

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการเอนแคปซูลชันแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่นและกระเจี๊ยบโดย

วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

(Anthocyanin Encapsulation from Grape Skin and Roselle by Spray Drying)



T119484



นางสาวนันทก อัครนิธิบุรณ
นางสาวปวีณา พรชัยสิทธิ์
นายสุรวิทย์ คุณชัยภูมิ

ส.พ.
๒๖/๒/๕๓

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**119484**
วัน,เดือน,ปี.....**B.S.A. 2554**

b. 12362657
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Anthocyanin Encapsulation from Grape Skin and Roselle by Spray Drying



MISS. NUNTHAPAK ASAWANITHIBOON
MISS. PAWEENA PORNCHASIT
MR. SURAWITH TUNCHAIYAPHUM

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

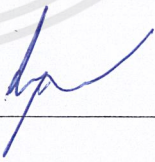
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการเอนแคปซูลชันแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่นและกระเจี๊ยบ โดยวิธีการทำ
แห้งแบบพ่นฝอย

Anthocyanin Encapsulation from Grape Skin and Roselle by Spray Drying

ผู้จัดทำ

1. นางสาวนันทกั อิศวนธิบุรณ์ รหัสนักศึกษา 50010545
2. นางสาวปวีณา พรชัยสิทธิ์ รหัสนักศึกษา 50010940
3. นายสุรวิทย์ ตุนชัยภูมิ รหัสนักศึกษา 50011759


อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาการเอนแคปซูลเลชันแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่นและ
กระเจี๊ยบ โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

โดย นางสาวนันทกัธ อัครนิธิบุรณ์
นางสาวปวีณา พรชัยสิทธิ์
นายสุรวิทย์ คุณชัยภูมิ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการเอนแคปซูลเลชันแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่นและกระเจี๊ยบด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยมุ่งศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อการเอนแคปซูลเลชัน ได้แก่อัตราส่วนของปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินกับปริมาณของแข็งที่ละลายในสารสกัด (1:1, 2:1 และ 5:1) ชนิดของมอลโตเด็คซ์ตริน (DE 10, DE 18) จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินเพิ่มขึ้นมีผลให้ ความชื้น ความหนาแน่น คุณสมบัติการดูดซับความชื้น และปริมาณสีแดงลดลง แต่ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูลเลชัน และปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อ DE เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ และปริมาณสีแดงมีค่าลดลง แต่ค่าความชื้น ความหนาแน่น คุณสมบัติการดูดซับความชื้น และความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าชนิดของมอลโตเด็คซ์ตรินไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเอนแคปซูลเลชัน ผลความแตกต่างระหว่างคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงจากกระเจี๊ยบและเปลือกองุ่น พบว่าผงจากกระเจี๊ยบมีค่าความชื้น และคุณสมบัติการดูดซับความชื้นต่ำกว่าผงจากเปลือกองุ่น แต่ความหนาแน่น ปริมาณสีแดง และปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีค่ามากกว่า และพบว่าเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้เพิ่มขึ้น แต่คุณสมบัติการดูดซับความชื้น และปริมาณสีแดงลดลง

คำสำคัญ : แอนโทไซยานิน, เอนแคปซูลเลชัน, เปลือกองุ่น, กระเจี๊ยบ, การทำแห้งแบบพ่นฝอย

Report Title Anthocyanin Encapsulation from Grape Skin and Roselle by Spray

Drying

By Miss. Nunthapak Asawanithiboon

Miss. Paweena Pornchaisit

Mr. Surawith Tunchaiyaphum

Advisor Asst.Prof. Dr. Maradee Phongpipatpong

Report for Bachelor's Degree in Food Engineering

Department of Food Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

This project was to investigate the effect of type of maltodextrin (DE 10 and DE 18) , ratio of maltodextrin and soluble solid in anthocyanin extract from grape waste and roselle (1:1, 2:1, and 5:1), and pH of anthocyanin extract on the properties of encapsulated anthocyanin powder and encapsulation efficiency. The study showed that an increase in maltodextrin caused a reduction in moisture content, bulk density, hygroscopicity, solubility, redness and water activity ($p \leq 0.05$), but it increased encapsulation efficiency and yield ($p \leq 0.05$). The study also showed that an increase in maltodextrin dextrose equivalent caused a reduction in yield, aw and redness ($p \leq 0.05$) but it increased moisture content, bulk density, solubility and hygroscopicity ($p \leq 0.05$). Powder properties of anthocyanin from grape skin and roselle were compared. It was noticed that the pH of anthocyanin extracts from grape skin was significantly affected the encapsulated anthocyanin powder properties.

Keywords : Anthocyanin, Encapsulation , Grape, Roselle, Spray Drying

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี

ขอขอบคุณ อาจารย์กรุณา วงศ์กระจ่าง ที่คอยให้คำปรึกษา ช่วยในการวิเคราะห์คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์และสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่นโดยวิธีคลื่นอุลตราโซนิก

ขอขอบคุณ รศ. ดร. ปานมนัส ศิริสมบุรณ์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ที่คอยให้คำปรึกษาและกรุณาให้ยืมใช้เครื่องวัดสีในการทำการทดลอง

ขอขอบคุณ อาจารย์ทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษา และคำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้

ขอขอบคุณ โครงการวิจัย “ การสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่นโดยวิธีคลื่นอุลตราโซนิก และการผลิตแอนโทไซยานินผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ” ทุน สวพ. ปี 2552. ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากโครงการวิจัยฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่านทอดประสบการณ์ที่ดี

นางสาวนันทกัธ อัสวานธิบุรณ์

นางสาวปวีณา พรชัยสิทธิ์

นายสุรวิทย์ ตุนชัยภูมิ

สารบัญ

	หน้า
ปกใน(ภาษาไทย)	
ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	
หน้าอนุมัติ	
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูปภาพ	IX
สัญลักษณ์และคำย่อ	XI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการ เหตุผล ที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ongun	3
2.1.1 ลักษณะทางกายภาพ	4
2.1.2 ปริมาณสารอาหารในongun	5
2.2 กระเจี๊ยบแดง	6
2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	6
2.2.2 ส่วนประกอบและคุณค่าทางอาหาร	8
2.3 Anthocyanin	9
2.3.1 ประโยชน์ของ Anthocyanin	10
2.3.2 แหล่งที่มาและการส่งผ่าน	11
2.3.3 โครงสร้าง	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.3.4 ชนิดของสาร anthocyanin	13
2.3.5 การนำ anthocyanin ไปใช้	13
2.3.6 เสถียรภาพสีของ anthocyanin	14
2.4 กระบวนการเอนแคปซูลชัน (Encapsulation)	19
2.4.1 เอนแคปซูลชัน (Encapsulation) คืออะไร	19
2.4.2 ข้อดีของกระบวนการเอนแคปซูลชัน	20
2.4.3 ขั้นตอนกระบวนการเอนแคปซูลชัน	21
2.4.4 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูลชัน	21
2.5 การแปรรูปอาหารผง	24
2.5.1 พื้นฐานการทำแห้งแบบพ่นฝอย	24
2.5.2 การเอนแคปซูลชัน	27
2.5.3 ข้อดีของการเอนแคปซูลชัน	28
2.5.4 การกักเก็บสารให้กลิ่นระหว่างกระบวนการเอนแคปซูลชัน	28
2.5.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ โครงสร้างของไมโครเอนแคปซูล	28
2.6 ปัญหาระหว่างการอบแห้ง	29
2.6.1 Glass transition temperature (T_g)	29
2.6.2 ผลของอุณหภูมิ glass transition	31
2.7 สารเคลือบ (carrier) ที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูล	32
2.7.1 ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูล	35
บทที่ 3 อุปกรณ์และการทดลอง	37
3.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ศึกษา	37
3.2 อุปกรณ์การทดลอง	37
3.3 การเตรียมวัตถุดิบ	38
3.3.1 แอนโธไซยานินจากเปลือกองุ่นแดง	38
3.3.2 แอนโธไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง	38
3.3.3 ขั้นตอนการสกัด	38
3.4 การเตรียมอุปกรณ์	39
3.4.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ	39

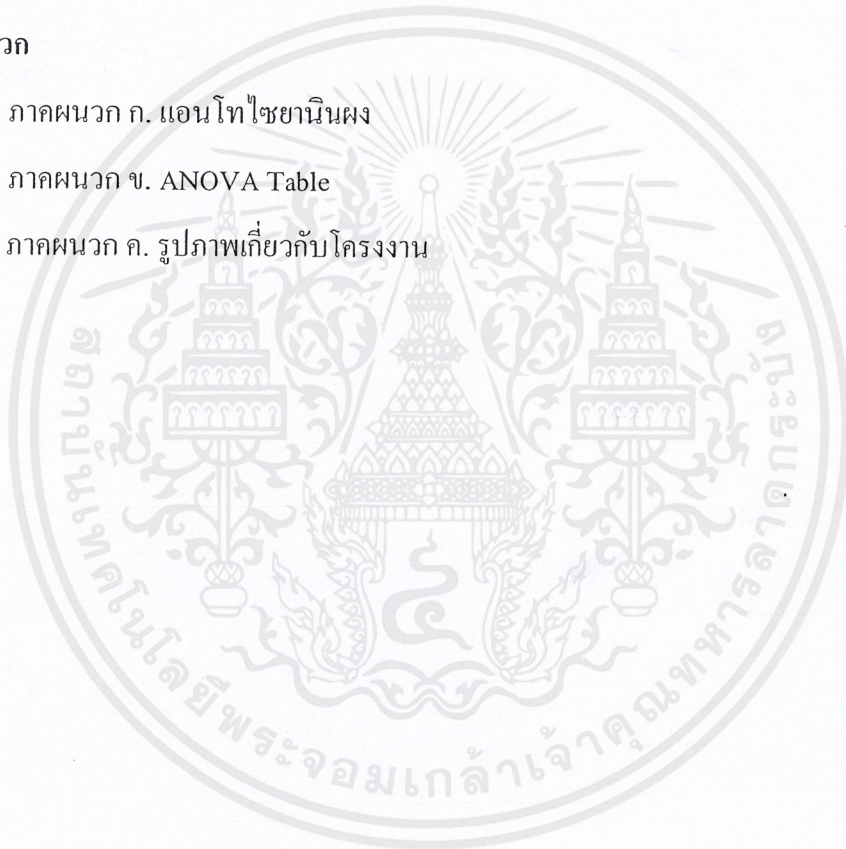
	หน้า
3.4.2 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	40
3.5 วิธีทำการทดลอง	41
3.5.1 การเตรียมสารละลายก่อนการทำแห้ง	41
3.5.2 ขั้นตอนการทำแห้ง	41
3.6 การวิเคราะห์คุณลักษณะของแอนโธไซยานินผง	43
3.6.1 ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลทแอนโธไซยานิน (Encapsulation Efficiency: EE, %)	43
3.6.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield)	43
3.6.3 ความชื้น (Moisture content, %)	44
3.6.4 คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity, %)	44
3.6.5 ความหนาแน่น (Bulk density, g/cm ³)	45
3.6.6 ความสามารถในการละลาย (Solubility)	45
3.6.7 ค่า water activity a_w	45
3.6.8 ค่าสี (Color)	45
3.7 การวางแผนการทดลองเบื้องต้น	46
บทที่ 4 ผลการทดลอง	47
4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น	47
4.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย	48
4.3 ผลการวิเคราะห์แอนโธไซยานินผง	49
4.4 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แอนโธไซยานินผงที่สภาวะต่างๆ	49
4.4.1 ประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลท (Encapsulation efficiency, %EE)	50
4.4.2 ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield)	51
4.4.3 ความชื้น (Moisture content, %)	52
4.4.4 คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity, %)	53
4.4.5 ความหนาแน่น (Bulk density)	54
4.4.6 ความสามารถในการละลาย (Solubility)	55
4.4.7 ปริมาณน้ำอิสระ (water activity)	56

	หน้า
4.4.8 สี (color)	57
4.5 ผลของ pH ในสารสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่น	58
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	60
5.1 สรุปผลการทดลอง	60
5.2 ปัญหาที่พบ	61
5.3 ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

ภาคผนวก ก. แอนโทไซยานินผง

ภาคผนวก ข. ANOVA Table

ภาคผนวก ค. รูปภาพเกี่ยวกับโครงการ



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าปริมาณสารต่างๆในองุ่นพันธุ์ต่างๆ	5
ตารางที่ 2.2 สารอาหารใน 100 g ขององุ่น	6
ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางอาหารของกระเจี๊ยบแดงสด 100 กรัม	8
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางเคมีของกระเจี๊ยบแดง	9
ตารางที่ 2.5 แสดงปริมาณ Anthocyanin ในผลไม้ชนิดต่างๆ	11
ตารางที่ 2.6 กลุ่มหลักๆของ anthocyanidins. R1-R7 คือกลุ่มข้างเคียง	13
ตารางที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลกับค่า Tg ของมอลโตเด็กซ์ตริน	31
ตารางที่ 2.8 คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิด	36
ตารางที่ 3.1 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบฟนฝอยที่ใช้ในการทดลอง	43
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์หัตถุคิบบเบื้องต้นของสารแอนโทไซยานินก่อนการทำแห้ง	47
ตารางที่ 4.2 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบฟนฝอยที่ใช้ในการทดลอง	47
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์แอนโทไซยานินผงดด้วยการทำแห้งแบบฟนฝอยที่สภาวะต่างๆ	49
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่า pH ในสารสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่น	59

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 องุ่นพันธุ์ shiraz	3
รูปที่ 2.2 แสดงภาพตัดขวางขององุ่นสีแดง และสูตร โครงสร้างของสารต่างๆภายในองุ่น	4
รูปที่ 2.3 กระเจี๊ยบแดง	6
รูปที่ 2.4 flavyllium ion, โครงสร้างพื้นฐานของ anthocyanins	12
รูปที่ 2.5 ผลของโครงสร้างของแอนโทไซยานินที่มีต่อสีแอนโทไซยานิน	14
รูปที่ 2.6 anthocyanin ที่ค่า pH ต่างๆ	15
รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินเมื่อความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยน	16
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของไมโครแคปซูล	19
รูปที่ 2.9 การเอนแคปซูลเลทสารให้กลิ่นรส	20
รูปที่ 2.10 ลักษณะของ coacervated microgranules ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	21
รูปที่ 2.11 หลักการของการเอนแคปซูลเลท โดยใช้เทคนิค complex coacervation	21
รูปที่ 2.12 เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการผลิตไมโครเอนแคปซูล	24
รูปที่ 2.13 เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย	25
รูปที่ 2.14 Atomizer (Two Fluid Nozzle)	26
รูปที่ 2.15 ลักษณะของอนุภาคผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอนแคปซูลเลท โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย	28
รูปที่ 2.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ amorphous glass จาก rubbery จนกระทั่งเกิดเป็นผลึก	30
รูปที่ 2.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของหยดอนุภาคระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย	33
รูปที่ 3.1 เครื่องวัด pH	37
รูปที่ 3.2 refractometer	38
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงและขั้นตอนการทำแห้ง	39
รูปที่ 3.4 : Water bath	39
รูปที่ 3.5 : ตัวอย่างส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	41
	หน้า

รูปที่ 3.6 : ขั้นตอนการทำแห้ง	42
รูปที่ 3.7 : แผนการทดลอง	45
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลทแอนโธไซยานินและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง	50
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตที่ได้ของแอนโธไซยานินผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง	51
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของแอนโธไซยานินผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง	52
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดความชื้นกลับของแอนโธไซยานินผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง	53
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของแอนโธไซยานินผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง	54
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการละลายของแอนโธไซยานินผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง	55
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณน้ำอิสระของแอนโธไซยานินผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง	56
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า L^* ของแอนโธไซยานินผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง	57
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* ของแอนโธไซยานินผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง	58

สัญลักษณ์และคำย่อ

DE	=	Dextrose Equivalent
h_g	=	การดูดซับความชื้น (Hygroscopicity, %)
T_g	=	Glass transition temperature
Yield	=	ปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Yield, %)
EE	=	ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลท (Encapsulation Efficiency, %)
L^*	=	ความสว่างของสี
a^*	=	ความเป็นสีแดง
TSS	=	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ($^{\circ}$ Brix)
a_w	=	Water activity
M	=	มอดโตเด็กซ์ทริน
A	=	ของแข็งที่ละลายในสารสกัดแอนโธไซยานิน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการ เหตุผล และที่มาของปัญหา

แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุชนิดหนึ่งที่ละลายในน้ำ มีช่วงสีที่กว้างตั้งแต่สีแดงถึงสีน้ำเงิน พบมากในดอกไม้ และผลไม้บางชนิดเช่น องุ่น กระจับปี่ มะเขือม่วง เป็นต้น แอนโทไซยานินสามารถนำมาใช้เป็นสีผสมอาหารแทนสีสังเคราะห์เนื่องจากสีผสมอาหารที่ไม่ได้ผลิตจากวัตถุดิบทางธรรมชาติอาจจะเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (ทิพวดี และคณะ, 2550) นอกจากนี้แอนโทไซยานินยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญซึ่งช่วยในการป้องกันโรคมะเร็ง ที่เปลือกขององุ่น (พันธุ์ Shiraz หรือ Syrah) และกระจับปี่ พืชของแอนโทไซยานินซึ่งมีความไวต่อสภาวะแวดล้อมภายนอกเช่น อุณหภูมิ แสง ออกซิเจน และน้ำซึ่งจะมีผลต่อการเร่งอัตราการสลายตัวของสารแอนโทไซยานิน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้กระบวนการเอนแคปซูลชันเพื่อปกป้องสารแอนโทไซยานินจากแสงหรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของแอนโทไซยานิน (Madene et al., 2006)

กระบวนการเอนแคปซูลชันเป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่น มีหลายวิธีเช่น การใช้เทคนิคทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบด (fluidized bed coating) (เอกลักษณ์, 2552) แต่ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรมก็คือ เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Shu et al., 2005) เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สามารถหาใช้ได้ง่ายและต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าวิธีการเอนแคปซูลชันอื่นๆ (Gharsallaoui et al., 2007) ในกระบวนการเอนแคปซูลชันโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอยจำเป็นต้องมีสารเคลือบ (coating material) เพื่อใช้ในการเคลือบและปกป้องสารสำคัญที่ต้องการกักเก็บในระหว่างและหลังการทำแห้ง สารเคลือบเช่น มอลโตเด็คซ์ตริน กัมอาราบิก เป็นต้น

มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารช่วยทำแห้งที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดโดยใช้กรดหรือเอนไซม์ และสามารถแบ่งชนิดด้วยการวัดระดับของการย่อยสลายพอลิเมอร์ของสตาร์ช (Dextrose Equivalent, DE) ซึ่งปริมาณและชนิดของมอลโตเด็คซ์ตรินมีผลต่อความสามารถในการเคลือบกักเก็บแอนโทไซยานินและคุณสมบัติของผงหลังทำแห้ง โดยงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาผลของชนิดและปริมาณของมอลโตเด็คซ์ตรินต่อประสิทธิภาพในการเอนแคปซูลชันและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากสารสกัดของเปลือกองุ่นและกระจับปี่ ศึกษาผลของค่า pH ในสารสกัดแอนโท

ไซยานินจากเปลือกถั่วรวมทั้งศึกษาผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากสารสกัดจากเปลือกถั่วและกระเจี๊ยบ

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษากระบวนการเอนแคปซูลเลทชันสารแอนโไซยานิน โดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย
2. ศึกษาผลของชนิดและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่อการเอนแคปซูลเลทชันแอนโไซยานิน โดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย
3. ศึกษาผลของค่า pH ในสารสกัดแอนโไซยานินต่อการเอนแคปซูลเลทชันแอนโไซยานิน โดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย
4. ศึกษาผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงจากสารสกัดในเปลือกถั่วและกระเจี๊ยบ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้เป็นการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของมอลโตเด็กซ์ตรินที่เติมในสารสกัดแอนโไซยานิน และค่า pH ของสารสกัดแอนโไซยานินต่อกระบวนการเอนแคปซูลเลทชันแอนโไซยานินด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ซึ่งมีขอบเขตการศึกษาของปัจจัยดังต่อไปนี้

- ศึกษาชนิดของมอลโตเด็กซ์ตรินที่ค่า DE 10 และ DE 18
- ศึกษาอัตราส่วนของมอลโตเด็กซ์ตรินกับของแข็งในสารสกัดแอนโไซยานิน 1:1, 2:1 และ 5:1 ศึกษาค่า pH ของสารสกัดแอนโไซยานิน 0.98 และ 2.20
- เปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากสารสกัดของเปลือกถั่วและกระเจี๊ยบที่ปัจจัย DE 10 (2:1) และ DE 10 (5:1)

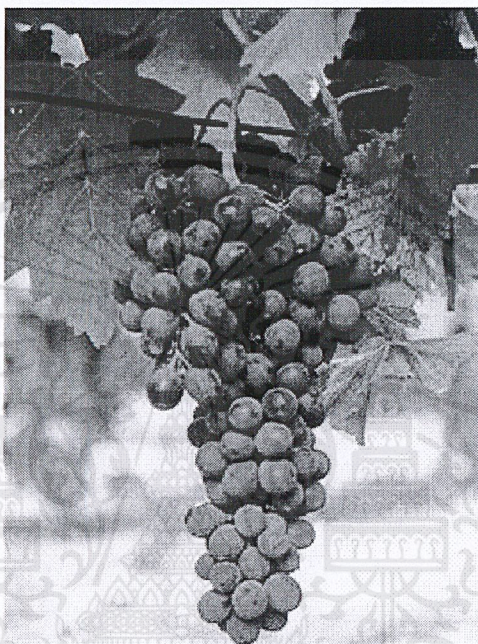
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงขั้นตอนและวิธีการเอนแคปซูลเลทชันสารสกัดแอนโไซยานิน โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งการทำแห้งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาแอนโไซยานิน และทำให้สารสกัดแอนโไซยานินอยู่ในรูปของผงแห้งซึ่งทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้ประโยชน์
2. ทำให้ทราบผลของชนิดและปริมาณของมอลโตเด็กซ์ตรินที่เติมในสารสกัดแอนโไซยานินและ pH ของสารสกัดแอนโไซยานินต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอย
3. เป็นการนำเปลือกถั่วซึ่งถือว่าเป็นวัสดุเศษเหลือ (waste) จากขั้นตอนการหมักไวน์มาใช้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับอุตสาหกรรมการผลิตไวน์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 องุ่นพันธุ์ Syrah หรือ Shiraz



รูปที่ 2.1 :องุ่นพันธุ์ shiraz

ที่มา : Félicien, B., 2001-2011

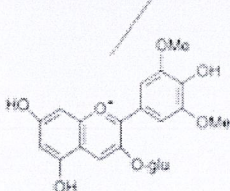
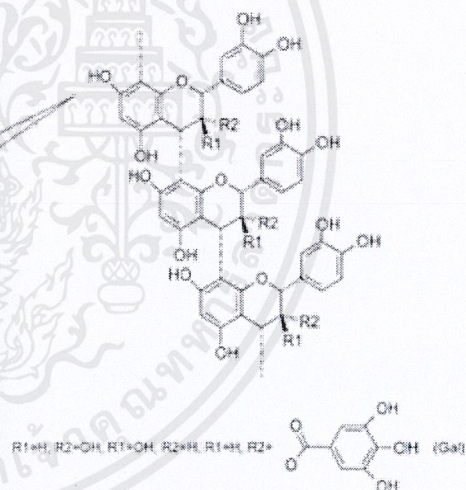
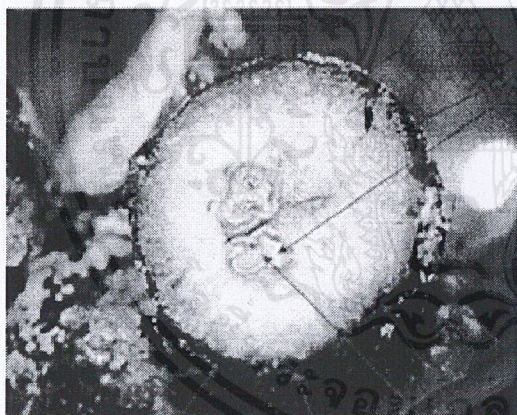
พันธุ์องุ่นชนิดเดียวที่ปลูกทางตอนเหนือของเขต Rhone ไวน์ที่ผลิตจากองุ่นนี้จะมีกลิ่น รสแรง, โคร่งเนื้อเข้มข้นหนาเต็ม สีเข้มและรู้สึกว่ามีกลิ่นเหมือนกับดอกไวโอลินหากเก็บไว้นานมากขึ้นจะมีกลิ่นคล้ายพริกไทย และกลิ่นหนังสัตว์ ส่วนองุ่นที่เรียกว่า Syrah ไชราห์ ในฝรั่งเศส หรือ Shiraz ชิราซ ในออสเตรเลีย (ที่เรียกตามพื้นเพถิ่นที่มาขององุ่นพันธุ์นี้ เป็นชื่อภาษาเปอร์เซีย) สามารถปลูกได้ทั้งในอากาศร้อนอย่างออสเตรเลีย หรือ ในอากาศเย็นอย่างฝรั่งเศสเพียงแต่รสชาติจะผิดแผกแปลกไปจากกันบ้าง อย่างในออสเตรเลียองุ่นจะออกมามีรสหวานนุ่มๆ (Aqua medical., 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

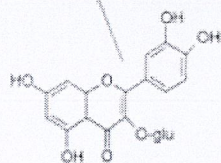
2.1.1 ลักษณะทางกายภาพ

ที่มา : Linnaeus, c., 1758.

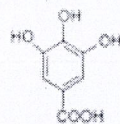
ชื่อทางวิทยาศาสตร์	<i>Vitisvinifera</i>
ชื่อสามัญ	องุ่น
ชื่อพฤกษศาสตร์	<i>Vitisvinifera</i> L.
ชื่อวงศ์	Vitaceae
ลักษณะนิสัย	ชอบผลัดใบ
อัตราการเจริญเติบโต	อย่างรวดเร็ว
ลักษณะผิว	หยาบ
ความสูง	23 นิ้ว
ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ต้องการ	ชอบแสงอาทิตย์
ใบและผล	สามารถกินได้
ข้อคิดเห็น	เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีแสงอาทิตย์เยอะ



Anthocyanins
e.g. Malvidin-3-glucoside



Flavonols
e.g. Quercetin-glucoside



Hydroxy benzoates and Benzoic acids
e.g. Gallic acid

Procyanidins
Polymers mainly consisting of of catechin, epicatechin and epicatechin gallate

รูปที่ 2.2 : แสดงภาพตัดขวางขององุ่นสีแดง และสูตร โครงสร้างของสารต่างๆภายในองุ่น

ที่มา : Pérez, M. & González,S., 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 : แสดงค่าปริมาณสารต่างๆในองุ่นพันธุ์ต่างๆ

ที่มา : Stellenbosch University.

