนิดเดียวในปริมาณเท่ากัน และใช้ Tween 60 ความเข้มข้น 0.25 % ให้ความคงตัวของอิมัลชันดี เพราะไม่มีเม็ดน้ำมันแยกออกมาเมื่อระบบอิมัลชันมีความเข้มข้นของน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของการให้ความร้อนและความเข้มข้นของแซนแทนกัมต่อลักษณะปรากฏของอิมัลชันที่มีน้ำมันมะพร้าว 20 % หลังการเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยผสมแซนแทนกัมกับน้ำกลั่นกวนให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม (Stirrer) ใช้ความเร็ว-รอบ 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วตั้งสารละลายทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการดูดซับน้ำเต็มที่เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง พบว่าในอิมัลชันที่ยังไม่ผ่านการให้ความร้อนอิมัลชันที่เติมแซนแทนกัมจะให้ความคงตัวของอิมัลชันที่ดี ในขณะที่ถ้าระบบไม่มีแซนแทนกัม อิมัลชันจะแยกชั้นของครีม เมื่ออิมัลชันผ่านการให้ความร้อน อิมัลชันที่เติมแซนแทนกัม 0.4 % ยังมีความคงตัวดี (ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์)

ปิติกานต์ ตติยพันธุ์ และคณะ ศึกษาอิทธิพลของอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสเตบิไลเซอร์ต่อลักษณะคุณภาพของอิมัลชันน้ำมันมะพร้าวในน้ำ โดยใช้น้ำมันมะพร้าว 14% ในน้ำ และใช้อิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับสเตบิไลเซอร์ 3 ชนิด คือ Carboxymethylcellulose (CMC), Carrageenan และ Acacia ความเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.5% (โดยน้ำหนัก) พบว่าอิมัลชันที่ใช้ acacia(0.5%) ไม่เกิดการแยกชั้น ในขณะที่การใช้ CMC ทำ ให้อิมัลชันมีการแยกชั้นและให้ลักษณะที่มีความข้นหนืดสูงกว่าสเตบิไลเซอร์ตัวอื่นๆ ทั้งนี้เพราะ CMC ทำหน้าที่เพียงเพิ่มความหนืดให้กับส่วนต่อเนื่องเท่านั้น (Lawson,1990) จึงทำให้อนุภาคส่วนไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous phase) ซึ่งอยู่เป็นอิสระสามารถลอยตัวได้ เกิดเป็นชั้นครีมด้านบนและชั้นของเหลวใสด้านล่าง ส่วนการใช้ Carrageenan ความเข้มข้น 0.5% ไม่เกิดการแยกชั้นน้ำมัน แต่ที่ความเข้มข้น 0.3-0.5% จะมีลักษณะจับตัวเป็นก้อนเจลสีเหลืองเกิดขึ้น

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิตและคณะ ได้ศึกษาผลของชนิดโฮโมจีไนเซอร์ที่ใช้เตรียมอิมัลชันและความเข้มข้นของเกลือ (0 ถึง 100mM Nacl) ที่เติมในอิมัลชันต่อสมบัติทางกายภาพของอิมัลชันชนิดน้ำมันมะพร้าวในน้ำ (ปริมาณน้ำมัน 20 wt%) ซึ่งทำให้คงตัวด้วยเวย์โปรตีน 0.6% พบว่า อิมัลชันที่ผ่านเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงชนิดวาล์ว 2 ตัวจะให้อิมัลชันที่มีความคงตัวมากกว่าอิมัลชันที่ผ่านเครื่องโฮโมจีไนเซอร์แบบโรเตอร์/สเตเตอร์ เนื่องจากมีค่า creaming index ต่ำกว่ามาก โดยความหนืดปรากฏของอิมัลชันมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะที่ shear rate ต่ำกว่า

2.9 วิธีการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ

วิธีวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบในการใช้เทคนิคทางสถิติและทางคณิตศาสตร์ที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาที่มีผลตอบอยู่หลายตัวแปร (Dependent Variable) และมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้ โดยจะใช้การออกแบบการทดลอง Box-Benhnken หรือ Central Composite Design ซึ่งเป็นการออกแบบสำหรับใช้หาพื้นที่ผิวตอบ การออกแบบนี้มีประสิทธิภาพมากในด้านจำนวนการทดลองที่ต้องการและการออกแบบนี้ยังมีความสามารถในการหมุนได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบแล้ว จะนำข้อทมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ เนื่องจากวิธีพื้นที่ผิวตอบให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับผลตอบ ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ในรูปสมการทั่วไป ดังนี้

$$Y = \int (X_1, X_2, X_3, ..., X_n) + \varepsilon$$

โดยที่ ε คือค่าความผิดพลาดของผลตอบ, Y เป็นผลมาจากการทดลอง และ X_n คือ ตัวแปรอิสระ

ในปัญหาเกี่ยวกับพื้นที่ผิวตอบส่วนมากจะไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและ ตัวแปรอิสระ ดังนั้นจึงต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดง ความสัมพันธ์ที่แท้จริง ซึ่งตามปกติจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังต่ำที่อยู่ภายใต้อาณาเขตของ ตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่ใช้การประมาณความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นจะใช้แบบจำลองกำลังหนึ่ง แต่ถ้ามีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น(ญาณิกา, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ (บริษัทภูมิดิน)

3.1.2 มอลโตเด็กซ์ตริน DE 10

3.2 วัสดุและเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย JCM รุ่นminilab SDE 10

3.2.2 เครื่อง Multipurpose Homogenizer

3.2.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ

3.2.4 เครื่องซีล DAKO SK-210

3.2.5 เครื่องชั่ง SHIMADZU BX3000

3.2.6 ตู้แช่เย็น

3.2.7 บีกเกอร์

3.2.8 ถุงสุญญากาศ

3.2.9 ถังพลาสติก

3.2.10 ทัพพีสแตนเลส

3.2.11 กรวย

3.2.12 Fat-extraction Flask & Stand

3.2.13 โหลดูดความชื้น

3.2.14 Flask

3.2.15 กระดาษกรองเบอร์ 1

3.2.16 เครื่องเขย่า OS 70

3.2.17 ปิเปต

3.2.18 Test tube & Stand

3.2.19 ตู้อบ

3.2.20 เครื่อง AQUA LAB MODEL SERIES 3 TE

3.2.21 ปิโตรเลียมอีเธอร์

3.2.22 เอทิลแอลกอฮอล์

3.2.23 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

3.2.24 ไดอีเธอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลกระทบของตัวแปรในการเอนแคปซูเลชันต่อคุณลักษณะของผงน้ำมันมะพร้าวที่ได้ โดยกำหนดตัวแปรอิสระ 3 ค่า คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า,เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน และอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว ตัวแปรตามคือ ปริมาณความชื้น, ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้, ปริมาณน้ำมันทั้งหมด,ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้ (Encapsulated Oil), เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่กักเก็บได้เมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมด (% Encapped oil of Total oil), ปริมาณกรดไขมันอิสระ(Acid Value) และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้

3.3.1 การเตรียมอิมัลชัน (Fuchs และคณะ, 2005)

3.3.1.1 ชั่งส่วนผสมสำหรับการทำอิมัลชันตามอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.3.1.2 ละลายมอลโตเด็กซ์ตรินลงในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องอย่างช้าๆ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน 3 ระดับคือ 30%, 40% และ 50% w/w

3.3.1.3 เทน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ลงไปในสารละลายที่ผสมระหว่างน้ำและมอลโตเดกซ์ตรินตามจำนวนดังแสดงในตารางให้ได้อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว 3 ระดับคือ 3:1, 2:1 และ 1:1

3.3.1.4 ทำให้ส่วนผสมทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่มีค่าความเร็วรอบอยู่ที่ 8480 rpm เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นพักอิมัลชันทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที

3.3.1.5 ทำตามการทดลองขั้นที่ 4 จนปั่นอิมัลชันครบสามรอบ เมื่อเสร็จสิ้นการปั่นอิมัลชันในรอบที่สามอิมัลชันที่ได้จะมีความเสถียรแล้วจากนั้นจึงนำไปทำการสเปร์ดรายทันที

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณส่วนผสมในการเตรียมอิมัลชันจำนวน 2 กิโลกรัม

ความเข้มข้นของอิมัลชัน (%)	อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว	มอลโตเด็กซ์ตริน (g)	น้ำมันมะพร้าว (g)	ปริมาณน้ำ (g)
30	1:1	300	300	1400
	2:1	400	200	
	3:1	450	150	
40	1:1	400	400	1200
	2:1	533.34	266.67	
	3:1	600	200	
50	1:1	500	500	1000
	2:1	666.67	333.34	
	3:1	750	250	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การอบแห้งแบบพ่นฝอย

3.3.2.1 ติดตั้งส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยให้เรียบร้อย

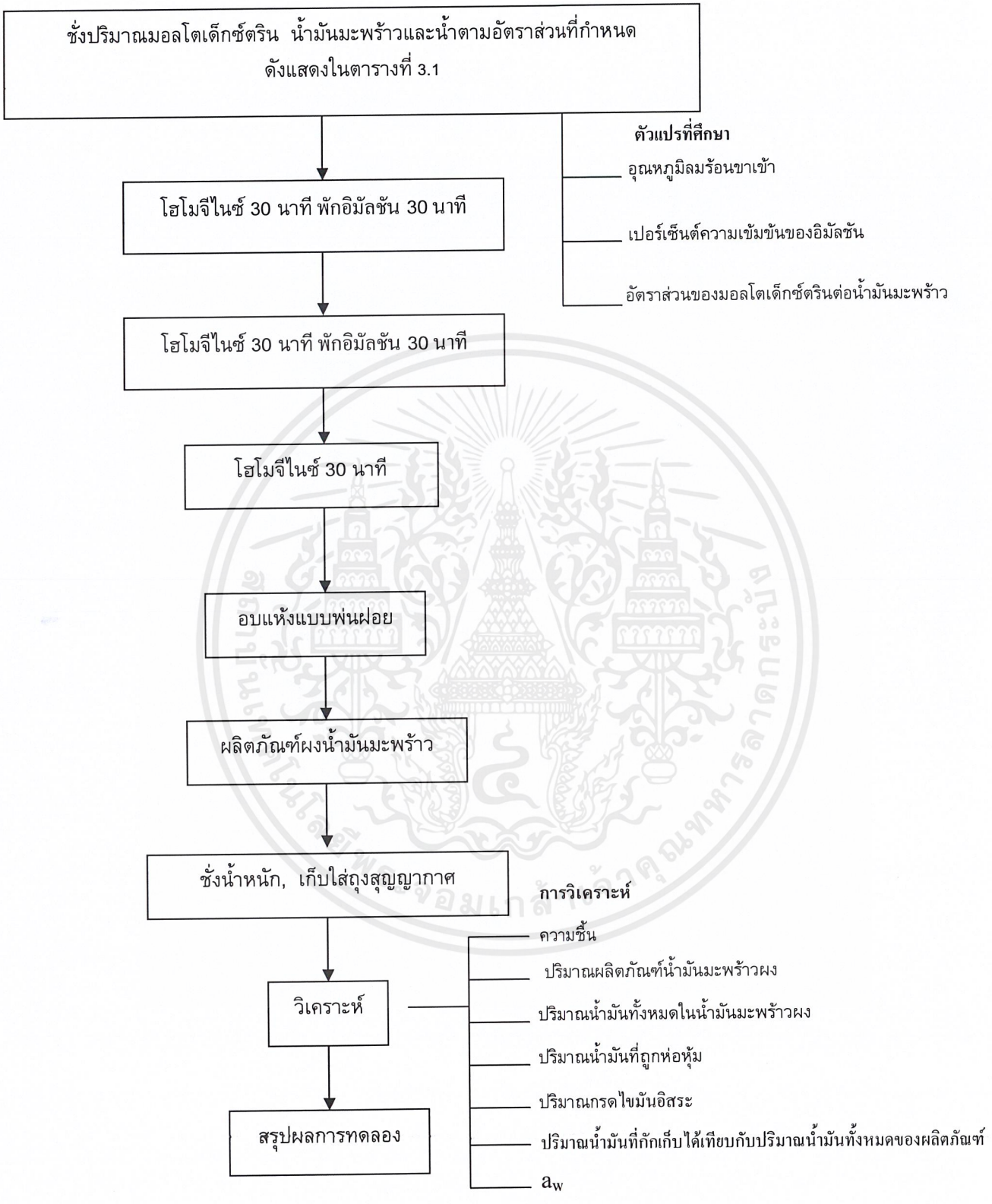
3.3.2.2 เปิดเมนสวิทซ์ของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยพร้อมทั้งปรับค่าอุณหภูมิลมร้อน (170-230^{0}C) และอัตราการไหลของลมร้อน (1.45 m^3/min) ตามตารางแผนการทดลอง

3.3.2.3 เตรียมเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยนำหัวฉีดแบบทูฟลูอิดนอซเซิลต่อกับท่อจ่ายลมและท่อจ่ายของเหลว โดยเริ่มต้นใช้น้ำทดลองจ่ายและปรับความดันลม (ความดันลมที่ 0.2 MPa) ให้หัวฉีดพ่นอย่างสม่ำเสมอก่อน จึงเปลี่ยนเป็นอิมัลชัน

3.3.2.4 เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่ (ใช้เวลาประมาณ 30 นาที) เริ่มทำการป้อนอิมัลชันเข้าทำแห้งด้วยอัตราการป้อน2.28 ลิตร/ชม. อุณหภูมิลมร้อนขาออกที่ 100^{0}C โดยปรับวาล์วมอเตอร์จ่ายของเหลวให้ได้อัตราการไหลตามตารางแผนการทดลอง

3.3.2.5 เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์แห้งทั้งหมดที่ได้นำมาชั่งน้ำหนัก แล้วเก็บเข้าถุงสุญญากาศจากนั้นปิดปากถุง เพื่อรอนำไปสู่กระบวนการวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 แสดงแผนภาพขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

3.4.1 การหาค่าความชื้น (Fuchs และคณะ, 2005)

