

การผลิตผลิตภัณฑ์ผงจากน้ำสกัดหัวปลี  
ด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

PRODUCTION OF BANANA FLOWER EXTRACT POWDER  
BY SPRAY DRYING TECHNIQUE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

การผลิตผลิตภัณฑ์ผงจากน้ำสกัดหัวปลี  
ด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

PRODUCTION OF BANANA FLOWER EXTRACT POWDER  
BY SPRAY DRYING TECHNIQUE



นางสาวนิสริน ม่วงอุมิงค์  
นายประสงค์ เผือกบัวขาว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PRODUCTION OF BANANA FLOWER EXTRACT POWDER BY SPRAY DRYING TECHNIQUE

MISS. NISAREEN MUANGUMING

MR. PRASONG PHUAKBUAKHAO



THIS THESIS IS 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 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การผลิตผลิตภัณฑ์ผงจากน้ำสกัดหัวปลีด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Production of Banana Flower Extract Powder by Spray Drying Technique

ผู้จัดทำ

1. นางสาวนิสริน ม่วงอุมิ่งค์ รหัสนักศึกษา 57010691
2. นายประสงค์ เผือกบัวขาว รหัสนักศึกษา 57010742



(ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง	การผลิตผลิตภัณฑ์ผงจากน้ำสกัดหัวปลีด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย
โดย	นางสาวนิสริน ม่วงอุมิ่งค์ นายประสงค์ เผือกบัวขาว
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญาานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมศาสตร์

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนำเสนอการศึกษาถึงการผลิตอาหารผงจากน้ำสกัดหัวปลีด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยมี วัตถุประสงค์สำคัญเพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยการผลิตต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิลมเข้า (160-200°C) ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน(10-30%) และปริมาณกัมอาราบิก (0-20%) ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ผงที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณผลผลิตที่ได้ ค่าความชื้น วอเตอร์แอกติวิตี ความหนาแน่น ความสามารถในการละลายน้ำ สีของผงผลิตภัณฑ์ และปริมาณสารฟีนอลิกในผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ โดยอาศัยแผนการทดลองแบบ Box-Behnken design ในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลของปัจจัยการผลิตกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงด้วยวิธี Response Surface Methodology (RSM) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ และคำนวณหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตผลิตภัณฑ์ผงจากน้ำสกัดหัวปลี จากการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์สูง ละลายน้ำได้ง่ายและมีคุณประโยชน์ต่อผู้บริโภครวมถึงมีความราบเรียบในการผลิต ต้องใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้า 180 °C, ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน 30% และปริมาณกัมอาราบิก 20% โดยสภาวะดังกล่าวมีปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ 68.40% ความชื้นของผลิตภัณฑ์ 1.61% ความสามารถในการละลาย 91.43% และปริมาณฟีนอลิกมากกว่า 2211.11 mg GAE/g powder

**คำสำคัญ:** หัวปลีกล้วย ผลิตภัณฑ์ผง การทำแห้งแบบพ่นฝอย

<b>Report Title</b>	Production of Banana Flower Extract Powder by Spray Drying Technique
<b>By</b>	Nisareen Muanguming Prasong Phuakbuakhao
<b>Advisor</b>	Asst.Prof. Dr.Maradee Phongpipatpong
<b>Report</b>	Bachelor's Degree in Food Engineering Department of Food Engineering Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### Abstract

This project presents a study on the production of banana flower extract powder by spray drying technique. The main objective was to determine the effects of processing variables on the chemical and physical properties of the powder products. The studied processing variables included inlet air temperature (160-200°C), maltodextrin(10-30%) and gum arabica (0-20%). The physical and chemical properties of powdered products were analyzed for production yield, moisture content, water activity, density, solubility, powder color and total phenolic in product powder. The experiments were conducted based on Box-Behnken design and the obtained results were analysed and expressed as mathematical equation demonstrated the relation between the processing factors and the properties of the banana flower extract powder by response surface methodology (RSM). The optimum conditions for banana flower extract powder production was finally determined. Based on the analysis of the properties, it was found that the optimum conditions for production to achieve high product volume. Water soluble and have benefits to consumers as well as a smooth production. The inlet air temperature is 180 ° C, the maltodextrin is 30% and the gum arabic is 10%. The condition was 68.40% product moisture content 1.61% moisture content. Solubility 91.43% and phenolic content greater than 2211.11 mg GAE / g powder.

**Key word:** Banana flower, Food powder, Spray dry

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความรู้และความอนุเคราะห์จากคณาจารย์ที่ได้ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ คำชี้แนะแนวทางปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ และช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่คอยให้คำแนะนำในการทำโครงการวิจัย วิธีการดำเนินชีวิต ประสิทธิภาพสาขาวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีตลอดจนให้ความเป็นห่วงเป็นใย เป็นกำลังใจที่ดีตลอดระยะเวลาการทำโครงการครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่คอยเอื้อเฟื้อ สละเวลา ให้คำแนะนำความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการทำโครงการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณบริษัท วัน บานาน่า จำกัด ที่ให้การสนับสนุนในส่วนของวัตถุดิบหัวปลีกล้วย และช่วยเหลือในด้านข้อมูลของวัตถุดิบในการทำโครงการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาทุกคน สำหรับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ตลอดจนกำลังใจที่ดีอย่างเสมอมา จนทำให้ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งให้กำเนิด เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครอบครัวที่ให้กำลังใจและคอยสนับสนุนการศึกษาของคณะผู้จัดทำโครงการตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดขึ้นจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวนิสริน

ม่วงอุ้มงค์

นายประสงค์

เผือกบัวขาว

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ปกใน (ภาษาไทย)	I
ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	II
หน้าอำนวยการ	III
บทคัดย่อ	IV
Abstract	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	XIII
สารบัญรูปภาพ	XIV
สัญลักษณ์และคำย่อ	XV
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
<b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของหัวปลีกล้วย	3
2.1.1. สถานการณ์ของหัวปลีกล้วยในปัจจุบัน	4
2.2. สารประกอบทางเคมีในพืช (Phytochemical)	6
2.2.1. แทนนิน (Tannins)	8
2.2.2. ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)	9
2.2.3. ฟีนอลิก (Phenolic)	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3. การทำแห้งแบบพ่นฝอย	11
2.3.1. กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	12
2.3.1.1. การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง (atomization of feed)	13
2.3.1.2. การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศ	14
2.3.1.3. การระเหยของละอองฝอย	15
2.3.1.4. ขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์แห้งจากอากาศ	15
2.4. สภาพการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผง	16
2.4.1. อุณหภูมิลมขาเข้าและขาออก	16
2.4.2. ลักษณะอาหารที่ใช้เป็นวัตถุดิบ	16
2.4.3. ความเข้มข้น	16
2.4.4. การไหลเวียนของลมร้อน	17
2.4.5. ป้อน	17
2.4.6. อัตราการพ่น	17
2.4.7. อัตราการป้อนวัตถุดิบ	17
2.5. การเติมสารช่วยทำแห้ง	17
2.5.1. มอลโตเด็คซ์ตริน (maltodextrin)	18
2.5.2. ค่าสมมูลเด็คซ์โทรส (Dextrose equivalent : DE)	19
2.5.3. กัมอาราบิก (Gum Arabic)	19
2.5.4. Glass Transition Temperature (TG)	20
2.6. คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์	21
2.6.1. ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Product yield)	21
2.6.2. ความชื้น (Moisture content)	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.3.วอเตอร์แอกติวิตี้ (Water activity)	21
2.6.4.ความหนาแน่น (Bulk density)	22
2.6.5.ความสามารถในการละลายได้ (Solubility)	22
2.6.6. สีของผลิตภัณฑ์ (Color)	22
2.7. คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์	24
2.7.1.การวิเคราะห์หาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดจากผลิตภัณฑ์ผงห้วป्ली	24
2.8. การคำนวณทางทฤษฎี	24
2.8.1.ทฤษฎีเกี่ยวกับ Response Surface Methodology (RSM)	24
2.9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
<b>บทที่ 3 อุปกรณ์และการทดลอง</b>	
3.1. วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการศึกษา	29
3.2. อุปกรณ์การทดลอง	30
3.3. สารเคมี	30
3.4. การเตรียมวัตถุดิบ	31
3.4.1.ขั้นตอนการสกัดน้ำห้วป्ली	31
3.4.2.ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อทำแห้งแบบพ่นฝอย	32
3.4.3.การทำแห้งแบบพ่นฝอย	32
3.5. การวิเคราะห์คุณสมบัติของผงห้วป्ली	33
3.5.1.การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ	33
3.5.1.1.ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Product yield)	33
3.5.1.2.ความชื้น (Moisture content)	33
3.5.1.3.ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (Water activity)	33
3.5.1.4.ความหนาแน่น (Bulk density)	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.1.5.ความสามารถในการละลายได้ (Solubility)	34
3.5.1.6. สีของผลิตภัณฑ์ (Color)	34
3.5.2.การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี	35
3.5.2.1.ปริมาณสารฟลาโวนอยด์	35
3.6. การวางแผนการทดลอง	35
3.6.1.การออกแบบการทดลอง	35
3.6.2.การวางแผนการทดลอง	36
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	
4.1 การเตรียมน้ำสกัดหัวปลี	37
4.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย	37
4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำสกัดหัวปลีผง	39
4.4 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์หัวปลีผงที่สภาวะต่างๆ	39
4.4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield)	40
4.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง (% Moisture content)	42
4.4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผง (Water activity)	44
4.4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Bulk density)	46
4.4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลาย (Solubility)	48
4.4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าสี (Color)	50
4.4.7 ปริมาณสารฟีนอลิก (total phenolic)	54
4.5. การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ผงจากน้ำหัวปลีสกัด (Optimization)	56