Cultivar	Clone	Total phenols (wine) (OD)	Anthocyanins (mg/L)	Colour density (OD)	Mod. wine colour density (OD)	Wine hue	Wine tannins (mg/L)
Pinotage	PI45M	44	544	7.0	11.5	0.57	2016
	PI48H	44	563	7.1	11.8	0.57	1852
Merlot	MO45B	32	373	8.6	10.9	0.65	1426
	MO184C	33	344	9.1	11.0	0.61	1564
	MO346B	32	336	10.4	10.5	0.54	1385
Shiraz	SH1C	47	454	11.6	14.5	0.57	2134
	SH12C	33	340	9.6	11.4	0.53	1750
	SH470C	44	410	7.5	11.0	0.63	1746
Cabernet franc	CF212C	32	394	5.5	7.9	0.67	1206
	CF213B	29	348	5.3	7.0	0.65	887
	CF214B	32	363	6.6	8.3	0.60	1172
	CF623B	33	378	6.2	8.4	0.63	1176
Cabernet Sauvignon	CS37C	37	450	6.7	9.7	0.72	1556
	CS163O	41	436	9.4	11.5	0.62	2229
	CS191B	42	466	7.6	11.2	0.73	2138
	CS338B	41	458	7.7	11.0	0.71	2065
Pinot noir	PN 459	36	244	5.8	7.7	0.78	1411
	PN 667 A	37	256	6.5	8.2	0.74	1693
	PN 777 A	38	261	7.7	9.1	0.73	1674
	PN 52 C	35	265	5.9	7.8	0.74	1263

2.1.2 ปริมาณสารอาหารในองุ่น

องุ่นมีสารอาหารที่สำคัญคือน้ำตาลและสารอาหารจำพวกกรดอินทรีย์ เช่น น้ำตาลกลูโคส, น้ำตาลซูโครส, วิตามินซี, เหล็กและแคลเซียม องุ่นยังสามารถนำไปทำเป็นเหล้าองุ่นซึ่งเป็นเหล้าบำรุงใช้เป็นยา การรับประทานองุ่นเป็นประจำมีส่วนช่วยในการบำรุงสมอง, บำรุงหัวใจ, แก้กระหาย, ขับปัสสาวะและบำรุงกำลัง คนที่ร่างกายผอมแห้ง แก่ก่อนวัยและไม่มีเรี่ยวแรง หากรับประทานองุ่นเป็นประจำจะสามารถช่วยเสริมทำให้ร่างกายแข็งแรงยิ่งขึ้นได้ ส่วนเครือและรากมีฤทธิ์ในการขับลม, ขับปัสสาวะ, รักษาโรคไขข้ออักเสบ, ปวดเอ็นและปวดกระดูก อีกทั้งยังมีฤทธิ์ระงับประสาท, แก้ปวดและแก้ไอเจียนอีกด้วย (www.wikipedia.or.th)

ตารางที่ 2.2 :สารอาหารใน 100g ขององุ่น

ที่มา : USDA Nutrient Data Base

น้ำ	5,80 g	เหล็ก	0,26 mg
พลังงาน	71 Kcal	สังกะสี	0,0.5 mg
ไขมัน	0,58 g	วิตามินซี	8,10 mg
โปรตีน	0,66 g	วิตามิน บี1	0,0.92 mg
คาร์โบไฮเดรต	17,7 g	วิตามิน บี 2	0,0.057 mg
ไฟเบอร์	1 g	วิตามิน บี 6	0,110 mg
โพแทสเซียม	185 mg	วิตามินเอ	73 IU
โซเดียม	2 mg	วิตามินอี	0,700 mg
ฟอสฟอรัส	13 mg	โฟลาซิน	4 mcg
แคลเซียม	11 mg	เนี่ยซิน	0.3 mg
แมกนีเซียม	3 mg		

2.2 กระเจี๊ยบแดง



รูปที่ 2.3 : กระเจี๊ยบแดง

ที่มา : www.pamame.com

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกระเจี๊ยบแดง

กระเจี๊ยบแดงเป็นไม้ล้มลุกอยู่ในตระกูล Malvaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Hibiscus sabdariffa* L. cv. group Sabdariffa มีชื่อสามัญว่า Roselle อายุหนึ่งปี สูง 1-2 เมตร ใบเดี่ยว เรียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลัก ขอบใบหยักเว้าลึก 3-5 หยัก ดอกสีเหลืองอ่อน กลางดอกสีม่วงแดง ออกเดี่ยวๆ ตามง่ามใบ รั้ว
 ประดับเรียวแคบสีแดง มี 8-12 เส้น อยู่เป็นวงรอบกลีบเลี้ยง กลีบเลี้ยงโคนติดกันคล้ายถ้วยปลาย
 แยกเป็นกลีบรูปสามเหลี่ยมปลายแหลม 5 กลีบ กลีบดอกสีเหลือง มี 5 กลีบ รูปไข่กลับเกสรเพศผู้มี
 จำนวนมาก ก้านชูอับเรณูติดกันเป็นหลอดยาว 1-3 เซนติเมตรหุ้มเกสรเพศเมีย ปลายเกสรแยก อับ
 เรณูสีนวลขนาดเล็ก ก้านเกสรเพศเมียเรียวยาวปลายแยกเป็น 5 แฉก ผลรูปไข่ป้อม สีแดง กลีบเลี้ยง
 ที่ขยายใหญ่ ยาว 2-5 เซนติเมตรรองรับอยู่จนผลแก่ เมล็ดสีน้ำตาล รูปไต ขนาด 4-6 มิลลิเมตร
 กระจิบเป็นพืชที่ได้รับการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเมื่อประมาณปี ๒๕๑๘ พันธุ์ที่นิยมปลูกกัน
 มาก มีพันธุ์ชูดาน ซึ่งมีกลีบใหญ่หนา สีเหลืองถึงแดงเข้มและพันธุ์เอส ๒๗๖๐ จากประเทศ
 สหรัฐอเมริกา มีแหล่งกำเนิดและการกระจายพันธุ์ในเขตร้อนของทวีปเอเชีย และแอฟริกา
 กระจิบเป็นพืชที่ชอบดินร่วนเหนียวทนกับการแปรปรวนของอากาศได้ดี นิยมปลูกมากที่อำเภอ
 พระพุทธบาท จังหวัดสระบุรีและที่สหกรณ์หุบกระพง อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี กระจิบเป็น
 พืชที่ไวต่อแสงมากเกษตรกรจะเริ่มปลูกตั้งแต่เดือนกรกฎาคม และเก็บผลิตผลในเดือนธันวาคม
 เป็นต้นไป

กระจิบแดงจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ รายงานในปี 2530 มีการส่งออกกระจิบแดง
 300 -400 มูลค่าประมาณ 7 ล้านบาท ไปยังประเทศยุโรป จากรายงานในปี 2543 มีการใช้กระจิบ
 แดงคิดเป็น 1,122 ตันต่อปี โดยส่วนใหญ่จะใช้ในการส่งออกประมาณ 1,000 ตันต่อปี ตลาดหลัก
 ได้แก่ประเทศเยอรมันนี เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มและอาหาร

กระจิบแดง อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารหลายชนิด ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน
 วิตามินและเกลือแร่ โดยเฉพาะ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามินซี มีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพ
 ได้แก่ ลดความดันโลหิต ด้านเชื้อแบคทีเรีย ด้านเชื้อราลดคอเลสเตอรอลในเลือด เพิ่มกรดยูริกใน
 ปัสสาวะ เป็นต้น นอกจากนี้กระจิบแดงยังมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสารสำคัญที่มี
 คุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในกระจิบแดง ได้แก่ แอนโทไซยานิน ในอุตสาหกรรมอาหาร
 ได้มีการนำกระจิบแดงมาใช้ประโยชน์อย่างหลากหลาย เช่น การผลิตเยลลี่ ซอส ไวน์ หรือใช้เป็น
 แหล่งของสีจากธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้ในทางเภสัชกรรม และเป็นส่วนประกอบใน
 เครื่องสำอาง

2.2.2 ส่วนประกอบและคุณค่าทางอาหารของกระเจียบแดง

ตารางที่ 2.3 :คุณค่าทางอาหารของกระเจียบแดงสด 100 กรัม

ที่มา : แฉล้ม มาศวรรณ และคณะ, 2554

Nutrient	Values
Moisture (%)	86.60
Total energy (Calories)	460.00
Total fat (g)	0.30
Total carbohydrate (g)	9.40
Crude fiber (g)	1.30
Protein (g)	1.40
Calcium (mg)	151.00
Phosphorus (mg)	59.00
Iron (mg)	1.00
Vitamin B1 (mg)	0.01
Vitamin B2 (mg)	0.24
Niacin (mg)	1.80
Vitamin A (IU)	10,833.00

ตารางที่ 2.4 :คุณสมบัติทางเคมีของกระเจียบแดง

ที่มา : Muangmum W, Ratanaolarn K., 1984

Chemical properties	Values*
pH	2.49±0.00
Total acidity, as malic acid (%)	2.42±0.03
Total soluble solids (^o Brix)	3.30±0.12
Total anthocyanin, as delphinidin 3-glucoside (g/100 g roselle fruits)	2.52±0.05
Sugars (g/100g roselle fruits)	
Glucose	1.29±0.15
Fructose	1.12±0.26
Sucrose	0.87±0.21
Organic acid (g/100g roselle fruits)	
Succinic acid	0.51±0.08
Oxalic acid	0.43±0.05
Tartaric acid	0.17±0.03
Malic acid	0.12±0.03
Ascorbic acid (mg/100g roselle fruits)	141.09±22.54
β-carotene (mg/100g roselle fruits)	1.88±0.31
Lycopene (μg/100g roselle fruits)	164.34±70.10

*Determination was done in triplicate.

2.3 Anthocyanin

สาร Anthocyanin (แอนโทไซยานิน) เป็นสารในกลุ่มของ flavonoid phytochemicals มีรากศัพท์มาจากภาษากรีกคือ anthos หมายถึงดอกไม้ และ kyanos หมายถึงสีน้ำเงินแอนโทไซยานินเป็นสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์ซึ่งมีโครงสร้างหลักเป็น C₆C₃C₆ เป็นรงควัตถุที่ละลายอยู่ใน vacuole sap ในเซลล์ของพืช (vacuole sap เป็นส่วนหนึ่งที่เราเห็นได้ชัดที่สุดในเซลล์พืชที่มีอยู่มาก โครงสร้างจะมีเนื้อเยื่อหุ้มและภายในมีของเหลวบรรจุอยู่) ซึ่งมีบทบาทต่อสีในดอกไม้ผลไม้และใบไม้หลายชนิดโดยจะทำให้สีม่วงแดงไปจนถึงสีน้ำเงินแอนโทไซยานินสามารถละลายได้ในน้ำแต่ไม่

ละลายในตัวทำละลายประเภท non-hydroxyl เช่น acetone, chloroform และ ether (Skibola, C. & Smith M., 2000)

สีของ anthocyanin ตั้งแต่สีน้ำเงินเข้มในสถานะเป็นด่าง (pH>7) มีสีม่วงเมื่อเป็นกลาง (pH 7) และจะเปลี่ยนเป็นสีแดงถึงส้มได้ในสถานะเป็นกรด (pH<7) เป็นสารสีที่พบได้ทั่วไปในดอกไม้ ผลไม้บางชนิด ใบหรือลำต้นของพืชบางชนิดที่มีสีจัด ในปริมาณเพียงน้อยนิดก็สามารถแสดงสีได้ในความเข้มข้นสูง มนุษย์ในบางพื้นที่รู้จักใช้สารตัวนี้มาเป็นเวลานานแล้วในกิจกรรมต่างๆ เช่น ไทย ใช้สีจากดอกอัญชันทำขนม จีนใช้สีของเปลือกไม้และใบไม้บางชนิดในการย้อมผ้าให้มีสีต่างๆ ด้วยการใช้ยางไม้และปูนขาวในการแต่งสี ยุโรปใช้ผลไม้ป่า (wild berry) ในการทำเครื่องสำอางและทำขนม และมีบทบาทสำคัญในสีกลืนและรสชาติของไวน์แดง ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเป็นอนุพันธ์หนึ่งของ Anthocyanin ที่พบได้ในธรรมชาติ

2.3.1 ประโยชน์ของ Anthocyanin

โดยจากอดีตที่ผ่านมามนุษย์ใช้ Anthocyanin ในฐานะสีย้อมและสีแต่งอาหารมาโดยตลอด แต่ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีต่างๆทั้งทางการแพทย์ และการโภชนาการได้รุดหน้าไปมาก มีการศึกษาถึงคุณค่าที่มีอยู่ในสารสกัดธรรมชาติหลายๆ ชนิดที่เป็นภูมิปัญญามาแต่โบราณ ในส่วนของสาร Anthocyanin ก็เช่นกันเริ่มจากการพบว่าผู้คนและสัตว์ที่มีการใช้ประโยชน์จากดอกไม้ และผลไม้ที่มีสีเข้มจัด เป็นอาหารจึงมีลักษณะทางกายภาพหลายๆอย่างที่ดีกว่าที่อื่น เช่น การมีสีผิว และสีผมที่ดีกว่า โอกาสในการป่วยไข้น้อยกว่า

Anthocyaninsเมื่อใช้เป็นสีอาหารจะไม่มีความเป็นพิษและมีปริมาณในระดับที่สามารถดูดซึมได้เหมือนการบริโภคผลไม้สดหรือผลไม้แห้งอื่นๆที่มีสารประกอบ anthocyanin มีข้อบ่งชี้ว่า anthocyanin เป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีผลส่งเสริมสุขภาพซึ่งรวมถึงการลดความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจ (Hendry., 1996)

เดิมนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าเป็นเพราะวิตามินในผลไม้เหล่านั้นเองที่เป็นตัวทำให้มีสุขภาพและสีผมที่ดี เมื่อศึกษาเพิ่มเติมถึงระดับสารพันธุกรรมจึงได้รู้ว่ามีสารอื่นๆอีกหลายอย่างที่เกี่ยข้องโดยเฉพาะ Anthocyanin ซึ่งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงกว่าวิตามินซีหลายพันเท่า ช่วยลดโอกาสการเป็นมะเร็ง ช่วยเสริมให้ร่างกายต่อต้านเชื้อโรค สมานแผล เสริมภูมิคุ้มกันได้ดีขึ้น และสามารถกระตุ้นสารพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมและสะสมปริมาณเม็ดสีในร่างกายให้สูงขึ้นด้วย อีกทั้งส่งเสริมการทำงานของเม็ดเลือดแดงได้อีกด้วย จึงมีบางสถาบันพยายามที่จะพัฒนาการนำสารตัวนี้มาใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจให้มากขึ้น โดยเฉพาะในการผลิตเครื่องสำอางและอาหารเสริม ส่วนในอาหารสัตว์สวยงามเริ่มมีการค้นคว้าในการนำประโยชน์ของสารตัวนี้มาใช้บ้างแล้ว

ตารางที่ 2.5 :แสดงปริมาณ Anthocyanin ในผลไม้ชนิดต่างๆ

ที่มา : Lauro, G.J. & Francis., 2000.

foodstuff	Anthocyanin in mg per 100 g food
aubergine (egg plant)	750
black currant	130-400
blackberry	83-326
blueberry	25-497
cherry	350-400
chokeberry	200-1000
cranberry	60-200
elderberry	450
orange	~200
radish	11-60
raspberry	10-60
red currant	80-420
red grape	30-750
red onions	7-21
red wine	24-35
strawberry	15-35

2.3.2 แหล่งที่มาและการส่งผ่าน

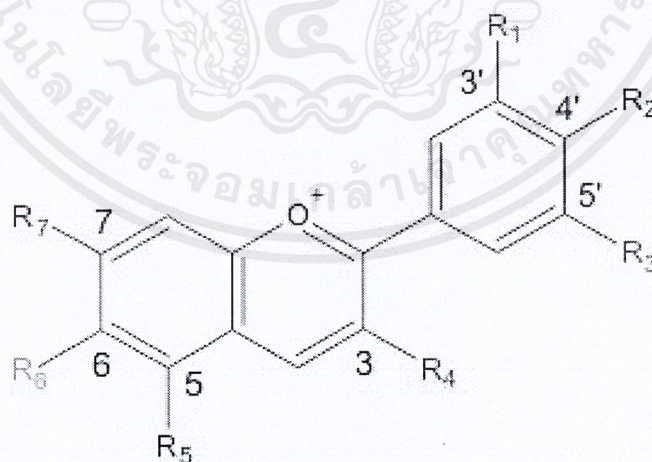
ปกติสาร Anthocyanin จะพบได้ทั่วไปในพืชเกือบทุกชนิดแต่จะมีน้อยมากในพืชที่มีแต่สีเขียวเป็นหลัก จากการศึกษา ก็พบว่าในผลไม้ที่มีเข้มจัด หรือดอกไม้สีจัดๆจะมีสาร Anthocyanin อยู่สูงกว่า และจะสูงขึ้นเรื่อยๆตามระดับความเข้มของสีในผลไม้ เช่น blueberry, cranberry, cherry, raspberry, mulberry, เป็นต้น ส่วนในดอกไม้ เช่น ดอก pansy, dandelion อัญชัน เป็นต้น หรือในพืช

ใบเช่น red cabbage, red radish เป็นต้นและแม้แต่ในเปลือกไม้บางชนิด รวมไปถึงจุลินทรีย์บางชนิด

สาร Anthocyanin ในธรรมชาติอาจจะพบได้หลายรูปแบบพันธะทางเคมีขึ้นกับชนิดของแหล่งที่มีแต่การส่งผ่านไปในห่วงโซ่อาหารนั้นเหมือนกัน กล่าวคือ ในแต่ละขั้นการส่งผ่านจะมีการนำไปใช้ประโยชน์และสะสมในระดับที่ลดลงเรื่อยๆ นักล่าที่อยู่บนสุดของปิรามิดอาหารจึงมีโอกาสได้รับสารตัวนี้น้อยลงไปด้วย ส่วนในชีวิตประจำวันของการเลี้ยงสัตว์เลี้ยงสวยงามโอกาสที่สัตว์จะได้รับสาร Anthocyanin ก็ยิ่งลดน้อยลงไปมากกว่าในธรรมชาติอีกมากนัก

2.3.3 โครงสร้าง

anthocyaninsแบ่งออกได้ถึง 500 ชนิดแตกต่างกันแยกได้จากพืชพวกมันทั้งหมดขึ้นอยู่กับโครงสร้างหลักเดียวกันในขั้นพื้นฐานคือ flavylium ion (General structure of anthocyanidines., 2008) แอนโทไซยานินเป็นอนุพันธ์ polyhydroxy และ polymethoxy ของสาร flavylium หรือ 2-phenylbenzopyrylium โมเลกุลประกอบด้วยแอนโทไซยานิดินที่เรียกว่าอะกัลยโคเนจับตัวกับน้ำตาลด้วยพันธะ β -glycosidic (รูปที่ 1) และมักจับที่คาร์บอนตำแหน่งที่สามน้ำตาลที่จับกับแอนโทไซยานิดินอาจเป็น monosaccharide ได้แก่ glucose, rhamnose, galactose, xylose หรือ arabinose หรือพวก disaccharide หรือ trisaccharide โมเลกุลน้ำตาลมักถูก esterified ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สามด้วยกรดอินทรีย์บางชนิดเช่น p-coumaric, caffeic และ ferulic ซึ่งจะช่วยให้แอนโทไซยานินในพืชมีเสถียรภาพดีขึ้น



รูปที่ 2.4 : flavylium ion, โครงสร้างพื้นฐานของ anthocyanins

ที่มา : Wikipedia, 2007.

2.3.4 ชนิดของสาร anthocyanin

ตารางที่ 2.6 : กลุ่มหลักๆของanthocyanidins. R1-R7 คือกลุ่มข้างเคียง

ที่มา : Delgado-Vargas, F. & Paredes-López., 2003; Hendry, G.A.F. & Houghton, J.D., 1996 .

Anthocyanidin	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	main colour	E-number
Apigeninidin	-H	-OH	-H	-H	-OH	-H	-OH	orange	
Aurantininidin	-H	-OH	-H	-OH	-OH	-OH	-OH	orange	
Capensinidin	-OCH ₃	-OH	-OCH ₃	-OH	-OCH ₃	-H	-OH	bluish-red	
Cyanidin	-OH	-OH	-H	-OH	-OH	-H	-OH	magenta	E163a
Delphinidin	-OH	-OH	-OH	-OH	-OH	-H	-OH	purple, blue	E163b
Europinidin	-OCH ₃	-OH	-OH	-OH	-OCH ₃	-H	-OH	bluish red	
Hirsutidin	-OCH ₃	-OH	-OCH ₃	-OH	-OH	-H	-OCH ₃	bluish-red	
Luteolinidin	-OH	-OH	-H	-H	-OH	-H	-OH	orange	
Pelargonidin	-H	-OH	-H	-OH	-OH	-H	-OH	orange, salmon	E163d
Malvidin	-OCH ₃	-OH	-OCH ₃	-OH	-OH	-H	-OH	purple	E163c
Peonidin	-OCH ₃	-OH	-H	-OH	-OH	-H	-OH	magenta	E163e
Petunidin	-OH	-OH	-OCH ₃	-OH	-OH	-H	-OH	purple	E163f
Pulchellidin	-OH	-OH	-OH	-OH	-OCH ₃	-H	-OH	bluish-red	
Rosinidin	-OCH ₃	-OH	-H	-OH	-OH	-H	-OCH ₃	red	
Triacetidin	-OH	-OH	-OH	-H	-OH	-H	-OH	red	

2.3.5 การนำ anthocyanin ไปใช้

Anthocyanins เป็นสารสีที่มีความสามารถในการละลายน้ำที่ดีมากและมีการใช้เป็นสีผสมอาหารมีการใช้สารสกัด anthocyanin ในการทำสีผสมอาหาร เครื่องดื่ม ขนมอบและอาหารอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

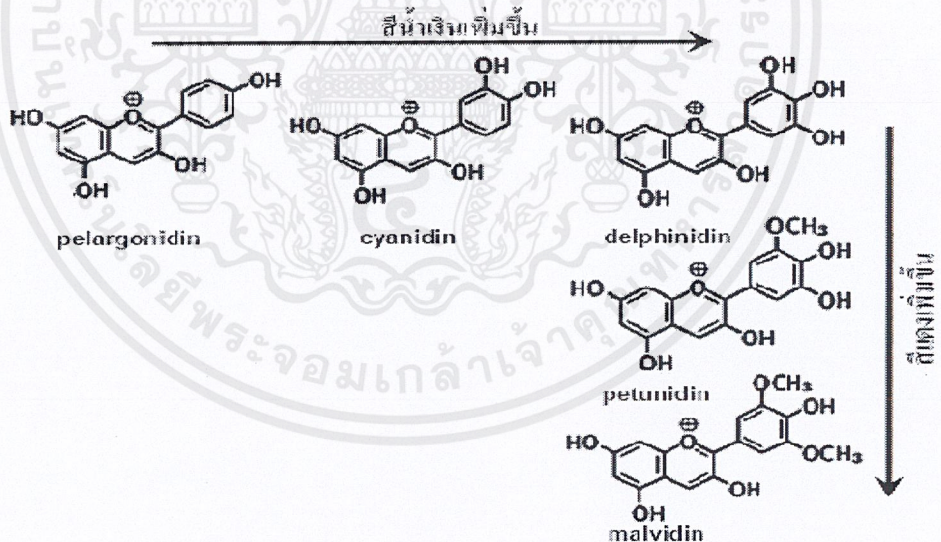
ของ Anthocyanins จะมีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิ ออกซิเจน แสง UV และปัจจัยต่างๆ อุณหภูมิอาจทำลายพันธะ flavylium ion ใน Anthocyanins ทำให้เกิดการสูญเสียของสีของอนุมูลและ ออกซิเจน ปัจจัยทั้งหมดเหล่านี้ เป็นจำกัดในการใช้ anthocyanins ในอาหาร ดังนั้น ในระหว่างการเก็บรักษา อาจป้องกันได้โดยการเก็บที่อุณหภูมิต่ำในภาชนะบรรจุอับแสงหรือบริเวณสูญญากาศ (Delgado, Vargas, F. & Paredes, O. 2003

2.3.6 เสถียรภาพสีของ anthocyanin

เสถียรภาพสีของ anthocyanin จะมีผลกระทบกับปัจจัยต่างๆ เช่น โครงสร้างของ anthocyanin , ความเข้มข้น , pH , อุณหภูมิ , ออกซิเจน , แสงสว่าง , เอนไซม์ , กรด ascorbic และ น้ำตาล

1. ผลจากโครงสร้างของแอนโทไซยานิน

โครงสร้างในส่วนของวงแหวนฟีนอลมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลหรือหมู่เมทอกซิลเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อสีของแอนโทไซยานินเช่นการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลให้มากขึ้นจะทำให้มีสีเข้มขึ้นโดยสีจะเปลี่ยนเป็นน้ำเงินมากขึ้นด้วยและการเพิ่มหมู่เมทอกซิลแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3' และ 5' จะทำให้สีแดงเข้มมากขึ้นดังรูปที่ 2



รูปที่ 2.5 : ผลของโครงสร้างของแอนโทไซยานินที่มีต่อสีแอนโทไซยานิน

ที่มา : นิธิยา (2539)

2. ผลจากความเข้มข้น

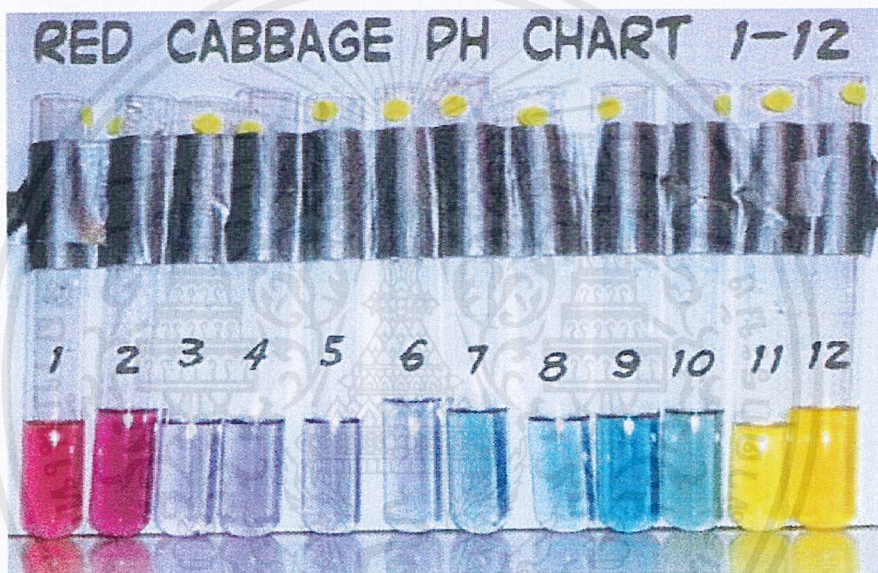
ความเข้มข้นของ anthocyanin ที่สูงขึ้นจะทำให้เสถียรภาพสีมีค่าสูงขึ้น (Giusti & Wrolstad, 2003) เป็นที่สังเกตได้ว่าความเข้มข้นของ anthocyanin มีความสำคัญในด้านของความสัมพันธ์กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสถียรภาพของสีมากกว่าประเภทที่แตกต่างกันของ anthocyanin (Skrede et al., 1992) ยิ่งมีการเพิ่ม anthocyanin มากเท่าไรความเข้มข้นของสีก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น

3. ค่า pH

Anthocyanin จะมีค่าเสถียรภาพมากขึ้นในสีออกกลางที่เป็นกรด ที่ค่า pH ที่ต่ำมากกว่าสีออกกลางที่ค่า pH ที่สูง อย่างไรก็ตาม anthocyanin เป็นที่รู้จักกันดีในด้านการแสดงความหลากหลายของสีที่ค่าต่างๆ ในช่วง pH 1-14 (รูปที่ 2.6) พันธะไอออนิกตามธรรมชาติของ anthocyanin สามารถเปลี่ยนโครงสร้างของโมเลกุลไปตามค่า pH ต่างๆ เป็นผลให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของสีและเจดสีตามค่า pH ที่ต่างกัน (Brouillard, 1982)