3.4.1.1 อบถ้วยอะลูมิเนียมในตู้อบอุณหภูมิ 150 ^{0}C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.4.1.2 นำไปใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

3.4.1.3 นำถ้วยเดิมมาอบต่อ เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมง จนน้ำหนักของถ้วยคงที่

3.4.1.4 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน เกลี่ยให้สม่ำเสมอในถ้วยอลูมิเนียม

3.4.1.5 นำไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 102 $^{\circ}$C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักสุดท้าย เพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นจากสมการความสัมพันธ์

$$\% \text{ ความชื้นฐานเปียก} = \left(\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \right) \times 100$$

3.4.2 ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้ (ดาริกา, 2545)

ในแต่ละการทดลองจะวัดปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{น้ำหนักทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้}}{\text{น้ำหนักแห้งของมอลโตเด็กซ์ตรินรวมกับน้ำมันมะพร้าว}} \times 100$$

3.4.3 ปริมาณน้ำมันทั้งหมด (%Total oil in powder) (Horwitz, 2000)

ปริมาณน้ำมันทั้งหมดเป็นอัตราส่วนร้อยละของปริมาณน้ำมันทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ทำการวิเคราะห์ดังนี้

3.4.3.1 ชั่งน้ำมันมะพร้าวผงตัวอย่างมา 5 g. ใส่ใน fat-extraction flask

3.4.1.2 ใส่น้ำ 10 ml. จากนั้นเขย่าน้ำมันมะพร้าวผงจนลายเข้ากัน

3.4.1.3 ใส่แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 1.25 ml. เขย่าเล็กน้อยจนเข้ากัน

3.4.1.4 ใส่แอลกอฮอลล์ 10 ml. เขย่าเล็กน้อยจนเข้ากัน

3.4.1.5 ใส่ไดอีเธอร์ 25 ml. เขย่าเล็กน้อยจนเข้ากัน

3.4.1.6 ใส่ปิโตรเลียมอีเธอร์ 25 ml. เขย่าเล็กน้อยจนเข้ากัน จากนั้นตั้งทิ้งไว้จนสารละลายเกิดการแยกตัวอย่างชัดเจน

3.4.1.7 กรองของแข็งส่วนที่ไม่ใช่ไขมันออก

3.4.1.8 นำสารละลายที่ได้ไประเหยบนวอเทอร์บาท จนไอน้ำระเหยไปหมด เหลือแต่ส่วนของไขมันที่เป็นของเหลว

3.4.1.9 สุดท้ายนำฟลาสค์ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 $^{\circ}$c ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำฟลาสค์ไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาจำนวนไขมันที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 ปริมาณน้ำมันที่อยู่รอบนอกผิว(% Surface free fat of powder) (Fuchs และคณะ, 2005)

3.4.4.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 10 g. ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml.

3.4.4.2 เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ 50 ml.ลงในขวดรูปชมพู่

3.4.4.3 ทำการเขย่าขวดโดยใช้เครื่องเขย่า เป็นเวลา 15 นาที นำสารละลายที่ได้ออกมากรอง

3.4.4.4 ทำการปิเปตสารละลายที่ผ่านการกรองแล้ว 25 ml. ลงไปในถ้วยอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก

3.4.4.5 ตั้งทิ้งไว้ให้ปิโตรเลียมอีเธอร์ระเหย จากนั้นนำไปทำแห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 °c

3.4.4.6 ชั่งน้ำหนักที่ได้

3.4.4.7 คำนวณหาปริมาณที่อยู่รอบนอกผิวของผงน้ำมันมะพร้าวที่ได้ จากสูตร

$$\% \text{ Surface fat} = \frac{a \times 50 \times 100}{(ml - \frac{a}{0.94}) \times b}$$

ml = ปริมาณสารละลายที่ปิเปตออกมา ในที่นี้ได้ปิเปต 25 ml.

a = น้ำหนักตัวอย่างหลังการระเหย (g.)

b = น้ำหนักของผงน้ำมันมะพร้าวที่ใช้ (g.)

0.94 = ค่าความหนาแน่นของน้ำมันโดยประมาณ

3.4.5 ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้ (%Encapsulated oil) (Vagn, 2005)

ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้ = ปริมาณน้ำมันทั้งหมด(%) – ปริมาณน้ำมันที่อยู่รอบนอกผิวของผงน้ำมันมะพร้าวที่ได้(%)

3.4.6 เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่กักเก็บได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมด (%Encapsulated oil of total oil)

เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่กักเก็บได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมด

$$= \frac{\text{ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้} \times 100}{\text{ปริมาณน้ำมันเริ่มต้นทั้งหมด}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (% Free fatty acid) (ลักขณา, 2544)

3.4.7.1 ชั่งน้ำมันมะพร้าวผงตัวอย่างมา 1 กรัม

3.4.7.2 นำน้ำมันมะพร้าวผงละลายในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในฟลาสค์ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.4.7.3 เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ลงไป 1มิลลิลิตร

3.4.7.4 นำไปไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

3.4.7.5 คำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดลอริก

ปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำมันมะพร้าวผงตัวอย่างต้องไม่มากกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อน้ำหนักในรูปกรดลอริก

วิธีการคำนวณ Acid Value = V x 5.61 /W

V = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1โมลาร์

W = น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างที่ใช้

จากนั้นสามารถคำนวณค่า Acid value เป็นปริมาณของกรดไขมันอิสระในรูปเปอร์เซ็นต์ของกรดลอริก ดังนี้

$$\%\text{Free fatty acid} = \text{Acid Value} / 2.81$$

โดยที่ 1 มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมล่าร์ ทำปฏิกิริยาพอดีกับ กรดลอริก 0.0200 กรัม

3.4.8 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (Water activity, Aw)

ใช้เครื่องวัดค่า Aw โดยอัตโนมัติยี่ห้อ AQUA LAB MODEL SERIES 3 TE อ่านค่า Aw โดยทำการหาค่า Aw ของผลิตภัณฑ์ 2 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.5 การวางแผนและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการศึกษาการทำเอนแคปซูเลชันน้ำมันมะพร้าวให้อยู่ในรูปของผง มีตัวแปรอิสระ 3 ตัว ที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า, เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน และอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ผล สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2007 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยสร้างพื้นที่ผิวตอบ (Response Surface) จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม Matlab 6.5 และวางแผนการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ประกอบด้วยการทดลอง 15 การทดลอง ซึ่งแบ่งค่าตัวแปรออกเป็น 3 ระดับ ดังแผนการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงสภาวะการเตรียมตัวอย่าง

การทดลองที่	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน	อัตราส่วนของน้ำมันมะพร้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตริน
1	170°c	30%	3:1
2	170°c	50%	2:1
3	230°c	30%	2:1
4	230°c	50%	2:1
5	170°c	40%	3:1
6	170°c	40%	1:1
7	230°c	40%	3:1
8	230°c	40%	1:1
9	200°c	30%	3:1
10	200°c	30%	1:1
11	200°c	50%	3:1
12	200°c	50%	1:1
13	200°c	40%	2:1
14	200°c	40%	2:1
15	200°c	40%	2:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองการเอนแคปซูเลชันน้ำมันมะพร้าว ได้เลือกใช้น้ำมันมะพร้าวจาก บริษัท ภูมิดิน ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ของบริษัท ภูมิดิน

Item	Result	Test Method
Free Fatty Acid (% as lauric acid)	0.11	ISO 660:1996
Peroxide Value (meq/kg)	0.29	IUPAC 2.501
Moisture and volatile matter(%)	0.12	ISO 662 : 1980
Fatty acid composition (%)		Ce 2-66, Ce 1-62 ADCS1993
C10:0 Capric acid	8.40	
C12:0 Lauric acid	54.61	
C14:0 Myridic acid	18.79	
C16:0 Palmitic acid	6.97	
C18:0 Stearic acid	3.11	
Total Saturated fatty acid	**91.88**	
C18:1 Oleic acid	6.95	
C18:2 Linoleic acid	1.07	
Total unsaturated fatty acid	**8.02**	

ในการทำเอนแคปซูเลชันน้ำมันมะพร้าวให้อยู่ในรูปของผง ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการทำอิมัลชันและการอบแห้งแบบพ่นฝอย

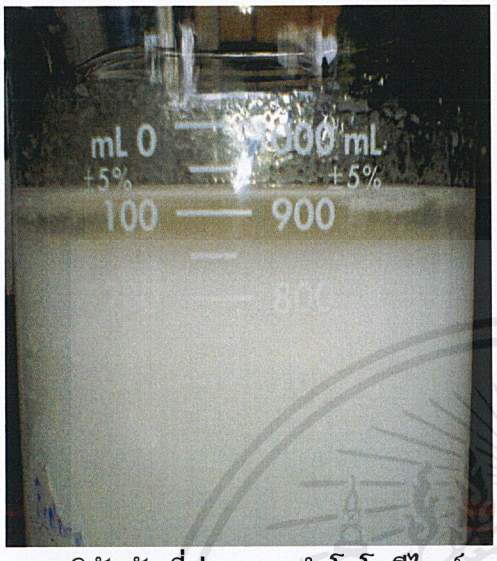
ขั้นตอนการทำอิมัลชัน

ในการเตรียมอิมัลชันเริ่มต้นโดยผสมส่วนประกอบของ มอลโตเด็กซ์ตริน น้ำ และน้ำมันมะพร้าวด้วยเครื่องโฮโมจิไนซ์เซอร์ ใช้ความเร็วรอบที่ 8480 rpm

หลังการปั่นผสมตั้งทิ้งไว้เพื่อดูการแยกชั้นของอิมัลชันพบว่าตัวอย่างที่ทำการโฮโมจีไนซ์เซอร์เป็นเวลา 30 นาที และตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เกิดการแยกตัวของอิมัลชันเร็วที่สุด และมีขนาดเม็ดน้ำมันที่สังเกตด้วยสายตาขนาดใหญ่ที่สุดลอยที่ผิวหน้าของอิมัลชัน และเมื่อนำตัวอย่างที่ผสมโดยทำการโฮโมจิไนซ์เป็นเวลา 30 นาที พัก 30 นาที มาทำการโฮโมจิไนซ์รอบสองอีก 30 นาที และตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่งโมง จะเกิดการแยกตัวของอิมัลชันช้ากว่าแบบแรก และเม็ดน้ำมันมีขนาดเล็กลงมา จากนั้นจึงได้ทำการเพิ่มการโฮโมจีไนซ์อีก 1 รอบ เม็ดน้ำมันที่ได้มีขนาดที่เล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุดและมีความคงสภาพอิมัลชัน ไม่เกิดการแยกชั้นได้นานที่สุด จึงเลือกใช้วิธีการเตรียมอิมัลชันของสารตัวอย่างน้ำมันมะพร้าว โดยการทำโฮโมจีไนซ์ 3 รอบๆละ30 นาที พักรอบละ 30 นาทีก่อนนำสารอิมัลชันที่ได้เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 4.1



a) อิมัลชันที่ผ่านการทำโฮโมจีไนซ์สองช่วง

b) อิมัลชันที่ผ่านการทำโฮโมจีไนซ์สามช่วง

ภาพที่ 4.1 แสดงรูปภาพเปรียบเทียบอิมัลชันที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์แบบสองช่วงและสามช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนการอบแห้งแบบพ่นฝอยเมื่อทำการเตรียมอิมัลชันโดยเตรียมความเข้มข้นของอิมัลชันและอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว ตามตารางสภาวะการทดลองที่ 3.2 และควบคุมเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงสภาวะการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง

No.	อุปกรณ์		ค่าที่ปรับ	หมายเหตุ
1	ปั๊มป้อนวัตถุดิบ	ค่าปรับการป้อน	10(สเกลที่ปรับค่า)	2.28 ลิตร/ชม.
2	อุณหภูมิลมร้อน	ทางเข้า	170 – 230 ^{o}c	คงที่ทุกการทดลอง
		ทางออก	100 ^{o}c	
3	ปั๊ม	ความเร็วรอบ	2800 rpm	1.45 m^3/min
4	หัวพ่นวัตถุดิบ	ชนิด	Two fluid nozzle	
		ทิศทางการทำแห้ง	Parallel	
		ความดันอากาศที่หัวพ่น	0.2 MPa	
5	เครื่องทำความร้อน	แผงความร้อนสี่ชุด	ใช้สี่ชุด (3 ,3 , 3 ,1.5 kw)	ควบคุมอัตโนมัติ 1ตัว

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำมันมะพร้าวผงที่สภาวะต่าง ๆตาม Box - Behnken Design

จากการดำเนินการทดลองด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆนั้น ให้ผลของค่าตัวแปรตามต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผง

การทดลองที่	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°c)	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน (%)	อัตราส่วนของน้ำมันมะพร้าวต่อมอลโตเด็กซ์ตริน (MD:VCO)	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (%Yield)	ปริมาณน้ำมันกักเก็บได้ (% encapsulated oil)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (% Free Fatty Acid)	ค่าวอเตอร์-แอคติวิตี้ (AW)	ปริมาณน้ำมันทั้งหมด (% Total oil in powder)	ปริมาณน้ำมันที่อยู่รอบนอกผิว (% Surface free fat in powder)	เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่กักเก็บได้เทียบน้ำมันทั้งหมด (% Encapsulaed oil of Total oil)
1	170	30	3:1	1.8194	18.67	5.4715	1.9969	0.0415	9.38	3.9082	58.32
2	170	50	2:1	0.7504	50.30	6.9108	1.9969	0.0840	12.3475	5.4237	55.96
3	230	30	2:1	0.3812	23.41	5.0703	1.9969	0.0340	9.235	4.1649	54.90
4	230	50	2:1	0.3039	23.79	8.1150	1.9969	0.0430	12.6125	4.4961	64.34
5	170	40	3:1	0.4193	17.41	12.5221	1.9969	0.0583	17.7625	5.2422	70.49
6	170	40	1:1	1.6761	24.36	3.2950	1.9969	0.0865	3.52	0.2298	93.61
7	230	40	3:1	1.1080	24.88	13.9411	1.9969	0.0450	20.25	6.3000	68.84
8	230	40	1:1	1.1454	18.08	3.5048	1.9969	0.0826	10.6425	7.1400	32.89
9	200	30	3:1	0.4305	41.13	6.8313	1.9969	0.0294	18.3975	11.5676	37.12
10	200	30	1:1	2.8930	19.58	0.7100	1.9969	0.0340	10.8775	10.1646	6.53
11	200	50	3:1	1.2062	28.22	14.1812	1.9969	0.0570	20.81	6.6323	68.14
12	200	50	1:1	1.8957	18.43	4.4901	1.9969	0.0583	4.9525	0.4634	90.66
13	200	40	2:1	0.9270	34.90	6.2242	1.9969	0.0345	11.81	4.7102	52.67
14	200°c	40%	2:1	0.8090	40.91	6.2351	1.9969	0.0345	14.4175	8.1802	43.25
15	200	40	2:1	1.0410	41.73	6.7302	1.9969	0.0536	10.265	3.5371	65.56