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 5</b> สรุปผลการทดลอง	
5.1. สรุปผลการทดลอง	61
5.2. ปัญหาที่พบ	62
5.3. ข้อเสนอแนะ	62

### เอกสารอ้างอิง

#### ภาคผนวก

- ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อหารปริมาณพฤกษศาสตร์เคมี  
 ภาคผนวก ข การคำนวณและการวิเคราะห์ปริมาณพฤกษศาสตร์เคมี  
 ภาคผนวก ค การสกัดน้ำหิวปลี  
 ภาคผนวก ง การทำผงหิวปลีโดยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย  
 ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์ผงหิวปลีจากการทำแห้งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย  
 ภาคผนวก ฉ ANOVA TABLE

## สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 2.1	4
ตารางที่ 2.2	4
ตารางที่ 2.3	5
ตารางที่ 2.4	6
กัล้วยไข่ และกัล้วยหอม ปี 2552-2556	
ตารางที่ 2.5	18
ตารางที่ 2.6	21
ตารางที่ 3.1	35
ตารางที่ 3.2	36
ตารางที่ 4.1	37
ตารางที่ 4.2	39
ที่สถานะต่างๆ	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.1 ภาพส่วนประกอบของหัวปรี	3
รูปที่ 2.2 การจำแนกประเภทของสารพฤษศาสตร์เคมี	7
รูปที่ 2.3 โครงสร้างสารจำพวกแทนนิน	8
รูปที่ 2.4 โครงสร้างสารจำพวกฟลาโวนอยด์	10
รูปที่ 2.5 โครงสร้างสารจำพวกฟีนอลิก	11
รูปที่ 2.6 กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	12
รูปที่ 2.7 ลักษณะของหัวฉีดแบบจานหมุน (rotary หรือ centrifugal atomizer)	13
รูปที่ 2.8 ลักษณะของหัวฉีดแรงดัน (pressure nozzle atomizer)	14
รูปที่ 2.9 ลักษณะของหัวฉีดสองหัวพร้อมกัน (two-fluid nozzle atomizer)	14
รูปที่ 2.10 ลักษณะการแยกผลิตภัณฑ์ผงออกจากอากาศในไซโคลอน	15
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของมอลโตเด็กซ์ทริน	18
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของกัมอาราบิก	19
รูปที่ 2.13 ระบบสีของ CIE Lab	23
รูปที่ 2.14 กราฟพื้นผิวตอบสนอง	25
รูปที่ 3.1 หัวปลีกล้วยหอมที่ได้รับจากบริษัท วัน บานาน่า จำกัด	29
รูปที่ 3.2 น้ำสกัดหัวปลี	30
รูปที่ 3.3 ภาพขั้นตอนการสกัดน้ำหัวปลี	31
รูปที่ 3.4 ภาพขั้นตอนการผลิตผงหัวปลีจากน้ำสกัดหัวปลี	32
รูปที่ 4.1 ลักษณะผงหัวปลีที่ได้จากการทดลอง	38
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้	41
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์	43
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อปริมาณน้ำอิสระ	45
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อความหนาแน่น	47
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อค่าการละลาย	49
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อค่าความสว่างของผงหัวปลี	51
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อค่าความเป็นสีแดงและเขียวของผงหัวปลี	52
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อค่าความเป็นสีน้ำเงินและเหลืองของผงหัวปลี	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เช่าตีหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อปริมาณสารฟีนอลิก	55
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลของขอบเขตต่างๆ ในการคำนวณหาสภาวะที่เหมาะสม	56
รูปที่ 4.12 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน ต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ค่าการละลาย และปริมาณสารฟีนอลิก ที่ปริมาณกัมอาราบิก 0%	58
รูปที่ 4.13 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน ต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ค่าการละลาย และปริมาณสารฟีนอลิก ที่ปริมาณกัมอาราบิก 10%	59
รูปที่ 4.14 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน ต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ค่าการละลาย และปริมาณสารฟีนอลิก ที่ปริมาณกัมอาราบิก 20%	60



## สัญลักษณ์และคำย่อ

$a_w$	= ปริมาณน้ำอิสระในอาหาร (Water activity)
BD	= ค่าความหนาแน่น (Bulk density, g/ml)
GA	= กัมอาราบิก (Gum Arabic)
MC	= ค่าความชื้น (Moisture content, %)
MD	= มอลโตเด็คซ์ตริน (Maltodextrin)
PD	= ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Production yield, %)
SB	= ความสามารถในการละลาย (Solubility, %)
TP	= ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic, mg GAE/g Powder)
$X_1$	= อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (Inlet air temperature, °C)
$X_2$	= ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน (%w/w)
$X_3$	= ปริมาณกัมอาราบิก (%w/w)



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หัวปลีกล้วย (Banana Blossom, Banana Flower) เป็นส่วนดอกของกล้วยที่ยังคงมีกาบหุ้มอยู่ ซึ่งจะเจริญต่อไปเป็นผลกล้วย หัวปลีสามารถนำมาทำเป็นอาหารได้ทั้งแบบทานดิบหรือทานสุก โดยแบบทานดิบนั้นมักใช้ในรูปของผักที่เป็นเครื่องเคียง เช่น ผัดไทย อาหารประเภทยำต่างๆ เป็นต้น รสชาติของหัวปลีจะฝาด แต่ถ้านำไปปรุงให้สุกรสชาติจะนุ่มนวลขึ้น มีรสหวานเล็กน้อย ประโยชน์ของหัวปลีนั้นมีมากมาย เช่น เป็นอาหารบำรุงน้ำนมของผู้หญิงที่กำลังมีบุตร และมีแร่ธาตุอยู่มาก โดยเฉพาะธาตุเหล็ก นอกจากนี้ยังมีรายงานพบว่าหัวปลีนั้นยังช่วยรักษาโรคระเคาะอาหารได้ โดยการทดลองได้ทำสกัดสารจากหัวปลีมาใช้ทดสอบ ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารในผู้ป่วยได้ถึง 47.88-87.63% โดยเฉพาะในกลุ่มที่เกิดแผลในกระเพาะอาหารจากการดื่มสุร่าอยู่เป็นประจำ (อนงค์นาฏ, 2554)

สำหรับประเทศไทยมีการปลูกกล้วยหอมกันมาก สถิติผลผลิตการปลูกกล้วยหอม ในช่วงปี 2557 - 2559 มีสูงถึง 113,926 - 117,427 ตัน ส่วนใหญ่ปลูกในจังหวัดปทุมธานี เพชรบุรี สุราษฎร์ธานี ชุมพร และสระบุรี กล้วยหอมยังจัดเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญของไทย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559) ซึ่งจำนวนของกล้วยหอมที่ปลูกในแต่ละปีแสดงถึงปริมาณของหัวปลีกล้วยที่มีอยู่ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าในปัจจุบันการนำหัวปลีกล้วยมาใช้บริโภคมีอยู่เพียงเล็กน้อย และยังไม่มีการนำหัวปลีมาผลิตเป็นสินค้าที่สามารถสร้างเพิ่มมูลค่าได้

กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมอาหาร นิยมใช้กับการแปรรูปอาหารเหลวชนิดต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย เช่น อาหารผง นมผง อาหารเด็ก ยา และ สีย้อม เป็นต้น เนื่องมาจากมีต้นทุนในการผลิตต่ำ มีกำลังผลิตค่อนข้างสูง และใช้งานง่าย การทำแห้งด้วยวิธีพ่นฝอยเป็นการทำแห้งที่รวดเร็วเพราะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับลมร้อนมาก สามารถควบคุมและปรับค่าสภาวะให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ได้ อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาในรูปแบบของผงแห้งทำให้ง่ายแก่การเก็บรักษา และการขนส่ง ประกอบกับพฤติกรรมการดำเนินชีวิตของคนไทยที่เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ผู้บริโภคต้องการความสะดวกสบาย จึงทำให้เครื่องต้มผงสำเร็จรูปได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากชงดื่มได้ทันทีและง่ายต่อการบริโภค การที่น้ำระเหยออกจากอาหารด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ควรเพิ่มความเข้มข้นในอาหารเหลวที่นำมาทำแห้งให้มีปริมาณของแข็งสูงขึ้น ปริมาณของแข็งทั้งหมดในอาหารเหลวที่เหมาะสมกับการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเข้มข้นมีผลให้อาหารเหลวมีความหนืดเพิ่มขึ้นด้วย และถ้าความหนืดของอาหารเหลวสูงเกินไป ละอองของอาหารเหลวที่ออกจากหัวพ่นฝอยจะไม่ดี จึงมีการใช้สารเสริมการทำแห้ง เช่น มอลโตเด็คซ์ตริน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารช่วยในการทำแห้งชนิดหนึ่งจึงเป็นที่นิยมใช้กันมากนอกจากนี้ยังนิยมใช้เป็นสารช่วยเพิ่มมวลของผลิตภัณฑ์ และกัมอาราบิก ซึ่งเป็นสารประกอบจากธรรมชาติที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ และไม่มีพิษต่อร่างกายของมนุษย์ ในทางโภชนาการพบว่าร่างกายของมนุษย์มีความสามารถในการย่อยกัมอาราบิกได้ต่ำมาก จึงเป็นสารที่ไม่ให้พลังงาน กัมอาราบิกมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิฟายเออร์คุณภาพสูง โดยเฉพาะในอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นกรดอะมิโน สามารถจับอยู่บนพื้นผิวของหยดน้ำได้ดีและแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยหัวปลีกล้วยนั้น ในปัจจุบันมีการนำมาแปรรูปให้อยู่ในรูปของเครื่องดื่มผสมสมุนไพรบรรจุในขวดแก้ว เพื่อเพิ่มมูลค่าและความสะดวกให้กับลูกค้า ซึ่งเน้นลูกค้ากลุ่มคุณแม่ที่ให้นมบุตร เนื่องจากหัวปลีมีคุณสมบัติในการบำรุงและเพิ่มน้ำนมให้กับคุณแม่ที่ต้องการให้นมบุตร ซึ่งการแปรรูปหัวปลีเป็นน้ำหัวปลีสกัดนั้น ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเก็บได้ในระยะเวลาสั้นๆเพียงเท่านั้น