รูปที่ 2.6 :anthocyanin ที่ค่า pH ต่างๆ

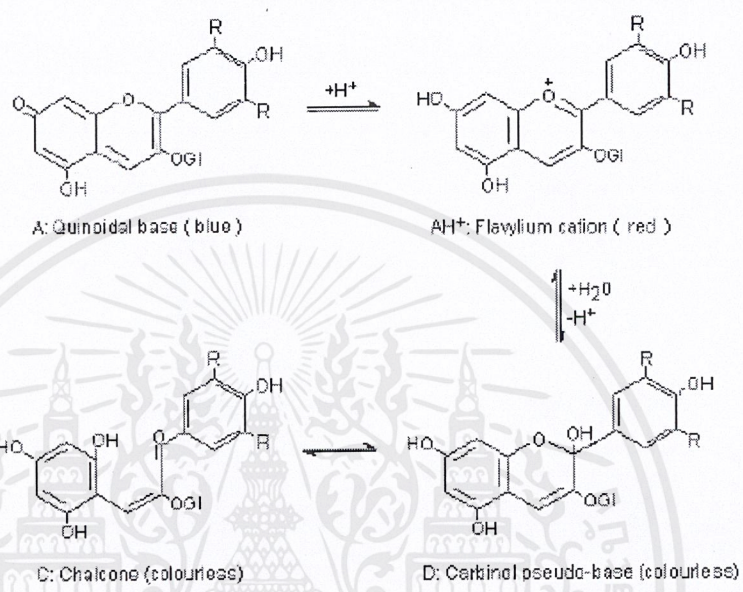
ที่มา : Erowid.org., 1995-2011

ในสารละลายกรดของ anthocyanin มีโครงสร้างหลักๆ แบ่งออกเป็น 4 ชนิดได้แก่ quinonoidal base A, flavyliumcation AH^+ , carbinol or pseudobase B, chalcone C (รูปที่ 2.7) ในส่วนที่มีความเป็นกรดมาก ($pH = 0.5$) จะมีโครงสร้างของ flavyliumcation (สีแดง) มากที่สุดในสมมูลทั้งหมด ในการเพิ่มขึ้นของ pH นั้นจะเป็นทำให้เกิดการลดลงของความเข้มข้นสีและปริมาณของ flavyliumcation อีกด้วย (Brouillard, 1982)

การสลายไปของสีของ anthocyanin มักจะเกิดจากความสมดุลที่เปลี่ยนแปลงของโครงสร้างหลักทั้ง 4 ชนิดของ anthocyanin flavyliumcation นั้น จะมีความเสถียรมากที่สุดและทำให้เกิดชนิดของสีได้มากที่สุด flavyliumcation จะพบมากในสีที่เป็นกรด (Belitz & Grosch, 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของสีจะที่มากที่สุดที่ค่า pH ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับที่ค่า pH สูง ถ้าไม่มีโครงสร้างของ flavyliumcation สีก็จะหายไป สีของสารละลายต่างจะสามารถกลับสู่สภาพเดิมได้โดยการเปลี่ยนค่า pH กลับไปให้มีค่าเป็นกรด อย่างไรก็ตาม ถ้าค่า pH นั้นมีค่าที่สูงจนเกินไปและพันธะ chalcone ที่มีความไม่เสถียรได้ก่อตัวเป็นรูปร่างแล้วจะทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนสีกลับไปให้เป็นเหมือนเดิมได้อีก (Brouillard, 1982)



รูปที่ 2.7 : การเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของแอนโทไซยานินเมื่อความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยน
ที่มา : ยูพาพร, 2547

4. อุณหภูมิ

ความเสถียรภาพของ anthocyanin จะได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิ ระดับการสลายตัวของ anthocyanin จะเพิ่มขึ้นระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้น (Palamidis, N. & Markakis, P. 1978 ; Maccarone et al., 1985) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในระดับ pH ที่ 2-4 จะก่อให้เกิดการสลายตัวของ glycosyl ครึ่งหนึ่งของ anthocyanin โดยการย่อยสลายของพันธะ glycosidicทำให้เกิดการสูญเสียของสีของ anthocyanin (Adams, 1973)

โดยทั่วไปแล้ว ปัจจัยทางโครงสร้างที่เหมือนกัน การที่จะทำให้เสถียรภาพของ anthocyanin ดีขึ้น จะต้องทำการเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน ในการศึกษาการย่อยสลายทางความร้อนของการสกัดanthocyanin จากพืชที่ต่างกันทั้งหมด 4 ชนิด คือ กะหล่ำปลีสีแดง , blackcurrent , เปลือกองุ่น และ elderberry พบว่า กะหล่ำปลีสีแดง เป็นพืชที่มีความเสถียรของ anthocyanin มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุด และ elderberry เป็นพืชที่มีความเสถียรของ anthocyanin น้อยที่สุด พันธะของน้ำตาลที่จับซ้อนส่วนที่เหลือของ anthocyanin ของกะหล่ำปลีสีแดงจะมีการป้องกันการย่อยสลายด้วยความร้อน (Dyrby et al., 2001) โดยการลดค่า pH จะทำให้การย่อยสลายทางความร้อนถูกขัดขวาง และจากการเคลื่อนย้ายออกซิเจนเป็นการปกป้อง anthocyanin จากการย่อยสลายทางความร้อน และไม่สามารถมองข้ามปัจจัยอื่น ๆ รวมทั้งความร้อนที่มีผลกระทบต่อเสถียรภาพของ anthocyanin (Markakis et al., 1957; Daravingas & Cain, 1968)

อุณหภูมิก็ยังมีประโยชน์ต่อ anthocyanin ได้ อุณหภูมิมีความสำคัญสำหรับการเพิ่มขึ้นของ anthocyanin ในระหว่างการเก็บรักษาผล berries ต่างๆ เช่น ในการเก็บ สตอว์เบอร์รี่ และ ราสเบอร์รี่ ในระยะเวลา 8 วันที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (Kalt et al., 1999) มีปริมาณ anthocyanin ที่เพิ่มขึ้น และในการเก็บ แครนเบอร์รี่ พันธุ์ต่างๆ เป็นเวลา 3 เดือนที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสก็ปริมาณ anthocyanin ที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (Wang & Stretch, 2001)

5. ออกซิเจน

ออกซิเจน เป็นปัจจัยที่ทำให้กระบวนการการย่อยสลายของ anthocyanin เป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น จากผลกระทบก่อนหน้านี้ จากการเคลื่อนย้ายออกซิเจนเป็นการปกป้อง anthocyanin จากการย่อยสลายทางความร้อน การมีออกซิเจนเจือปนในขณะที่อุณหภูมิกำลังเพิ่มขึ้นนั้นก่อให้เกิดผลร้ายอย่างมาก (Nebesky et al., 1949) การมีออกซิเจนร่วมกับปัจจัยหลายอย่างก่อให้เกิดผลเสียอย่างมาก เช่นการมีออกซิเจนเจือปนกับวิตามินซีพบว่าเกิดการทำลายเสถียรภาพของ anthocyanin ในน้ำแครนเบอร์รี่ (Starr ,M. & Francis, F. 1968) ออกซิเจนมีอิทธิพลต่อความไม่เสถียรของ anthocyanin โดยมีผลกระทบต่อค่า pH การที่ค่า pH สูง ทำให้การสลายของ anthocyanin มีมากขึ้น (Markakis, 1982) แสงมีอิทธิพลต่อการสลายของ anthocyanin ซึ่งขึ้นอยู่กับโมเลกุลของออกซิเจน Attoe, E. & Von Elbe JH. 1981) ผลกระทบที่อันตรายของการมีออกซิเจนปะปนใน anthocyanin สามารถทำให้เกิดการออกซิเดชันได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งกระบวนการการออกซิเดชันนี้เองทำให้เกิดผลกระทบต่อ anthocyanin ในด้านการทำให้สีของผลิตภัณฑ์นั้นหายไปหรือเกิดเป็นสีน้ำตาลขึ้น (Jackman et al., 1987) และยังทำให้เกิดผลกระทบต่อสาร antioxidant ใน anthocyanin ซึ่งสาร antioxidant ใน anthocyanin นั้นเป็นลักษณะเฉพาะที่มีประโยชน์ในการป้องกันโรคหัวใจ และโรคหลอดเลือดตีบตัน (Matsufuji et al., 2003; Garcia-Alonso et al., 2004; Rossetto et al., 2004)

6. แสง

แสงมีผลกระทบต่อ anthocyanin ไปใน 2 ทิศทางที่แตกต่างกัน แสงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากในการสังเคราะห์แสงของ anthocyanin แต่ก็เป็นเร่งความเร็วในการสลายไปของ anthocyanin ด้วย (Markakis, 1982) เช่นกัน การเก็บรักษา anthocyanin ในที่มีดจะทำให้สีของ

119484

anthocyanin คงอยู่ได้มากกว่า ความแตกต่างนั้นเห็นได้ชัดมากจากการทดลองการเก็บรักษา anthocyanin ทั้งในที่มืดและที่สว่าง ภายในเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องในค่า pH ที่ 2.3 (Kearsley and Rodriguez, 1981) สีของน้ำอัดลมรสอู่นที่มี anthocyanin ผสมอยู่ มีการลดลงเพียง 30 % เมื่อเก็บไว้ในที่มืด เปรียบเทียบกับการวางไว้ในที่หน้าต่างให้ถูกแสงแดดเพียง 50% ของรังควัตถุมีการลดลงของสีมากกว่าการเก็บในที่มืด การลดลงของ anthocyanin มากถึง 70% นั้นจะเกิดขึ้นกับการวางไว้ในที่มืด ภายใต้แสงไฟ fluorescent ที่มีอุณหภูมิการเก็บรักษาที่สูงขึ้นเล็กน้อย (Palamidis, N. & Markakis, P. 1978) Furtado et al. (1993) พบว่าแสงมีอิทธิพลต่อการเสื่อมสลายของ anthocyanin เหมือนกันกับการย่อยสลายของแสง

7. เอนไซม์

การยับยั้งเอนไซม์จะช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับ anthocyanin (Garcia et al., 2004) การเสื่อมเสีย anthocyanin ที่พบมากที่สุดคือการเสื่อมเสียของ glycosidases ซึ่งเป็นการทำลายพันธะโควาเลนต์ระหว่าง glycosyl residue และ aglycone ของ anthocyanin ซึ่งมีผลในการเสื่อมเสีย anthocyanin ที่มีความไม่เสถียรสูงมาก (Huang, 1955; Huang, 1956) Peroxidases และ phenolases, เช่น phenol oxidases และ polyphenol oxidases สารทั้งคู่นี้พบมากในผลไม้ และ ผล berries ก็เป็นสารทั่วไปที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของเอนไซม์ของ anthocyanin ด้วยเช่นกัน (Pifferi, P. & Cultrera, R. 1974; Kader et al., 1997)

8. วิตามินซี

การปกป้องผลไม้และน้ำเบอรี่ด้วยกรดวิตามินซีนั้นเป็นวิธีการทั่วไปที่นำมาใช้ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์นั้นๆ กรดวิตามินซีนั้นมีบทบาทหลายอย่างที่เกี่ยวกับเสถียรภาพของสีใน anthocyanin การเสื่อมสภาพของ anthocyanin นั้นมาจากการมีกรดวิตามินซีรวมอยู่ (Meschter, 1953; Starr & Francis, 1968 ; Poeschl & Wrolstad, 1981; Marti et al., 2002) กรดวิตามินซีนั้นทำให้เกิดสีย้อมที่ทำให้เกิดการฟอกขาวรังควัตถุของ anthocyanin (Poeschl, M. & Wrolstad, R. 1981) การทำให้เข้มข้นโดยตรงของ anthocyanin และกรดวิตามินซีนั้นเป็นสมมติฐานที่ทำให้เกิดกลไกการเสื่อมเสียของ anthocyanin (Poeschl, M. & Wrolstad, R. 1981) นอกจากนี้การรวมตัวกันของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดวิตามินซีมีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของ anthocyanin (Meschter, 1953; Markakis, 1982 ; Talcott et al., 2003) อย่างไรก็ตาม anthocyanin ก็ยังคงได้รับการปกป้องจากกรดวิตามินซีจากการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของเอนไซม์ (Talcott et al., 2003)

9. น้ำตาล

ในธรรมชาติ น้ำตาลนั้นจะถูกพบในผลไม้และ berries ชนิดต่างๆ และในระหว่างการผลิตอาหารก็มักมีการเติมน้ำตาลลงไป ในผลิตภัณฑ์ผลไม้ต่างๆ เช่น น้ำผลไม้และการดอง เช่นเดียวกับ

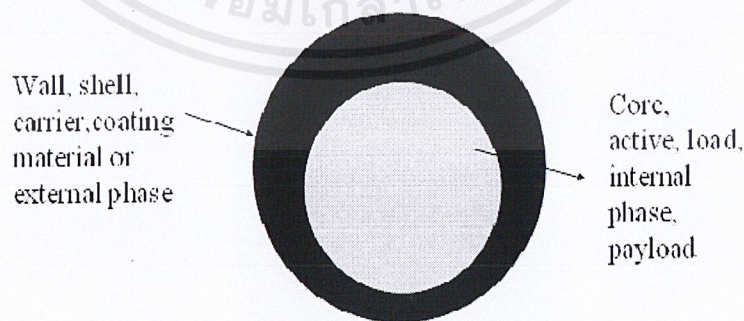
การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ เราจะรู้จักน้ำตาลจากการทำให้เสถียรภาพของ anthocyanin ลดลง (Meschter, 1953; Thakur and Arya, 1989) การศึกษาของ Daravingas and Cain (1968) ในการทดสอบน้ำตาลในหลายชนิด (ซูโครส, ฟรักโทส, กลูโคสและไซโรส) พบว่าเป็นการเพิ่มการเสื่อมเสียของ anthocyanin ในน้ำตาลทุกประเภทในทิศทางเดียวกัน furfural จะเป็นตัวเร่งทำให้เกิดการเสื่อมสลายของเม็ดสี มากกว่าพันธะ hydroxy-methylfurfural (Meschter, 1953) ปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของ anthocyanin จากน้ำตาลและกรดวิตามินซีเป็นการทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลขึ้น (Krifi et al., 2000)

น้ำตาลก็ยังสามารถป้องกัน anthocyanin และสีของผลิตภัณฑ์จากผล berries น้ำตาลซูโครส สามารถป้องกัน anthocyanin จากการเสื่อมเสียระหว่างการนำไปแช่แข็งและยังป้องกันการเกิดสีน้ำตาลและการก่อตัวของเม็ดสี ซึ่งเป็นไปได้มากเนื่องจากเกิดการขัดขวางของปฏิกิริยาการเกิดเอนไซม์หรือการเกิดขวางของปฏิกิริยาการควบแน่นโดยซูโครส (Wrolstad et al., 1990) และยังสามารถลดค่า water activity (aw) โดยน้ำตาลสามารถป้องกันการเสื่อมเสียของ anthocyanin (De Ancos et al., 1999b)

2.4 กระบวนการเอนแคปซูลชัน (Encapsulation)

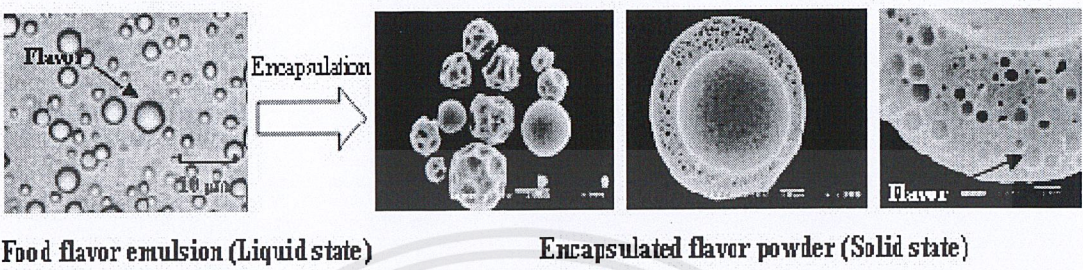
2.4.1 เอนแคปซูลชัน (Encapsulation)

เอนแคปซูลชันเป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่น สารที่ถูกเคลือบ (coated) หรือถูกขังไว้ (entrapped) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลวแต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือก๊าซซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไปเช่น core material หรือ internal phase สารที่นำมาเคลือบจะเรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ coating (นิรนาม, 2553)



รูปที่ 2.8 : โครงสร้างของไมโครแคปซูล

กระบวนการ microencapsulation มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพและการสูญเสียสารระเหย ช่วยในการกักเก็บสี และปริมาณสารสำคัญ (Shu B. et al., 2005) เทคนิค microencapsulation ที่เลือกใช้จะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารให้กลิ่นรสและความเสถียรของสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 2.9 : การเอนแคปซูลสารให้กลิ่นรส
ที่มา : Madene et al., 2006

2.4.2 ข้อดีของกระบวนการเอนแคปซูล

- เนื่องจากสารบางชนิดมีความไวต่อสภาวะแวดล้อมภายนอกเช่น แสงแดด ออกซิเจน น้ำ เป็นต้น ทำให้มีคุณสมบัติที่เปลี่ยนไป
- เนื่องจากสารบางชนิดระเหยได้ง่าย หากไม่มีแคปซูลมาป้องกันอาจจะระเหยหมด
- ช่วยให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน เช่น การเปลี่ยนแปลงสารที่เป็นของเหลวให้อยู่ในรูปแคปซูลที่เป็นของแข็ง ง่ายแก่การนำไปผสมกับสารอื่น และไม่จับตัวเป็นก้อน
- สามารถควบคุมการทำงานของสารให้มีการปลดปล่อยสารในบริเวณที่เหมาะสม และยังคงความสิ้นเปลืองในการใช้สาร และยังลดความสิ้นเปลืองในการใช้สาร

2.4.3 ขั้นตอนกระบวนการเอนแคปซูล

โดยทั่วไปการเอนแคปซูลสารให้กลิ่นรสประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการ 2 ขั้นตอน (รูปที่ 2) โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการทำให้เกิดอิมัลชันของสารแกนกลางและสารเคลือบ โดยสารเคลือบที่ใช้ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) หรือโปรตีน ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนของการอบแห้งหรือทำให้อิมัลชันเย็นตัวลงซึ่งเทคนิคการเอนแคปซูลจะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารให้กลิ่นรสและความเสถียรของสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา

2.4.4 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูล (Encapsulation techniques)

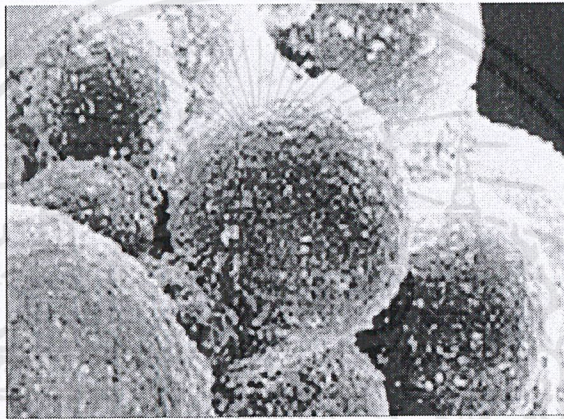
ในกระบวนการเอนแคปซูลสารให้กลิ่นรส สามารถทำได้หลายวิธีวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลัก ๆ ดังนี้

- 1 การเอนแคปซูลโดยใช้วิธีทางเคมี (Chemical process)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

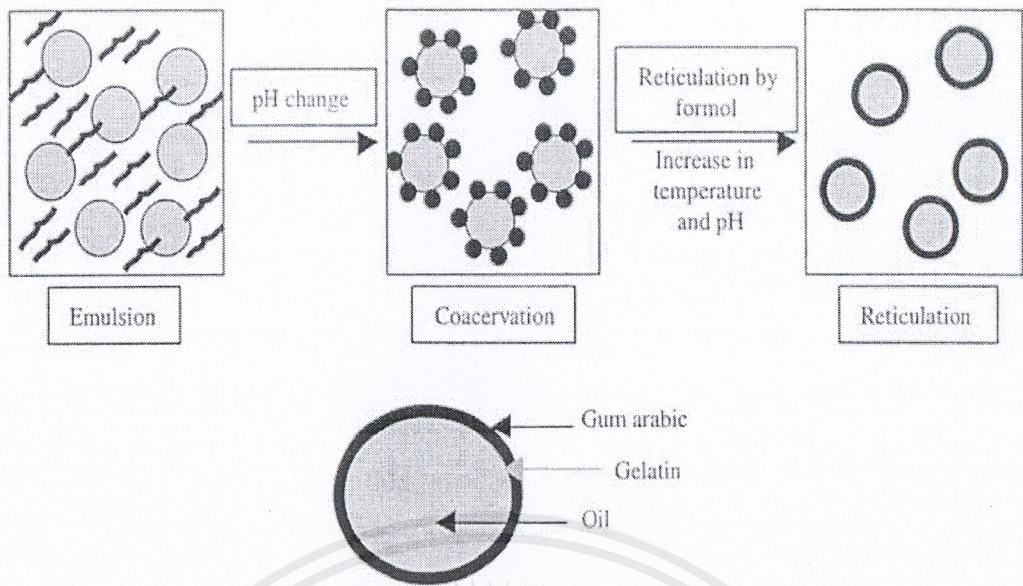
-Complex Coacervation หรือ Coacervation-Phase เป็นกระบวนการที่อาศัยหลักการทางเคมีโดยมีการทำงาน 3 ขั้นตอนคือ

- นำคอร์ที่ต้องการเคลือบไปกระจายตัวในสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเชลล์
- แยกวัฏภาค (phase) ของพอลิเมอร์ออกจากตัวทำละลายเพื่อให้พอลิเมอร์ไปดูดซับอยู่บนผิวของคอร์ที่ต้องการเคลือบ
- ทำให้ชั้นพอลิเมอร์ที่เคลือบแข็งตัวโดยอาศัยอุณหภูมิหรือสารเพิ่มความแข็งแรง เช่นสารประกอบแคลเซียมสามารถแยกแคลเซียมออกโดยการกรองล้างด้วยสารละลายที่เหมาะสม หรือทำให้แห้งด้วย Spray Dryer เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปซึ่งกระบวนการนี้มักใช้กับสารที่เป็นของเหลวหรืออนุภาคขนาดเล็กที่ไม่ละลายน้ำเช่นน้ำมันพืชวิตามินเอ



รูปที่ 2.10 : ลักษณะของ coacervated microgranules ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ที่มา : Madene et al., 2006



รูปที่ 2.11 : หลักการของการเอนแคปซูลทโดยใช้เทคนิค complex coacervation
ที่มา: Madene et al., 2006

-Interfacial Polymerization (IFP) เป็นกระบวนการที่มีการเติมมอนอเมอร์ (monomer) นำไปละลายในสารละลายคอร์แล้วมีการทำปฏิกิริยาเรียงตัวกันอย่างรวดเร็วบนพื้นผิวของสารที่เป็นคอร์เกิดเป็นแคปซูลของสารพอลิเมอร์ (polymer) ห่อหุ้มคอร์ไว้ภายในซึ่งกระบวนการนี้ใช้ในการเตรียมแคปซูลยาฆ่าแมลงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20-30 ไมครอน

- Centrifugal Force Processes เป็นกระบวนการที่พัฒนาขึ้นในช่วงปีพ.ศ.2483 เพื่อผลิตไมโครเอนแคปซูลของน้ำมันปลาและวิตามินต่างๆเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งจะเป็นการเอ็กซ์ทรูด (extruded) สารอิมัลชันระหว่างน้ำกับน้ำมันผ่านรูขนาดเล็กลงในอ่างน้ำมันส่วนที่เป็นน้ำของสารอิมัลชันจะไปรวมกับสารพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ที่นำมาใช้ทำเซตล์เช่นเจลาตินเมื่อเจลาตินนี้เย็นตัวลงก็จะห่อหุ้มน้ำมันไว้ภายในสามารถทำให้แห้งแล้วนำไปใช้งานต่อไป

2.วิธีทางกายภาพ Spray Coating แบ่งออกได้เป็น

- Pan Coating เป็นกระบวนการเคลือบอนุภาคของแข็งที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 500 ไมครอนขึ้นไปซึ่งพบมากในอุตสาหกรรมยาโดยการเคลือบด้วยอนุภาคที่เป็นของแข็งก่อนแล้วจึงนำไปเคลือบด้วยสารพอลิเมอร์อีกครั้งโดยผ่านลมร้อนตลอดเวลา

- Fluidized Bed Coating เป็นกระบวนการที่ใช้เคลือบอนุภาคของแข็งรวมถึงของเหลวที่ดูดซับบนของแข็งมีโพรงภายในมักใช้ในอุตสาหกรรมยาเช่นกันโดยอนุภาคจะเคลื่อนที่ด้วยแรงลมและหัวพ่นจะพ่นสารเคลือบที่เป็นของเหลวบนผิวอนุภาคจากนั้นจะถูกทำให้เย็นและแข็งตัวโดยจะ

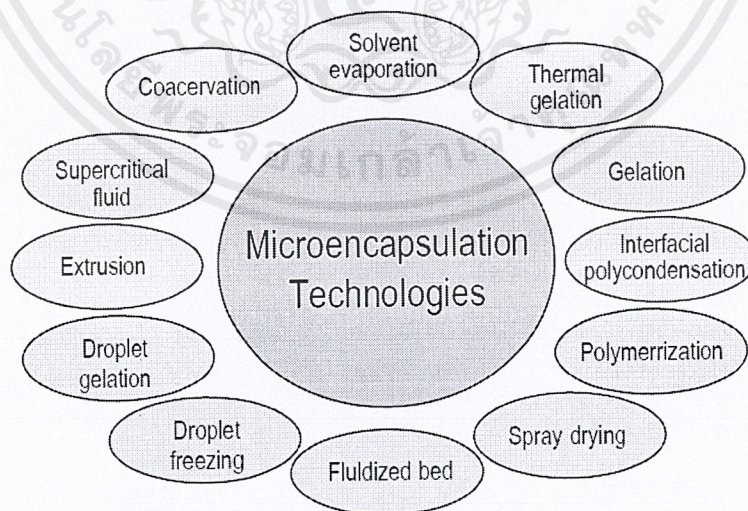
มีการหมุนเวียนเช่นนี้จนกระทั่งผนังแคปซูลมีความหนาตามที่ต้องการซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 50-500 ไมครอน

- Spray Drying เป็นกระบวนการที่พัฒนาขึ้นในช่วงปี พ.ศ.2473 โดยการนำสารที่ใช้เป็นคอร์ซึ่งมักจะเป็นสารอิมัลชันของสารที่ไม่ละลายน้ำเช่นสารให้กลิ่นรส (flavor) ผสมลงในสารละลายเซลล์แล้วนำไปบรรจุในเครื่อง Spray Dryer และฉีดพ่นออกมาผ่านหัวพ่นน้ำจะระเหยไปกับลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 100-160 °C ทำให้ได้อนุภาคขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-150 ไมครอนซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมากในอุตสาหกรรมอาหาร

- Spray Cooling หรือ Spray Chilling ใช้เคลือบสารที่ไม่ทนต่อความร้อนมีหลักการทำงานคล้ายกับวิธี Spray Drying โดยการนำอนุภาคไปกระจายตัวในสารละลายของสารเคลือบแล้วนำไปพ่นผ่านหัวสเปรย์กระทบกับลมเย็นโดยสารเคลือบที่ใช้ในวิธีนี้จะต้องเป็นสารที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องเช่น Wax กรดไขมันและสารพอลิเมอร์