4.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับคุณลักษณะต่าง ๆของน้ำมันมะพร้าวผงที่ได้

4.2.1 ปริมาณความชื้น (% Powder Moisture)

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า(x_1), เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลซัน(x_2) และอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์-ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว(x_3) แสดงดังต่อไปนี้

$$\%Moisture = -5.19566 + 0.199328(x_1) - 0.3614(x_2) - 4.27771(x_3) - 0.00063(x_1^2) + 0.00113(x_2^2) + 0.226208(x_3^2) + 0.000827(x_1x_2) + 0.004825(x_1x_3) + 0.0443(x_2x_3)$$

โดยที่ x_1 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

x_2 คือ เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลซัน

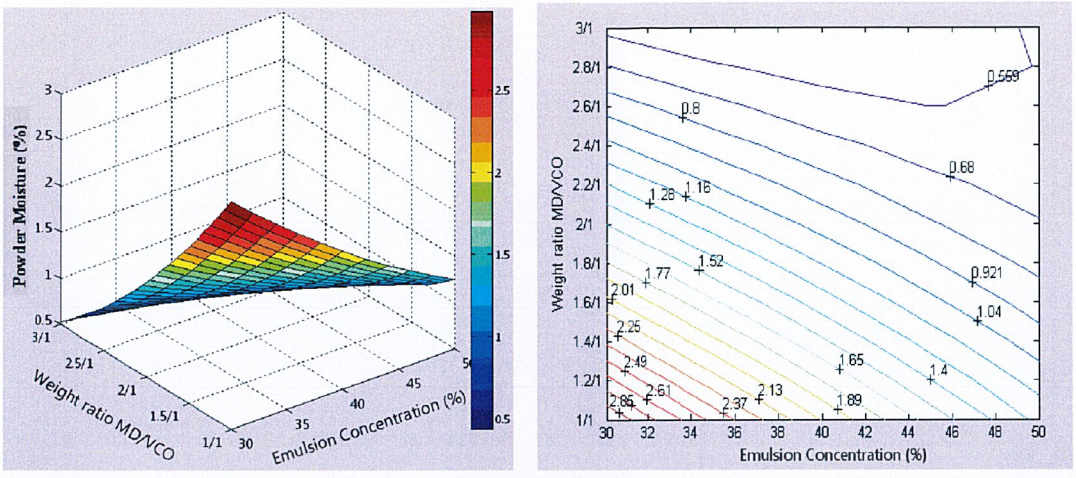
x_3 คือ อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว

$R^2 = 0.7061$, S.E. = 0.7531

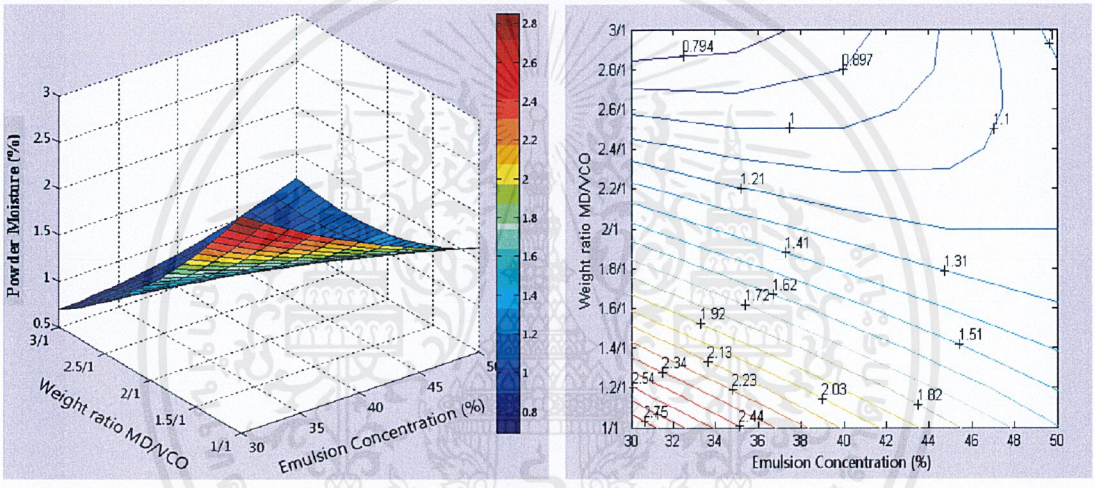
จากภาพที่ 4.2 พบว่า ปริมาณความชื้นของผงน้ำมันมะพร้าวที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 0.56% – 2.85% เมื่อพิจารณาที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นเดียวกัน ที่อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวมีค่าเพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มทำให้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากอัตราส่วนของของแข็งเพิ่มมากขึ้น อัตราส่วนน้ำลดลง จึงทำให้ค่าความชื้นมีค่าลดลงเช่นกัน และที่อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวเดียวกัน เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มทำให้มีค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากอิมัลซันมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่ต้องระเหยจึงลดลงด้วย

เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 170, 200 และ 230°c ที่อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวเป็น 2:1 และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นอิมัลซัน 40% เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่ำลง เนื่องจากลมร้อนที่ใช้ทำแห้งที่อุณหภูมิสูง มีความสามารถในการระเหยน้ำและจับกับความชื้นได้ในปริมาณมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

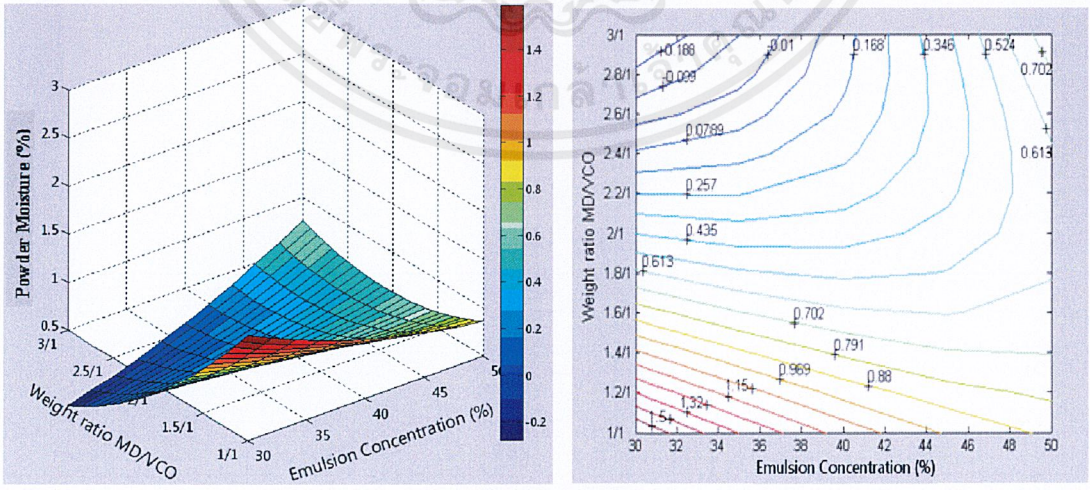
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) % Powder Moisture @ 170 °c



(b) % Powder Moisture @ 200 °c



(c) % Powder Moisture @ 230 °c

ภาพที่ 4.2 แสดงพื้นผิวผลตอบของค่าความชื้นผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผง ที่อุณหภูมิ 170, 200 และ 230°c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (% Powder Yield)

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ของผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า(x1), เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน(x2) และอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว(x3) แสดงดังต่อไปนี้

$$\%Yield = -573.703 + 4.23675(x_1) + 7.812708(x_2) + 33.14208(x_3) - 0.00878(x_1^2) - 0.0224(x_2^2) - 10.1(x_3^2) - 0.02604(x_1x_2) + 0.114583(x_1x_3) - 0.294(x_2x_3)$$

โดยที่ x_1 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

x_2 คือ เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน

x_3 คือ อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว

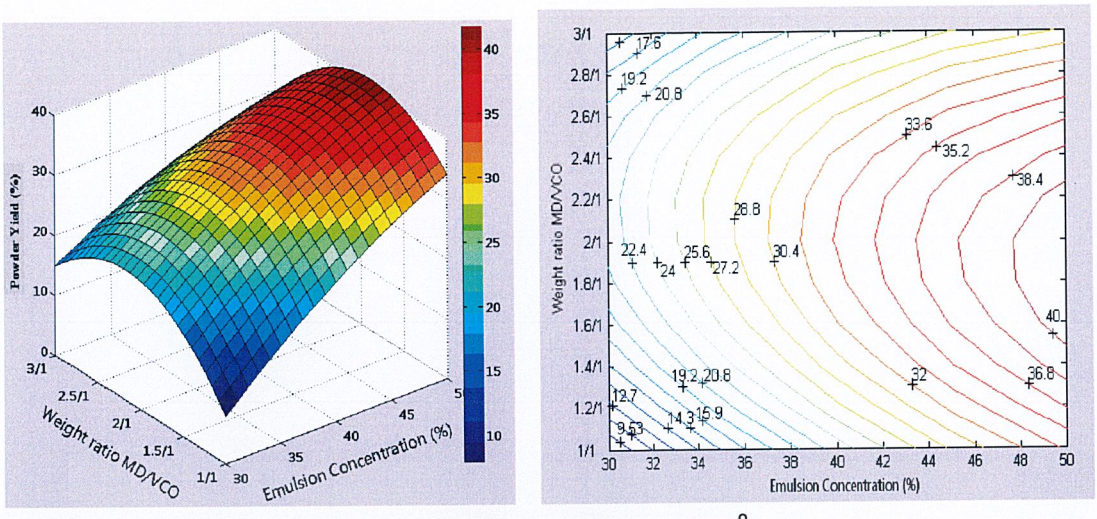
$R^2 = 0.6967$, S.E. = 9.8282

จากภาพที่ 4.3(a) ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงน้ำมันมะพร้าวมีค่าอยู่ในช่วง 9.53% – 40% แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของอิมัลชัน อัตราส่วนน้ำหนักระหว่างมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ กล่าวคือ เมื่อพิจารณาที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นอิมัลชันเดียวกัน พบว่าเมื่ออัตราส่วนมอลโตเด็กซ์-ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1/1 ถึง 2/1 ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว1/1 อิมัลชันที่ได้ยังไม่มีความเสถียรพอทำให้สูญเสียน้ำมันไปบางส่วน และที่อัตราส่วนมากกว่า 2/1 พบว่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของมอลโตเด็กซ์ตรินจะไปเพิ่มค่าความหนืดของอิมัลชัน ส่งผลให้ไม่สามารถสเปรย์ดรายออกมาเป็นผงได้ดี

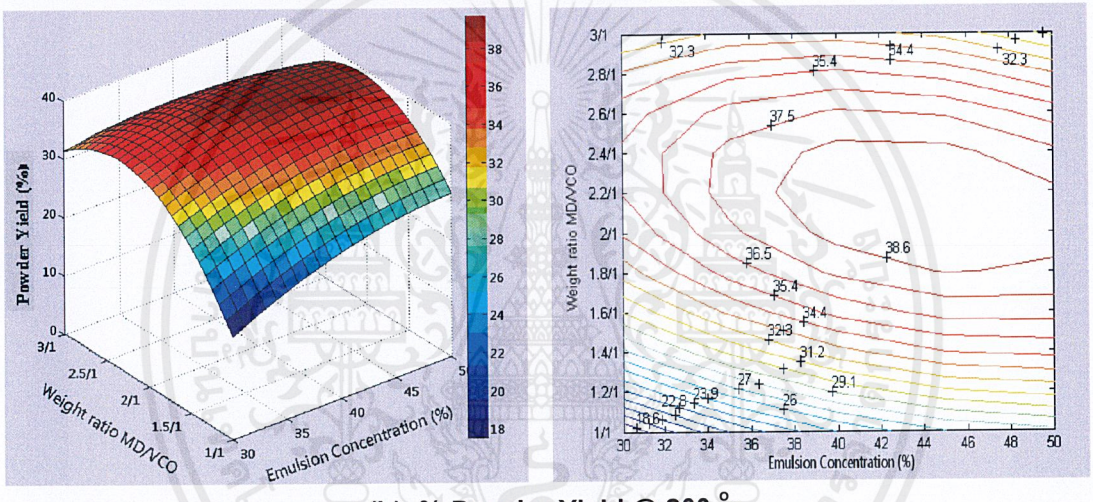
ส่วนการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชันนั้นพบว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชันเพิ่มขึ้น ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ก็จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน เพราะเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชันมีค่ามากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

จากภาพที่ 4.3 จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ คือ 170, 200 และ 230°c พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีค่ามากขึ้น ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลทำให้ขนาดอนุภาคของอิมัลชันที่พ่นออกมามีขนาดเล็กลงมากอาจทำให้เกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ผงไปกับลมร้อนนั้นและบางส่วนติดอยู่กับผนังเครื่อง