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการแปรรูปหัวปลีด้วยกระบวนการทำแห้งด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะผงแห้งจากหัวปลีกล้วย ให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการบริโภคหรือเป็นส่วนประกอบของอาหารได้สะดวก ทำให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ สามารถเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น สะดวกในการพกพาและยังช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มขึ้นให้กับหัวปลี อีกทั้งยังได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาถึงกรรมวิธีการแปรรูปจากหัวปลีด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย
- 1.2.2 ศึกษาผลกระทบของปัจจัยการผลิตต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากหัวปลี
- 1.2.3 ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากน้ำสกัดหัวปลี

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 หัวปลีที่ใช้ศึกษาเป็นหัวปลีที่ได้จากกล้วยหอม
- 1.3.2 หัวปลีที่นำมาแปรรูปอยู่ในสภาพที่เป็นสารสกัด
- 1.3.3 การทำแห้งใช้วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย ด้วยเครื่องทำแห้งในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 1.3.4 ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ปริมาณมอเตอร์เด็กซ์ตริน และปริมาณกัมอาราบิก
- 1.3.5 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงที่ศึกษา ได้แก่ ร้อยละผลผลิต ความหนาแน่น ความสามารถในการละลาย ความชื้น Water activity และ ปริมาณสารประกอบทางเคมีในพืช (Phytochemical) ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

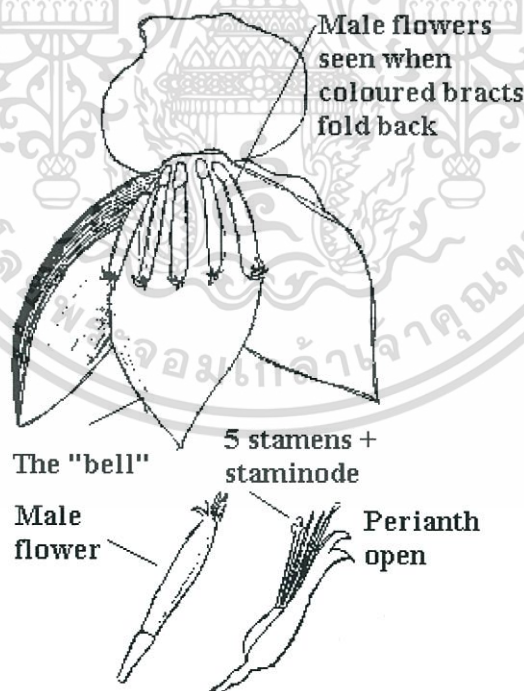
- 1.4.1 ได้แนวทางการแปรรูปอาหารผงจากหัวปลีกล้วย
- 1.4.2 ได้ทราบผลกระทบของปัจจัยที่เกี่ยวข้องการผลิตแบบพ่นฝอยต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1. หัวปลีกล้วย

กล้วย (Musa spp.) เป็นผลไม้เขตร้อนในวงศ์ Musaceae มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นไม้ผลที่สำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยหัวปลีกล้วย (banana blossom) เป็นส่วนดอกของกล้วยที่ยังมีกาบหุ้มอยู่ เจริญเติบโตต่อไปเป็นผลกล้วยและอยู่ถัดจากกล้วยต้นเต่า ลักษณะของหัวปลีกล้วยมีสีม่วงหรือแดง (อยู่ในช่วงระหว่างสีแดงสดถึงสีม่วง) แต่บางครั้งอาจมีสีเหลืองที่ส่วนปลายของหัวปลี โดยมีการซ้อนตัวกันของเปลือกสีแดงหรือม่วงหลายๆชั้น ซึ่งด้านในของเปลือกนั้นมีสีเหลืองอ่อนหรือแดงอ่อน โดยในชั้นในของหัวปลีจะมีสีครีมหรือสีเหลืองอ่อน ระหว่างเปลือกแต่ละชั้นจะประกอบไปด้วย ดอกเพศผู้สีขาวสีครีมหรือสีม่วงจะปรากฏเป็นแถว แถวละ 2 แถว มีเนื้อเยื่อยาวประมาณ 3.5-4.5 เซนติเมตรและกว้าง 1.2 ซม. เกสรตัวผู้มีความยาวเกือบเท่าวงกลีบดอกและอับเรณูของมักจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูก่อนที่จะเหี่ยวเฉา (Nimisha and Pradeep, 2017) หัวปลีมีแคลอรีน้อยกว่า 6 เท่าของผลกล้วยสุก แต่มีคุณค่าทางโภชนาการอื่นใกล้เคียงหรือสูงกว่ากล้วยสด ให้แคลเซียมสูงกว่ากล้วย 4 เท่า มีโปรตีนมากกว่าเล็กน้อย มีธาตุเหล็ก ฟอสฟอรัส วิตามินซี และบีตา-แคโรทีนใกล้เคียงกับกล้วยสุก หัวปลีกล้วยได้รับความสนใจทางด้านวิทยาศาสตร์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเภสัชวิทยาที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพในการรักษาสูง (Pattrawan et al, 2559)



รูปที่ 2.1 ภาพส่วนประกอบของหัวปลี

ที่มา <http://www.uq.edu.au> (17 มี.ค. 2561)

หัวปลีกล้วยถูกนำมาใช้ประโยชน์ต่างๆมากมาย เช่นใน รัฐตรีปุระ ประเทศอินเดีย มีการนำหัวปลีมาใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง, การติดเชื้อ, โรคหลอดเลือดอักเสบ, ปฏิกริยาภูมิแพ้ ในรัฐอรุณาจัล ประเทศ ประเทศอินเดีย มีการนำหัวปลีกล้วยมาต้มพร้อมเกลือและน้ำมัน เพื่อใช้บรรเทาอาการปวดข้อ ช่วยให้การไหลเวียนโลหิตดีขึ้น (Subbaraya, 2006)

หัวปลีกล้วยมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ โดยจากงานวิจัยพบว่า สารสกัดจากหัวปลีกล้วยด้วยเมทานอล มีความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ดังนี้ *Escherichia coli.*, *Micrococcus sp.*, *Salmonella sp.*, *Proteus mirabilis.*, *Staphylococcus aureus.*, *Bacillus subtilis.*, *Candida albicans.* และ *Aspergillus niger.* (Sumathy et al., 2011)

ตารางที่ 2.1 คุณค่าที่ร่างกายจะได้รับจากการกินหัวปลี 100 กรัม

คุณค่าที่ได้รับ	ปริมาณ
เส้นใยอาหาร	0.8 กรัม
แคลเซียม	28 มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	40 มิลลิกรัม
วิตามินซี	25 มิลลิกรัม

### 2.1.1. สถานการณ์ของหัวปลีกล้วยในปัจจุบัน

ปริมาณของหัวปลีสามารถอ้างอิงได้จากปริมาณของกล้วย เนื่องจากในทุกๆการให้ผลผลิตกล้วยนั้นจะมีหัวปลีของกล้วยด้วย ซึ่งกล้วยเป็นพืชอาหารของโลกที่มีปลูกอยู่มากกว่า 135 ประเทศ ทั้งในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน จากข้อมูลทางสถิติขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO Stat, 2014) ปี 2555 ทั่วโลกมีพื้นที่เก็บเกี่ยวกล้วยประมาณ 31 ล้านไร่ ผลผลิตกล้วยประมาณ 96 ล้านตัน มูลค่าประมาณ 7.69 แสนล้านบาท แนวโน้มการผลิตตั้งแต่ปี 2550-2555 พบว่า พื้นที่เก็บเกี่ยวกล้วย ผลผลิตกล้วย และมูลค่าผลผลิตกล้วยของโลก มีอัตราเพิ่มขึ้น ประมาณ 1.19, 0.54 และ 2.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 2.2

โดยแหล่งผลิตกล้วยส่วนใหญ่อยู่ในทวีปเอเชียคิดเป็น 42.3 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาอยู่ในทวีปแอฟริกา อเมริกา ออสเตรเลียโอเชียเนีย และยุโรป คิดเป็น 31.4, 24.1, 1.9 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ต่อปี ตามลำดับ (ตารางที่ 2.3) ประเทศผู้ผลิตหลัก ได้แก่ อินเดีย บราซิล ฟิลิปปินส์ แทนซาเนีย จีน เอกวาดอร์ บรูไน ไทย อุกันดา แองโกลา อินโดนีเซีย เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลพื้นที่เก็บเกี่ยว และผลผลิตกล้วยของโลก ปี 2550-2555

ปี	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ล้านไร่)	ผลผลิต (ล้านตัน)	มูลค่า (แสนล้านบาท)
2550	29.8	91.7	6.94
2551	30.6	102.0	7.35
2552	32.1	106.1	7.66
2553	32.3	105.7	8.05
2554	32.8	100.2	8.11
2555	31.0	96.2	7.69
อัตราเพิ่ม(ร้อยละ)	1.19	0.54	2.49