- Milt Extrusion ใช้ผลิตแคปซูลที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 250 ไมโครเมตรจนถึงไม่กี่มิลลิเมตรโดยจะมีการใช้เครื่อง Screw Extruder เข้ามาช่วยและใช้สารจำพวกคาร์โบไฮเดรตเพื่อเป็นสารตัวพา (carrier) สำหรับสารให้กลิ่นรส (flavor) แล้วทำการอัดผสมเข้าด้วยกันในเครื่อง Screw Extruder และถูกอัดผ่านตะแกรงเป็นแผ่นหรือเส้นตามต้องการมักใช้ในอุตสาหกรรมสารกลิ่นรสที่จะนำไปใช้ในการผลิตลูกกวาด

วิธีที่กล่าวมานั้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของเทคนิคในการผลิตไมโครเอนแคปซูลยังมีเทคนิคอื่นอีกมากมายซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารภายในแคปซูลและการนำไปใช้งาน (Gharsallaoui A. et al., 2007) ดังแสดงในภาพที่ 2.12



รูปที่ 2.12 : เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการผลิตไมโครเอนแคปซูล

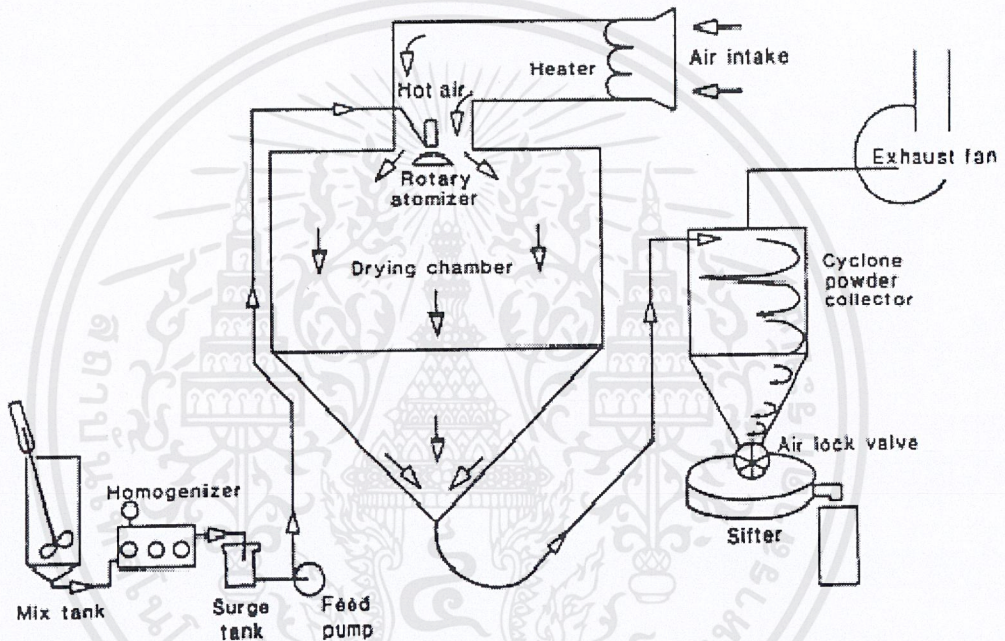
ที่มา: www.gate2tech.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การแปรรูปอาหารผง

2.5.1 พื้นฐานเรื่องการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยเครื่อง Spary Dryer

การทำแห้งด้วยวิธีพ่นฝอยเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการผลิตอาหารแห้งผง เช่น นมผง, ไข่ผง, สารสกัดโปรตีนในรูปผง ไปถึงอุตสาหกรรมยาเนื่องจากประสิทธิภาพการทำแห้งสูง อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนดีระยะเวลาในการทำแห้งสั้นมากการปนเปื้อนน้อยเนื่องจากเป็นระบบปิด (มณฑล, 2553) เป็นการหลีกเลี่ยงความเสี่ยงของสารเคมี หรือการทำให้เสื่อมเสียทางชีววิทยา เป็นการลดการจับเกาะ และต้นทุนการขนส่ง (Gharsallaoui et al, 2007) รวมทั้งยังสามารถผลิตในระบบต่อเนื่องได้ด้วย



รูปที่ 2.13 : เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา : Madene et al., 2006

กระบวนการของ spray dryer เริ่มจาก อากาศจะถูกดูดผ่าน filter และผ่านตัวให้ความร้อน จากนั้นจึงเข้าสู่ห้องอบแห้ง (drying chamber) ส่วนวัตถุดิบที่ใช้ spray (feed) ควรมีลักษณะเหลว จากนั้นสารละลายของเหลวจะถูกดูด โดยปั๊มผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอยภายในห้องอบและจุดสัมผัสกับอากาศร้อนทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกเล็กน้อยจะได้ผงผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่างของ drying chamber และผงบางส่วนที่หลุดมากับอากาศจะถูกแยกโดยใช้ cyclone จนได้ ผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Frederick, J., & Franis, 2000) ในการทำงาน of เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย แบ่งออกเป็น 4 กระบวนการคือ

1.การทำให้เกิดอนุภาคฝอย

เป้าหมายของขั้นตอนนี้คือการสร้างพื้นผิวการถ่ายโอนความร้อนสูงสุดระหว่างอากาศแห้งและของเหลวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนและมวลการกำหนดค่าเครื่องฉีดพ่นน้ำขึ้นอยู่กับลักษณะและความหนืดของอาหารและคุณลักษณะที่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์แห้ง (Gharsallaoui et al, 2007) กระบวนการนี้ทำให้ feed เป็นละอองโดยใช้ atomizer ซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของ spray dryer โดยลักษณะของ atomizer มี 3 ชนิด (K. Mosters, 1976)

-Rotary Atomizer

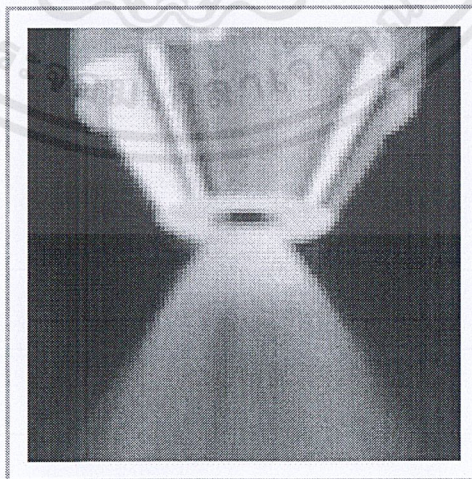
atomizer ชนิดนี้ feed จะไหลลงบนจานหมุนซึ่งใกล้กับจุดศูนย์กลางโดยจานหมุนจะมีความเร็วรอบสูงประมาณ 5,000-10,000 รอบต่อนาที และ feed จะถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองโดยขนาดเฉลี่ย 30-120 mm ซึ่งขนาดของอนุภาคขึ้นกับ ความเร็วของจานเหวี่ยง ความหนืดสารละลายและขนาดรูทางออกของช่องพ่นฝอย

-Pressure Nozzles

วิธีนี้ feed จะไหลผ่าน orifice ภายใต้ ความดันสูงทำให้ของเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดเป็นฝอยโดยไม่ใช้อากาศอนุภาคที่ได้จะมีขนาดเฉลี่ย 120-250 mm ขนาดของอนุภาคพ่นฝอยจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูออริฟิซและอัตราการไหลเข้า

-Two-fluid Nozzle (Pneumatic Nozzle)

อุปกรณ์ชนิดนี้ feed และอากาศจะไหลผ่านหัวของ nozzle ซึ่งจะทำให้ feed แยกเป็นละอองฝอยเนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูงภายใน nozzle การปรับอัตราการไหลของอากาศ จะช่วยในการกระจายเป็นละอองของ feed วิธีนี้นิยมใช้กับ feed ที่มีความหนืดสูง อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีค่าดำเนินการที่สูงและให้ผลผลิตที่ต่ำ



รูปที่ 2.14 : Atomizer (Two Fluid Nozzle)

ที่มา : www.thaifoodscience.com

2.การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศ โดยพิจารณาจากตำแหน่งของ atomizer กับอากาศ
 แห่งเข้าโดยจะแบ่งเป็น

- การไหลผ่านทางเดียวกัน (co-current flow)
- การไหลผ่านสวนทางกัน (counter-current flow)
- การไหลผ่านแบบผสม (mixed flow)

3.การระเหยของละอองฝอย

เมื่อละอองสัมผัสกับอากาศแห้งร้อนจะเกิดการระเหยชั้นไออิมตัวบริเวณผิวของละออง
 อย่างรวดเร็วโดยจะมีอุณหภูมิที่ผิวละอองที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอุณหภูมิอากาศแห้งจะแพร่สู่
 ผิวหนังซึ่งอยู่ในสถานะอิมตัวช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่อัตราการระเหยคงที่ จนกระทั่งความชื้นต่ำไม่มีการ
 แพร่สู่ผิวหนังทำให้เกิดชั้นแห้งหนาขึ้นตามเวลา ช่วงนี้อัตราการระเหยจะลดลง

4.ขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์แห้งจากอากาศ

มักจะผ่านไซโคลนซึ่งตั้งอยู่ข้างนอกเครื่องทำแห้งซึ่งจะเป็นการลดความสูญเสียของ
 ผลิตภัณฑ์ในบรรยากาศ (Gharsallaoui et al, 2007) การแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอากาศนั้น โดยทั่วไป
 นิยมใช้ cyclone เป็นตัวเก็บผลผลิตภัณฑ์ที่ตกลงด้านล่างของ cyclone ส่วนลมที่ออกจากด้านบนของ
 cyclone จะผ่านไปยังตัวเก็บขั้นสุดท้ายซึ่งนี้อาจเป็น wet scrubber หรือ bag filter หรือ electrostatic
 precipitator ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณผงที่มีและประสิทธิภาพการนำกลับมา (Frederick, J., & Franis,
 2000)

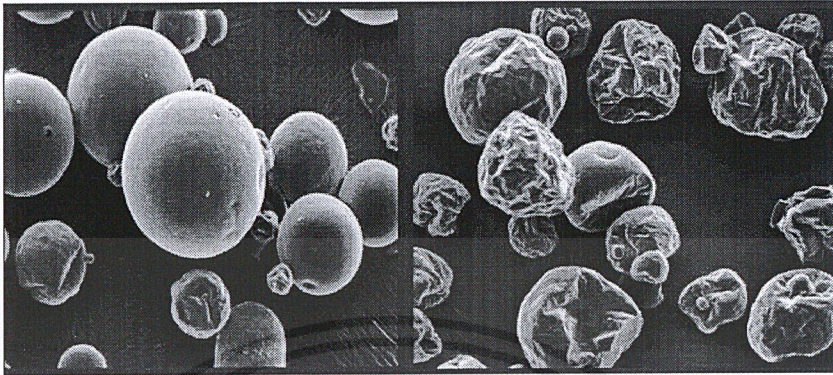
2.5.2 การเอนแคปซูลโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying technique)

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคการเอนแคปซูลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายถูกนำมาใช้
 และประสบความสำเร็จมาหลายทศวรรษในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส ช่วยในการกักเก็บ
 สี และ ปริมาณสารสำคัญเครื่องมือหาได้ง่ายและต้นทุนการผลิตโดยวิธีการนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่น
 ขั้นตอนการเอนแคปซูลโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบไปด้วยการนำตัวกลางที่
 ใช้ในการเคลือบ (carrier หรือ wall material) เช่น มอลโตเดกซ์ทริน (maltodextrin), สตาร์ชดัดแปร
 (modified starch) กัมหรือส่วนผสมของสารเหล่านี้มาละลายน้ำจากนั้นนำสารให้กลิ่นรสที่ต้องการ
 นำมาเอนแคปซูลตามผสมกับสารละลายของตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (carrier solution) นำ
 ส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ (homogenize) เพื่อให้เกิดหยดของสารให้กลิ่นรส
 (Gharsallaoui et al., 2007)

2.5.3 ข้อดีของการเอนแคปซูลโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ

1. ต้นทุนการผลิตต่ำ (Gharsallaoui et al., 2007)
2. เครื่องมือที่ใช้สามารถหาได้ง่าย

3.สามารถปกป้องสารแกนกลางได้เป็นอย่างดีและสามารถเลือกใช้ตัวกลางในการเคลือบได้หลายชนิด



รูปที่ 2.15 : ลักษณะของอนุภาคผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเคลือบซูเลทโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ซ้าย : อนุภาคที่ได้จากการพ่นฝอยโดยใช้ wheel atomizer

ขวา : อนุภาคที่ได้จากการพ่นฝอยโดยใช้ pressure spray atomizer

ที่มา : Madene et al., 2006

2.5.4 การกักเก็บสารให้กลั่นระหว่างกระบวนการเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย จะขึ้นอยู่กับ

1. คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารแกนกลางและสารเคลือบ
2. อุณหภูมิที่ใช้ระหว่างการอบแห้ง (Gharsallaoui et al., 2007)
3. คุณสมบัติของสารเคลือบ

2.5.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างของไมโครเอนแคปซูลที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย

1. องค์ประกอบและคุณสมบัติของสารเคลือบ
2. อัตราส่วนของสารให้กลั่นรส : สารเคลือบ
3. วิธีการพ่นฝอย และตัวแปรในกระบวนการอบแห้ง
4. การหัดตัวอย่างไม่สม่ำเสมอในระหว่างขั้นตอนเริ่มต้นของการอบแห้ง
5. สภาพะในการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ปัญหาระหว่างการอบแห้ง

2.6.1 Glass transition temperature (T_g)

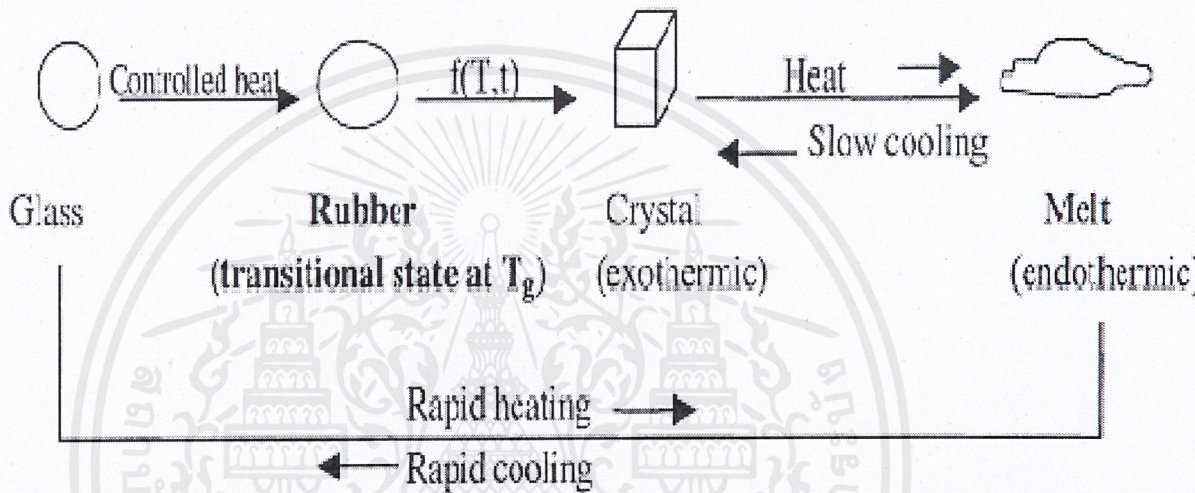
Glass transition คือการเปลี่ยนแปลงสถานะลำดับที่ 2 (second order phase transition) เป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหารจากโครงสร้างอสัณฐาน (amorphous) ไปเป็นลักษณะยางเหนียว (rubbery) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ย้อนกลับได้ การเปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้งเป็นแบบของเหลวไปเป็นยางเหนียวและเปลี่ยนเป็นของแข็งอสัณฐาน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของอาหารระหว่างการเก็บรักษาเป็นแบบของแข็งอสัณฐาน ไปเป็นยางเหนียวโดยสมบัติทางกายภาพต่างๆของวัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้แก่การเพิ่มปริมาตรที่อิสระ (free volume) การเพิ่มปริมาณความร้อน (C_p) สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (∞) สัมประสิทธิ์การนำไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทาง viscoelastic (Genin and Rene, 1995) ปริมาตรอิสระคือปริมาตรที่ว่างอยู่เนื่องจากการสร้างของแข็งของโมเลกุลแสดงถึงปริมาตรที่โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ได้ การเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดนี้เป็นผลมาจากอุณหภูมิ ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิ T_g จึงเป็นสิ่งสำคัญโดยสามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC), Differential thermal analysis (DTA), Thermal mechanical analysis (TMA) เป็นต้น

Glass transition temperature (T_g) หมายถึงอุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของอาหารจากที่ไม่มีรูปร่างแน่นอน (amorphous system) หรือมีสถานะคล้ายแก้ว (glassy state) ไปเป็นสถานะของเหลวเหนียวคล้ายยาง (rubbery state) หรือย้อนกลับ (Silva *et al.*, 2006) วัสดุที่มีสถานะคล้ายแก้วอาจถือเป็นสารละลายของแข็งได้ในสถานะที่ความเหนียวของวัสดุคล้ายแก้วจะเท่ากับ 1012 Pa s เมื่ออุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้นจนถึงจุด T_g วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็น rubbery ซึ่งจะมีค่าความเหนียวเฉลี่ยเท่ากับ 106–108 Pa s ในการวัดค่าความเหนียวของวัสดุค่อนข้างทำได้ยากและมักเกิดความผิดพลาดได้ (Bhandari and Howes, 1999) ซึ่งสามารถวิเคราะห์อุณหภูมิดังกล่าวได้ด้วยเครื่อง DSC ซึ่งการเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างที่สัมพันธ์กับความเหนียว เช่น stickiness, elasticity, collapse, shrinkage และ crystallization จะขึ้นอยู่กับกลาสทรานซิชัน (Sopadeet *et al.*, 2007)

กลาสทรานซิชันขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างเฉพาะของตัวถูกละลายและยังขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวทำละลายที่ปรากฏ (Rahman, 1995) ค่า T_g ถูกใช้เป็นตัวแปรทางเคมีกายภาพที่สามารถวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตคุณสมบัติคุณภาพความคงตัวและความปลอดภัยของอาหาร (Barbosa, C. & Vega, M., 1996) กลาสทรานซิชันของอาหารที่ผ่านการทำให้แห้งเป็นตัวแปรสำคัญในการอธิบายกลไกของกระบวนการเปลี่ยนรูปในอาหารและการควบคุมอายุการเก็บรักษาของอาหารนั้น (Omar & Roos, 2007)

T_g เป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุ amorphous โดยอาหารที่มีลักษณะเป็น amorphous จะเกิดการก่อรูปในสถานะที่ไม่สมดุล (non equilibrium condition) โดยอาจเกิดจากการกำจัดตัวกลางที่

กระจายอยู่ล้อมรอบเช่นน้ำหรือจากการหลอมเหลวโดยความเย็นหรือการทำให้เย็นแบบยิ่งยวด (supercooling) วัสดุนี้จะไม่เกิดการสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ดังนั้นวัสดุนี้จึงอยู่ในสถานะที่ไม่เสถียรซึ่งจะส่งผลให้เกิดการตกผลึกได้ (Bhandari & Howes, 1999) ที่ค่าความหนืดสูงกว่า 10^{12} Pa·s วัสดุ amorphous จะเกิดการเหนียวเนื่องจากในสถานะนี้โมเลกุลจะเกิดการเคลื่อนที่อย่างจำกัดซึ่งจะมีความสำคัญต่อการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเป็นผลึกโดยอัตราการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและปริมาณความชื้นตัวอย่างการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างทางกายภาพและการก่อรูปของวัสดุแสดงดังภาพที่ 2.16



รูปที่ 2.16 : การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ amorphous glass จาก rubbery จนกระทั่งเกิดเป็นผลึก
ที่มา : Bhandari et al., 1997b

มอลโตเด็คซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำจะมี T_g สูงประสิทธิภาพของมอลโตเด็คซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำคือมีความสามารถในการก่อฟิล์มได้เร็วหรือมีสมบัติในการห่อหุ้มสารได้ดีและฟิล์มที่ได้ค่อนข้างมีความชื้นต่ำมีความสามารถในการกระจายตัวที่ดี (Adhikari et al., 2003) การเติมมอลโตเด็คซ์ทรินซึ่งมี T_g สูงเข้าไปจะทำให้ T_g ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 : ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลกับค่า T_g ของมอลโตเด็ซทริน

ที่มา: Bhandari & Howes (1999)

มอลโตเด็ซทริน	น้ำหนักโมเลกุล	T_g (°C)
DE 36	500	100
DE 25	720	121
DE 20	900	141
DE 10	1800	160
DE 5	3600	188

2.6.2 ผลของอุณหภูมิ glass transition และพฤติกรรมการเหนียวระหว่างกรอบแห้งแบบพ่นฝอย

ปัญหาหลักที่มักเกิดขึ้นในระหว่างกรอบแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำผึ้งคือปัญหาการเหนียว ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำผึ้งประกอบด้วยน้ำตาลในปริมาณมาก (70-80%) ระหว่างการทำแห้งผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลสูงผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจยังมีลักษณะเป็นไซรับหรือเกิดการเหนียวที่ผนังของ chamber เป็นผลให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนในผนังของ chamber หรือภายในระบบท่อลำเลียงของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยปัญหานี้ทำให้ปริมาณผลผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลงและอาจเกิดปัญหาในการปฏิบัติงานได้ (Rooset *et al.*, 1996) การเหนียวของอาหารผงสามารถอธิบายได้ในรูปของการเกาะตัวของผงระหว่างอนุภาค-อนุภาค (cohesion) และการเกาะติดของอนุภาคที่ผนัง (adhesion) การเกาะตัวเป็นสมบัติภายในของผงโดยสามารถวัดได้จากแรงยึดของอนุภาคทั้งสองในขณะที่การเกาะติดเป็นสมบัติระหว่างผิวหน้าที่สามารถวัดจากแรงยึดระหว่างอนุภาคกับผิวหน้าของวัตถุอื่น ๆ การเกาะตัวกันของผงเป็นดัชนีชี้วัดที่สำคัญในการจับตัวกันเป็นก้อนของผงกลไกการเหนียวของอาหารผง โดยเฉพาะการเกาะตัวของผงสามารถจำแนกได้เป็น 5 กลุ่มหลักคือ intermolecular and electrostatic, mobile liquid bridges, immobile liquid bridges, solid bridge และ mechanical interlocking โดยสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเหนียวในผลิตภัณฑ์ amorphous ได้แก่ water plasticization ที่ผิวหน้าของอนุภาคและอุณหภูมิที่มากพอจะลดความหนืดที่ผิวหน้าของอนุภาคทำให้เกิดการเกาะตัวของอนุภาคผงและก่อตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (Boonyaiet *et al.*, 2004) พฤติกรรมการเหนียวที่เกิดขึ้นนี้ไม่ขึ้นกับสมบัติของวัสดุเพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้กับระบบการอบแห้งซึ่งสามารถลดการเกาะติดของอาหารผงโดยการควบคุมกระบวนการผลิตด้วยการควบคุมอุณหภูมิขาออกที่เหมาะสม (Bhandari *et al.*, 1997a) การใช้อากาศเย็นเข้าสู่ส่วนล่างของเครื่องอบแห้งหรือการหล่อเย็นที่ผนังเครื่องอบแห้ง (Truong *et al.*, 2005)

ความยากในการอบแห้งแบบพ่นฝอยอาหารที่มีน้ำตาลสูงยังเกี่ยวข้องกับลักษณะพื้นฐานทางกายภาพของสารผสมที่มีน้ำตาลซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ซูโครส 324, กลูโคส 180, ฟรักโทส 180) (Jaya & Das, 2004) การกำจัดความชื้นอย่างรวดเร็วระหว่างการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีผลทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ทั้งที่เป็น amorphous อย่างสมบูรณ์หรือเป็น microcrystalline บางส่วนกระจายในมวลของ amorphous (amorphous mass) การเปลี่ยนแปลงหลักที่เกิดขึ้นในระหว่างการอบแห้งแบบพ่นฝอยแสดงดังภาพที่ 2.17

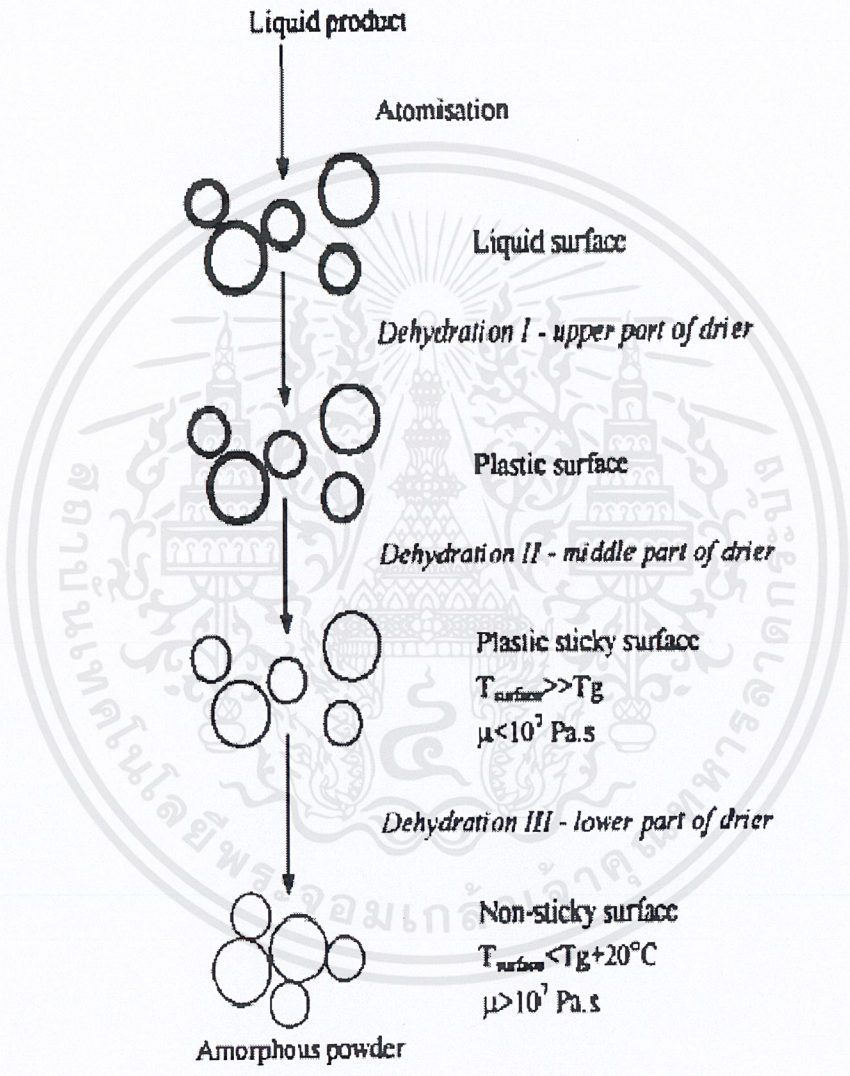
ในขั้นแรกของการอบแห้งแบบพ่นฝอยคือการทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง (atomization of feed) โดยปกติแล้วสารละลายเข้มข้นที่ถูกฉีดพ่นจะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 20-150 μm (Master, 1991) ในขณะที่น้ำเกิดการระเหยตัวถูกละลายที่อยู่ภายในอนุภาคจะมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นสถานะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจากสารละลายกลายเป็น ไซรับและสุดท้ายในรูปของของแข็งในระหว่างการอบแห้งนั้นเริ่มแรกอนุภาคของของเหลว (droplet) จะกระจายตัวแยกจากกันอยู่ภายในเครื่องอบในปริมาณมากโดยไม่เกิดการเกาะตัวกัน (agglomeration) อย่างไรก็ตามอนุภาคที่มีความชื้นสูงจะสามารถเกิดการเหนียวขึ้นได้ในส่วนล่างของเครื่องอบอนุภาคจะกลายเป็นของแข็งและไม่ควรเกิดการเหนียวหรือการเกาะตัวกันเมื่อความจุของอนุภาคต่อหน่วยพื้นที่ปริมาตรเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันตัวอย่างเช่นในส่วนดักผง (collection) หรือส่วนถ่ายเทผง (conveying dust) เพราะจะทำให้อนุภาคเคลื่อนที่มาชนกันและเกิดการเกาะตัวกันเป็นก้อน