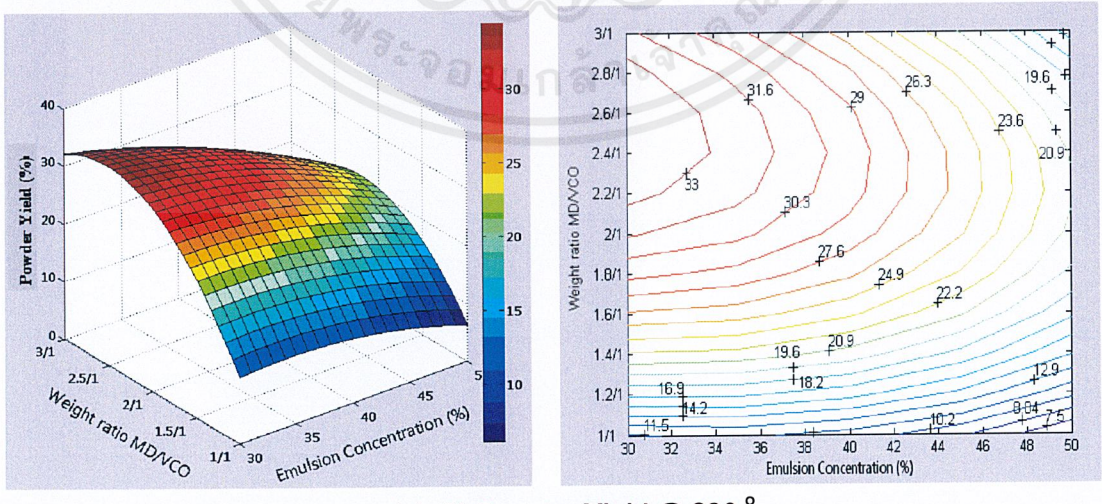
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) % Powder Yield @ 170 °c



(b) % Powder Yield @ 200 °c



(c) % Powder Yield @ 230 °c

ภาพที่ 4.3 แสดงพื้นผิวผลตอบของค่าเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผง ที่อุณหภูมิ 170, 200 และ 230°c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ปริมาณน้ำมันทั้งหมด (% Total oil in powder)

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณน้ำมันทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า(x1), เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน(x2) และอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว(x3) แสดงดังต่อไปนี้

$$\% \text{ Total oil} = -46.2911 + 0.545468(x_1) - 0.22789(x_2) - 2.19948(x_3) - 0.0011(x_1^2) - 0.00277(x_2^2) + 1.872604(x_3^2) + 0.000342(x_1x_2) - 0.03863(x_1x_3) + 0.208438(x_2x_3)$$

โดยที่ x_1 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

x_2 คือ เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน

x_3 คือ อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว

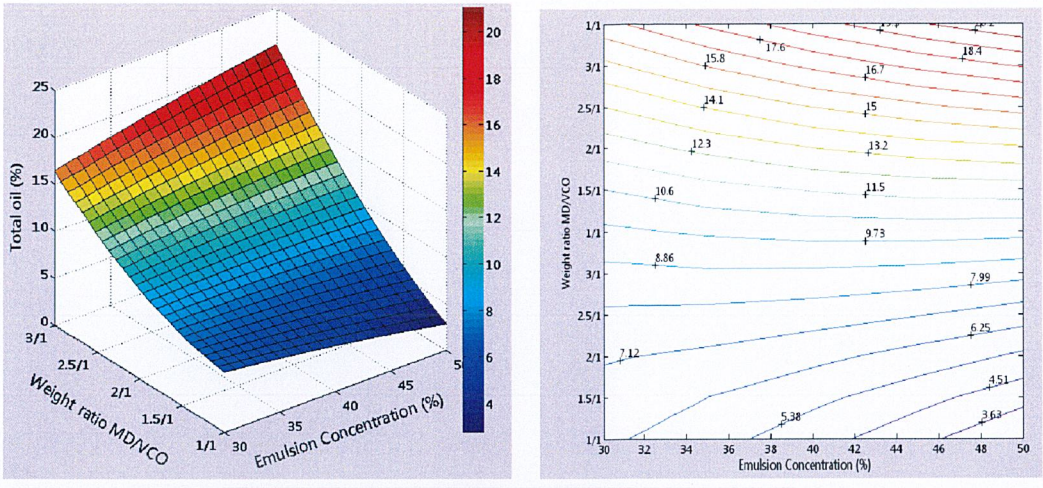
$R^2 = 0.9116$, S.E. = 2.5393, $p < 0.05$

จากภาพที่ 4.4 ค่าน้ำมันทั้งหมดของผงน้ำมันมะพร้าวมีค่าอยู่ในช่วง 3.3% - 20% แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของอิมัลชันและอัตราส่วนน้ำหนักระหว่างมอลโตเด็กซ์-ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวส่งผลร่วมกันต่อปริมาณน้ำมันทั้งหมดของผงน้ำมันมะพร้าว กล่าวคือ ที่อัตราส่วนน้ำหนักระหว่างมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวมีค่าต่ำ คือ ที่อัตราส่วน 1/1 จะพบว่าการเพิ่มค่าปริมาณความเข้มข้นของอิมัลชันจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันทั้งหมดมีค่าลดลง เนื่องจากที่อัตราส่วนน้ำหนักระหว่างมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว1/1 นั้น มอลโตเด็กซ์ตรินไม่สามารถเอาชนะแรงดึงผิวที่หน้าสัมผัสของเม็ดน้ำมันได้ ทำให้เม็ดน้ำมันรวมตัวกันและเกาะตามผนังภาชนะทำให้สูญเสียน้ำมันไปบางส่วน

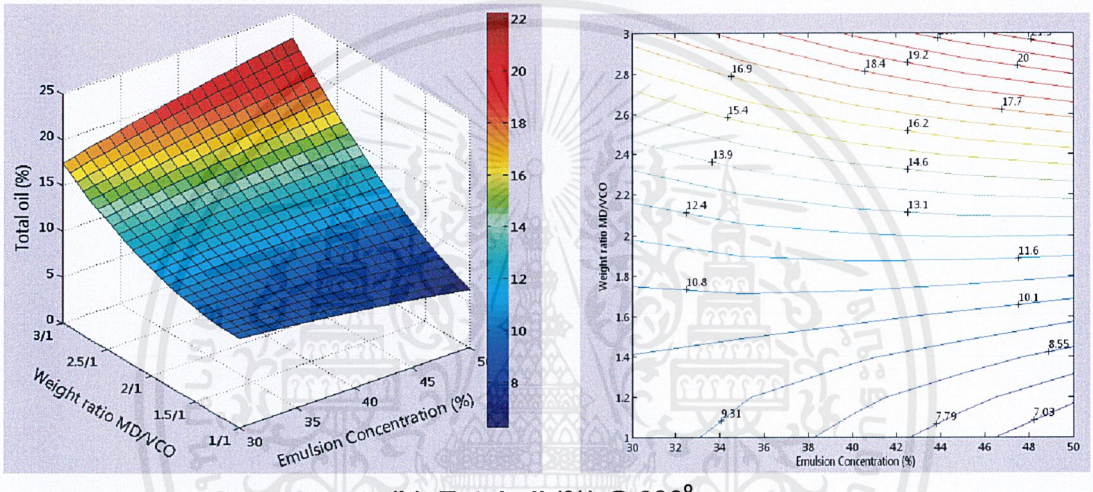
แต่เมื่ออัตราส่วนน้ำหนักระหว่างมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวมีค่ามากขึ้น เช่น ที่อัตราส่วน 3/1 จะพบว่าการเพิ่มค่าปริมาณความเข้มข้นของอิมัลชันจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณของมอลโตเด็กซ์ตรินมากพอที่จะเอาชนะแรงดึงผิวที่หน้าสัมผัสของเม็ดน้ำมันได้

และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณความเข้มข้นของอิมัลชันเท่ากัน จะพบว่า เมื่ออัตราส่วนน้ำหนักระหว่างมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวมีค่าเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำมันทั้งหมดก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของมอลโตเด็กซ์ตรินให้มากขึ้นจะเป็นการเพิ่มความสามารถที่จะเอาชนะแรงดึงผิวที่หน้าสัมผัสของเม็ดน้ำมันได้

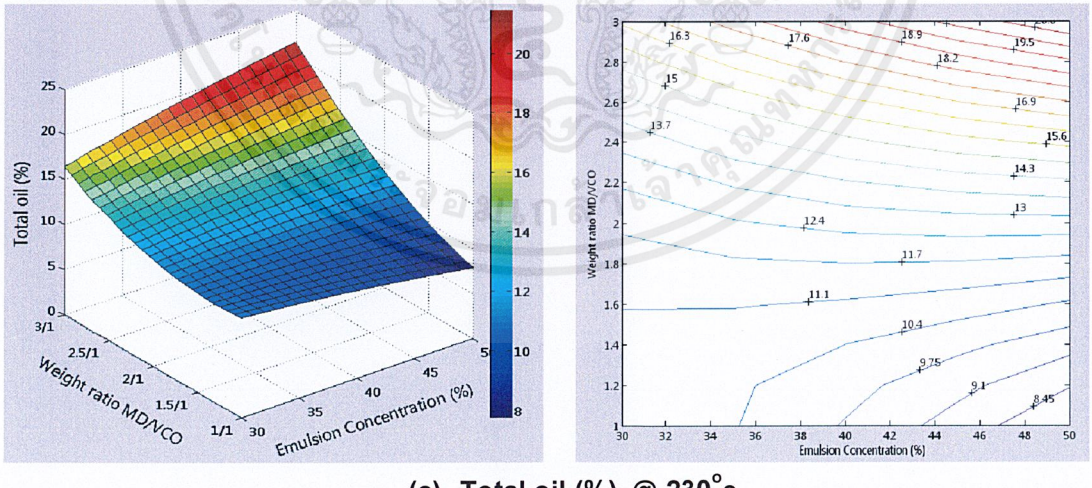
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Total oil (%) @ 170°c



(b) Total oil (%) @ 200°c



(c) Total oil (%) @ 230°c

ภาพที่ 4.4 แสดงพื้นผิวผลตอบของปริมาณน้ำมันมะพร้าวทั้งหมด ของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงที่อุณหภูมิ 170, 200 และ 230°c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ปริมาณน้ำมันกักเก็บได้ (%Encapsulated oil)

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้ของผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า(x1), เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน(x2) และอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว(x3) แสดงดังต่อไปนี้

$$\%\text{Encapped oil} = 38.67931 - 0.45418(x_1) + 0.455187(x_2) - 5.32063(x_3) + 0.000976(x_1^2) - 0.00882(x_2^2) + 1.04(x_3^2) + 0.001338(x_1x_2) + 0.010125(x_1x_3) + 0.08925(x_2x_3)$$

โดยที่ x_1 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

x_2 คือ เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน

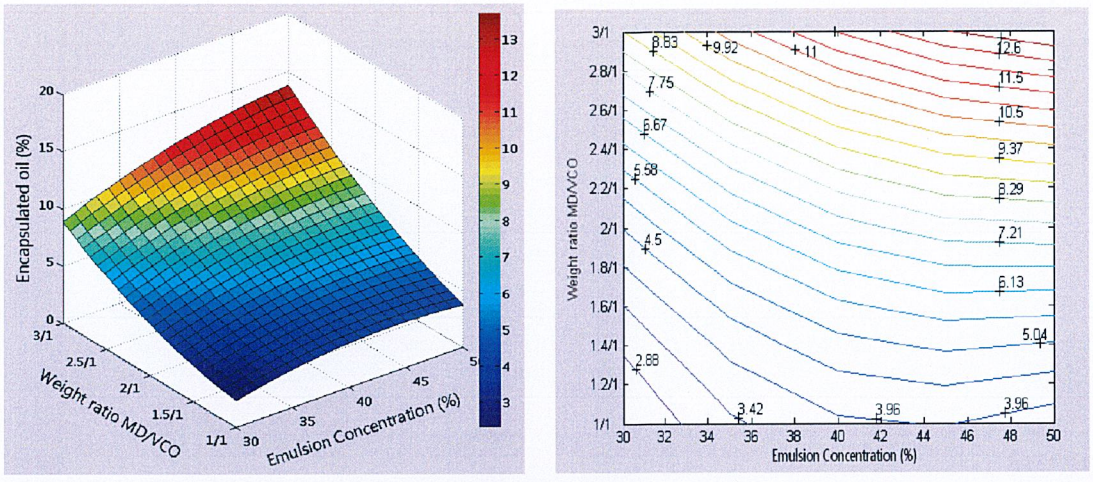
x_3 คือ อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว

$R^2 = 0.9638$, S.E. = 1.2353 , $p < 0.01$

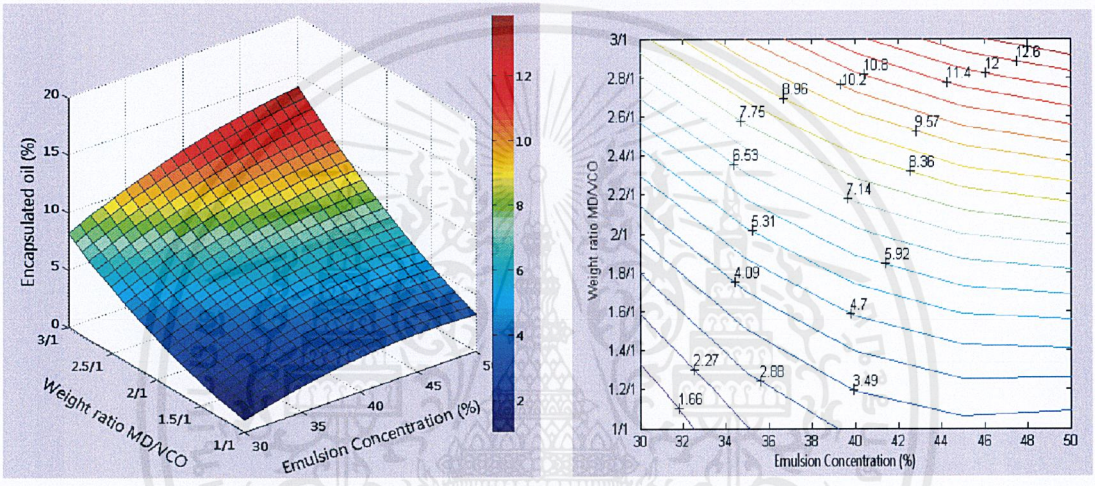
จากภาพที่ 4.5(a) ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้มีค่าอยู่ในช่วง 2.2% - 14.4 % แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความเข้มข้นของอิมัลชันและอัตราส่วนน้ำหนักระหว่างมอลโตเด็กซ์-ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้ กล่าวคือ เมื่อปริมาณความเข้มข้นของอิมัลชันเพิ่มขึ้นจาก 30%-45% ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของอิมัลชันเพิ่มขึ้นอีกปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้จะมีค่าลดลง เนื่องจากที่ปริมาณความเข้มข้นของอิมัลชันสูง ๆจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำอิมัลชันต่ำลง