ที่มา: FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2014 | 18 March 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี 2554 ทั่วโลกมีผลผลิตกล้วยที่ส่งออก 17.62 ล้านตัน ผู้ส่งออกเป็นกลุ่มประเทศลาตินอเมริกาและคาริเบียน 81 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มประเทศเอเชีย 15 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มประเทศแอฟริกา 4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผู้นำเข้ากล้วยอยู่ในกลุ่มทวีปอเมริกา 29 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มประเทศ EU 28 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มประเทศในเอเชีย 18 เปอร์เซ็นต์ และอื่นๆ 25 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลปริมาณและมูลค่าการส่งออกกล้วยของโลก ตั้งแต่ ปี 2550 ถึง 2554 มีปริมาณการส่งออกกล้วย 16 - 17 ล้านตัน มูลค่าประมาณ 2 แสนล้านบาท และนำเข้ากล้วย 13 - 16 ล้านตัน มูลค่า 3 - 4 แสนล้านบาท พบว่า มีแนวโน้มการส่งออกนำเข้าเพิ่มขึ้น

### ตารางที่ 2.3 พื้นที่เก็บเกี่ยวกล้วยของโลก แยกตามทวีปที่ผลิต ปี 2555

ทวีป	พื้นที่เก็บเกี่ยวกล้วย (ล้านไร่)	เปอร์เซ็นต์
เอเชีย	13.08	42.3
แอฟริกา	9.73	31.4
อเมริกา	7.46	24.1
ออสเตรเลียและโอเชียเนีย	0.58	1.9
ยุโรป	0.11	0.4

ที่มา: FAOSTAT | © FAO Statistics Division 2014 | 18 March 2014

ประเทศไทยมีพื้นที่ทางการเกษตร ประมาณ 149.26 ล้านไร่ เป็นพื้นที่สวนไม้ผลไม้ยืนต้น 34.91 ล้านไร่ คิดเป็น 23.4 เปอร์เซ็นต์ (สศก. 2555) ในปี 2556 มีพื้นที่ปลูกกล้วยประมาณ 475,455 ไร่ โดยเป็นพื้นที่ปลูกกล้วยน้ำว้ามากที่สุด 364,455 ไร่ ผลผลิต 773,732 ตัน พื้นที่ปลูกกล้วยไข่ 73,814 ไร่ ผลผลิต 125,716 ตัน และ พื้นที่ปลูกกล้วยหอม 37,123 ไร่ ผลผลิต 131,670 ตัน จากข้อมูลพื้นที่ปลูกกล้วยของศูนย์สารสนเทศ กรมส่งเสริมการเกษตรระหว่างปี 2552 ถึง 2556 พบแนวโน้มมีการขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้น โดยพื้นที่ปลูกกล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอมเพิ่มขึ้น 13.4, 61 และ 19.1 เปอร์เซ็นต์ต่อปี แต่หากพิจารณาข้อมูลพื้นที่ปลูกกล้วยน้ำว้าช่วงปี 2554 - 2556 พบว่าแนวโน้มพื้นที่ปลูกลดลง แม้ตลาดจะมีความต้องการอยู่ก็ตาม เนื่องจากปัญหาโรคตายพรายที่มักพบเกิดในกล้วยน้ำว้าเป็นเหตุให้เกษตรกรไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้

ด้านผลผลิตกล้วยน้ำว้าเพิ่มขึ้นจาก 156,367.1 ตัน ในปี 2552 เป็น 773,732.4 ตัน ในปี 2556 เพิ่มขึ้นร้อยละ 36.3 ต่อปี และผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นจาก 1.3 ตันต่อไร่ ในปี 2552 เป็น 3.0 ตันต่อไร่ ในปี 2556 เพิ่มขึ้นร้อยละ 18.5 ต่อปี ผลผลิตกล้วยไข่เพิ่มขึ้นจาก 7,619.8 ตัน ในปี 2552 เป็น 125,716.3 ตัน ในปี 2556 เพิ่มขึ้นร้อยละ 61 ต่อปี และผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นจาก 2 ตันต่อไร่ ในปี 2552 เป็น 2.5 ตันต่อไร่ ในปี 2556 เพิ่มขึ้นร้อยละ 9 ต่อปี ผลผลิตกล้วยหอมเพิ่มขึ้นจาก 16,221.7 ตัน ในปี 2552 เป็น 131,670.6 ตัน ในปี 2556 เพิ่มขึ้นร้อยละ 58.9 ต่อปี และผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นจาก 1.7 ตันต่อไร่ ในปี 2552 เป็น 5.5 ตันต่อไร่ ในปี 2556 เพิ่มขึ้นร้อยละ 32.4 ต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลพื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตเฉลี่ยของกล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ และกล้วยหอม ปี 2552-2556

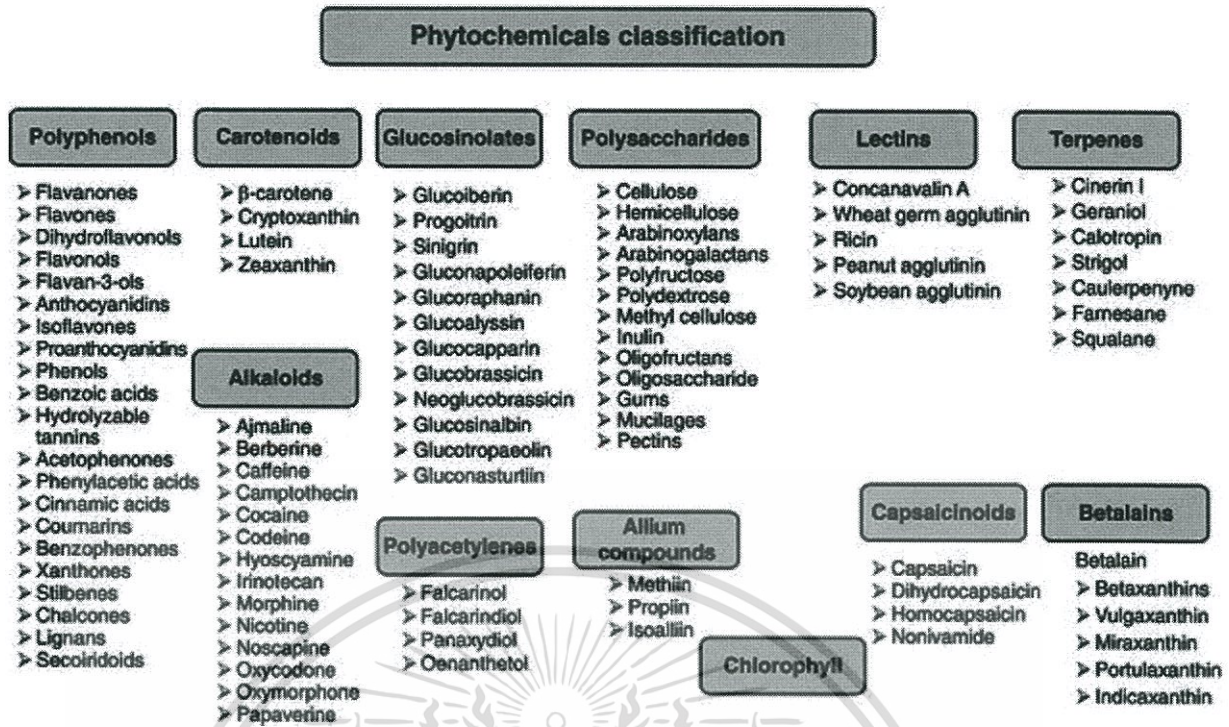
ปี	กล้วยน้ำว้า			กล้วยไข่			กล้วยหอม		
	พื้นที่ (พันไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิต เฉลี่ย (ตัน/ไร่)	พื้นที่ (พันไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิต เฉลี่ย (ตัน/ไร่)	พื้นที่ (พันไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิต เฉลี่ย (ตัน/ไร่)
2552	187.67	156,367.1	1.3	6.57	7,619.8	2.0	16.35	16,221.7	1.7
2553	396.51	789,629.0	3.0	79.67	83,735.6	1.8	39.37	85,426.8	3.7
2554	385.39	770,005.3	3.1	68.60	118,360.7	2.7	35.16	98,236.0	4.8
2555	370.14	712,564.0	3.1	73.61	130,585.0	2.8	43.83	133,334.8	5.9
2556	364.46	773,732.4	3.0	73.81	125,716.3	2.5	37.12	131,670.6	5.5
อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)	13.4	36.3	18.5	61.0	83.1	9.0	19.1	58.9	32.4

ที่มา : ศูนย์สารสนเทศ กรมส่งเสริมการเกษตร, 2557

## 2.2. สารประกอบทางเคมีในพืช (Phytochemical)

สารประกอบทางเคมีในพืช หรือ สารพฤกษเคมี (Phytochemical or Phytonutrients) เป็นสารเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพซึ่งพบได้เฉพาะในพืชเท่านั้น มีคุณสมบัติในการป้องกันและรักษาโรคบางชนิด และยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ ช่วยป้องกันโรคต่างๆ ในคน เช่น โรคหัวใจ, เบาหวาน, ความดันโลหิตสูง, กระจกพรุน, โรคมะเร็ง ไปจนถึงโรคมะเร็ง กลไกการทำงานของสารประกอบทางเคมีในพืชเมื่อเข้าสู่ร่างกายอาจเป็นไปได้โดยการช่วยให้เอนไซม์บางกลุ่มทำงานได้ดีขึ้น เอนไซม์บางชนิดทำหน้าที่ทำลายสารก่อมะเร็งที่เข้าสู่ร่างกาย มีผลทำให้สารก่อมะเร็งหมดฤทธิ์ ซึ่งปัจจุบันพบสารประกอบทางเคมีในพืชแล้วมากกว่า 15,000 ชนิด (Brijesh K. Tiwari et al, 2013)