2.7 สารเคลือบ (carrier) ที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูล

สารเคลือบที่ใช้ในการเอนแคปซูลสารให้กลิ่นรสจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารให้กลิ่นรสที่มีความหนืดต่ำที่ระดับความเข้มข้นสูง ปกป้องสารให้กลิ่นรสจากสภาวะแวดล้อมมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความเสถียร และสามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสภายใต้สภาวะและช่วงเวลาที่ต้องการ

เป็นตัวขนส่งและละลายสารเคมีบางอย่างในอาหารซึ่งถูกทำลายได้ง่ายโดยความร้อน หรือเป็นสารพวกที่ระเหยง่าย เช่น สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของกลิ่น รส สี วิตามิน หรือสารอาหารอื่นๆ ในอาหาร โดยสารตัวพาทำหน้าที่ดักจับละกักเก็บสารเหล่านี้ไว้แทน ทำให้ถูกทำลายด้วยความร้อนหรือระเหยได้น้อยลง และเมื่อนำอาหารพวงนั้นไปละลายโดยผสมน้ำ สีหรือกลิ่นของอาหารจะถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้สี กลิ่นรสของอาหารหลังการกินตัว มีลักษณะคล้ายวัตถุดิบสดก่อนนำมาทำแห้ง นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เพิ่มปริมาณของแข็งให้กับอาหารก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อประหยัดเวลาในการทำแห้ง เช่น น้ำผลไม้ซึ่งมีปริมาณของแข็งต่ำ และของเหลวในส่วนใหญ่คือ น้ำตาล หากทำแห้งโดยเป็นผงแล้วน้ำตาลเหล่านี้จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นมากและดู

ความชื้นกลับได้อย่างรวดเร็ว เหนียวติดภาชนะ หรือไม่สามารถทำให้เป็นผงได้ เนื่องจากมีการเกาะติดบริเวณผนังห้องทำแห้งและดูดความชื้นกลับจนเหนียวเยิ้ม ดังนั้นถ้ามีตัวพาอยู่ด้วย ตัวพาจะทำหน้าที่เจือจางปริมาณน้ำตาลในผงให้มีความเข้มข้นลดลง นอกจากนี้สารตัวพายังช่วยลดการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงและช่วยลดการจับตัวกันเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บ ใช้เติมลงไปในผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นผงละเอียดหรือผลึก เพื่อปรับปรุงสมบัติช่วยเพิ่มความสามารถในการไหล (Flow Ability) และป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (เซาวาลิต, 2552)



ภาพที่ 2.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของหยดอนุภาคระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Dehydration I, II, III แสดงถึงลำดับขั้นของการระเหยน้ำออก μ คือความหนืด T_g คืออุณหภูมิ glass transition $T_{surface}$ คืออุณหภูมิที่ผิวหน้าของอนุภาค)

ที่มา : (Bhandari et al., 1997b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Downtonet *et al.*, 1982) กล่าวว่าหากความหนืดของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าระดับวิกฤติที่ 107 Pa·s ผลิตภัณฑ์จะยังคงเป็นโซลิตแม็ว่าจะมีระดับความชื้นที่ต่ำทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ส่วนประกอบภายในและสถานะในการอบแห้งพื้นผิวของอนุภาคที่อบแห้งยังคงเป็น plastic เป็นผลให้เกิดการเหนียวติดกับผนังเครื่องอบแห้งหรือเกิดการจับตัวกันของอนุภาค ผลิตภัณฑ์ amorphous ที่ได้รับในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการอาจเป็นได้ทั้งโซลิตแม็ที่เหนียวหรือผงที่สามารถไหลได้อย่างอิสระขึ้นอยู่กับสมบัติของอาหารและสถานะการผลิต

T_g ของอาหารที่มีน้ำตาลสูงจะมีค่าต่ำมากผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำตาลบริสุทธิ์จึงไม่สามารถที่จะทำการผลิตด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยได้ การอบแห้งบางชนิดที่มีลักษณะเฉพาะจะใช้วิธีการอื่นๆที่จะสามารถทำการอบแห้งได้เช่นการใช้สถานะอุณหภูมิต่ำ (Freeze drying) แต่วิธีการที่ใช้กันมากในการอบแห้งคือการเติมสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเข้าไปซึ่งจะมีผลทำให้ T_g เพิ่มขึ้น (Businet *et al.*, 1996) ทำการศึกษาผลของ T_g ต่อพฤติกรรมการเหนียวของสารผสมน้ำตาล (ฟรักโทส กลูโคสและซูโครส) และมอลโตเด็คซ์ตรินในระหว่างการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยการประเมินความยากง่ายในการอบแห้งด้วยปริมาณ recovery ของผลิตภัณฑ์พบว่าปริมาณ recovery ของผงจะมีความสัมพันธ์กับค่า T_g ในกรณีของสารผสมน้ำตาลกับมอลโตเด็คซ์ตรินซึ่งหากปริมาณ recovery สูงแสดงว่ามีการเกาะติดของผงที่ผนังของเครื่องอบในปริมาณที่น้อย (Bhandari *et al.*, 1997b) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า T_g และพฤติกรรมในระหว่างการอบแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำตาลและน้ำผลไม้ซึ่งผสมมอลโตเด็คซ์ตรินโดยอธิบายในรูปของสมการ (สมการที่ 2.1) เพื่อหาปริมาณสารที่เหมาะสมที่ต้องเติมลงไปให้อาหารที่มีน้ำตาลสูงก่อนการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยการระบุค่าดัชนีการอบแห้งของสารประกอบแต่ละตัวซึ่งจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการทำให้แห้งโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย

$$\sum_{i=1}^n a_i X_i = Y \quad (2.1)$$

โดย X_i คือสัดส่วนน้ำหนักของสารประกอบแต่ละตัว a_i คือดัชนีที่ระบุเฉพาะในสารประกอบแต่ละตัว Y คือ overall index (ดัชนีโดยรวม) นำค่าต่างๆมาคำนวณโดยหาก $Y < 1$ การอบแห้งจะทำได้ยาก $Y = 1$ แสดงถึงการอบแห้งยังสามารถทำได้และ $Y > 1$ แสดงถึงการอบแห้งสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยที่ปริมาณ recovery ของผงจะใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานเพื่อแสดงถึงสมรรถภาพในการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Bhandari *et al.*, 1997b)

2.7.1 ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลท

1.คาร์โบไฮเดรต

-มอลโตเด็คซ์ทริน

มีการนำมอลโตเด็คซ์ทรินไปเคลือบอาหารที่เป็นกรด เพื่อป้องกันปฏิกิริยาระหว่างกรดกับส่วนประกอบอื่นๆในอาหาร ทำให้อายุการเก็บนานขึ้น Maltodextrin เป็น โพลีแซ็กคาไรด์ ถูกใช้เพื่อเป็น Food Additive ได้จากการไฮโดรไลซิสแป้ง ประกอบด้วย D-glucose (dextrin) หนึ่งหน่วยต่อกันเป็นลักษณะโซ่ยาว โดยความยาวสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ หน่วยของกลูโคสจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะอัลฟา 1, 4 มอลโตเด็คซ์ทรินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดบางส่วน โดยการใช้กรดหรือเอนไซม์ (Kenyon, 1995) โดยผลิตจำหน่ายในรูปแบบ Dextrose Equivalent (DEs) DE value เป็นการวัดระดับ (degree) ของการย่อยสลายพอลิเมอร์ของสตาร์ชซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการทำให้เกิดเมทริกซ์ซึ่งมีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการเคลือบผิว (Kenyon & Anderson, 1988 ; Shahidi & Han, 1993) โดยทั่วไปมอลโตเด็คซ์ทรินจะมีค่า DE น้อยกว่า 20 หาก DE มากกว่า 20 เป็นกลูโคสไซรับมอลโตเด็คซ์ทรินที่มีค่า DE แตกต่างกันจะมีสมบัติทางเคมีกายภาพต่างกันเช่นความสามารถในการละลายอุณหภูมิเยือกแข็งและความหนืดเป็นต้น (Klinkesornet *et al.*, 2004)

มอลโตเด็คซ์ทรินถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรในการศึกษากระบวนการเอนแคปซูเลทแอนโคโนซานินโดยวิธีการทำ แห้งแบบพ่นฝอยมอลโตเด็คซ์ทรินมีสมบัติดังนี้สามารถละลายน้ำได้ป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ได้ดีความสามารถในการเก็บรักษาสารถูกห่อหุ้มขึ้นอยู่กับค่า DE สารละลายที่ได้มีคุณสมบัติความเป็นเนื้อ (body) และมีความหนืดที่สม่ำเสมอ เนื้อสัมผัสเรียบเนียน มีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ (low hygroscopicity) โดยเฉพาะพวกที่มีค่า DE ต่ำๆ มีจุดเยือกแข็งคงที่ และสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้เป็นอย่างดี ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดสีน้ำตาลน้อยลงมาก มอลโตเด็คซ์ทรินสามารถนำมาใช้เพิ่มปริมาณของแข็งให้กับวัตถุดิบก่อนที่จะเข้าเครื่องทำแห้ง และยังช่วยลดการดูดความชื้นกลับในผลิตภัณฑ์ผงซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบชั้นสูง และยังช่วยลดการจับตัวเป็นก้อน (Caking) ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บ

-กัม (gum)

Gum Arabic หรือ acacia gum เป็น hydrocolloid gum ที่มีคุณสมบัติของอิมัลชัน ที่ดีมาก มีความหนืดต่ำ และเมื่อเป็นผงแห้งก็จะไม่จับตัวเป็นก้อนได้โดยง่าย เหมาะสำหรับคอร์ (core) ที่ขึ้นง่าย (เอกลักษณ์, 2552)

-โปรตีน (proteins)

โปรตีนจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติที่มีคุณสมบัติทางหน้าที่ของสารเคลือบ เช่น ค่าการละลาย (solubility) ความหนืด (viscosity) emulsification และ คุณสมบัติของการทำให้เกิดฟิล์ม ซึ่งสามารถ

ประยุกต์ใช้ได้ดีในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน ระหว่างการเกิดอิมัลชัน โมเลกุลของโปรตีนจะถูกดูดซับที่บริเวณ oil-water interface อย่างรวดเร็วทำให้เกิด stericstabilizing layer ชั้นทันทีจึงสามารถปกป้องหยดน้ำมัน จากการกลับมารวมตัวอีกครั้ง ทำให้เสถียรทางกายภาพของอิมัลชัน ระหว่างกระบวนการผลิตและเก็บรักษา (Dalgleish, 1997 ; Dickenson, 2001)

ตารางที่ 2.8 : คุณสมบัติเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส
ที่มา : Madene et al., 2006

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

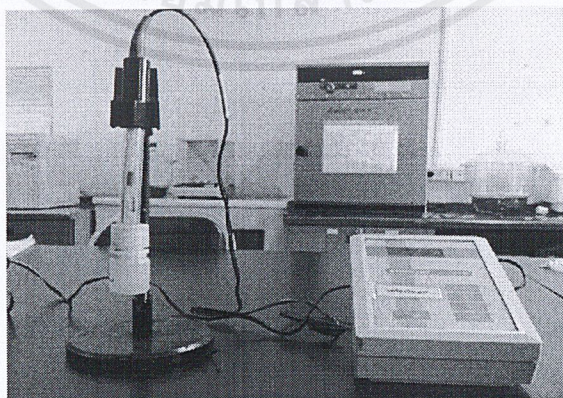
อุปกรณ์และการทดลอง

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ศึกษา

1. สารสกัดแอนโทไซยานินซึ่งสกัดจากเปลือกองุ่นแดง (พันธุ์ Shiraz หรือ Syrah) โดยได้รับมาจากสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
2. กระจับแดงแห้ง รับประทานจากตลาดโรงเกลือ
3. มอลโตเด็คซ์ตริน (Maltodextrin) DE 10
4. มอลโตเด็คซ์ตริน (Maltodextrin) DE 18

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) JCM รุ่น minilab SDE-10 โดยใช้หัวฉีดแบบ Two-fluid nozzle
2. ปีมล
3. รีแฟกโตมิเตอร์ (Refractometer)
4. เครื่องวัดอุณหภูมิ
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก
6. เครื่องซีล (Seal)
7. ตู้แช่แข็ง
8. หม้อและทัพพีสแตนเลส
9. ถุงฟอยล์



รูปที่ 3.1 :เครื่องวัด pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 : refractometer

3.3 การเตรียมวัตถุดิบ

3.3.1 แอนโฆไซยานินจากเปลือกองุ่นแดง (Grape skin)

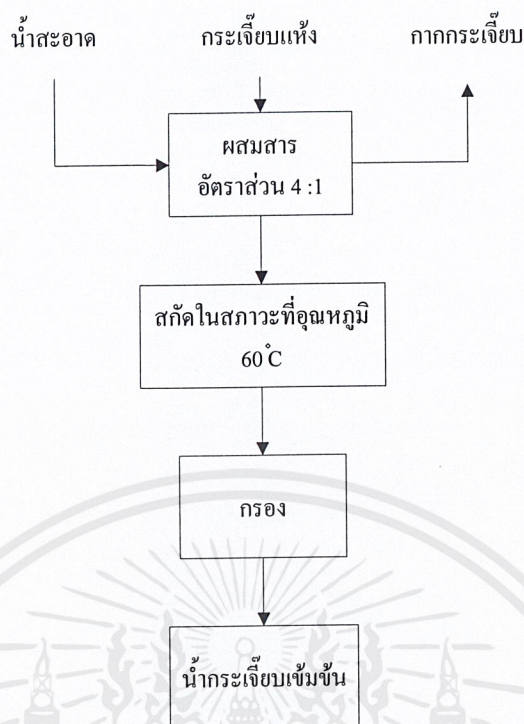
นำสารสกัดแอนโฆไซยานินที่สกัดได้จากเปลือกองุ่นแดงมาเก็บรักษาในตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิ 5°C และก่อนนำสารสกัดแอนโฆไซยานินมาทดลองจะมีการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าความเข้มข้นของสารสกัดแอนโฆไซยานินเริ่มต้น

3.3.2 แอนโฆไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง (Roselle)

นำกระเจี๊ยบแห้งมาเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องเพื่อรอการสกัด

3.3.3 ขั้นตอนการสกัด

1. นำกระเจี๊ยบแดงแห้งล้างด้วยน้ำสะอาด
2. เติมน้ำในอัตราส่วน 1:4 (กระเจี๊ยบแห้ง : น้ำสะอาด)
3. สกัดโดยการให้ความร้อน 60°C ใน waterbath เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
4. กรองด้วยผ้ากรอง แยกส่วนที่เป็นน้ำและกากออกจากกัน
5. วัดค่า pH และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารสกัดกระเจี๊ยบ



รูปที่ 3.3 : ขั้นตอนการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง

3.4 การเตรียมอุปกรณ์

3.4.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

เตรียมอ่างควบคุมอุณหภูมิ เพื่อใช้สกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบ โดยตั้งค่าอุณหภูมิของอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



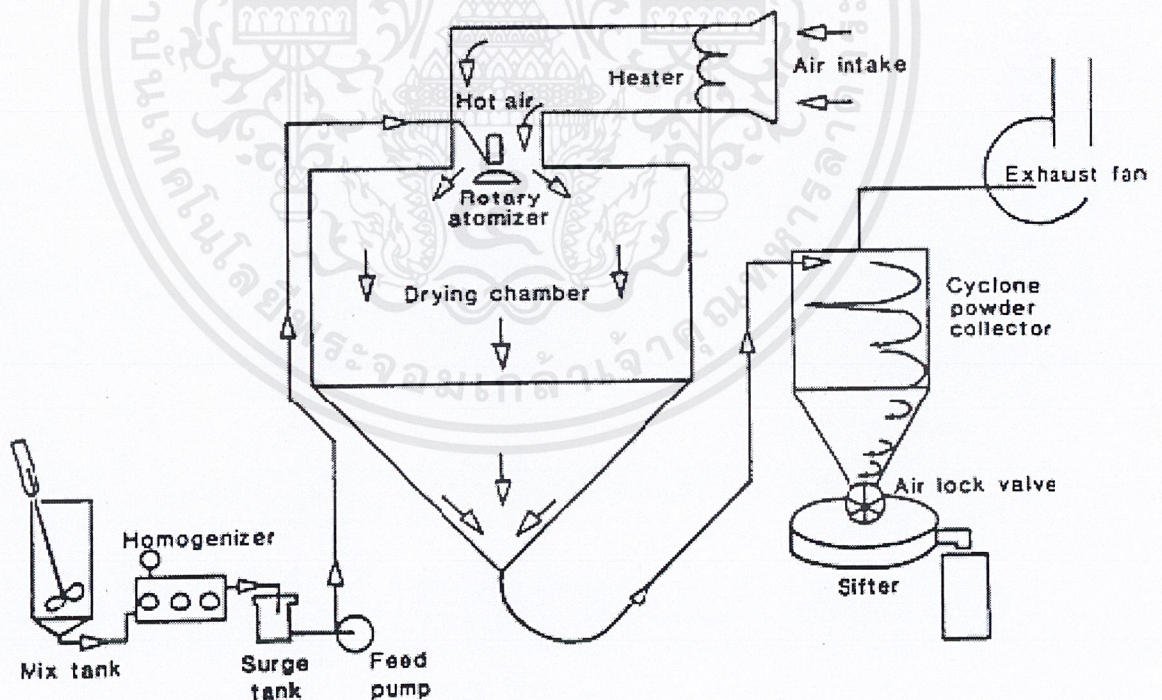
รูปที่ 3.4 : Water bath

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบไปด้วยห้องอบแห้ง (Drying chamber) มีลักษณะเป็นกระบอกสูงและเป็นส่วนที่มีการถ่ายเทความร้อนกับละอองของสารละลาย, หัวฉีด (Atomizer, Nozzle) ทำหน้าที่ฉีดสารละลายให้เป็นละอองฝอยโดยการทดลองนี้เลือกใช้หัวฉีดแบบ Two fluid nozzle ,Heater เป็นอุปกรณ์สำหรับให้ความร้อนกับลมร้อน และปั๊มสำหรับลำเลียงวัตถุดิบเข้าสู่ห้องอบแห้ง

- 1.เตรียมสารสกัดแอนโทไซยานิน
- 2.ติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของเครื่องทำแห้งให้เรียบร้อย ก่อนเปิดเมนสวิทซ์
- 3.ปรับอัตราการไหลและอุณหภูมิลมร้อน รอจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่
- 4.เริ่มทำการเปิดปั๊มป้อนวัตถุดิบ ให้ทดลองป้อนน้ำเปล่าเข้าเครื่อง โดยค่อยๆเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจนกระทั่งได้ค่าอัตราการไหลตามต้องการ ใช้หัวฉีดที่ความดันลมที่ 0.2 MPa
- 5.เมื่ออุณหภูมิภายในห้องทำแห้งมีค่าคงที่ จากนั้นจึงเริ่มป้อนสารแอนโทไซยานินที่เตรียมไว้เข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
- 6.ในขณะที่ทำแห้ง สังเกตการทำงานของปั๊มลมที่ส่งไปกระแสทกผนังของห้องทำแห้งเป็นระยะอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการเกาะติดของผงที่บริเวณผนังห้องทำแห้ง



รูปที่ 3.5 :ตัวอย่างส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา :Madene et al., 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีทำการทดลอง

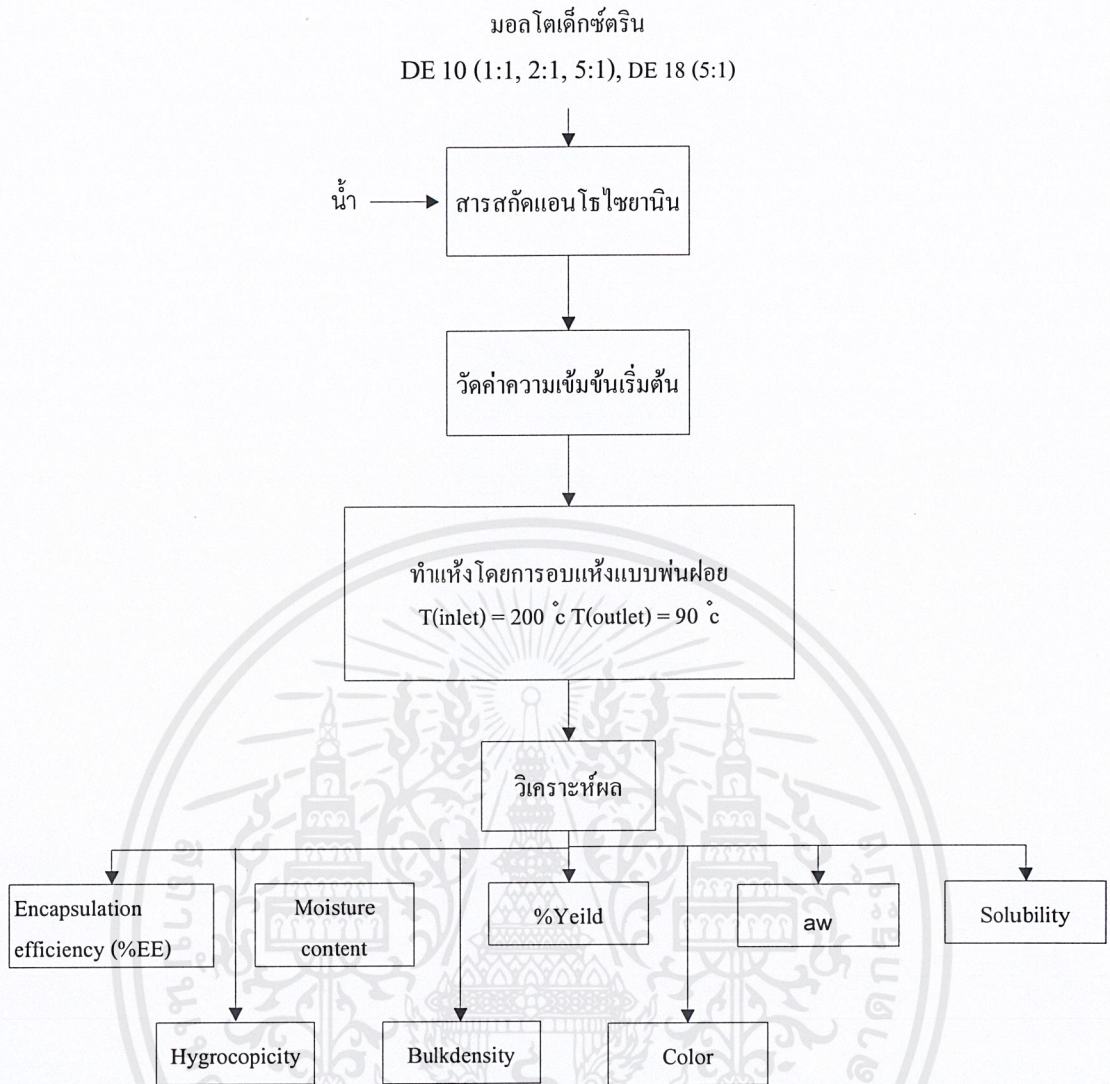
ในการทดลองมีตัวแปรต้นที่ศึกษาคือ ชนิด และปริมาณมอลโตเด็ทรีนที่เติมลงในสารสกัดแอนโไซยานินและผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในสารสกัดแอนโไซยานินต่อการแอนแคปซูลเลทแอนโไซยานินโดยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.5.1 การเตรียมสารละลายก่อนการทำแห้ง

- เตรียมสารสกัดแอนโไซยานิน 250 กรัม พร้อมทั้งวัดค่า pH และค่าความเข้มข้น
- เตรียมมอลโตเด็ทรีน โดยนำมาผสมกับน้ำ (ปริมาณน้ำที่เติมคำนวณได้จากสมมูลมวล)
- ผสมสารสกัดแอนโไซยานินกับสารละลายมอลโตเด็ทรีน พร้อมทั้งวัดค่าความเข้มข้น (° Brix) และค่า pH

3.5.2 ขั้นตอนการทำแห้ง

- เปิดเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย
- เปิดปั๊มลม โดยปรับค่าความดันที่ป้อนวัตตูดิบ 0.2 MPa
- ปรับค่าอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (ตามตารางที่ 3.1)
- ปรับอัตราการป้อนวัตตูดิบตามตารางแผนการทดลอง
- ทดลอง Spray โดยใช้น้ำเปล่านอกห้องอบแห้ง
- เมื่ออุณหภูมิขาเข้าและขาออกคงที่ตามที่ปรับไว้แล้ว ก็นำหัวฉีด (Atomizer) เข้าไปในห้องอบแห้ง
- นำสารละลายที่เตรียมไว้ใส่ในถังป้อนวัตตูดิบ
- สังเกตอุณหภูมิขาเข้าและขาออกในขณะที่ทำแห้งและควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ในย่านที่ได้ปรับตั้งค่าไว้ โดยการปรับสวิทช์ฮีตเตอร์- เก็บผลิตภัณฑ์แห้งทั้งหมดชั่งน้ำหนักและบรรจุใส่ถุงพอยล์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3.6 : ขั้นตอนการทำแห้ง

ตารางที่ 3.1 : สภาวะเครื่องอบแห้งแบบฟนฝอยที่ใช้ในการทดลอง

No.	อุปกรณ์		ตัวแปรควบคุม
1	อุณหภูมิลมร้อน	ทางเข้า	200 °C
		ทางออก	90 °C
2	เครื่องดูด(blower)	ความเร็ว	2800 HZ
3	ปั๊มป้อนวัตถุดิบ	การปรับค่าการป้อน	54 ml /min
4	หัวฉีดวัตถุดิบ	ชนิด	Two-fluid nozzle
		ทิศทางการทำแห้ง	Parallel
5	เครื่องทำความร้อน	แผงความร้อน 4 ชุด	ใช้ 3 ชุด (1.5,3,3 kw) ควบคุมอัตโนมัติ 1 ตัว
6	ปั๊มลม	ความดันที่ป้อน วัตถุดิบ	0.2MPa

3.6 การวิเคราะห์คุณลักษณะของแอนโธไซยานินผง

3.6.1 ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลทแอนโธไซยานิน(Encapsulation Efficiency: EE, %)

อัตราส่วนระหว่างปริมาณแอนโธไซยานินหลังการทำแห้งต่อปริมาณแอนโธไซยานินก่อนการทำแห้ง

$$\% EE = \frac{\text{Total Antho.in Dried Sample}}{\text{Initial Total Antho. Extract}} \times 100 \tag{1}$$

ปริมาณแอนโธไซยานินเริ่มต้นของสารสกัดจากเปลือกองุ่นจากสภาวะการสกัดที่ 1 และสภาวะที่ 2 เท่ากับ 72.78 mg/100 ml และ 97.76 mg/100 ml ตามลำดับ