ส่วนการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำหนักระหว่างมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว พบว่า เมื่ออัตราส่วนน้ำหนักระหว่างมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวมีค่ามากขึ้น ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้จะมีค่ามากขึ้น เนื่องจากยิ่งปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินมากอิมัลชันที่ได้จะยิ่งมีความเสถียรมากขึ้น เพราะมอลโตเด็กตรินจะทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวที่หน้าสัมผัส ป้องกันไม่ให้เม็ดน้ำมันต่าง ๆเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กัน

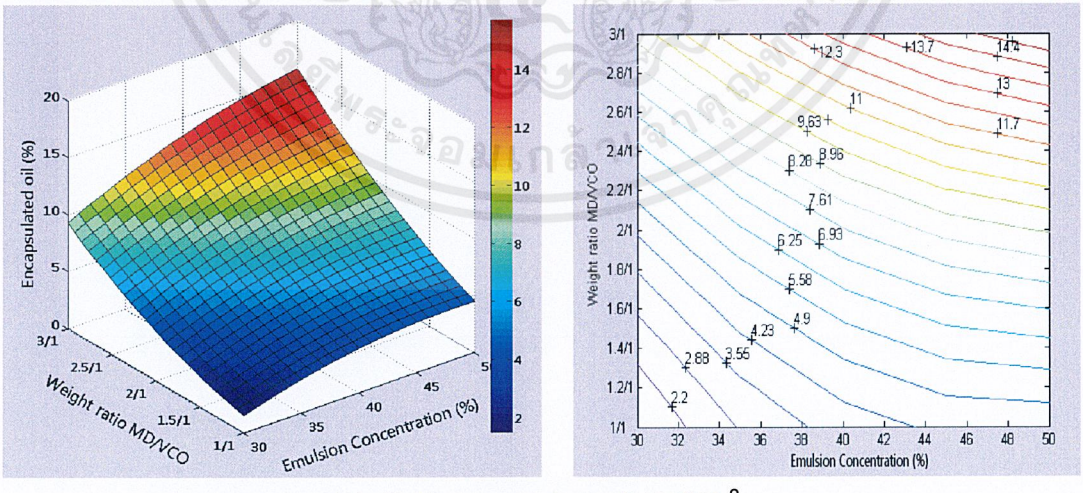
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) % Encapsulated oil @ 170 °c



(b) % Encapsulated oil @ 200 °c



(c) % Encapsulated oil @ 230 °c

ภาพที่ 4.5 แสดงพื้นผิวผลตอบของปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงที่อุณหภูมิ 170, 200 และ 230°c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่กักเก็บได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมด (% Encapsulated oil Yield)

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่กักเก็บได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า(x1), เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน(x2) และอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว(x3) แสดงดังต่อไปนี้

$$\%\text{Encapsulated oil Yield} = 577.299 - 6.14937(x_1) + 6.733109(x_2) - 52.4531(x_3) + 0.011331(x_1^2) - 0.05644(x_2^2) + 2.431655(x_3^2) + 0.009828(x_1x_2) + 0.492291(x_1x_3) - 1.32796(x_2x_3)$$

โดยที่ x_1 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

x_2 คือ เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน

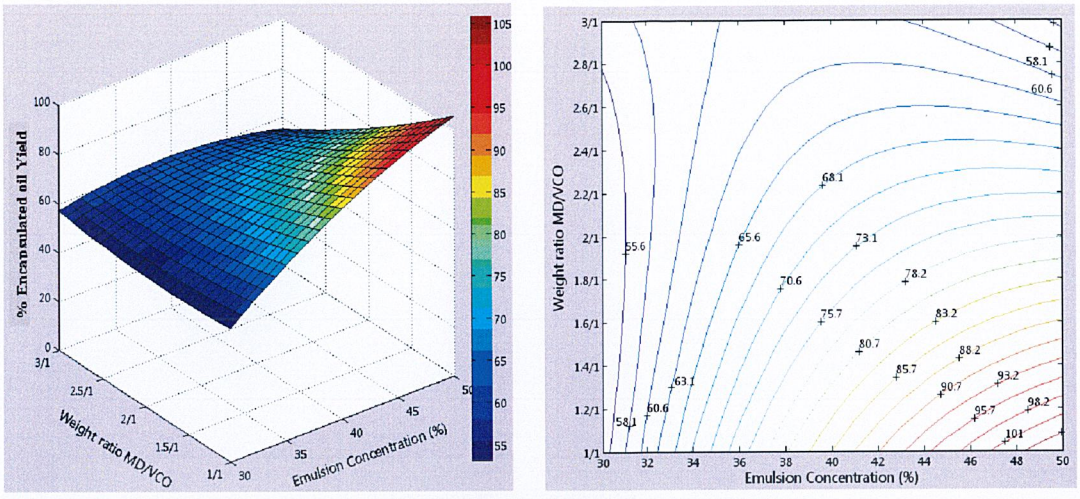
x_3 คือ อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว

$R^2 = 0.6637$, S.E. $= 21.3549$, $p < 0.05$

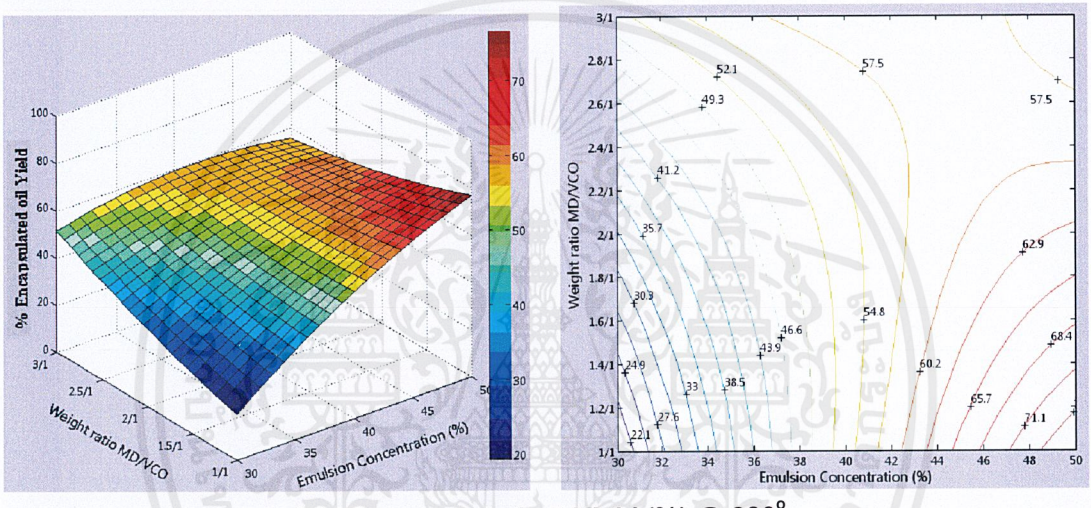
จากภาพที่ 4.6 ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 8.21% – 74.2% แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มข้นของอิมัลชัน, อัตราส่วนน้ำหนักระหว่างมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลร่วมกันต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่กักเก็บได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดของผงน้ำมันมะพร้าว กล่าวคือ ที่อุณหภูมิต่ำ 170 องศาและที่อัตราส่วนน้ำหนักระหว่างมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวมีค่าต่ำคือที่ 1/1 นั้น พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่กักเก็บได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของอิมัลชันมีค่ามากขึ้น และกลับมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนน้ำหนักระหว่างมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวมีค่ามากขึ้นนั้นมีสาเหตุมาจาก ที่อุณหภูมิ 170 องศาไม่สามารถสเปรย์ดรายอิมัลชันที่มีค่าความหนืดสูงอันเนื่องมาจากอัตราส่วนน้ำหนักระหว่างมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวมีค่าสูงนั้นได้เร็วพอ ทำให้เม็ดน้ำมันในอิมัลชันที่ยังไม่ผ่านเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเริ่มรวมตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่กักเก็บได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดมีค่าลดลง และยังอาจมีผลเนื่องมาจากที่อุณหภูมิ 170 องศาไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีพอทำให้อิมัลชันที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยแล้วยังมีความชื้นอยู่สูงและเกาะกันเป็นก้อนตามผนังของเครื่องสอบแห้งแบบพ่นฝอย ส่งผลให้สูญเสียน้ำมันไปบางส่วนด้วย

และเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่กักเก็บได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความร้อนจะทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วมากขึ้น

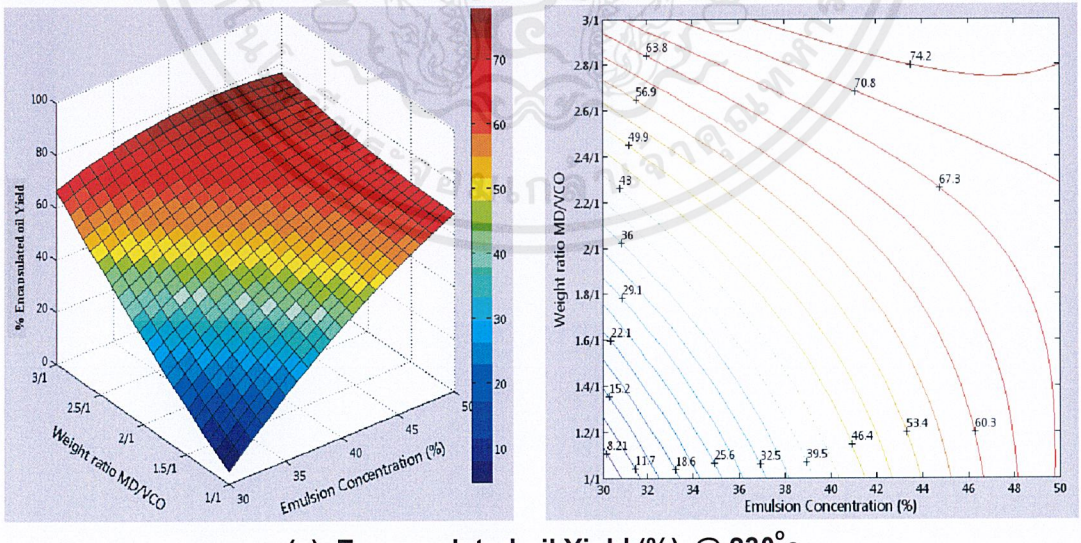
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Encapsulated oil Yield (%) @ 170°c



(b) Encapsulated oil Yield (%) @ 200°c



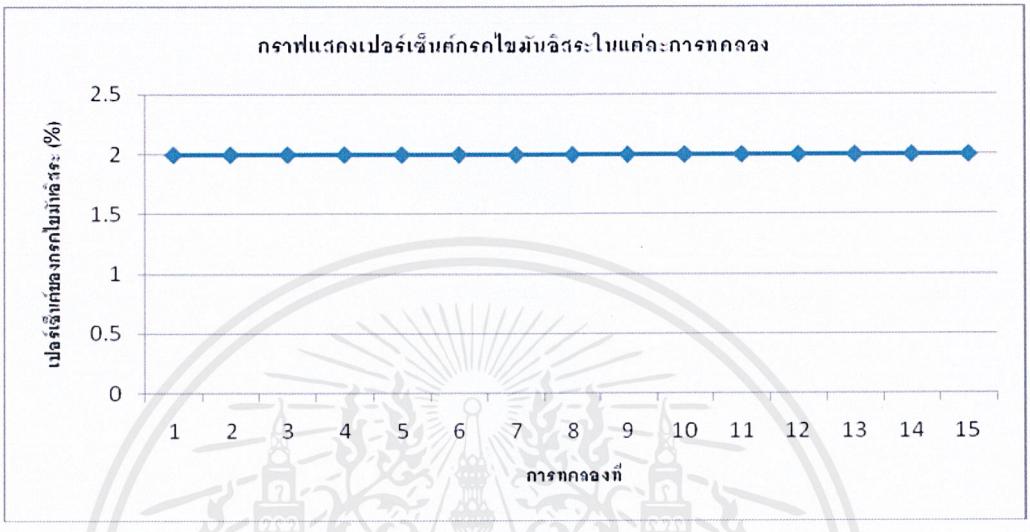
(c) Encapsulated oil Yield (%) @ 230°c

ภาพที่ 4.6 แสดงพื้นผิวผลตอบของน้ำมันที่กักเก็บได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดของผงน้ำมันมะพร้าวของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงที่อุณหภูมิ 170, 200 และ 230°c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%Free Fatty Acid)

จากการทดลองหาปริมาณกรดไขมันอิสระ โดยนำน้ำมันมะพร้าวผงมาละลายน้ำร้อนก่อน เพื่อให้สารอยู่ในรูปของสารละลาย จากนั้นจึงเติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน แล้วนำไปไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังจากนั้นทำการคำนวณหาปริมาณของกรดไขมันอิสระในรูปเปอร์เซ็นต์ของกรดลอริก ตามหัวข้อที่ 3.4.7 ซึ่งได้ผลดังแสดงดังกราฟ



ภาพที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระในแต่ละการทดลอง

จากกราฟจะเห็นว่าในแต่ละการทดลองนั้นมีเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระเท่ากัน เนื่องจากในแต่ละตัวอย่างใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการไตเตรตเพียงแค่หยดเดียวก็สามารถทำให้สารละลายเปลี่ยนสีได้ทันที แสดงให้เห็นว่าในแต่ละตัวอย่างนั้นมีเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระน้อยมาก