โดยนักวิทยาศาสตร์พบว่าสารพฤกษเคมีสร้างประโยชน์ด้วยกลไกการออกฤทธิ์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ ด้านออกซิเดชัน (Oxidative Stress) ทำลายฤทธิ์ของอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับดีเอ็นเอ(DNA) เป็นกลไกสำคัญ ที่ทำให้สารพฤกษเคมีลดการเกิดโรคมะเร็งได้ เพิ่มภูมิคุ้มกันต้านโรคและเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน ควบคุมการเจริญเติบโตของเซลล์, ควบคุมการออกฤทธิ์ของฮอร์โมน ต่อต้านการอักเสบ ช่วยกำจัดสารพิษ อีกทั้งช่วยให้ร่างกายทำงานประสานกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประเภทของสารพฤกษเคมีสามารถจำแนกเป็นหลากหลายกลุ่ม ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การจำแนกประเภทของสารพฤกษศาสตร์เคมี  
ที่มา : <https://faculty.missouri.edu> (16 มี.ค. 2561)

สารประกอบทางเคมีในพืช (Phytochemical) ของหัวปลีกล้วยนั้นมีมากมาย โดยการสกัดสารจากปลีกล้วยด้วยเฮกเซน พบว่ามีสารประกอบทางเคมีพืชดังนี้ Glycosides, tannins, saponins, flavonoids และ carbohydrates การสกัดด้วยเอทานอล พบว่ามีสารประกอบทางเคมีพืชดังนี้ Saponins, carotenoids, phenolics, flavonoids และ tannins (Montelongo et al., 2010) ส่วนการสกัดหัวปลีกล้วยด้วยเมทานอล พบว่ามีสารประกอบทางเคมีพืชดังนี้ Glycosides, tannins, saponins, phenols, steroids และ flavonoid นอกจากนี้หัวปลีกล้วยเมื่อนำมาสกัดด้วยเอทานอล พบว่ามีฤทธิ์ในการต้านจุลชีพได้อย่างหลากหลาย เช่น *Escherichia coli*, *Micrococcus sp.*, *Salmonella sp.*, *Proteus mirabilis*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Candida albicans* และ *Aspergillus niger* เป็นต้น (Sumathy et al., 2011)

ซึ่งสารประกอบทางเคมีพืชที่สำคัญในหัวปลี ซึ่งช่วยออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยานั้นมีมากมาย ได้แก่ สารแทนนิน (Tannins) มีฤทธิ์ฝาดสมานใช้แก้อาการท้องเสียได้ สารไซโตอินโดไซด์ (Sitoindoside I,II,III,IV) มีฤทธิ์ในการช่วยป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร โดยเฉพาะสาร Sitoindoside IV เป็นสารที่ออกฤทธิ์ในการต้านการเกิดแผลในกระเพาะอาหารที่ดีที่สุด (Chattopadhyay et al., 1987) แต่เนื่องจากสารไซโตอินโดไซด์เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มสเตอรอยด์ การใช้ในระยะยาวจึงต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษเรื่องผลข้างเคียง นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยพบว่า สารลิวโคไซยานิดิน (Leucocyanidins) ซึ่งเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ มีการออกฤทธิ์ในการป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารหนูขาวที่ถูกทำให้เป็นแผลในกระเพาะอาหารด้วยแอสไพริน (David et al., 1999)

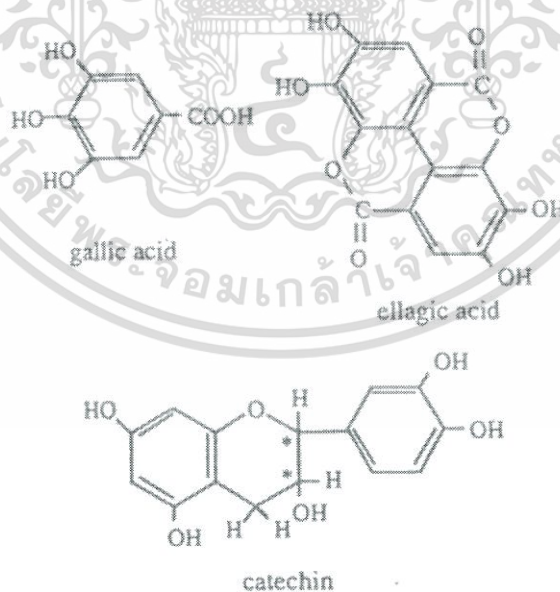
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1. แทนนิน (Tannins)

แทนนินเป็นโพลิเมอร์ของกรดฟีนอลิก (Phenolic acid) หรือฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) พบอยู่ในธรรมชาติ มี 2 ชนิดได้แก่ นอนไฮโดรไลซ์แทนนิน (Non-hydrolysable tannins) หรือ คอนเดนส์แทนนิน (condensed tannins) และไฮโดรไลซ์แทนนิน (Hydrolysable tannins) แทนนินที่สามารถถูกแยกออกเป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้แก่ glycosylated gallic acids, catechin, gallo catechin, epicatechin, epigallocatechin, kaempferol, quercetin เป็นต้น

แทนนินเป็นสารให้รสฝาด (astringency) และรสขม (bitter) พบได้ในพืชหลายชนิด เช่น ใบชา ใบฝรั่ง ใบพลู ใบชุมเห็ด ผลไม้ดิบ เช่น กัลยาดิบ ในเปลือกและเมล็ดของผลไม้ เช่น เปลือกมังคุด องุ่น เม็ดในของมะขาม เปลือกมะพร้าวอ่อน และพบในไวน์แดง แทนนินมีส่วนสำคัญ เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymetic browning reaction) ของผลไม้มีฤทธิ์เป็นสารกันเสีย (preservative) ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์สรรพคุณทางยาของแทนนินมีงานวิจัยว่า ช่วยต้านมะเร็ง ต้านแบคทีเรีย ต้านอนุมูลอิสระ ลดความดันโลหิต ลดไขมันในเลือด เป็นต้น ส่วนโทษเนื่องจากมีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในกระเพาะอาหาร หากรับประทานในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ท้องอืด มีคุณสมบัติตกตะกอนโปรตีนและแร่ธาตุต่างๆ จากอาหารที่รับประทาน มีผลต่อการลดการดูดซึมของสารอาหารที่มีคุณค่าต่อร่างกาย ทำให้ขาดสารอาหารได้ มีงานวิจัยว่าการบริโภคพืชบางชนิดที่มีแทนนินมาก เช่น หมาก หรือ ชาสมุนไพร อาจเป็นพิษต่อตับได้เช่นกัน (Blasa et al., 2010)

แทนนินเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีศักยภาพแต่ไม่ถูกดูดซึมโดยลำไส้ ได้รับการพิจารณาว่าเป็นสาร antinutritional factor เนื่องจากสามารถทำให้สารนี้มีความซับซ้อน ทำให้โปรตีนตกตะกอนและทำให้เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหารถูกยับยั้ง (Blasa et al., 2010)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างสารจำพวกแทนนิน

ที่มา : <http://www.thaikasetsart.com> (16 มี.ค. 2561)

### 2.2.2. ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)

โครงสร้างทั่วไปของฟลาโวนอยด์จะประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) 2 วง คือวง A และ B ที่เชื่อมต่อกัน มีการเติมออกซิเจนให้กับเฮเทอโรไซคลิกของวงแหวน C โครงสร้างของวงแหวน C จะเป็นเช่นเดียวกันกับสถานะของออกซิเดชัน (Oxidation) และหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบฟลาโวนอยด์แบ่งออกเป็น ฟลาโวนอล (Flavonols) ฟลาโวน (Flavones) ฟลาวานอล (Flavanols) ฟลาวาโนน (Flavanones) แอนโทไซยานิน (Anthocyanidins) และไอโซฟลาโวนอยด์ (Isoflavonoids) โดยในผลไม้ส่วนใหญ่ฟลาโวนอยด์จะพบได้ในรูปของไกลโคไซด์ (Glycoside) โดยปฏิกิริยาไกลโคซิเลชันทำให้โมเลกุลในปฏิกิริยาลดน้อยลงแต่ละลายน้ำได้ กลูโคสเป็นน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับการเกิดไกลโคไซด์ แต่ยังสามารถพบได้ในกาแลคโตส (Galactose) แรมโนส (Rhamnose) ไชโลส (Xylose) และอะราบินโนส (Arabinose) นอกจากนี้ยังมีพวกไดแซคคาไรด์ (Disaccharide) เช่น รูโทส (Rutose) (Blasa et al., 2010)

แหล่งของฟลาโวนอยด์ขนาดใหญ่ในอาหารตะวันตกรวมทั้งผลไม้ เช่น ผลไม้ตระกูลส้ม แอปเปิ้ล เชอร์รี่ องุ่น แบล็คเคอแรนท์ บิลเบอร์รี่ และแอปเปิ้ล โดยในสมุนไพรและเครื่องเทศที่มีกลิ่นหอมจะมีความเข้มข้นของฟลาโวนอยด์สูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ อีกทั้งยังมีสารต้านอนุมูลอิสระพิเศษที่เป็นต้นกำเนิดของสารฟีนอลิก (Blasa et al., 2010)