ปริมาณแอนโธไซยานินเริ่มต้นของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแห้งเท่ากับ 84.73mg/100 ml

3.6.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield) (Man, Irwandi, & Abdullah, 1999)

การวิเคราะห์

เป็นเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน หาโดยการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้และปริมาณของแข็งในวัตถุดิบเริ่มต้น โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาหาความชื้นและนำมาคำนวณจากสมการ

$$\% \text{ yield} = \frac{W_{CP}}{SS_{CF}} \tag{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ w_{CP} = ปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้ง (g)

SS_{CF} = ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน (g)

3.6.3 ความชื้น (Moisture content, %)

เครื่องมือ

1. ถ้วยอลูมิเนียม
2. เคซิเตอร์ (Desiccator) หรือโถดูดความชื้น
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก
4. ตู้อบสูญญากาศ (Vacuum oven)

การวิเคราะห์

นำผงตัวอย่าง 3 กรัม ไปชั่งน้ำหนักหลังจากนั้นนำไปอบใน Hot oven ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมงอบจนน้ำหนักคงที่ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจาก อัตราส่วนของน้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้งที่หายไปต่อน้ำหนักของผงเริ่มต้น (Knecht, R. & Brink, H., 1998) จากสมการ

$$\% \text{ moisture} = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m_1 - m_0} \quad (3)$$

เมื่อ m_0 = น้ำหนักถ้วยและฝา (g)

m_1 = น้ำหนักถ้วย ฝา และน้ำหนักก่อนอบ (g)

m_2 = น้ำหนักถ้วย ฝา และน้ำหนักหลังอบ (g)

3.6.4 คุณสมบัติการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity, %)

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. ขวดโหล

การวิเคราะห์

นำผลิตภัณฑ์ 1 กรัม ใส่ขวดโหลที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัว (NaCl) ทิ้งไว้จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาคำนวณจากสมการ

$$\text{hygroscopicity} = \frac{\left(\frac{b}{a}\right) + w_i}{1 + \left(\frac{b}{a}\right)} \quad (4)$$

เมื่อ b = น้ำหนักของผงที่เพิ่มขึ้น (g)

a = น้ำหนักของผงก่อนนำไปวัด (g)

w_i = ค่าความชื้นก่อนการวัด

3.6.5 ความหนาแน่น (Bulk density, g/cm³)

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. ถ้วยหรือภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน

การวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยหรือภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน
2. ใส่ตัวอย่างให้เต็มภาชนะแล้วปิดออก
3. คำนวณค่าเพื่อหาความหนาแน่น จากสมการ

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (5)$$

เมื่อ m = มวลของตัวอย่าง (g)

v = ปริมาตรของภาชนะ (cm³)

3.6.6 ความสามารถในการละลาย (Solubility) (สโรบล และ คณะ, 2550)

เครื่องมือ

1. เครื่อง Magnetic stirrer
2. เครื่องชั่ง
3. บีกเกอร์

การวิเคราะห์

ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ผง 3 กรัม ใส่ลงในน้ำปริมาตร 150 ml ที่อุณหภูมิ 30 °C กวนผสมให้เข้ากัน โดยใช้เครื่อง Magnetic stirrer ที่ความเร็วคงที่จับเวลาที่ใช้ในการละลายของตัวอย่างจนสมบูรณ์

Solubility = เวลาที่ใช้ในการละลายของตัวอย่างจนสมบูรณ์

3.6.7 ค่า water activity, (a_w)

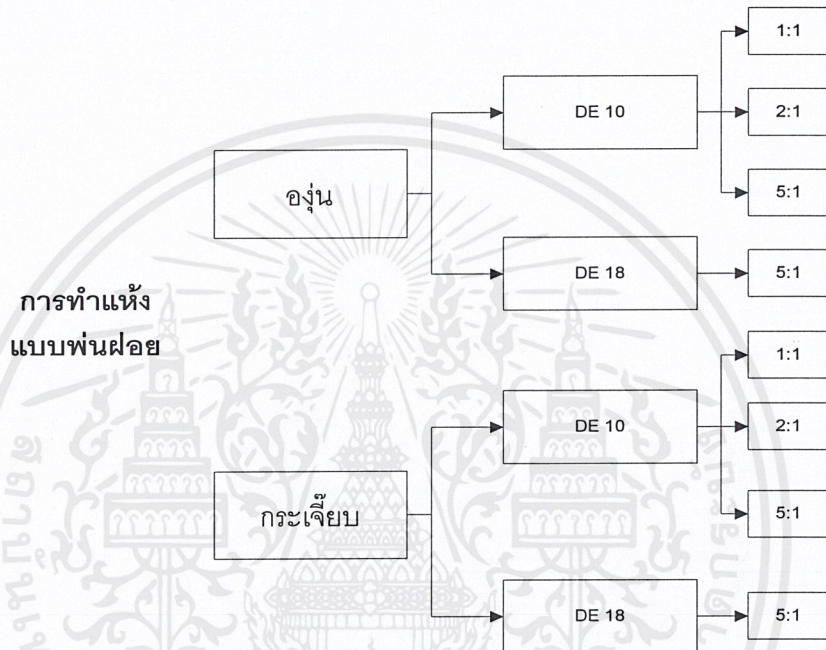
a_w คือการวัดปริมาณน้ำอิสระที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการดำรงชีวิตได้โดยใช้เครื่องวัดค่า a_w อัดโนมิคี่ห้อ AQUA LAB model series 3 TE

3.6.8 ค่าสี (Color) (Selim, et al., 2008)

ใช้เครื่องวัดสี Spectral photometer Model : MiniScan XE⁺ 45/0 M06219 แสดงเป็นค่า L^* , a^* , b^* โดย L^* คือความสว่าง a^* คือ ค่าแทนสีแดง-เขียว และ b^* คือ ค่าแทนสีเหลือง-น้ำเงิน

3.7 การวางแผนการทดลองเบื้องต้น

การทดลองมีตัวแปรที่ศึกษาคือ อัตราส่วนของปริมาณมอลโตเด็ทซ์ตริกับปริมาณของแข็งในสารสกัด (1:1, 2:1 และ 5:1) ชนิดของมอลโตเด็ทซ์ตริ (DE 10, 18) และ pH ของสารสกัด แอนโรไซยานินจากเปลือกองุ่นโดยศึกษาที่ปัจจัย DE 10 (1:1)



รูปที่ 3.7 : แผนการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองเบื้องต้น

ในกระบวนการเอนแคปซูลเลทชันสารสกัดแอนโทไซยานิน มีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องเช่น ปริมาณและชนิดของมอลโตเด็คซ์ตรินที่เติมในสารสกัด, อุณหภูมิของลมร้อนขาเข้าและขาออก, อัตราการป้อนวัตถุดิบ และ pH ของสารสกัดเป็นต้น ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาการพัฒนากระบวนการเอนแคปซูลเลทชันสารสกัดแอนโทไซยานินเพื่อกักเก็บสารแอนโทไซยานินและคุณสมบัติที่ดีของแอนโทไซยานินผงหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดสภาวะเริ่มต้นของการทำแห้งสารแอนโทไซยานิน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1: แสดงผลการวิเคราะห์วัตถุดิบเบื้องต้นของสารแอนโทไซยานินก่อนการทำแห้งที่สภาวะต่างๆ (° Brix)

No	Type of Maltodextrin	M:A	TSS of feed solution	pH of anthocyanin extract	Total weight (g)
1	DE 18 (Grape skin)	5:1	20	0.98	1251.00
2	DE 10 (Grape skin)	5:1	20	0.98	1260.00
3	DE 10 (Grape skin)	2:1	42	0.98	420.53
4	DE 10 (Grape skin)	1:1	42	0.98	248.27
5	DE 10 (Grape skin)	1:1	42	2.20	125.00
6	DE 18 (Roselle)	5:1	38	2.91	1220.00
7	DE 10 (Roselle)	5:1	38	2.91	1214.28
8	DE 10 (Roselle)	2:1	38	2.85	582.85
9	DE 10 (Roselle)	1:1	38	2.85	708.00

หมายเหตุ : M = มอลโตเด็คซ์ตริน (Maltodextrin)

A = ของแข็งที่ละลายในสารสกัดแอนโทไซยานิน

4.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตารางที่ 4.2 : สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง

No.	อุปกรณ์		ตัวแปรควบคุม
1	อุณหภูมิลมร้อน	ทางเข้า	200 °C
		ทางออก	90 °C
2	เครื่องดูดลม (blower)	ความเร็ว	2800 HZ
3	ปั๊มป้อนวัตถุคิบ	การปรับค่าการป้อน	54 ml /min
4	หัวฉีดวัตถุคิบ	ชนิด	Two-fluid nozzle
		ทิศทางการทำแห้ง	Parallel
5	เครื่องทำความร้อน	แผงความร้อน 4 ชุด	ใช้ 3 ชุด (1.5,3,3 kw) ควบคุมอัตโนมัติ 1 ตัว
6	ปั๊มลม	ความดันที่ป้อนวัตถุคิบ	0.2 MPa

4.3 ผลการวิเคราะห์แอนโธไซยานินผง

ตารางที่ 4.3 : แสดงผลการวิเคราะห์แอนโธไซยานินผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

Source	Type of Maltodextrin	Maltodextrin : Extract	Encapsulation Eff. (%)	Yield (%)	Moisture content (%)	Hygroscopicity	Bulk Density (g/cm ³)	Solubility (sec)	Water activity	Color	
										L*	a*
Grape Skin (เปลือกองุ่น)	DE 10	1:1	9.1528	11.24	6.2854 ^d ± 0.1023	0.6944 ^c ± 0.0102	-	-	0.3945 ^a ± 0.0049	33.2800 ^a ± 0.0000	39.3200 ^c ± 0.0264
		2:1	9.4875	64.34	4.8070 ^{b,c} ± 0.5947	0.5634 ^a ± 0.0007	0.2289 ^b ± 0.0108	56.2500 ^a ± 0.4949	0.1640 ^b ± 0.0078	56.9367 ^c ± 0.0115	35.5733 ^c ± 0.0115
		5:1	1.0387	47.40	3.0165 ^a ± 0.0688	0.5494 ^b ± 0.00005	0.2024 ^a ± 0.0045	61.7500 ^b ± 0.6363	0.2785 ^c ± 0.0021	72.3100 ^c ± 0.0200	29.5233 ^b ± 0.0585
	DE 18	5:1	1.0387	69.50	4.2263 ^b ± 0.0451	0.6015 ^c ± 0.0016	0.2183 ^b ± 0.0020	57.9500 ^a ± 0.7778	0.2240 ^d ± 0.0071	66.5467 ^d ± 0.0057	27.1000 ^a ± 0.0000
Roselle (กระเจี๊ยบ)	DE 10	1:1	11.9476	52.00	3.3187 ^g ± 0.1269	0.5715 ⁱ ± 0.0002	0.4164 ⁱ ± 0.0111	53.1500 ^f ± 0.4949	0.2030 ^f ± 0.0021	37.6567 ^g ± 0.0208	36.5500 ⁱ ± 0.0115
		2:1	18.1955	65.79	2.8304 ^g ± 0.8326	0.5332 ^f ± 0.0008	0.3719 ^h ± 0.0030	55.3500 ^{a,b} ± 0.7778	0.1540 ^g ± 0.0028	35.5467 ^f ± 0.0115	33.9667 ^h ± 0.0288
		5:1	29.5589	89.4	1.5869 ^f ± 0.0735	0.5288 ^g ± 0.0008	0.2670 ^f ± 0.0006	63.4500 ^g ± 2.4748	0.1330 ^h ± 0.0035	42.6333 ⁱ ± 0.0208	30.8367 ^g ± 0.0351
	DE 18	5:1	29.304	74.98	1.6248 ^f ± 0.0070	0.5862 ^h ± 0.0017	0.2931 ^g ± 0.0030	58.2500 ^h ± 0.7778	0.1080 ⁱ ± 0.0028	42.3567 ^h ± 0.0208	29.8200 ^f ± 0.1824

หมายเหตุ สัญลักษณ์ a - i แสดงค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

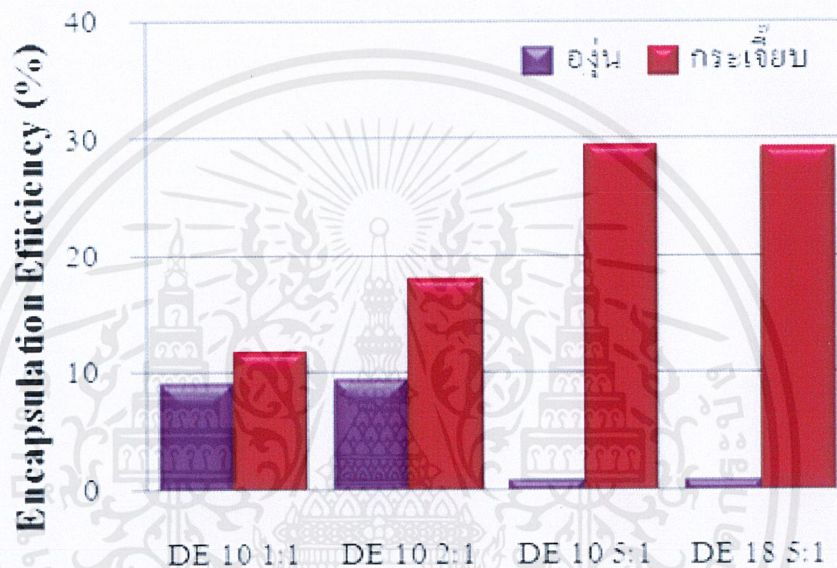
4.4 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แอนโธไซยานินผงที่สภาวะต่างๆ

ก่อนการทำแห้งแอนโธไซยานินจะมีการปรับปริมาณของแข็งที่ละลายในสารละลายก่อนการทำแห้งให้คงที่ที่ 20 °Brix, 42 °Brix และ 38 °Brix

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.3 สามารถนำมาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงแอนโธไซยานินที่สภาวะต่างๆ คุณสมบัติของผงแห้งที่ศึกษาประกอบด้วย Encapsulation efficiency

(%EE) , Moisture content (%), Bulk density (g/cm^3), Yield (%), Hygroscopicity (%), Solubility (s), color และ water activity

4.4.1 ประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลทแอนโรโซยานินที่กักเก็บได้ (Encapsulation efficiency, %EE)



รูปที่ 4.1 : ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลทแอนโรโซยานินและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง

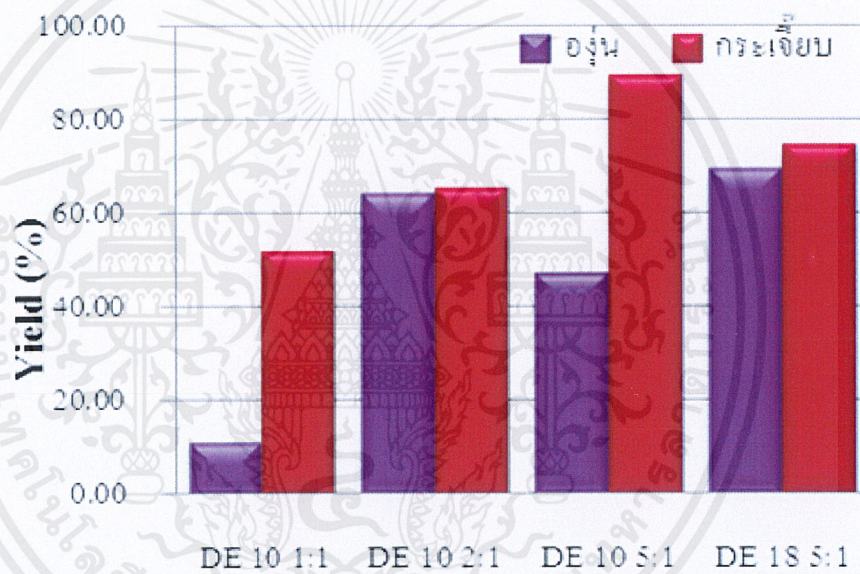
- ผลของปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินต่อประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลทชัน

เมื่อใช้ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลทแอนโรโซยานินที่ได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากมอลโตเด็คซ์ตรินมีคุณสมบัติเป็น Film forming ซึ่งสามารถปกป้องสารแกนกลางได้ในระหว่างการทำแห้ง (Madene et al., 2006) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 แต่สำหรับสารสกัดจากเปลือกองุ่นพบว่า การเพิ่มปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินกลับทำให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บมีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะระยะเวลาในการเก็บผลิตภัณฑ์ผงที่นาน จึงมีผลให้มีความเสื่อมสภาพของสารแอนโรโซยานินมาก

- ผลของชนิดมอลโตเด็กซ์ทรินต่อประสิทธิภาพของการเอนแคปซูลหุ้มชั้น

จากรูปที่ 4.1 พบว่าความแตกต่างของการใช้สารเคลือบมอลโตเด็กซ์ทริน DE 10 และ DE 18 ที่แตกต่างกันไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการเอนแคปซูลหุ้มแอนโไซยานิน อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าค่า Dextrose Equivalent เป็นการวัดระดับของการย่อยสลายพอลิเมอร์ของสตาร์ชซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการทำให้เกิดเมทริกซ์และมีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดการเคลือบผิว (Madene et al., 2006) ซึ่งพบว่าเมื่อค่า DE เพิ่มขึ้นสามารถเคลือบกักเก็บแอนโไซยานินได้มากขึ้น

4.4.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield)



รูปที่ 4.2 : ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้และความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง

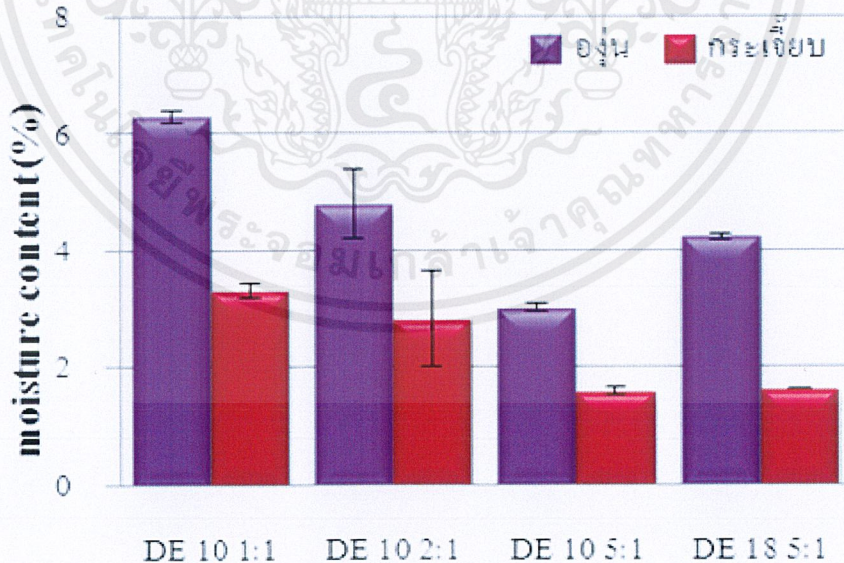
- ผลของปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินจะทำให้ได้ yield ของแอนโไซยานินผงมากขึ้นเนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารช่วยทำแห้งและเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Tg ของแอนโไซยานินเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยลดการเหนียวติดภายในห้องอบแห้งในระหว่างการทำแห้งจึงส่งผลให้ได้ปริมาณผงมาก (Bhandari et al., 2007)

- ผลของชนิดมอลโตเด็กซ์ทรินต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่า เมื่อ DE ของมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่ม yield จะลดลง เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทริน DE สูงจะมี Tg ต่ำ ซึ่งส่งผลให้เกิดการเหนียวติดของผงภายในห้องอบแห้งในระหว่างการทำแห้งและส่งผลให้ได้ปริมาณผงแอนไฮไดรอนโซไซยานินออกมาน้อย (Bhandari & Howes, 1999) ในทางตรงกันข้ามเมื่อใช้มอลโตเด็กซ์ทริน DE 18 ในการทำแห้งแอนไฮไดรอนโซไซยานิน จากเปลือกถั่วเหลืองจะได้ yield มากกว่าการใช้มอลโตเด็กซ์ทริน DE 10 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าในระหว่างการทำแห้งอาจมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น เช่น ปริมาณลมของหัวฉีด atomizer มีความดันมากจึงทำให้ขนาดอนุภาคผงมีขนาดเล็กและสูญเสียไปกับลมร้อนขาออก เป็นต้น จะพบว่า % Yield ของแอนไฮไดรอนโซไซยานินผงจากกระเจียบแห้งมีค่ามากกว่าแอนไฮไดรอนโซไซยานินผงจากเปลือกถั่วเหลืองเนื่องจากสารสกัดแอนไฮไดรอนโซไซยานินจากกระเจียบแห้งมีค่า pH มากกว่า (ค่า Tg สูง) ดังนั้นเมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งจึงทำให้เหนียวติดห้องอบแห้งได้น้อยกว่า

4.4.3 ความชื้นของแอนไฮไดรอนโซไซยานินผง (Moisture content, %)



รูปที่ 4.3 : ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของแอนไฮไดรอนโซไซยานินผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง

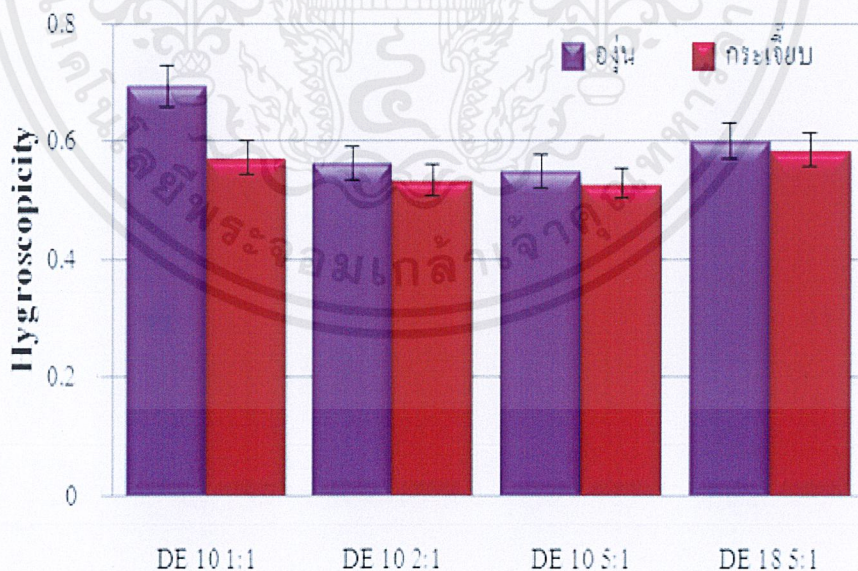
- ผลของปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อความชื้นของแอนไฮไดรอนผง

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินจะทำให้ความชื้นของแอนไฮไดรอนผงลดลง ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งในสารสกัดก่อนทำแห้งซึ่งเป็นการลดปริมาณน้ำที่ต้องระเหย (Siew et al., 2007) ผลึกภัณฑ์ผงจากเปลือกองุ่นมีค่าความชื้นมากกว่าผลึกภัณฑ์ผงจากกระเจียบ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารสกัดจากเปลือกองุ่นมีค่า pH ต่ำกว่าสารสกัดจากกระเจียบแห้งจึงส่งผลให้สามารถดูดความชื้นกลับได้มากกว่า เนื่องจากมีค่า T_g ต่ำ

- ผลของชนิดมอลโตเด็กซ์ทรินต่อความชื้นของแอนไฮไดรอนผง

จากรูปที่ 4.3 พบว่ามอลโตเด็กซ์ทริน DE 18 จะทำให้แอนไฮไดรอนผงมีความชื้นมากกว่ามอลโตเด็กซ์ทริน DE 10 ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทริน DE สูงจะมีค่า T_g ต่ำส่งผลให้ดูดความชื้นกลับได้ดี (Jaya & Das, 2007)

4.4.4 คุณสมบัติในการดูดซับความชื้นของแอนไฮไดรอนผง (Hygroscopicity)



รูปที่ 4.4 : ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดความชื้นกลับของแอนไฮไดรอนผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง

- ผลของปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นของแอนโรโซยานิน

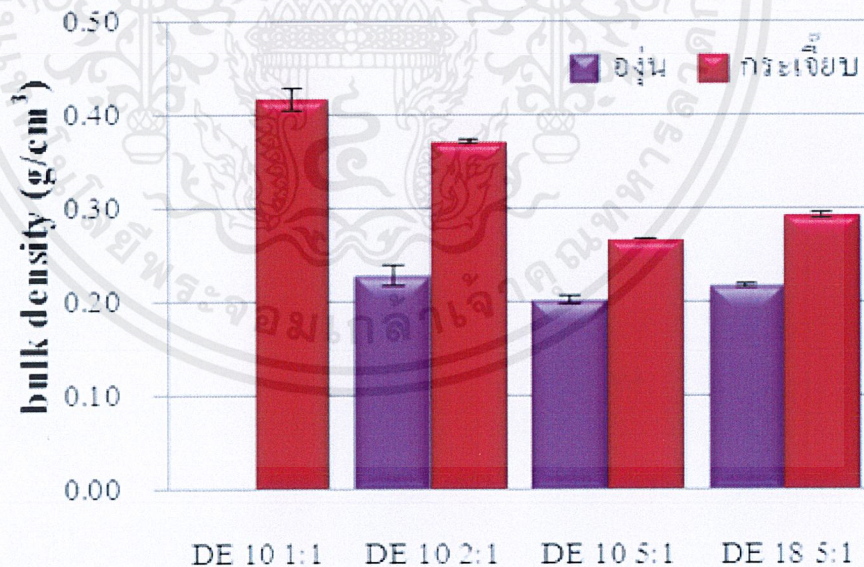
ผง

จากกราฟที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินจะทำให้ความสามารถในการดูดซับความชื้นของแอนโรโซยานินลดลง ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า T_g ของแอนโรโซยานินผงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งวัสดุที่มี T_g สูง จะสามารถดูดซับความชื้นได้น้อย (Jaya and Das, 2009) และพบว่าแอนโรโซยานินผงจากเปลือกงุ่นดูดความชื้นกลับได้มากกว่าแอนโรโซยานินผงจากกระเจียบเนื่องจาก มีค่า T_g ต่ำกว่า

- ผลของชนิดมอลโตเด็กซ์ทรินต่อคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นของแอนโรโซยานินผง

จากกราฟที่ 4.4 พบว่าความสามารถในการดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อ DE เพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินที่ DE สูง จะมี T_g ต่ำ (Bhandari & Howes, 1998) ซึ่งสามารถดูดซับความชื้นได้มาก

4.4.5 ความหนาแน่นของแอนโรโซยานินผง (Bulk density)



รูปที่ 4.5 : ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของแอนโรโซยานินผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง

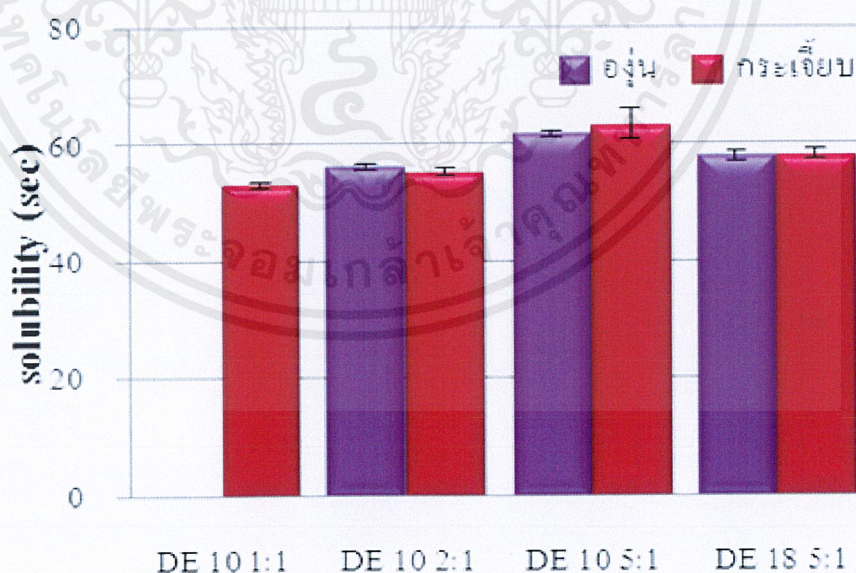
- ผลของปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อความหนาแน่นของแอนโธไซยานินผง