4.2.7 Water Activity ของผลิตภัณฑ์ (A_w)

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่า Water Activity ของผลิตภัณฑ์กับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า(x1), เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน(x2) และอัตราส่วนของมอลโต-เด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว(x3) แสดงดังต่อไปนี้

$$A_w = 0.484416 - 0.006379(x_1) + 0.012178(x_2) - 0.03916(x_3) + 1.84352\times10^{-5}(x_1^2) - 6.83333\times10^{-5}(x_2^2) + 0.010641667(x_3^2) - 2.79167\times10^{-5}(x_1x_2) - 7.833310^{-5}(x_1x_3) + 8.25\times10^{-5}(x_2x_3)$$

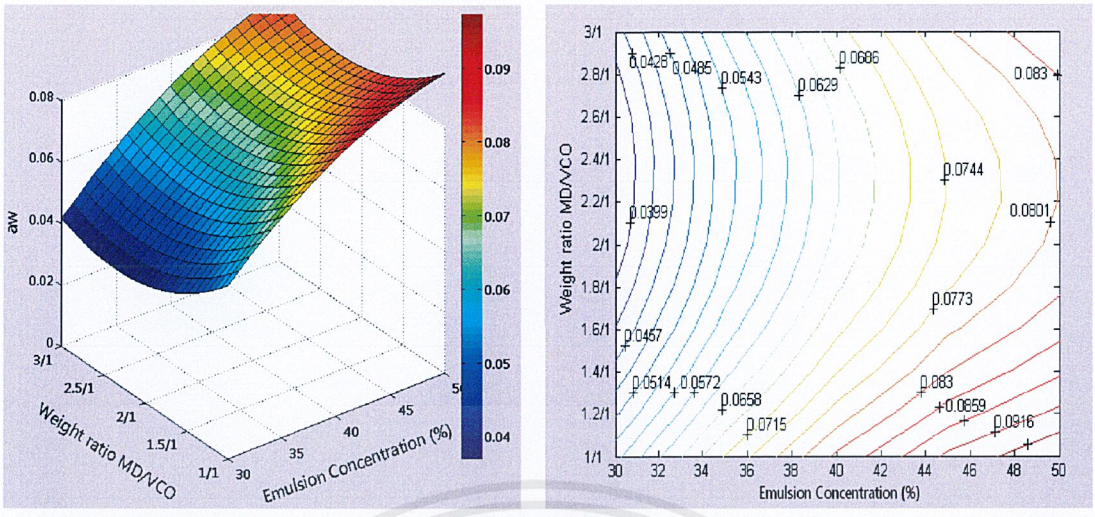
โดยที่ x_1 คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า

x_2 คือ เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน

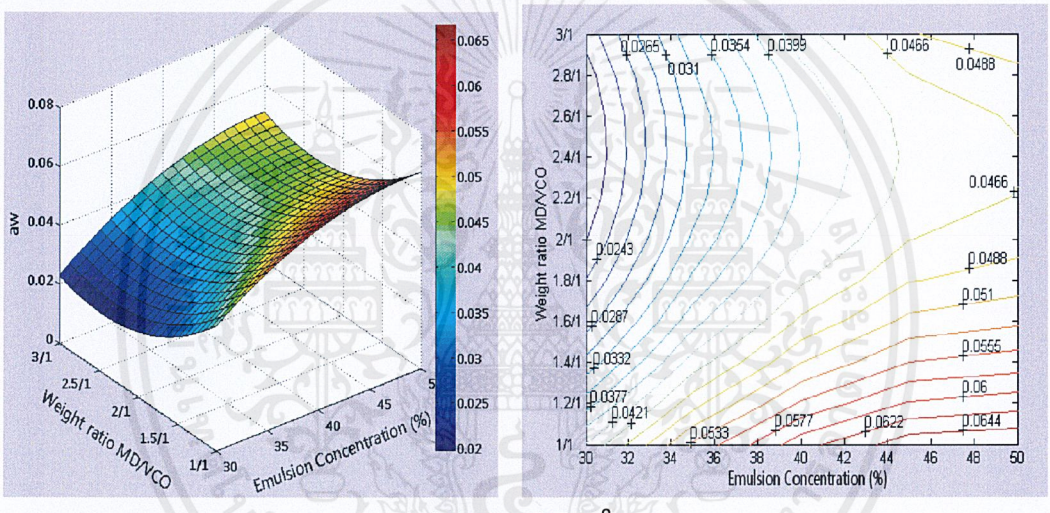
x_3 คือ อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว

$R^2 = 0.8454$, Standard Error of Estimate = 0.1168

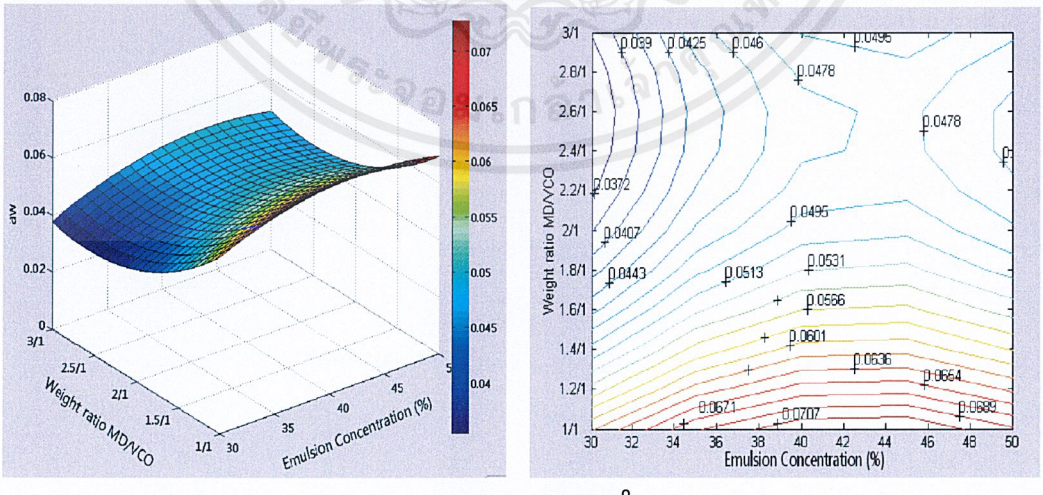
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) A_w @ 170°c



(b) A_w @ 200°c



(c) A_w @ 230°c

ภาพที่ 4.8 แสดงพื้นผิวผลตอบของค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผง ที่อุณหภูมิ 170, 200 และ 230°c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 ค่า Water Activity ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลมีค่าต่ำกว่า 0.1 ซึ่งที่อุณหภูมิ 170 °c เมื่อให้เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชันคงที่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวมีผลให้ค่า Aw เปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆ แต่เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ที่อุณหภูมิ 200 และ 230 °c จะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนคือเมื่อให้เปอร์เซ็นความเข้มข้นของอิมัลชันคงที่เละเพิ่มอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวมีผลให้แนวโน้มของค่า Aw ลดลง เนื่องจากการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินในอัตราส่วนที่มากขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำที่ต้องระเหยออกจากอิมัลชันที่จะทำแห้งลดลง ปริมาณน้ำที่อากาศสามารถระเหยได้สูงขึ้นทำให้ความชื้นลดลงส่งผลให้ค่า Aw ที่มีความสัมพันธ์กับความชื้นลดลงตามไปด้วย

เมื่อพิจารณาให้อัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวคงที่ พบว่า เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชันมีผลให้แนวโน้มค่า Aw เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากเมื่ออิมัลชันที่ถูกพ่นใน chamber มีการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินที่มากเกินไป ทำให้ขณะที่มีการถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวนอกของอนุภาคมีการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่ของน้ำในอนุภาคเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวนอกทำให้บริเวณผิวนอกเกิดการแห้งเร็วกว่าเกิดเป็นผิวแข็งเคลือบอนุภาคที่ยังมีความชื้นสูงอยู่ภายใน และเมื่อถูกเก็บในที่ที่อุณหภูมิเย็นลงเป็นระยะเวลาหนึ่งทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เข้าสู่ภาวะสมดุล มีผลให้ความชื้นที่ผิวนอกเพิ่มขึ้นทำให้ค่า Aw เพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาผลของตัวแปรในการเอนแคปซูเลชันต่อคุณลักษณะของผงน้ำมันมะพร้าวโดยการทำแห้งด้วยเครื่องสเปร์ดราย สามารถสรุปความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา คือ ปริมาณความชื้นของน้ำมันมะพร้าวผงจะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวและความเข้มข้นของอิมัลชันเพิ่มขึ้น

5.1.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงจะมีค่ามากที่สุดเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีค่า 200 ^{0}C การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิจะมีแนวโน้มทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงมีค่าลดลง

ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงจะมีค่ามากที่สุดเมื่ออัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวมีค่าประมาณ 2:1 การเพิ่มหรือลดอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวจะมีแนวโน้มทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงมีค่าลดลง

ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของอิมัลชัน คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอิมัลชันเพิ่มขึ้น

5.1.3 ปริมาณน้ำมันที่ถูกห่อหุ้มได้มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา คือ ปริมาณน้ำมันที่ถูกห่อหุ้มจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวและความเข้มข้นของอิมัลชันเพิ่มขึ้น

5.1.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ได้จากการทดลองไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา เนื่องจาก ผลการทดลองพบว่าทุกสภาวะให้ปริมาณกรดไขมันอิสระไม่แตกต่างกันคือมีค่าของปริมาณกรดไขมันอิสระประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์

5.1.5 ค่า Water Activity มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา คือ ค่าWater Activity จะมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้น และค่า Water Activity จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชันเพิ่มขึ้น ซึ่งค่า Water Activity จากการทำการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่า 0.6 ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่จะเกิดจุลินทรีย์ได้ ทำให้สรุปได้ว่าน้ำมันมะพร้าวผงที่ได้จากการทดลองมีความปลอดภัยจากการเกิดเชื้อจุลินทรีย์

5.1.6 ค่าน้ำมันทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา คือ ค่าน้ำมันทั้งหมดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวและความเข้มข้นของอิมัลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้น ค่าน้ำมันทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าไม่ชัดเจน คือ มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่มีแนวโน้มว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปจะมีน้ำมันทั้งหมดเพิ่มขึ้น

5.1.7 ค่าน้ำมันที่กักเก็บได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดของผงน้ำมันมะพร้าว ความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ศึกษา คือ ค่าน้ำมันที่กักเก็บได้เทียบกับปริมาณน้ำมันทั้งหมดของผงน้ำมันมะพร้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าวและความเข้มข้นของอิมัลชันมีค่าเพิ่มขึ้น

จากการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวผงโดยใช้เทคนิคการเอนแคปซูเลชันด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยเลือกเงื่อนไขการผลิตให้ได้ปริมาณน้ำมันที่ถูกกักเก็บมากที่สุดอยู่ที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของอิมัลชัน 45% อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว 3:1 และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 200^{0}C ซึ่งให้ปริมาณน้ำมันที่กักเก็บได้มากที่สุดที่ประมาณ 14.4% และคิดเป็น 74.2% ของปริมาณน้ำมันทั้งหมดในผงน้ำมันมะพร้าว ที่มีนัยสำคัญ 0.95

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันให้อยู่ในรูปผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยพบว่าขั้นตอนการเตรียมอิมัลชันก่อนที่จะมีการนำไปอบแห้งแบบพ่นฝอยมีความสำคัญอย่างมากต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์น้ำมันผงที่ได้ จึงควรมีการเตรียมอิมัลชัน
ให้มีความเสถียรก่อนที่จะนำไปอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยการ

5.2.1.1 เลือกใช้เครื่องโฮโมจิไนเซอร์ที่มีความเร็วรอบในการปั่นมากพอสำหรับการทำเอนแคปซูเลชัน ต้องมีความเร็วรอบไม่ต่ำกว่า 10,000 rpm

5.2.1.2 เลือกอิมัลซิไฟเออร์ที่มีคุณสมบัติในการรักษาความคงตัวได้ดี เช่น อคาเซียกัม

5.2.1.3 ใช้ความเร็วรอบและเวลาของการปั่นโฮโมจีไนซ์เซอร์ที่เหมาะสม

5.2.1.4 มีการควบคุมปัจจัยภายนอกที่ดี เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสง เป็นต้น

จึงควรจะมีการทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเตรียมอิมัลชันเพื่อเป็นประโยชน์ในการทำการวิจัยต่อไป

5.2.2 ในขั้นตอนการอบแห้งแบบพ่นฝอยอุปกรณ์ในการป้อนวัตถุดิบไม่มีเครื่องมือในการควบคุม อุณหภูมิเริ่มต้นจึงอาจมีผลให้การทดลองคาดเคลื่อนได้ ควรจะมีเครื่องมือในการควบคุมอุณหภูมิ ระบบควบคุมเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบอัตโนมัติ ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ด้วยการส่งสัญญาณจากส่วนควบคุมไปปิด-เปิด แผงทำความร้อนอัตโนมัติ ซึ่งการปิด-การเปิด จ่ายไฟให้กับแผงทำความร้อน ทำให้อุณหภูมิลมร้อนไม่ค่อยคงที่ และมีการควบคุมอุณหภูมิขาออกคงที่เพื่อให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม่สูงเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยการปรับอัตราการป้อนของเหลวเข้าเครื่องอบแห้ง ทำให้อัตราการป้อนของเหลวไม่คงที่ตลอดช่วงการทดลอง จึงควรมีการปรับเปลี่ยนและหาทางแก้ไข เพื่อควบคุมอุณหภูมิลมร้อนและอัตราการป้อนของเหลวให้คงที่ เพื่อการศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นกับปัจจัยแต่ละปัจจัยอย่างชัดเจน หรืออาจมีการดัดแปลงเป็นการควบคุมแบบ manual ซึ่งสามารถควบคุมปัจจัยการอบแห้งได้อย่างคงที่เช่นอัตราการป้อนผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

5.2.3 จากการทดลองพบว่าในการเก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้มีผงน้ำมันมะพร้าวจำนวนมากที่ติดอยู่ในท่อลำเลียงและส่วนของกรวยแยกของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ไม่สามารถนำออกมาได้หมด ควรมีการทำเครื่องมือที่เหมาะสม เช่น ช้อนหรือทัพพีที่มีด้ามยาวเพื่อให้เก็บผลิตภัณฑ์ได้ทั้งหมดจะเป็นการเพิ่มค่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ให้สูงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ญาณิกา มณีศรี, ณัฏฐ์นิรินธน์ พันธุมจินดา, วิริยา ศนีบุตร. ผลของสภาวะการผลิตต่อการผลิตน้ำลำไยผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย. วิธีการวิเคราะห์พื้นที่ผิวตอบ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2549.