ฟลาโวนอยด์ เป็นกลุ่มสารโพลีฟีนอลที่พบมากในพืชผัก ผลไม้ ดอกไม้ ไวน์ พืชที่มีสารฟลาโวนอยด์มาก เช่น ใบชา เปลือกมังคุด องุ่น เชอร์รี่ เป็นต้น โดยสารฟลาโวนอยด์มีความสำคัญต่อร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการต่อต้านสารอนุมูลอิสระ ป้องกันการเกิดมะเร็ง ป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือด โดยฟลาโวนอยด์สามารถแบ่งได้เป็น 6 ประเภทตามการเชื่อมต่อของวงโครเมน ดังนี้

a) กลุ่มฟลาโวน (Flavones) เป็นกลุ่มฟลาโวนอยด์กลุ่มหนึ่งที่พบในพืชเป็นจำนวนมาก มีการกระจายตัวทั่วไปในวงศ์พืชใบเลี้ยงคู่ ซึ่งส่วนใหญ่มักพบที่ใบ ส่วนเหนือดินและผล เช่น ฝรั่ง ผักชีชา ส้ม หอมใหญ่ แอปเปิ้ล และแครอท เป็นต้น

b) กลุ่มฟลาโวนอล (Flavonols) โครงสร้างจะมีหมู่ไฮดรอกซิลแทนที่ตำแหน่ง C-3 ดังนั้นอาจเรียกอีกชื่อว่า 3-hydroxyflavone พบในผักผลไม้หลายชนิด เช่น ชาเขียว แอปเปิ้ล องุ่น หอมแดง มะเขือเทศ เป็นต้น

c) กลุ่มฟลาวาโนน (Flavanones) ส่วนใหญ่จะไม่มีสีหรือมีสีเหลืองอ่อน พบได้น้อยกว่ากลุ่มฟลาโวนและฟลาโวนอล พืชที่พบเช่น เกรปฟรุ้ต ส้ม และองุ่น เป็นต้น

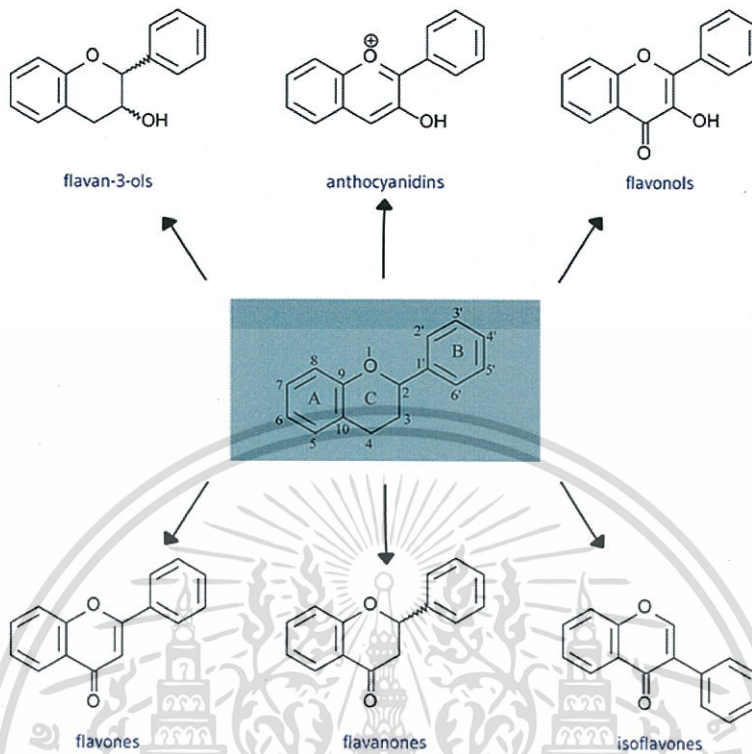
d) กลุ่มฟลาวาโนนอล (Flavanonols) เป็นกลุ่มที่พบในธรรมชาติได้น้อย แต่โครงสร้างมีความหลากหลาย เมื่อถูกด่างที่อุณหภูมิสูงจะสลายตัวให้ชาโคล แต่จะคงตัวได้ดีในกรด

e) กลุ่มฟลาแวน (Flavans) ได้แก่ โปรไซยานิน (Procyanidins) และ ลิวโคแอนโทไซยานิน (Leucoanthocyanins) พบได้ในชาเขียวและชาดำ

f) กลุ่มแอนโทไซยานิน (Anthocyanidins) เป็นสารที่ทำให้เกิดสีส้มของดอกไม้และผลไม้บางชนิด พบได้ในกลีบดอกไม้และส่วนอื่นๆ เช่น กลีบเลี้ยง ใบ เปลือก ผล โดยสีจะเป็นสีทางโทนส้ม แดง น้ำเงินและม่วง โดยสารลิวโคไซยานิน (Leucocyanidins) ที่มีการออกฤทธิ์ในการป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะจัดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย (วิวัฒนา, 2556)

ประโยชน์ของฟลาโวนอยด์ในทางการแพทย์นั้นมียากมาย ได้แก่ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านการเกิดอาการแพ้ ความสามารถในการต้านการอักเสบ ความสามารถในการต้านการแข็งตัวของ

เม็ดเลือด ความสามารถในการป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร และมีฤทธิ์ในการต้านการเกิดมะเร็ง (Philip et al., 2015) (Sumathy et al., 2011)



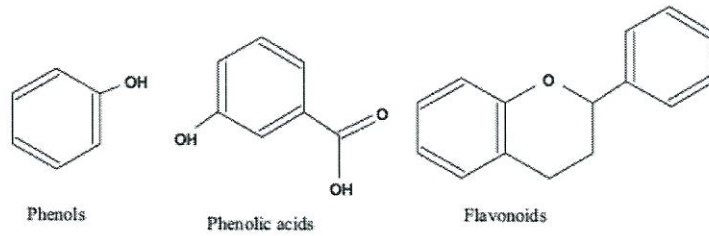
รูปที่ 2.4 โครงสร้างสารจำพวกฟลาโวนอยด์  
ที่มา : <http://lpi.oregonstate.edu> (16 มี.ค. 2561)

### 2.2.3. ฟีนอลิก (Phenolic)

สารประกอบฟีนอลิก เป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง เมล็ดธัญพืช ฟีนอลิกเป็นสารที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์พืชแต่ละชนิด อีกทั้งมีโภชนเภสัชซึ่งเป็นสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ คือ มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถละลายได้ในน้ำ โครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิกมีสูตรเคมีเป็นวงแหวน ที่เป็นอนุพันธ์วงแหวนเบนซีนมีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่ต่ออยู่ สารประกอบฟีนอลิกพื้นฐาน คือ สารฟีนอล

สารประกอบฟีนอลิกที่พบในธรรมชาตินั้นมีมากมาย และมีลักษณะของสูตรโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่กลุ่มที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิก ไปจนถึงกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ เช่น ลิกนิน แหล่งที่พบได้ของสารฟีนอลิกนั้น มักพบอยู่ในส่วนของช่องว่างภายในเซลล์ในส่วนต่างๆของพืช เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ข้าว งา อุ่น ส้ม กระเทียม พริกไทย ขิง กระเทียม หอมแดง ชา โกโก้ มันเทศ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Structures of common phenolic compounds.

## รูปที่ 2.5 โครงสร้างสารจำพวกฟีนอลิก

ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com> (16 มี.ค. 2561)

ประโยชน์ต่อสุขภาพของสารประกอบฟีนอลหลายชนิดมีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นสารต้านการกลายพันธุ์ (antimutagens) มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ สามารถการป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือด และมะเร็ง โดยสารประกอบฟีนอล จะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ (free radical) ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาถูกโซ่ ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ แต่สารต้านอนุมูลอิสระจะถูกทำลายไปด้วย อีกทั้งยังถูกนำมาใช้เพื่อการถนอมอาหาร โดยใช้เป็นสารกันหืน ป้องกันปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation)

สารประกอบออกฤทธิ์ที่สำคัญในสมุนไพรพื้นบ้านที่มักพบเป็นส่วนใหญ่ คือสารประกอบกลุ่มฟีนอลิก (phenolic compound) สามารถละลายน้ำและสามารถสกัดด้วยปิโตรเลียม อีเทอร์ (petroleum ether) และเอทานอล (ethanol) ได้ด้วยเหตุนี้ในปัจจุบันทางวงการแพทย์จึงมักนำเอาพืชหรือผลไม้ที่มีปริมาณสารฟีนอลิกในปริมาณสูงมาใช้ร่วมในการป้องกันและรักษาโรคต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะการป้องกัน โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคความจำเสื่อม โรคมะเร็ง อีกทั้งนำมาใช้ในการชะลอความเสื่อมของเซลล์ต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งมีงานวิจัยได้นำเอาสมุนไพรพื้นบ้านไทยมาศึกษาหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *Escherichia Coli* และ *Staphylococcus aureus* ในขั้นต้น (สุวรรณีและคณะ, 2555)

### 2.3. การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีที่นิยมใช้กับการแปรรูปอาหารเหลวชนิดต่าง ๆ ผลิตรักษณ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย เช่น อาหารผง นมผง อาหารเด็ก ยา และ สีย้อม เป็นต้น การทำแห้งด้วยวิธีพ่นฝอยเป็นการทำแห้งที่รวดเร็วเพราะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับลมร้อนมาก การทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วยสามขั้นตอนที่สำคัญ คือ การทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นละอองขนาดเล็ก จากนั้นทำให้ละอองขนาดเล็กแห้งเป็นผง และขั้นตอนสุดท้ายแยกผงผลิตรักษณ์ออกจากอากาศร้อน