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มจะทำให้ความหนาแน่นของแอนโธไซยานินผงลดลง ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินจัดเป็นวัสดุประเภท skin-forming (Kwapinska & Zbicinski, 2005) ซึ่งอนุภาคของวัสดุที่เป็น skin-forming ที่ถูกทำแห้งโดยการพ่นฝอยจะมีฟองอากาศ จึงส่งผลให้ความหนาแน่นของแอนโธไซยานินผงลดลง (Athanasia et al., 2008) และพบว่ากระเจียบผงมีค่าความหนาแน่นมากกว่าผงจากเปลือกองุ่น เนื่องจากแอนโธไซยานินผงจากเปลือกองุ่นมีลักษณะการจับตัวเป็นก้อน จึงทำให้มีความหนาแน่นต่ำกว่า

- ผลของชนิดมอลโตเด็กซ์ทรินต่อความหนาแน่นของแอนโธไซยานินผง

จากรูปที่ 4.5 พบว่ามอลโตเด็กซ์ทริน DE 18 จะทำให้ความหนาแน่นของแอนโธไซยานินผงมากกว่าใช้มอลโตเด็กซ์ทริน DE 10 ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินที่ DE สูงจะมี Tg ต่ำ ซึ่งทำให้ผงหลังทำแห้งมีความเหนียวจึงช่วยลดช่องว่างระหว่างอนุภาค

4.4.6 ความสามารถในการละลายของแอนโธไซยานินผง (Solubility)



รูปที่ 4.6 : ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการละลายของแอนโธไซยานินผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง

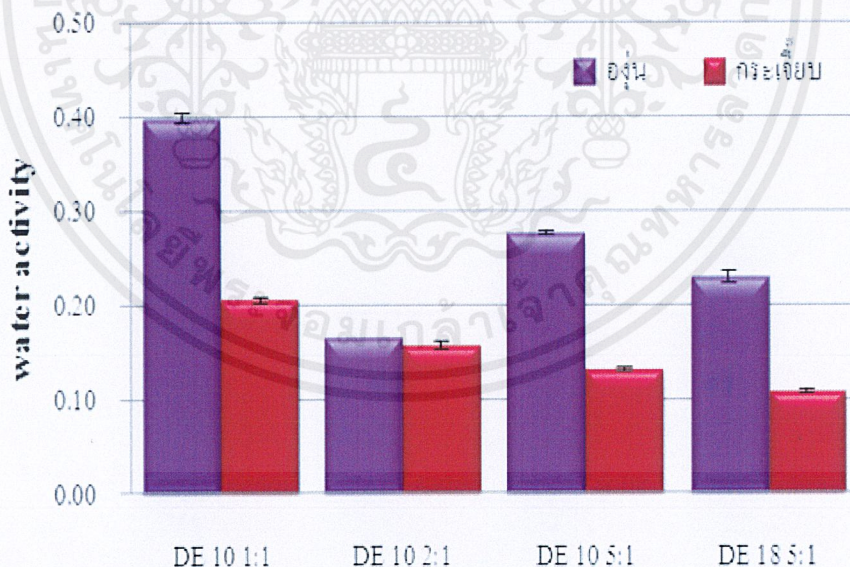
- ผลของปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อความสามารถในการละลายของแอนโรโซยานินผง

จากรูปที่ 4.6 พบว่าความสามารถในการละลายของแอนโรโซยานินผงลดลงเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากของแข็งในสารสกัดแอนโรโซยานินละลายน้ำได้ดีกว่ามอลโตเด็กซ์ทริน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนของของแข็งในสารสกัดแอนโรโซยานินสูงละลายได้ดีกว่า และพบว่าความสามารถในการละลายของผงจากเปลือกองุ่นและผงจากกระเจียบแห้งไม่มีความแตกต่างกัน

- ผลของชนิดมอลโตเด็กซ์ทรินต่อความสามารถในการละลายของแอนโรโซยานินผง

จากรูปที่ 4.6 พบว่าความสามารถในการละลายของแอนโรโซยานินผงจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม DE ของมอลโตเด็กซ์ทริน ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทริน DE สูงจะมีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นได้ดีจึงส่งผลให้ละลายน้ำได้เร็ว

4.4.7 ปริมาณน้ำอิสระของแอนโรโซยานินผง (water activity, a_w)



รูปที่ 4.7 : ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณน้ำอิสระของแอนโรโซยานินผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง

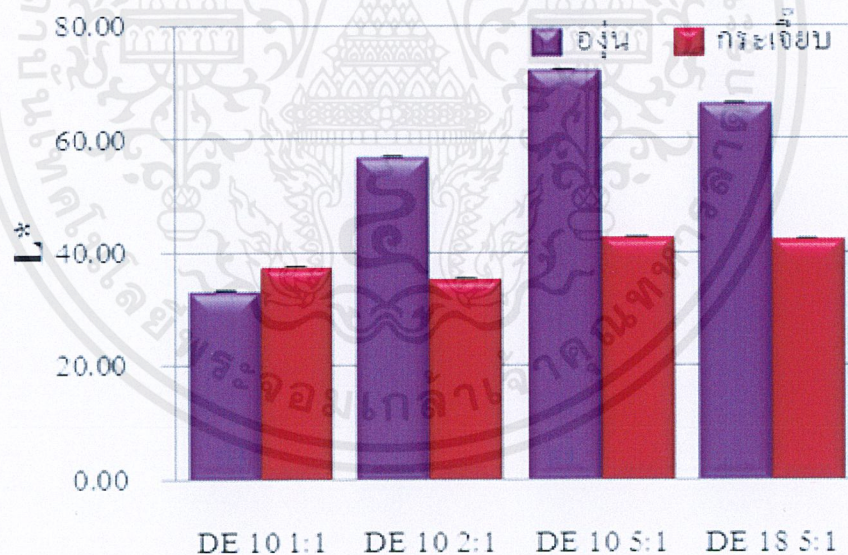
- ผลของปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อปริมาณน้ำอิสระของแอนโธไซยานินผง

จากกราฟที่ 4.7 พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นจะทำให้ a_w ของแอนโธไซยานินผงลดลง ($p \leq 0.05$) เนื่องจากจะทำให้ความสามารถในการดูดซับความชื้นของผงแอนโธไซยานินลดลง

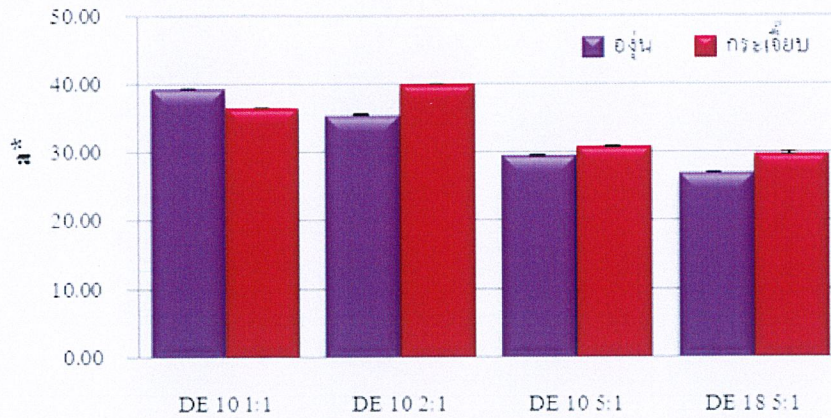
- ผลของชนิดมอลโตเด็กซ์ทรินต่อปริมาณน้ำอิสระของแอนโธไซยานินผง

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อใช้มอลโตเด็กซ์ทริน DE 18 จะทำให้ a_w ของแอนโธไซยานินผงต่ำกว่าใช้มอลโตเด็กซ์ทริน DE 10 ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินที่ DE สูงจะมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า และโมเลกุลสายสั้นกว่ามอลโตเด็กซ์ทริน DE ต่ำ (Seda & Yurdagel, 2005) จึงส่งผลให้มีปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า และพบว่าค่า a_w ของแอนโธไซยานินผงจากอู๋นมีค่ามากกว่า a_w ของแอนโธไซยานินผงจากกระเจียบ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากแอนโธไซยานินผงจากอู๋นสามารถดูดความชื้นได้มากกว่า

4.4.8 สีของผลิตภัณฑ์ผง



รูปที่ 4.8 : ความสัมพันธ์ระหว่างค่า L^* ของแอนโธไซยานินผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง



รูปที่ 4.9 : ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a^* ของแอนโรโซยานินผงและความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง

- ผลของปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อสีของแอนโรโซยานินผง

จากกราฟที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน ความเป็นสีแดงจะลดลง (a^* ลดลง) ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินมีสีขาวยิ่งทำให้สีของแอนโรโซยานินผงมีความสว่างมากขึ้นแต่ทำให้สูญเสียความเป็นสีแดง (Tuyen et al., 2010) และพบว่าสีที่ปรากฏของแอนโรโซยานินผงที่ปัจจัย DE 10 (1:1) คือสีม่วงแดง, DE 10 (2:1) คือสีชมพูเข้ม และ DE 10 (5:1) คือสีชมพูอ่อน

- ผลของชนิดมอลโตเด็กซ์ทรินต่อสีของแอนโรโซยานินผง

จากกราฟที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าเมื่อ DE ของมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นจะทำให้ผงสูญเสียความเป็นสีแดงมากขึ้น ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินที่มี DE สูง จะมีมวลโมเลกุลต่ำและมีความไวต่ออุณหภูมิ ดังนั้นเมื่อเข้าสู่กระบวนการทำแห้งจึงอาจทำให้โครงสร้างของโมเลกุลผิดรูปไปจากเดิม (Ersus, S., & Yurdagel, U. 2007) ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บสีของสารแอนโรโซยานิน

จากกราฟที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าแอนโรโซยานินผงจากกระจับแห้งมีสีแดงเข้มกว่าแอนโรโซยานินผงจากอุ่น โดยค่า a^* มีค่ามากกว่า อย่างไรก็ตามในปัจจัย DE 10 1:1 จะทำให้แอนโรโซยานินผงจากอุ่นมีค่า a^* สูงกว่าแอนโรโซยานินผงจากกระจับแห้ง

4.5 ผลของ pH ในสารสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่น

ตารางที่ 4.4 : การเปรียบเทียบค่า pH ในสารสกัดแอนโทไซยานินจากเปลือกองุ่นที่ความแตกต่างของปัจจัยในการทดลอง

Source	Type of Maltodextrin	Maltodextrin : Extract	Encapsulation Eff. (%)	Yield (%)	Moisture content (%)	Hygroscopicity	Color	
							L*	a*
Grape	DE 10	1:1 (pH=2.20)	24.2619	32.40	5.2809 ^a ± 0.0663	0.6674 ^a ± 0.0091	35.5367 ^a ± 0.0152	37.6767 ^a ± 0.0152
		1:1 (pH= 0.98)	9.1528	11.24	6.2854 ^b ± 0.1023	0.6944 ^b ± 0.0016	33.2800 ^b ± 0.0000	39.3200 ^b ± 0.0264

เนื่องจากการทำแห้งโดยใช้อัตราส่วนมอลโตเด็คซ์ตริน DE 10 (1:1) ส่งผลให้ได้ yield ออกมาน้อย ดังนั้นจึงได้ศึกษาผลของค่า pH ในสารสกัดจากเปลือกองุ่นต่อการทำแห้งและพบว่า เมื่อ pH เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ yield เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากเมื่อ pH เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Tg ของแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นทำให้ผงเหนียวติดในหีบอบแห้งน้อยลงและยังพบว่า ความสามารถในการดูดซับความชื้นและปริมาณสีแดงของแอนโทไซยานินลดลง

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเอนแคปซูเลชันสารแอนโรโซยานิน คือ ปริมาณและชนิดมอลโตเด็คซ์ตริน และ pH ของสารสกัดโรโซยานิน โดยเมื่อปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความชื้น ความหนาแน่น ความสามารถในการดูดความชื้นกลับ ความสามารถในการละลายและปริมาณน้ำอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลทและปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีค่ามากขึ้นส่วนสีของแอนโรโซยานินผงมีสีแดงลดลงแต่ความสว่างของสีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาผลของ DE value พบว่าเมื่อ DE ของมอลโตเด็คซ์ตรินเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความชื้น ความหนาแน่น ความสามารถในการละลาย และความสามารถในการดูดความชื้นกลับเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้และปริมาณน้ำอิสระมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนสีของแอนโรโซยานินผงมีสีแดงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าค่า DE value ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลทชัน

ผลการศึกษา pH ในสารสกัดแอนโรโซยานินจากเปลือกองุ่นพบว่า เมื่อ pH เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้นแต่ความสามารถในการดูดความชื้นกลับและปริมาณสีแดงของผงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอนโรโซยานินผงจากเปลือกองุ่นและกระเจี๊ยบพบว่า แอนโรโซยานินผงจากกระเจี๊ยบมีค่าความชื้น ความสามารถในการดูดความชื้นกลับ และปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่าแอนโรโซยานินผงจากเปลือกองุ่น แต่ความหนาแน่นรวม ปริมาณสีแดงและปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มีค่ามากกว่า ส่วนความสามารถในการละลายไม่เห็นถึงความแตกต่าง

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่ามอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารช่วยทำแห้งที่สามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตและให้คุณสมบัติของผงที่ดีซึ่งเหมาะสำหรับใช้เป็นสารช่วยทำแห้งในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย แต่อย่างไรก็ตามการเติมมอลโตเด็คซ์ตรินในปริมาณมากเกินไปก็อาจทำให้สูญเสียคุณสมบัติของแอนโรโซยานินได้เช่น สูญเสียสีแดง และทำให้ผงมีสีซีดจาง

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 เนื่องจากสารสกัดแอนโธไซยานินที่ใช้ในการทำแห้งมีปริมาณจำกัดจึงส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงออกมาน้อยซึ่งทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติของผงบางตัวได้เช่น ความหนาแน่นรวม ความสามารถในการละลาย

5.2.2 เนื่องจากผงของแอนโธไซยานินเหนียวติด chamber เป็นปริมาณมาก ดังนั้นผู้ทดลองจึงต้องปรับปริมาณลมเพื่อทำให้ผงบางส่วนที่แห้งติดกับ chamber หลุดออกมา

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการทดลองจะเห็นว่าประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลชันมีค่าต่ำมากซึ่งแสดงให้เห็นถึงแอนโธไซยานินที่อยู่ในผงแห้งมีปริมาณน้อย อาจจะมีสาเหตุจากการใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงและเก็บสารไว้นาน ซึ่งอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่ออัตราการสลายตัวของสารแอนโธไซยานินดังนั้นจึงควรเก็บแอนโธไซยานินผงไว้ในภาชนะปิดมิดชิดและสามารถป้องกันความชื้น แสงแดดได้ และเก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิต่ำ

5.3.2 สารสกัดที่ใช้ทั้งสองชนิดควรสกัดมาจากเศษเหลือทิ้งของกระบวนการผลิต เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองได้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น และจากการทดลองพบว่าในการสกัดแอนโธไซยานินจากกระเจี๊ยบนั้นยังคงมีกาก (waste) ในปริมาณมากซึ่งสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. แอนโคโนไซยานินผง

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความชื้น (Moisture content)

No	ค่าระดับปัจจัย	น.น.ก่อนอบ (g)	น.น.หลังอบ (g)	% ความชื้น	S.D.	% ความชื้นเฉลี่ย
1	อูุ่่น DE 18 5:1	2.5453	2.4365	4.2745	0.0451	4.2263
	อูุ่่น DE 18 5:1	2.5168	2.4106	4.2196		
	อูุ่่น DE 18 5:1	2.5520	2.4452	4.1849		
2	อูุ่่น DE 10 5:1	2.5056	2.4281	3.0930	0.0688	3.0165
	อูุ่่น DE 10 5:1	2.5255	2.4498	2.9974		
	อูุ่่น DE 10 5:1	2.5242	2.4495	2.9593		
3	อูุ่่น DE 10 2:1	2.3218	2.2108	4.7807	0.5947	4.8070
	อูุ่่น DE 10 2:1	2.1886	2.0701	5.4144		
	อูุ่่น DE 10 2:1	2.6906	2.5769	4.2258		
4	อูุ่่น DE 10 1:1 pH 2.20	2.5901	2.4521	5.3279	0.0663	5.2809
	อูุ่่น DE 10 1:1 pH 2.20	2.3175	2.1962	5.2340		
5	อูุ่่น DE 10 1:1 pH 0.98	2.3225	2.1782	6.2131	0.1023	6.2854
	อูุ่่น DE 10 1:1 pH 0.98	2.1564	2.0193	6.3578		
6	กระเจียบ DE 18 5:1	2.2729	2.2361	1.6190	0.0070	1.6248
	กระเจียบ DE 18 5:1	2.2845	2.2472	1.6327		
	กระเจียบ DE 18 5:1	2.2615	2.2248	1.6228		
7	กระเจียบ DE 10 5:1	2.3003	2.2623	1.6519	0.0735	1.5869
	กระเจียบ DE 10 5:1	2.2826	2.2482	1.5070		
	กระเจียบ DE 10 5:1	2.3223	2.2851	1.6018		
8	กระเจียบ DE 10 2:1	2.4226	2.3694	2.1959	0.8326	2.8304
	กระเจียบ DE 10 2:1	2.3313	2.2725	2.5221		
	กระเจียบ DE 10 2:1	2.3640	2.2748	3.7732		
9	กระเจียบ DE 10 1:1	2.6502	2.5627	3.3016	0.1269	3.3187
	กระเจียบ DE 10 1:1	2.5865	2.5037	3.2012		
	กระเจียบ DE 10 1:1	2.6524	2.5608	3.4534		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Bulk density)

No	ค่าระดับปัจจัย	ปริมาตร ภาชนะ (cm ³)	นน. ภาชนะ (g)	นน.ภาชนะ+ผง แอนโรไซยานิน (g)	นน.ผงแอนโร ไซยานิน(g)	bd (g/cm ³)	S.D.	bd เฉลี่ย (g/cm ³)
1	อู่่น DE 18 5:1	58.87	12.73	25.69	12.96	0.2201	0.0020	0.2183
	อู่่น DE 18 5:1	58.87	12.73	25.45	12.72	0.2161		
	อู่่น DE 18 5:1	58.87	12.73	25.60	12.87	0.2186		
2	อู่่น DE 10 5:1	58.87	12.73	24.85	12.12	0.2059	0.0045	0.2024
	อู่่น DE 10 5:1	58.87	12.73	24.74	12.01	0.2040		
	อู่่น DE 10 5:1	58.87	12.73	24.34	11.61	0.1972		
3	อู่่น DE 10 2:1	58.87	12.73	26.83	14.10	0.2395	0.0108	0.2289
	อู่่น DE 10 2:1	58.87	12.73	25.55	12.82	0.2178		
	อู่่น DE 10 2:1	58.87	12.73	26.23	13.50	0.2293		
4	กระเจียบ DE 18 5:1	58.87	12.73	29.86	17.13	0.2910	0.0030	0.2931
	กระเจียบ DE 18 5:1	58.87	12.73	29.91	17.18	0.2918		
	กระเจียบ DE 18 5:1	58.87	12.73	30.19	17.46	0.2966		
5	กระเจียบ DE 10 5:1	58.87	12.73	28.49	15.76	0.2677	0.0006	0.2670
	กระเจียบ DE 10 5:1	58.87	12.73	28.41	15.68	0.2663		
	กระเจียบ DE 10 5:1	58.87	12.73	28.44	15.71	0.2669		
6	กระเจียบ DE 10 2:1	58.87	12.73	34.66	21.93	0.3725	0.0030	0.3719
	กระเจียบ DE 10 2:1	58.87	12.73	34.78	22.05	0.3746		
	กระเจียบ DE 10 2:1	58.87	12.73	34.43	21.70	0.3686		
7	กระเจียบ DE 10 1:1	58.87	12.73	27.08	25.20	0.4281	0.0111	0.4164
	กระเจียบ DE 10 1:1	58.87	12.73	26.68	23.89	0.4058		
	กระเจียบ DE 10 1:1	58.87	12.73	27.47	24.45	0.4153		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตที่ได้ (%Yield)

No	ค่าระดับปัจจัย	TSS ของ สารละลายก่อน ทำแห้ง (%)	น้ำหนักของ สารละลายก่อนทำ แห้ง (g)	ปริมาณผง แห้งที่ได้ (g)	% Yield
1	อุณหภูมิ DE 18 5:1	20	1251.00	173.90	69.50
2	อุณหภูมิ DE 10 5:1	20	1260.00	119.47	47.40
3	อุณหภูมิ DE 10 2:1	42	420.53	113.64	64.34
4	อุณหภูมิ DE 10 1:1 pH 2.20	42	125.00	17.10	32.40
5	อุณหภูมิ DE 10 1:1 pH 0.98	42	248.27	11.72	11.24
6	กระเจียบ DE 18 5:1	38	1214.28	346.00	74.98
7	กระเจียบ DE 10 5:1	38	1213.50	412.25	89.40
8	กระเจียบ DE 10 2:1	38	582.85	145.73	65.79
9	กระเจียบ DE 10 1:1	38	708.00	140.16	52.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)

No.	ค่าระดับปัจจัย	นน.ฟอยด์ (g)	นน.ก่อนแช่ (g)	นน.หลังแช่ (g)	% ความชื้น	hg	S.D.	hg เฉลี่ย
1	อ่งุ่น DE 18 5:1	0.1026	1.0052	1.3518	4.2263	0.5915	0.0102	0.6015
	อ่งุ่น DE 18 5:1	0.0968	0.9836	1.5920		0.612		
	อ่งุ่น DE 18 5:1	0.1026	0.9677	1.6287		0.601		
2	อ่งุ่น DE 10 5:1	0.1053	1.0079	1.1616	3.0165	0.5486	0.0007	0.5494
	อ่งุ่น DE 10 5:1	0.1022	0.9998	1.1554		0.5500		
	อ่งุ่น DE 10 5:1	0.0975	0.9729	1.123		0.5498		
3	อ่งุ่น DE 10 2:1	0.1007	1.0083	1.1902	4.8069	0.5634	0.00005	0.5634
	อ่งุ่น DE 10 2:1	0.1044	0.9938	1.1738		0.5635		
	อ่งุ่น DE 10 2:1	0.1023	0.9993	1.1797		0.5634		
4	อ่งุ่น DE 10 1:1 pH 2.20	0.1009	0.7627	1.3321	5.2809	0.6739	0.0092	0.6674
	อ่งุ่น DE 10 1:1 pH 2.20	0.1037	0.7891	1.3448		0.6609		
5	อ่งุ่น DE 10 1:1 pH 0.98	0.1025	0.9643	1.3986	6.2854	0.6933	0.0016	0.6944
	อ่งุ่น DE 10 1:1 pH 0.98	0.1011	0.9467	1.3852		0.6956		
6	กระเจียบ DE 18 5:1	0.0985	0.9089	1.3257	1.6248	0.5865	0.0003	0.5862
	กระเจียบ DE 18 5:1	0.0992	0.9226	1.358		0.5860		
	กระเจียบ DE 18 5:1	0.1005	0.9108	1.3119		0.5861		
6	กระเจียบ DE 10 5:1	0.1045	0.9141	1.1427	1.5869	0.5296	0.0008	0.5288
	กระเจียบ DE 10 5:1	0.1059	0.9084	1.1412		0.5290		
	กระเจียบ DE 10 5:1	0.1044	0.9032	1.1385		0.5280		
7	กระเจียบ DE 10 2:1	0.1037	0.9046	1.1653	2.8304	0.5341	0.0089	0.5332
	กระเจียบ DE 10 2:1	0.1054	0.8975	1.1563		0.5325		
	กระเจียบ DE 10 2:1	0.0974	0.9080	1.0967		0.5332		
8	กระเจียบ DE 10 1:1	0.1033	0.8959	1.1877	3.3181	0.5733	0.0003	0.5715
	กระเจียบ DE 10 1:1	0.1079	0.9186	1.2151		0.5698		
	กระเจียบ DE 10 1:1	0.1025	0.9075	1.2004		0.5715		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w)

ค่าระดับปัจจัย	a_w
ongun DE 18 5:1	0.229 , 0.219
ongun DE 10 5:1	0.277 , 0.280
ongun DE 10 1:1 pH 2.20	0.337 , 0.331
ongun DE 10 1:1 pH 0.98	0.398 , 0.391
ongun DE 10 2:1	0.166 , 0.162
krachieb DE 18 5:1	0.107 , 0.110
krachieb DE 10 5:1	0.131 , 0.135
krachieb DE 10 1:1	0.205 , 0.201
krachieb DE 10 2:1	0.157 , 0.152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลชันสารแอนโทไซยานิน

No.	ค่าระดับปัจจัย	Total monomeric anthocyanins (as cyanindin 3 -glucoside) mg of anthocyanins/100 กรัม	Total monomeric anthocyanins (as cyanindin 3 -glucoside) mg of anthocyanins/ผงแห้ง 1 กรัม	Encapsulation efficiency (%EE)
1	อุน่ DE 18 5:1	72.78	0.003	1.0387
2	อุน่ DE 10 5:1	72.78	0.003	1.0387
3	อุน่ DE 10 2:1	72.78	0.0548	9.4875
4	อุน่ DE 10 1:1 pH 2.20	97.76	0.3953	24.2619
5	อุน่ DE 10 1:1 pH 0.98	72.78	0.0793	9.1528
6	กระเจียบ DE 18 5:1	84.73	0.2299	29.304
7	กระเจียบ DE 10 5:1	84.73	0.2313	29.5589
8	กระเจียบ DE 10 2:1	84.73	0.2855	18.1955
9	กระเจียบ DE 10 1:1	84.73	0.2812	11.9476

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าสี

No	ค่าระดับปัจจัย	L*	a*	b*
1	ongun DE 18 5:1	66.55	27.1	-0.94
	ongun DE 18 5:1	66.55	27.1	-0.93
	ongun DE 18 5:1	66.54	27.1	-0.94
	เฉลี่ย	66.5466	27.1	-0.9366
2	ongun DE 10 5:1	72.29	29.59	-0.94
	ongun DE 10 5:1	72.33	29.48	-0.95
	ongun DE 10 5:1	72.31	29.5	-0.95
	เฉลี่ย	72.31	29.5233	-0.9466
3	ongun DE 10 2:1	56.93	35.58	2.31
	ongun DE 10 2:1	56.95	35.56	2.35
	ongun DE 10 2:1	56.93	35.58	2.35
	เฉลี่ย	56.9366	35.5733	2.3366
4	ongun DE 10 1:1 pH 2.20	35.55	37.69	2.54
	ongun DE 10 1:1 pH 2.20	35.52	37.66	2.55
	ongun DE 10 1:1 pH 2.20	35.54	37.68	2.55
	เฉลี่ย	35.5366	37.6766	2.5466
5	ongun DE 10 1:1 pH 0.98	33.28	39.33	3.4
	ongun DE 10 1:1 pH 0.98	33.28	39.29	3.36
	ongun DE 10 1:1 pH 0.98	33.28	39.34	3.36
	เฉลี่ย	33.28	39.32	3.3733
6	กระเจียบ DE 18 5:1	42.34	29.94	-0.34
	กระเจียบ DE 18 5:1	42.38	29.91	-0.23
	กระเจียบ DE 18 5:1	42.35	29.61	-0.28
	เฉลี่ย	42.3566	29.82	-0.2833
7	กระเจียบ DE 10 5:1	42.65	30.8	0.01
	กระเจียบ DE 10 5:1	42.64	30.87	0.04
	กระเจียบ DE 10 5:1	42.61	30.84	0.06
	เฉลี่ย	42.6333	30.8366	0.0366