ณรงค์ โฉมเฉลา. การบรรยายประชุมวิชาการกรมพัฒน์ การบรรยายประชุมวิชาการ เรื่อง บทบาทของน้ำมันมะพร้าวต่อสุขภาพ และความงาม. 2548 พฤศจิกายน 30.

ดาริกา สิมาพัฒนพงศ์ และคณะ. การศึกษาการผลิตข้าวผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งคู่. กรุงเทพฯ :สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2545.

เทพกัญญา ตันตโยทัย, รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. ผลของชนิดโฮโมจีไนเซอร์และโซเดียมคลอไรด์ต่อสมบัติทางกายภาพของอิมัลชันน้ำมันมะพร้าว. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิติกานต์ ตติยพันธุ์, สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. อิทธิพลของอิมัลซิไฟเออร์และสเตบิไลเซอร์ต่อความคงตัวของอิมัลชันน้ำมันมะพร้าวในน้ำหลังการให้ความร้อน. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์.

พิพัฒน์ ปัทมราชวิเชียร, ศศิธร นามโคตร, ศิริรัตน์ อมรวิริยะกุล. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำลำไยผงด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2548.

ฝ่ายสิ่งแวดล้อม นิเวศวิทยาและพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. การผลิตน้ำมันมะพร้าวบีบเย็นคุณภาพสูง Cold pressed coconut oil production. [online]. Available from: URL: http://www.tistr.or.th/tistr2006/source/techno/pdf/cold_pressed_coconut_oil_production.pdf

ลักขณา รุจนะไกรกานต์, นิธิยา รัตนาปนนท์. หลักการวิเคราะห์อาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2544,125, 311.

วรรณา ตุลยธัญ.เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต: พอลิแซ็กคาไรด์การดัดแปรทางเคมี.พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ; 2549

สถาบันคลังสมองของชาติ. แนวทางพัฒนามะพร้าวและผลิตภัณฑ์จากมะพร้าวของประเทศไทย. [online]. Available from:URL: http://www.knit.or.th/docs/policybrief-coconut.pdf

สำนักงานเกษตรจังหวัดประจวบคีรีขันธ์. [online]. Available from: URL: http://www.gotoknow.org/blog/samsamee/149297

เอกดนัย กอกิมพงษ์. Homogenizer ผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกัน. online]. Available from: URL: http://www.thaiscience.com/lab_vol/p25/Homogenizer.asp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bae E. K., Lee S. J.. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. [online]. Available from : URL : http://www.Informaworld.com, 2008

Desai KGH, Park* HJ, Taylor & Francis. Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. 1361 – 1394, 2005.

Fuchs M, Turchiuli C, Bohin M, Cuvelier ME, Ordonnaud C, Peyrat – Maillard MN, Dumoulin E, ScienceDirect. Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. 75 (2006) 27 – 35. 2005.

Gouin S. Trends in Food Science & Technology. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. 15 (2004) 330-347. 2004.

Horwitz W. AOAC Official Method 905.02 Fat in milk. Official Methods of Analysis. MARYLAND : AOAC International;2000. p.18-59.

Huynh T. V., Caffin N, Dykes G. A., Bhandari B. Optimization of the Microencapsulation of Lemon Myrtle Oil Using Response Surface Methodology. [online]. Available from : URL: http://www.Informaworld.com, 2008

Nevin K.G., Rajamohan T. Virgin coconut oil supplemented diet increases the antioxidant status in rats. Food Chemistry. 2006. Volume 99, Issue 2 ; 260-266..

Soottitantawat A. Encapsulation. [online]. Available from : URL : http://www.nanotec.or.th/en/images/encapsulationo1.jpg

Vagn W. Milk Powder Technology. [online]. Available from : URL : http://www.niro.com/niro/cmsdos.nsf/webdoc/ndkw6dknxs

Versic RJ. THE WORLD BOOK ENCYCELOPEDIA Microencapsulation [online]. Available from: URL: http://www.rtdodge.com/worldBook.html.

Wang MH. Oxidative stability of whey protein-coated milk fat droplets encapsulated in wall matrices consisting of non-fat milk solids or of carbohydrates. FOOD SCIENCE in the OFFICE OF GRADUATE STUDIES of the UNIVERSITY OF CALIFORNIA : 1995.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

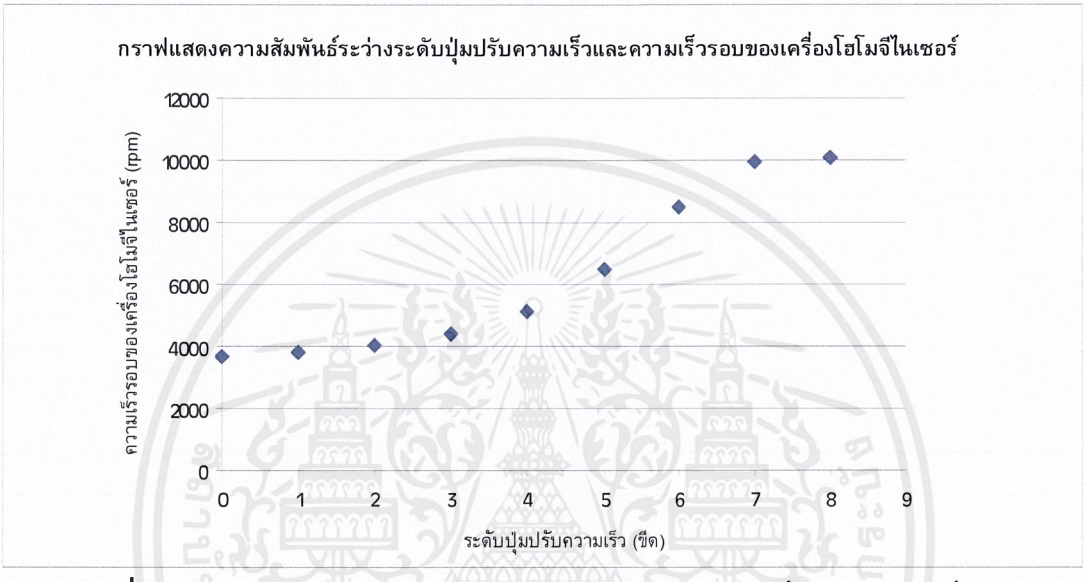
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การปรับค่าความเร็วของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์

ความเร็วที่หัวหมุนของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ สามารถปรับค่าได้จากการปรับปุ่มปรับความเร็ว ซึ่งการวัดความเร็วรอบทำได้โดยการใช้เครื่องเทคโคมิตเตอร์ตรวจสอบ โดยในการวัดความเร็วรอบนั้นจะทำการวัดตามปุ่มปรับความเร็วที่ขีดความเร็วต่างๆ ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์ตามภาพที่ ก.1 ดังนี้



ภาพที่ ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระว่างระดับปุ่มปรับความเร็วและความเร็วรอบของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 แสดงค่า Water activity (Aw) ต่ำที่สุดสำหรับจุลินทรีย์ที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร

จุลินทรีย์	Aw ต่ำสุด	จุลินทรีย์	Aw ต่ำสุด
Most spoilage bacteria	0.90-0.91	Stephylococcus albus	0.88-0.92
Aciinetobactor	0.95-0.98	Stephylococcus aureus	0.84-0.92
Aerompnas	0.95-0.98	Vibrio parahaemolyticus	0.93-0.98
Alcaligenes	0.95-0.98	Halophilic bacteria	0.75
Arthrobactor	0.95-0.98	Most yeasts	0.87-0.94
Bacillus	0.90-0.99	Osmosphilic yeasts	0.60-0.78
Baccillus. Cereus	0.92-0.95	Most molds	0.70-0.80
Citrobactor	0.95-0.98	Xerophilic molds	0.60-0.70
Clostridium botulinum	0.90-0.98	Aspergillus	0.68-0.88
Type A	0.95	Aspergillus glaucus	0.70-0.75
Type B	0.94	Aspergillus flavus	0.80-0.90
Type C	0.97	Aspergillus halophilicus	0.68
Corynebacterium	0.95-0.98	Aspergillus niger	0.80-0.84
Enterobactor	0.95-0.98	Botrtis cinerea	0.93
Escherichia coli	0.94-0.97	Debaryomyces	0.87-0.91
Flavobacterium	0.95-0.98	Fusarium	0.80-0.92
Klebsiella	0.95-0.98	Hansenula	0.89-0.90
Lactobacillus	0.90-0.94	Mucur	0.80-0.93
Leuconostoc	0.96-0.98	Penicelium	0.80-0.90
Micrococcus	0.90-0.95	Penicilium rubrum	0.67
Micrococcus rocus	0.90-0.93	Rhodotorula	0.89-0.92
Pseudomonas	0.96-0.98	Sacchaomyces cerevisiae	0.90-0.94
aeruginose	0.95-0.97	Saccharomyces rouxii	0.62-0.81
Pseudomonas	0.93-0.96	Xeromyces bisporus	0.62-0.61
flurescens			
Salmonella			

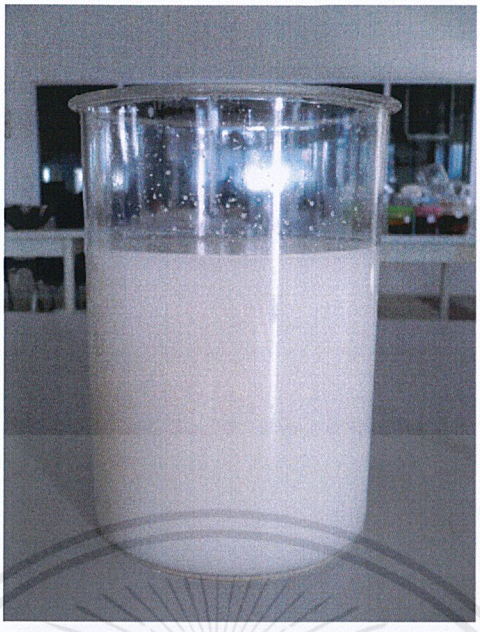
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
รูปอุปกรณ์ วัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง

ภาพที่ ง.1 แสดงเครื่องโฮโมจีไนเซอร์

ภาพที่ ง.2 แสดงการเตรียมอิมัลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

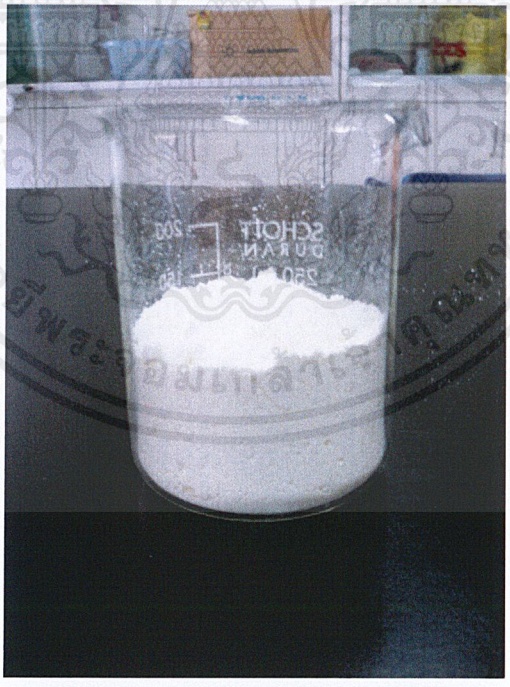


ภาพที่ ง.3 แสดงอิมัลชันก่อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ภาพที่ ง.4 แสดงเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ง.5 แสดงหัวฉีดแบบ Two Fluid Nozzle



ภาพที่ ง.6 แสดงผงน้ำมันมะพร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

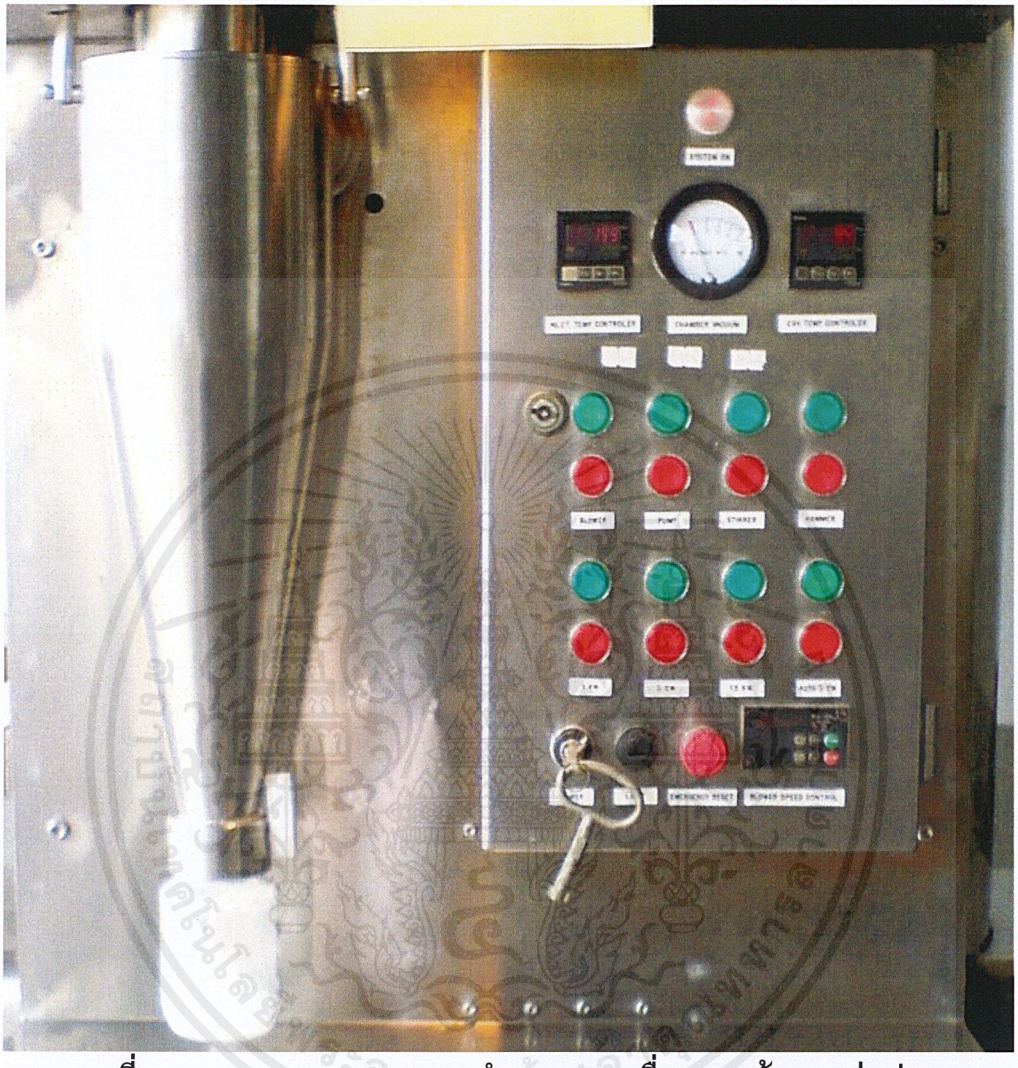
ภาคผนวก ง
การปรับแต่งค่าตัวแปรในการทดลอง