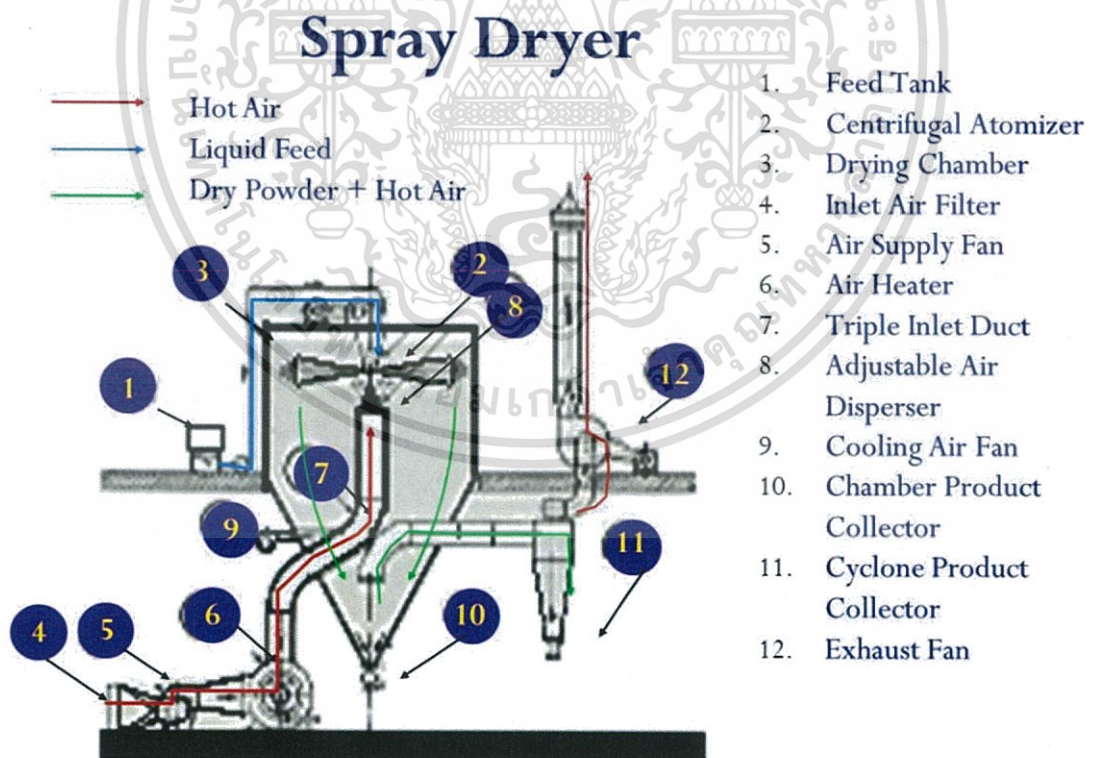
โดยทั่วไปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางละอองฝอยอยู่ในช่วง 10-300 ไมโครเมตร ทำให้มีพื้นที่ผิวสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนมาก การเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในละอองมาที่ผิวมีระยะทางสั้นมาก จึงใช้เวลาในการทำแห้งเพียง 1-20 วินาที ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของการทำแห้งแบบพ่นฝอย การมีพื้นที่ผิวสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนสูง นี้จะสามารถระเหยกลายเป็นไอน้ำได้ที่อุณหภูมิต่ำและรวดเร็ว ทำให้ละอองผงที่แห้งตกลงสู่ด้านล่างของตู้อบแห้ง และเคลื่อนที่ไปไซโคลนเพื่อแยกผงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญขาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ออกจากอากาศร้อนได้อย่างรวดเร็ว ตามอัตราเร็วลม ทำให้ผลิตภัณฑ์ถูกความร้อนทำลายน้อย (Nema et al, 2015)

การที่น้ำระเหยออกจากอาหารด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ต้องใช้พลังงานสูงเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น จึงควรเพิ่มความเข้มข้นในอาหารเหลวที่นำมาทำแห้งให้มีปริมาณของแข็งสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเข้มข้นมีผลให้อาหารเหลวมีความหนืดเพิ่มขึ้นด้วย และถ้าความหนืดของอาหารเหลวสูงเกินไป ละอองของอาหารเหลวที่ออกจากหัวพ่นฝอยจะไม่ดี ปริมาณของแข็งทั้งหมดในอาหารเหลวที่เหมาะสมกับการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร โดยทั่วไปปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าตั้งแต่ร้อยละ 25-60 วิธีการเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับอาหารเหลวอาจใช้วิธีการเพิ่มความเข้มข้นด้วยเครื่องระเหยแบบสุญญากาศ เครื่องกรองแบบรีเวอร์ออสโมซิส รวมทั้งการใช้สารเสริมการทำแห้ง (กลอยใจ, 2556)

สำหรับอาหารพวกผลไม้ตระกูลส้มและผลไม้ชนิดอื่น เช่น กล้วย แอปเปิ้ล สตรอเบอร์รี่ ราสป์เบอร์รี่ สาลี ท้อ แอปริคอต เป็นต้น มีน้ำตาลและความเป็นกรดเป็นส่วนประกอบ จึงทำให้ทำแห้งด้วยวิธีการพ่นฝอยได้ยาก ต้องมีการเติมสารช่วยการทำแห้ง จึงสามารถทำให้เป็นผงได้ แต่ผงที่ได้อาจเหนียวและเคลือบติดที่ผนังของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้สามารถดูความชื้นกลับคืนได้ง่าย มีการเกาะตัวกัน สารช่วยนิยมใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย เช่น มอลโตเด็คซ์ทริน หางนมผง โซโคลเด็คซ์ทรินและแป้งคัดแปร เป็นต้น (Smith and Hong-Shum,2011)

### 2.3.1. กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ 2.6 กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย  
ที่มา : <http://slideplayer.com> (16 มี.ค. 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการของการทำแห้งแบบพ่นฝอย เริ่มจาก อากาศจะถูกดูดผ่าน filter และผ่านตัวให้ความร้อนจากนั้นจึงเข้าสู่ห้องอบแห้ง (drying chamber) ส่วนวัตถุดิบที่ใช้ spray (feed) ควรจะมีลักษณะเหลวจากนั้นสารละลายของเหลวจะถูกดูดโดยปั๊มผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอยภายในห้องอบและจุดสัมผัสกับอากาศร้อนทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิระเปาะเป็ยกเล็กน้อย จะได้ผงผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่างของ drying chamber และผงบางส่วนที่หลุดมากับอากาศจะถูกแยกโดยใช้ cyclone จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย ในกระบวนการอบด้วย spray dryer นั้นประกอบด้วย 4 กระบวนการ คือ

### 2.3.1.1. การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง (atomization of feed)

ขั้นตอนนี้เป็นการทำให้อาหารเหลวกระจายตัวเป็นละอองที่มีขนาดเล็ก โดยใช้หัวพ่น (atomizer) ซึ่งมีหลายรูปแบบและความเร็วของการฉีดพ่น มีผลต่อขนาดของละอองฝอย ชนิดของหัวพ่น มี ดังนี้

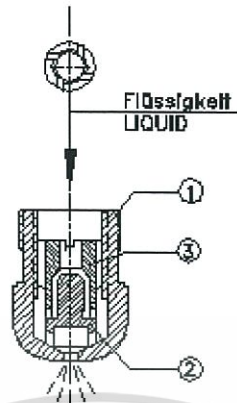
1. แบบจานหมุน (rotary หรือ centrifugal atomizer) หลักการกระจายของหัวพ่นแบบจานหมุนคือของเหลวจะไหลลงจานหมุนที่อยู่ใกล้กับจุดศูนย์กลาง ซึ่งจานหมุนมีความเร็วรอบประมาณ 5,000-10,000 รอบต่อนาที ของเหลวที่ตกลงบนจานหมุนจะถูกเหวี่ยงออกและกระจายเป็นละอองเล็ก ๆ ขนาดเฉลี่ยของละอองอยู่ที่ประมาณ 30-120 ไมครอน



รูปที่ 2.7 ลักษณะของหัวฉีดแบบจานหมุน (rotary หรือ centrifugal atomizer)

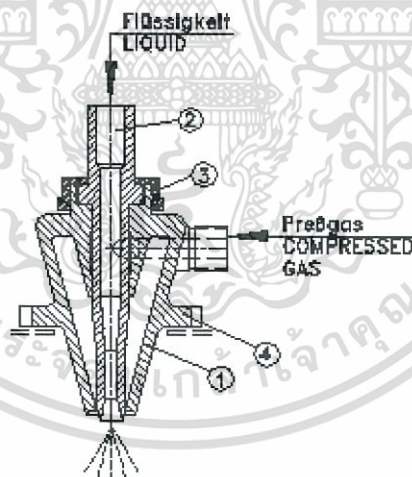
ที่มา : <https://www.alibaba.com> (16 มี.ค. 2561)

2. แบบหัวฉีดแรงดัน (pressure nozzle atomizer) ของเหลวที่ไหลผ่านหัวฉีดภายใต้ความดันสูง จะกระจายตัวเป็นละอองฝอย โดยไม่ต้องใช้อากาศช่วยในการกระจาย ขนาดเฉลี่ยของละอองอยู่ที่ 120-250 ไมครอน



รูปที่ 2.8 ลักษณะของหัวฉีดแรงดัน (pressure nozzle atomizer)  
ที่มา : <http://www.nubilosa.com> (16 มี.ค. 2561)