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	กระเจียบ DE 10 2:1	35.56	33.95	1.9
	กระเจียบ DE 10 2:1	35.54	33.95	1.91
	กระเจียบ DE 10 2:1	35.54	34	1.83
	เฉลี่ย	35.5466	33.9666	1.88
9	กระเจียบ DE 10 1:1	37.64	36.55	5.2
	กระเจียบ DE 10 1:1	37.65	36.57	5.2
	กระเจียบ DE 10 1:1	37.68	36.55	5.33
	เฉลี่ย	37.6566	36.55	5.2433

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย (Solubility)

ค่าระดับปัจจัย	เวลา (วินาที)		เฉลี่ย
อุณหภูมิ DE 18 (5:1)	57.7	58.2	57.95
อุณหภูมิ DE 10 (5:1)	62.2	61.3	61.75
อุณหภูมิ DE 10 (2:1)	55.9	56.6	56.25
กระเจียบ DE 18 (5:1)	57.7	58.8	58.25
กระเจียบ DE 10 (5:1)	61.7	65.2	63.45
กระเจียบ DE 10 (2:1)	55.9	54.8	55.35
กระเจียบ DE 10 (1:1)	52.8	53.5	53.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ANOVA Table

แอนโรไซยานินจากองุ่น

ความชื้น (Moisture content)

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval		Minimum	Maximum
					for Mean			
					Lower Bound	Upper Bound		
DE 10 (1:1) pH 2.20	2	5.2809	0.0664	0.0470	4.6844	5.8775	5.2340	5.3279
DE 10 (1:1)	2	6.2854	0.1023	0.0724	5.3662	7.2047	6.2131	6.3578
DE 10 (2:1)	3	4.8069	0.5947	0.3434	3.3296	6.2844	4.2258	5.4144
DE 10 (5:1)	3	3.0165	0.0689	0.0398	2.8455	3.1877	2.9593	3.0930
DE 18 (5:1)	3	4.2263	0.0452	0.0261	4.1141	4.3386	4.1849	4.2745
Total	1 3	4.5602	1.1326	0.3141	3.8758	5.2446	2.9593	6.3578

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14.6570	4.0000	3.6640	39.8370	0.0000
Within Groups	0.7360	8.0000	0.0920		
Total	15.3930	12.0000			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่น (Bulk density)

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
DE 10 (2:1)	3	0.2289	0.0109	0.0063	0.2018	0.2559	0.2178	0.2395
DE 10 (5:1)	3	0.2024	0.0046	0.0026	0.1910	0.2137	0.1972	0.2059
DE 18 (5:1)	3	0.2183	0.0021	0.0012	0.2132	0.2234	0.2161	0.2201
Total	9	0.2165	0.0130	0.0043	0.2065	0.2265	0.1972	0.2395

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.0010	2.0000	0.0010	11.1680	0.0090
Within Groups	0.0000	6.0000	0.0000		
Total	0.0010	8.0000			

ความสามารถในการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					DE 10 (1:1) pH 2.20	2		
DE 10 (1:1) pH 0.98	2	0.6945	0.0016	0.0012	0.6798	0.7091	0.6933	0.6956
DE 10 (2:1)	3	0.5634	0.0001	0.0000	0.5633	0.5636	0.5634	0.5635
DE 10 (5:1)	3	0.5495	0.0008	0.0004	0.5476	0.5513	0.5486	0.5500
DE 18 (5:1)	3	0.6015	0.0103	0.0059	0.5760	0.6270	0.5915	0.6120
Total	13	0.6051	0.0567	0.0157	0.5709	0.6394	0.5486	0.6956

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.0380	4.0000	0.0100	256.1050	0.0000
Within Groups	0.0000	8.0000	0.0000		
Total	0.0390	12.0000			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการละลาย (Solubility)

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					DE 10 (2:1)	2		
DE 10 (5:1)	2	61.7500	0.6364	0.4500	56.0322	67.4678	61.3000	62.2000
DE 18 (5:1)	2	58.2500	0.7778	0.5500	51.2616	65.2384	57.7000	58.8000
Total	6	58.7500	2.5399	1.0369	56.0846	61.4154	55.9000	62.2000

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	31.0000	2.0000	15.5000	37.0520	0.0080
Within Groups	1.2550	3.0000	0.4180		
Total	32.2550	5.0000			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าปริมาณน้ำอิสระ(water activity)

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					DE 10 (1:1) pH 2.20	2		
DE 10 (1:1) pH 0.98	2	0.3945	0.0049	0.0035	0.3500	0.4390	0.3910	0.3980
DE 10 (5:1)	2	0.2785	0.0021	0.0015	0.2594	0.2976	0.2770	0.2800
DE 18 (5:1)	2	0.2240	0.0071	0.0050	0.1605	0.2875	0.2190	0.2290
Total	8	0.3078	0.0679	0.0240	0.2510	0.3645	0.2190	0.3980

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.0320	3.0000	0.0110	442.1790	0.0000
Within Groups	0.0000	4.0000	0.0000		
Total	0.0320	7.0000			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สี (color)

L*

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					DE 10 (1:1) pH 2.20	3		
DE 10 (1:1) pH 0.98	3	33.2800	0.0000	0.0000	33.2800	33.2800	33.2800	33.2800
DE 10 (2:1)	3	56.9367	0.0115	0.0067	56.9080	56.9654	56.9300	56.9500
DE 10 (5:1)	3	72.3100	0.0200	0.0115	72.2603	72.3597	72.2900	72.3300
DE 18 (5:1)	3	66.5467	0.0058	0.0033	66.5323	66.5610	66.5400	66.5500
Total	15	52.9220	16.4688	4.2522	43.8019	62.0421	33.2800	72.3300

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3797.1050	4.0000	949.2760	5932976.3130	0.0000
Within Groups	0.0020	10.0000	0.0000		
Total	3797.1060	14.0000			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a*

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					DE 10 (1:1) pH 2.20	3		
DE 10 (1:1) pH 0.98	3	39.3200	0.0265	0.0153	39.2543	39.3857	39.2900	39.3400
DE 10 (2:1)	3	35.5733	0.0115	0.0067	35.5446	35.6020	35.5600	35.5800
DE 10 (5:1)	3	29.5233	0.0586	0.0338	29.3778	29.6689	29.4800	29.5900
DE 18 (5:1)	3	27.1000	0.0000	0.0000	27.1000	27.1000	27.1000	27.1000
Total	15	33.8387	4.8950	1.2639	31.1279	36.5494	27.1000	39.3400

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	335.4480	4.0000	83.8620	93180.0480	0.0000
Within Groups	0.0090	10.0000	0.0010		
Total	335.4570	14.0000			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอนโรไซยานินจากกระเจียบ
 ความชื้น (Moisture content)

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
DE 10 (1:1)	3	3.3187	0.1270	0.0733	3.0033	3.6341	3.2012	3.4534
DE 10 (2:1)	3	2.8304	0.8326	0.4807	0.7621	4.8987	2.1959	3.7732
DE 10 (5:1)	3	1.5869	0.0736	0.0425	1.4041	1.7697	1.5070	1.6519
DE 18 (5:1)	3	1.6248	0.0071	0.0041	1.6073	1.6424	1.6190	1.6327
Total	12	2.3402	0.8666	0.2502	1.7896	2.8908	1.5070	3.7732

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.8310	3.0000	2.2770	12.7410	0.0020
Within Groups	1.4300	8.0000	0.1790		
Total	8.2610	11.0000			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่น (Bulk density)

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval		Minimum	Maximum
					for Mean			
					Lower Bound	Upper Bound		
DE 10 (1:1)	3	0.4164	0.0112	0.0064	0.3887	0.4441	0.4058	0.4281
DE 10 (2:1)	3	0.3719	0.0030	0.0017	0.3644	0.3794	0.3686	0.3746
DE 10 (5:1)	3	0.2670	0.0007	0.0004	0.2653	0.2687	0.2663	0.2677
DE 18 (5:1)	3	0.2931	0.0030	0.0017	0.2856	0.3006	0.2910	0.2966
Total	12	0.3371	0.0628	0.0181	0.2972	0.3770	0.2663	0.4281

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.0430	3.0000	0.0140	400.3080	0.0000
Within Groups	0.0000	8.0000	0.0000		
Total	0.0430	11.0000			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการดูดซับความชื้น (Hygroscopicity)

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					DE 10 (1:1)	3		
DE 10 (2:1)	3	0.5333	0.0008	0.0005	0.5313	0.5353	0.5325	0.5341
DE 10 (5:1)	3	0.5289	0.0008	0.0005	0.5269	0.5309	0.5280	0.5296
DE 18 (5:1)	3	0.5862	0.0003	0.0002	0.5855	0.5869	0.5860	0.5865
Total	12	0.5550	0.0256	0.0074	0.5387	0.5712	0.5280	0.5865

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.0070	3.0000	0.0020	2168.9170	0.0000
Within Groups	0.0000	8.0000	0.0000		
Total	0.0070	11.0000			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการละลาย (Solubility)

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					DE 10 (1:1)	2.0000		
DE 10 (2:1)	2.0000	55.3500	0.7778	0.5500	48.3616	62.3384	54.8000	55.9000
DE 10 (5:1)	2.0000	63.4500	2.4749	1.7500	41.2141	85.6859	61.7000	65.2000
DE 18 (5:1)	2.0000	58.2500	0.7778	0.5500	51.2616	65.2384	57.7000	58.8000
Total	8.0000	57.5500	4.2524	1.5034	53.9949	61.1051	52.8000	65.2000

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	119.0000	3.0000	39.6670	20.9320	0.0070
Within Groups	7.5800	4.0000	1.8950		
Total	126.5800	7.0000			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าปริมาณน้ำอิสระ(water activity)

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					DE 10 (1:1)	2		
DE 10 (2:1)	2	0.1545	0.0035	0.0025	0.1227	0.1863	0.1520	0.1570
DE 10 (5:1)	2	0.1330	0.0028	0.0020	0.1076	0.1584	0.1310	0.1350
DE 18 (5:1)	2	0.1085	0.0021	0.0015	0.0894	0.1276	0.1070	0.1100
Total	8	0.1498	0.0373	0.0132	0.1186	0.1809	0.1070	0.2050

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.0100	3.0000	0.0030	391.1310	0.0000
Within Groups	0.0000	4.0000	0.0000		
Total	0.0100	7.0000			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สี (color)

L*

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval		Minimum	Maximum
					for Mean			
					Lower Bound	Upper Bound		
DE 10 (1:1)	3	37.6567	0.0208	0.0120	37.6050	37.7084	37.6400	37.6800
DE 10 (2:1)	3	35.5467	0.0115	0.0067	35.5180	35.5754	35.5400	35.5600
DE 10 (5:1)	3	42.6333	0.0208	0.0120	42.5816	42.6850	42.6100	42.6500
DE 18 (5:1)	3	42.3567	0.0208	0.0120	42.3050	42.4084	42.3400	42.3800
Total	12	39.5483	3.1765	0.9170	37.5301	41.5666	35.5400	42.6500

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	110.9870	3.0000	36.9960	103243.8140	0.0000
Within Groups	0.0030	8.0000	0.0000		
Total	110.9900	11.0000			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a*

Descriptives

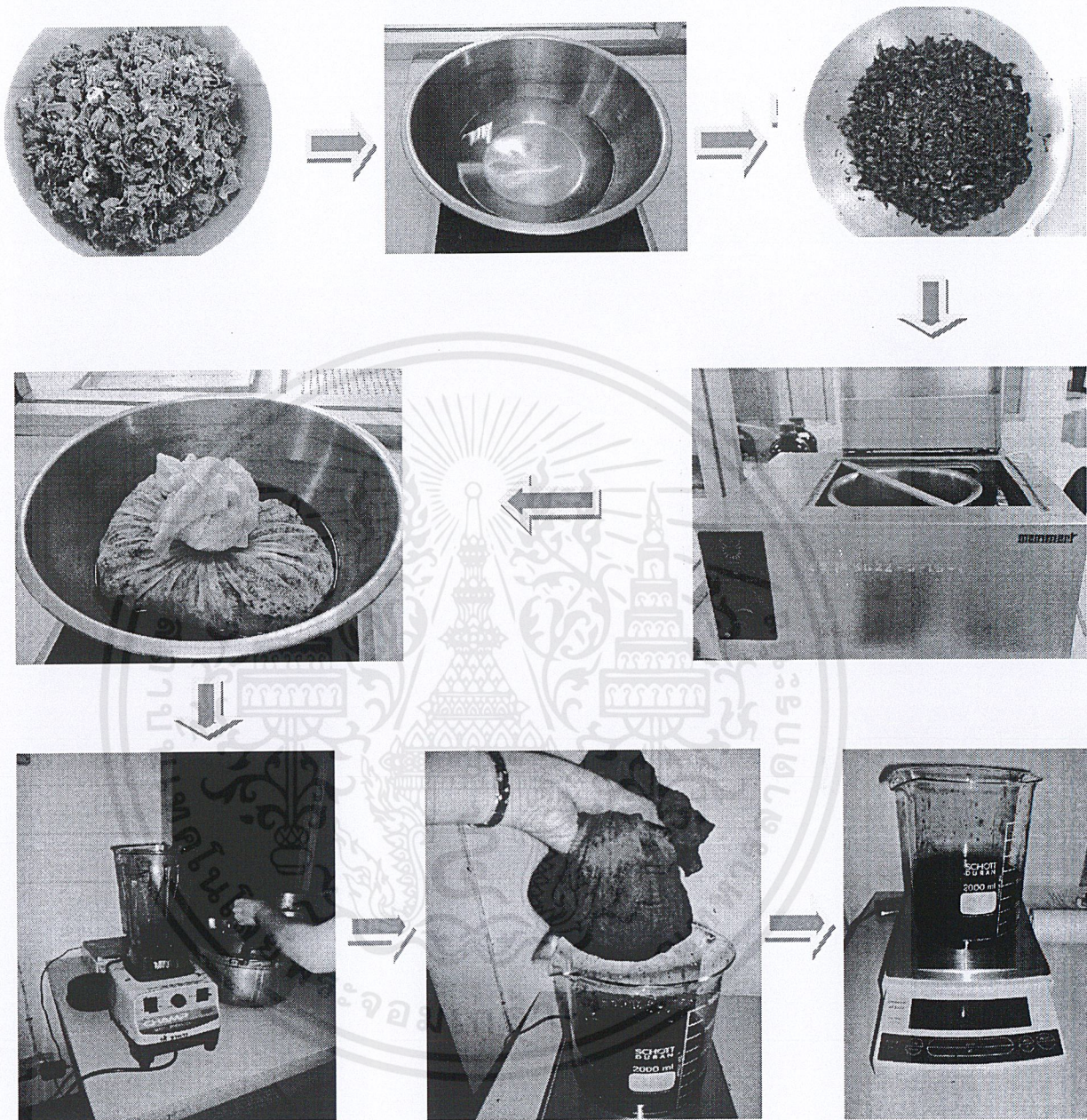
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					DE 10 (1:1)	3.0000		
DE 10 (2:1)	3.0000	33.9667	0.0289	0.0167	33.8950	34.0384	33.9500	34.0000
DE 10 (5:1)	3.0000	30.8367	0.0351	0.0203	30.7494	30.9239	30.8000	30.8700
DE 18 (5:1)	3.0000	29.8200	0.1825	0.1054	29.3667	30.2733	29.6100	29.9400
Total	12.0000	32.7950	2.7748	0.8010	31.0320	34.5580	29.6100	36.5700

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	84.6260	3.0000	28.2090	3178.4380	0.0000
Within Groups	0.0710	8.0000	0.0090		
Total	84.6970	11.0000			

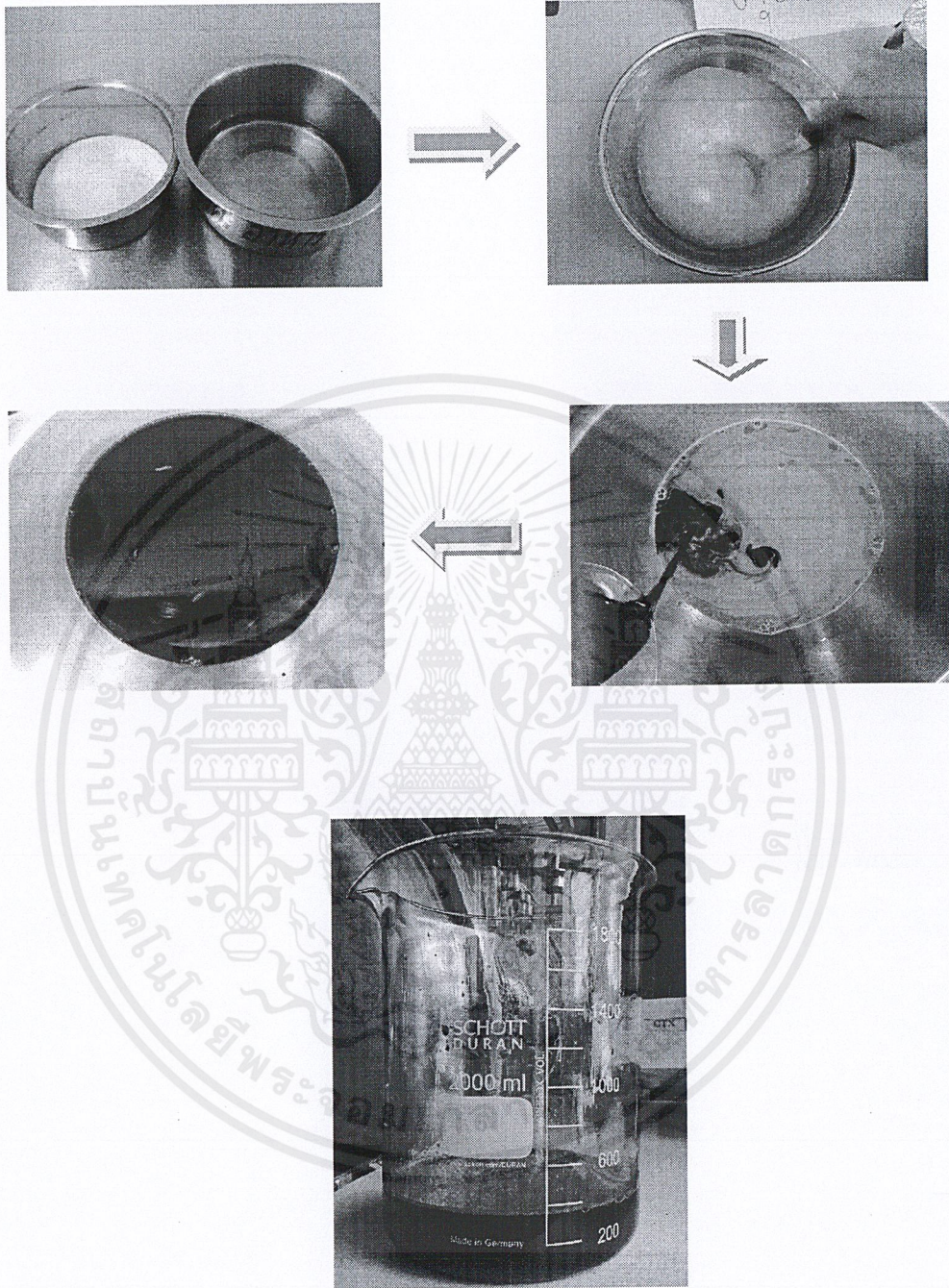
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. รูปภาพเกี่ยวกับโครงการ



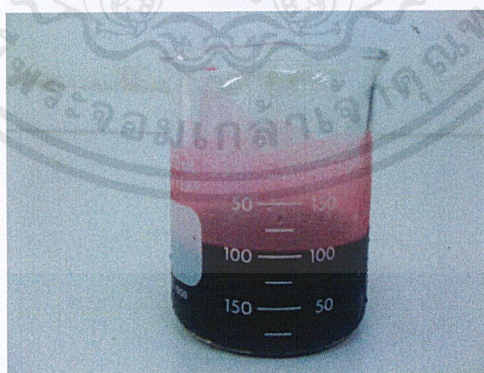
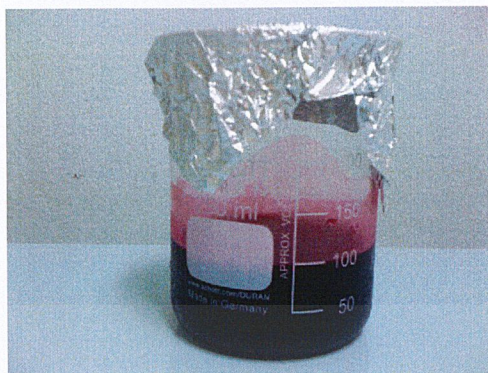
รูปที่ ค.1 ขั้นตอนการสกัดกระเจี๊ยบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



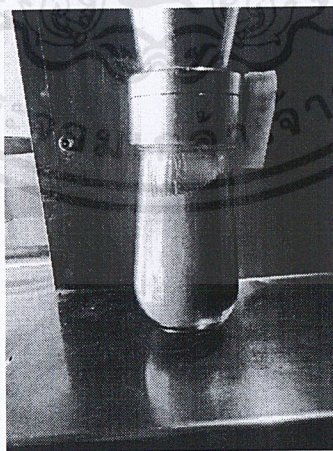
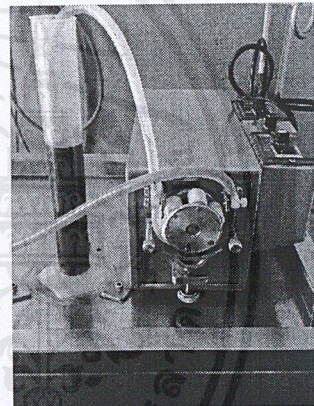
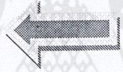
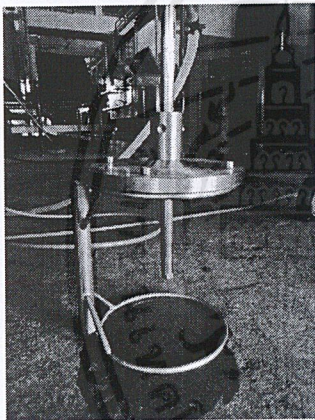
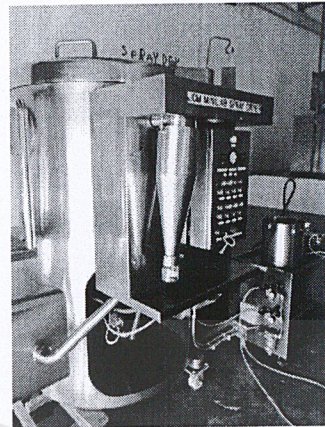
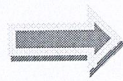
รูปที่ ค.2 ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดกระเจี๊ยบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 ขั้นตอนการเตรียมสารสกัดงุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

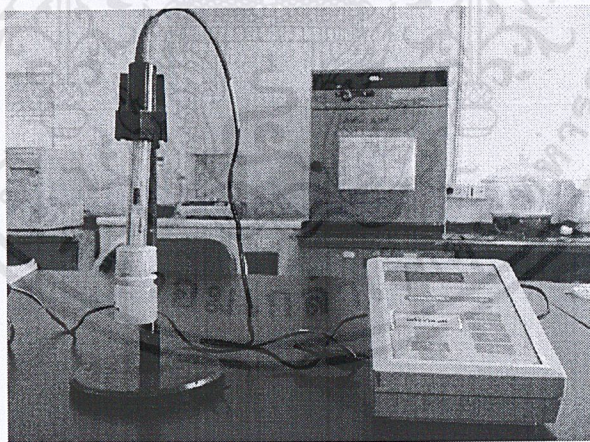


รูปที่ ค.4 ขั้นตอนการทำแห้ง โดยเครื่อง Spray Dry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.5 refractometer



รูปที่ ๓.6 เครื่องวัด pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath)

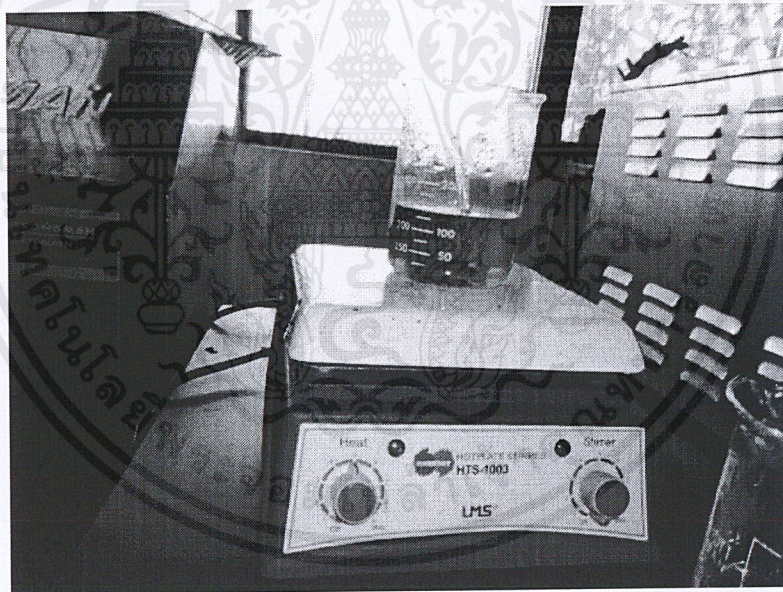


รูปที่ ก.8 เครื่องชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

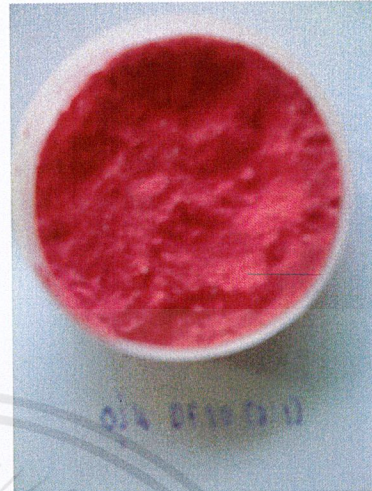


รูปที่ ค.9 บีกเกอร์



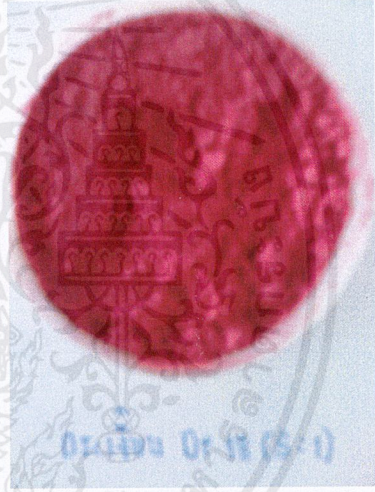
รูปที่ ค.10 Magnetic stirrer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.11 ผลึกภัณฑ์ผงแอนโรไซยานินจากองุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.12 ผลผลิตของผงแอนโรไซยานินจากกระเจี๊ยบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้