ภาพที่ จ.1 แสดงการเตรียมอิมัลชัน

ปรับค่าอัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตรินต่อน้ำมันมะพร้าว 3 ค่าคือ 1:1, 2:1 และ3:1

ปรับค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารละลายคือ 30,40 และ50 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ จ.2 แสดงแผงควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ปรับค่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับคือ 170,200 และ 230 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
การวิเคราะห์ผลทางสถิติของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output : Moisture

Regression Statistics	
Multiple R	0.84027
R Square	0.706053
Adjusted R Square	0.176949
Standard Error	0.753055
Observations	15

ANOVA					
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	6.810696	0.756744	1.33443	0.39325
Residual	5	2.835457	0.567091		
Total	14	9.646153			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-5.19566	22.25629	-0.23345	0.824671	-62.4073	52.01597	-62.4073	52.01597
X Variable 1	0.199328	0.183214	1.087951	0.326256	-0.27164	0.670296	-0.27164	0.670296
X Variable 2	-0.3614	0.409495	-0.88255	0.417883	-1.41404	0.691239	-1.41404	0.691239
X Variable 3	-4.27771	3.331316	-1.28409	0.25539	-12.8411	4.285711	-12.8411	4.285711
X Variable 4	-0.00063	0.000435	-1.44626	0.207742	-0.00175	0.00049	-0.00175	0.00049
X Variable 5	0.00113	0.003919	0.288231	0.784736	-0.00894	0.011204	-0.00894	0.011204
X Variable 6	0.226208	0.391902	0.577206	0.588815	-0.78121	1.233625	-0.78121	1.233625
X Variable 7	0.000827	0.001255	0.658651	0.539237	-0.0024	0.004053	-0.0024	0.004053
X Variable 8	0.004825	0.012551	0.384434	0.716464	-0.02744	0.037088	-0.02744	0.037088
X Variable 9	0.0443	0.037653	1.176541	0.292336	-0.05249	0.141089	-0.05249	0.141089

Residual Output

Observation	*Predicted Y*	*Residuals*
1	1.528375	0.290625
2	0.690375	0.059625
3	0.440625	-0.05962
4	0.594625	-0.29063
5	0.442	-0.023
6	2.00325	-0.32725
7	0.13975	0.32725
8	1.122	0.023
9	0.698625	-0.26762
10	2.856375	0.036625
11	1.242625	-0.03662
12	1.628375	0.267625
13	1.267333	-0.66433
14	1.267333	-0.57233
15	1.267333	1.236667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output : %Yield

Regression Statistics	
Multiple R	0.834659
R Square	0.696656
Adjusted R Square	0.150637
Standard Error	9.828195
Observations	15

ANOVA					
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	1109.177	123.2419	1.275883	0.413881
Residual	5	482.9671	96.59342		
Total	14	1592.145			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-573.703	290.4692	-1.97509	0.105237	-1320.38	172.9724	-1320.38	172.9724
X Variable 1	4.23675	2.391149	1.771847	0.136622	-1.9099	10.3834	-1.9099	10.3834
X Variable 2	7.812708	5.344356	1.461862	0.203629	-5.9254	21.55081	-5.9254	21.55081
X Variable 3	33.14208	43.47735	0.762284	0.480285	-78.62	144.9042	-78.62	144.9042
X Variable 4	-0.00878	0.005683	-1.54406	0.183226	-0.02338	0.005834	-0.02338	0.005834
X Variable 5	-0.0224	0.051148	-0.43795	0.679697	-0.15388	0.109079	-0.15388	0.109079
X Variable 6	-10.1	5.114755	-1.97468	0.105292	-23.2479	3.047896	-23.2479	3.047896
X Variable 7	-0.02604	0.01638	-1.58981	0.172747	-0.06815	0.016065	-0.06815	0.016065
X Variable 8	0.114583	0.163803	0.699518	0.515425	-0.30649	0.535653	-0.30649	0.535653
X Variable 9	-0.294	0.49141	-0.59828	0.575722	-1.55721	0.969209	-1.55721	0.969209

Residual Output

Observation	*Predicted Y*	*Residuals*
1	21.55875	-2.88875
2	41.67125	8.62875
3	32.03875	-8.62875
4	20.90125	2.88875
5	24.21625	-6.80625
6	23.29375	1.06625
7	25.94625	-1.06625
8	11.27375	6.80625
9	31.435	9.695
10	17.7575	1.8225
11	30.0425	-1.8225
12	28.125	-9.695
13	39.18	-4.28
14	39.18	1.73
15	39.18	2.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output : Total Oil

Regression Statistics	
Multiple R	0.954794
R Square	0.911632
Adjusted R Square	0.752571
Standard Error	2.53935
Observations	15

ANOVA					
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	332.6149	36.95722	5.731314	0.034476
Residual	5	32.24149	6.448297		
Total	14	364.8564			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	-46.2911	75.04968	-0.61681	0.564361	-239.212	146.6302	-239.212	146.6302
X Variable 1	0.545468	0.617811	0.882904	0.41771	-1.04267	2.133601	-1.04267	2.133601
X Variable 2	-0.22789	1.380842	-0.16503	0.875382	-3.77745	3.321683	-3.77745	3.321683
X Variable 3	-2.19948	11.23341	-0.1958	0.852477	-31.0759	26.67693	-31.0759	26.67693
X Variable 4	-0.0011	0.001468	-0.75142	0.48624	-0.00488	0.002671	-0.00488	0.002671
X Variable 5	-0.00277	0.013215	-0.20991	0.842026	-0.03674	0.031197	-0.03674	0.031197
X Variable 6	1.872604	1.32152	1.417008	0.215665	-1.52447	5.269678	-1.52447	5.269678
X Variable 7	0.000342	0.004232	0.080729	0.938789	-0.01054	0.011221	-0.01054	0.011221
X Variable 8	-0.03863	0.042322	-0.91264	0.403293	-0.14742	0.070168	-0.14742	0.070168
X Variable 9	0.208438	0.126967	1.64166	0.161583	-0.11794	0.534818	-0.11794	0.534818

Residual Output

Observation	*Predicted Y*	*Residuals*
1	9.425938	-0.04594
2	9.929063	2.418437
3	11.65344	-2.41844
4	12.56656	0.045937
5	18.88969	-1.12719
6	4.765313	-1.24531
7	19.00469	1.245312
8	9.515313	1.127187
9	17.22438	1.173125
10	9.58625	1.29125
11	22.10125	-1.29125
12	6.125625	-1.17313
13	12.16417	-0.35417
14	12.16417	2.253333
15	12.16417	-1.89917

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output : Encapsulated Oil

Regression Statistics	
Multiple R	0.981719
R Square	0.963772
Adjusted R Square	0.898561
Standard Error	1.235284
Observations	15

ANOVA					
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	202.9695	22.55216	14.77933	0.004246
Residual	5	7.629631	1.525926		
Total	14	210.5991			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	38.67931	36.50843	1.059462	0.337863	-55.1686	132.5272	-55.1686	132.5272
X Variable 1	-0.45418	0.300538	-1.51122	0.191128	-1.22674	0.318378	-1.22674	0.318378
X Variable 2	0.455187	0.67172	0.677645	0.52808	-1.27152	2.181899	-1.27152	2.181899
X Variable 3	-5.32063	5.46457	-0.97366	0.374944	-19.3678	8.7265	-19.3678	8.7265
X Variable 4	0.000976	0.000714	1.366934	0.229899	-0.00086	0.002813	-0.00086	0.002813
X Variable 5	-0.00882	0.006429	-1.37277	0.228196	-0.02535	0.0077	-0.02535	0.0077
X Variable 6	1.04	0.642862	1.617765	0.166637	-0.61253	2.69253	-0.61253	2.69253
X Variable 7	0.001338	0.002059	0.649648	0.544579	-0.00395	0.00663	-0.00395	0.00663
X Variable 8	0.010125	0.020588	0.49179	0.643696	-0.0428	0.063048	-0.0428	0.063048
X Variable 9	0.08925	0.061764	1.445012	0.208073	-0.06952	0.24802	-0.06952	0.24802

Residual Output

Observation	*Predicted Y*	*Residuals*
1	4.536875	0.933125
2	7.638125	-0.72813
3	4.341875	0.728125
4	9.048125	-0.93313
5	12.14063	0.379375
6	3.879375	-0.58438
7	13.35563	0.584375
8	3.879375	-0.37938
9	8.1425	-1.3125
10	1.05875	-0.34875
11	13.83125	0.34875
12	3.1775	1.3125
13	6.395	-0.175
14	6.395	-0.16
15	6.395	0.335

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output : A_w

Regression Statistics	
Multiple R	0.919483063
R Square	0.845449103
Adjusted R Square	0.567257489
Standard Error	0.012760793
Observations	15

ANOVA					
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	0.004454	0.000495	3.039089	0.116846
Residual	5	0.000814	0.000163		
Total	14	0.005268			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	0.484415741	0.377141	1.284441	0.255277	-0.48506	1.453888	-0.48506	1.453888
X Variable 1	-0.006374491	0.003105	-2.05322	0.095252	-0.01436	0.001606	-0.01436	0.001606
X Variable 2	0.0121775	0.006939	1.754926	0.139633	-0.00566	0.030015	-0.00566	0.030015
X Variable 3	-0.0391625	0.05645	-0.69375	0.518742	-0.18427	0.105948	-0.18427	0.105948
X Variable 4	1.84352E-05	7.38E-06	2.498396	0.054597	-5.3E-07	3.74E-05	-5.3E-07	3.74E-05
X Variable 5	-6.83333E-05	6.64E-05	-1.02897	0.350672	-0.00024	0.000102	-0.00024	0.000102
X Variable 6	0.010641667	0.006641	1.602437	0.169961	-0.00643	0.027713	-0.00643	0.027713
X Variable 7	-2.79167E-05	2.13E-05	-1.31261	0.246332	-8.3E-05	2.68E-05	-8.3E-05	2.68E-05
X Variable 8	-7.83333E-05	0.000213	-0.36832	0.727717	-0.00063	0.000468	-0.00063	0.000468
X Variable 9	8.25E-05	0.000638	0.129302	0.902159	-0.00156	0.001723	-0.00156	0.001723

Residual Output

Observation	*Predicted Y*	*Residuals*
1	0.0375375	0.003962
2	0.0801375	0.003863
3	0.0378625	-0.00386
4	0.0469625	-0.00396
5	0.0697	-0.0114
6	0.082925	0.003575
7	0.048575	-0.00358
8	0.0712	0.0114
9	0.0219625	0.007437
10	0.0415375	-0.00754
11	0.0494625	0.007537
12	0.0657375	-0.00744
13	0.040866667	-0.00637
14	0.040866667	-0.00637
15	0.040866667	0.012733

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Summary Output : % Oil encapsulated (of Total oil)

Regression Statistics	
Multiple R	0.814708
R Square	0.663749
Adjusted R Square	0.058497
Standard Error	21.35494
Observations	15

ANOVA					
	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	9	4500.976	500.1084	1.096648	0.485736
Residual	5	2280.168	456.0336		
Total	14	6781.144			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	577.299	631.1386	0.914694	0.402309	-1045.09	2199.692	-1045.09	2199.692
X Variable 1	-6.14937	5.195548	-1.18358	0.289777	-19.505	7.20621	-19.505	7.20621
X Variable 2	6.733109	11.61235	0.579823	0.587179	-23.1174	36.5836	-23.1174	36.5836
X Variable 3	-52.4531	94.46864	-0.55524	0.602653	-295.292	190.3863	-295.292	190.3863
X Variable 4	0.011331	0.012348	0.917631	0.400909	-0.02041	0.043073	-0.02041	0.043073
X Variable 5	-0.05644	0.111135	-0.50782	0.633185	-0.34212	0.229245	-0.34212	0.229245
X Variable 6	2.431655	11.11346	0.218803	0.835455	-26.1364	30.99972	-26.1364	30.99972
X Variable 7	0.009828	0.035592	0.27614	0.793491	-0.08166	0.101319	-0.08166	0.101319
X Variable 8	0.492291	0.355916	1.383166	0.225191	-0.42262	1.407201	-0.42262	1.407201
X Variable 9	-1.32796	1.067747	-1.2437	0.268739	-4.07269	1.416773	-4.07269	1.416773

Residual Output

Observation	*Predicted Y*	*Residuals*
1	53.22406	5.091501
2	77.88661	-21.9239
3	32.97597	21.92387
4	69.43243	-5.0915
5	61.47518	9.010397
6	85.78598	7.821971
7	76.66148	-7.82197
8	41.89741	-9.0104
9	51.22651	-14.1019
10	19.44071	-12.9135
11	55.22685	12.91347
12	76.55938	14.1019
13	53.82529	-1.15806
14	53.82529	-10.5792
15	53.82529	11.7373

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้