3. แบบหัวฉีดสองหัวพร้อมกัน (two-fluid nozzle atomizer) หัวฉีดแบบสองหัวนี้อากาศและของเหลวจะไหลผ่านหัวพ่น ทำให้แตกตัวเป็นละอองฝอยจากการไหลผ่านอากาศที่มีความเร็วสูง อัตราการไหลของอากาศมีผลต่อการกระจายตัวเป็นละอองฝอย หัวฉีดแบบนี้นิยมใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูง (Nema et al, 2015)



รูปที่ 2.9 ลักษณะของหัวฉีดสองหัวพร้อมกัน (two-fluid nozzle atomizer)  
ที่มา : <http://www.nubilosa.com> (16 มี.ค. 2561)

### 2.3.1.2. การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศ

ละอองฝอยที่ถูกฉีดให้สัมผัสหรือผสมกับอากาศร้อนนั้น ทิศทางของการฉีดพ่นกับการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเข้า แบ่งรูปแบบของการสัมผัสได้ดังนี้

1. การไหลผ่านทางเดียวกัน (co-current flow) ทิศทางการฉีดพ่นของละอองกับอากาศร้อนไปในทางเดียวกัน ละอองฝอยของวัตถุดิบจะสัมผัสและผสมกับอากาศร้อนขณะยังมีความชื้นสูง ทำให้ระเหยได้รวดเร็วและเป็นผงทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การไหลผ่านสวนทางกัน (counter-current flow) ทิศทางการฉีดพ่นของละอองกับการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนตรงข้ามกัน โดยละอองวัตถุดับเพลิงไหลลงมาจากด้านบน อากาศร้อนไหลขึ้นจากด้านล่าง ละอองฝอยที่มีอุณหภูมิต่ำจะได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ น้ำจะระเหยออกไปจนละอองของวัตถุดับเพลิงแห้งและตกลงไปด้านล่างของห้องอบแห้ง

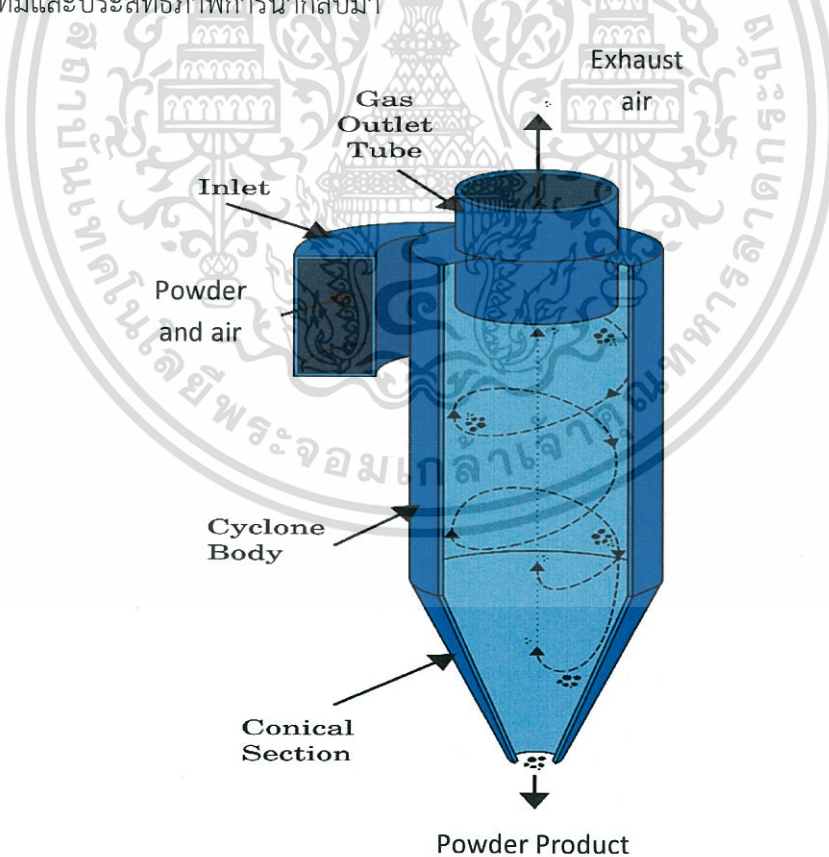
3. การไหลผ่านแบบผสม (mixed flow) วัตถุดับเพลิงถูกฉีดพ่นกระจายที่จุดกลางของห้องอบแห้ง อากาศร้อนเข้าจากด้านบน เคลื่อนลงมาด้านล่างของห้องอบแห้งและผสมกับละอองฝอย เคลื่อนที่ไปยังช่องอากาศออก ละอองฝอยจะแห้งและตกลงด้านล่างของห้องอบแห้ง (Nema et al,2015)

### 2.3.1.3. การระเหยของละอองฝอย

การระเหยของน้ำออกจากละอองฝอยในการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยการถ่ายเทความร้อนและมวล ความร้อนส่งผ่านอากาศด้วยการพาความร้อนจากอากาศร้อนไปยังละอองฝอย น้ำที่อยู่ในละอองฝอยเมื่อได้รับความร้อนก็จะระเหย จากนั้นละอองฝอยที่แห้งเป็นผงจะออกทางด้านล่างของห้องอบแห้ง อัตราการระเหยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิของอากาศ ความชื้น ค่าคุณสมบัติการส่งถ่ายของอากาศ ขนาดของละอองฝอย และความเร็วสัมพัทธ์ของลม (Nema et al,2015)

### 2.3.1.4. ขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์แห้งจากอากาศ

การแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอากาศนั้น โดยทั่วไปนิยมใช้ไซโคลน (cyclone) เป็นตัวเก็บผลผลิตที่ตกลงสู่ด้านล่างของไซโคลน ส่วนลมที่ออกจากด้านบนของไซโคลนจะผ่านไปยังตัวเก็บขั้นสุดท้ายทั้งนี้อาจเป็น wet scrubber หรือ bag filter หรือ electrostatic precipitator ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณผง ที่มีและประสิทธิภาพการนำกลับมา



รูปที่ 2.10 ลักษณะการแยกผลิตภัณฑ์ผงออกจากอากาศในไซโคลน

ที่มา : <https://commons.wikimedia.org> (16 มี.ค. 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับเปลี่ยนตัวแปรทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ โดยตัวแปรเหล่านั้น คือ

1. ลักษณะของ feed โดยถ้า feed มีความหนืดสูง (หรือผลจากการลดลงของอุณหภูมิของ feed) ทำให้ได้ละอองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นที่สภาวะของ atomizer เดียวกัน (ถ้ามีความหนืดมาก จะทำให้ มีลักษณะคล้ายเส้นด้าย)

2. อัตราการไหลของ feed โดยที่ถ้าอัตราการไหลของ feed สูงขึ้นทำให้ได้ละอองที่หยาบขึ้น

3. อัตราไหลของอากาศที่ลดลงทำให้เวลา ที่ละอองอยู่ใน drying chamber นานขึ้นและจะสัมผัสกับอากาศร้อนนาน จึงมีการนำความร้อนออก ได้มากขึ้น

4. อุณหภูมิอากาศขาเข้า การเพิ่มอุณหภูมิ ขาเข้าทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการระเหย และทำให้ bulk density ลดลง เนื่องจากเกิดความพรุนและ มีการแตกหักของผลิตภัณฑ์อุณหภูมิอากาศขาออก การปรับอัตราไหลของ feed มีผลต่ออุณหภูมิขาออก ถ้าอัตราการไหลของ feed สูงขึ้นทำให้ อุณหภูมิขาออกลดลง และ จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง จะเกาะอยู่บริเวณผนังของ drying chamber ได้

## 2.4. สภาวะการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผง

### 2.4.1. อุณหภูมิลมขาเข้าและขาออก

อุณหภูมิของลมขาเข้า (Inlet air temperature) มีผลต่อความเร็วในการระเหยน้ำของผลิตภัณฑ์นอกจากนี้อุณหภูมิขาเข้าที่สูง ยังมีผลให้ความหนาแน่นปรากฏรวมมีค่าลดลง ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีรูพรุนในอนุภาคผงมากกว่า (วริพัสย์ และคณะ, 2557) นอกจากนั้นยังมีรายงาน การศึกษาอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการผลิตน้ำผลไม้อบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งใช้อุณหภูมิในช่วง 130 - 190 °C สำหรับน้ำแตงโม น้ำแคนตาลูป และน้ำส้ม (Shishir and Chen, 2016)

ในขณะที่อุณหภูมิลมร้อนขาออกจะส่งผลกระทบต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ โดยเมื่อเพิ่ม อุณหภูมิขาออกให้สูงขึ้น มีผลให้ปริมาณความชื้นที่เหลือลดลง ดังนั้นการกำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาออก จึงขึ้นกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสำคัญ โดยมีการศึกษาอุณหภูมิลมขาออกที่ใช้ในการผลิตน้ำผลไม้อบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งมีการใช้อุณหภูมิในช่วง 83-112.7 °C สำหรับน้ำแตงโม และน้ำส้ม (Shishir and Chen, 2016)

### 2.4.2. ลักษณะอาหารที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

อาหารที่ใช้ในการอบแห้งแบบพ่นฝอย สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้

a) แบบไม่เหนียวหนืด (Non-sticky) ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะมึลักษณะที่คุณภาพ แน่นอน มีการดูดซับน้ำที่น้อยกว่า และมีอัตราการไหลไปยังห้องอบแห้งที่คงที่ การออกแบบ กระบวนการผลิตสามารถทำได้โดยง่าย เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภทหางนม โปรตีน แป้ง เป็นต้น

b) แบบเหนียวหนืด (Sticky) จะมีผลิตภัณฑ์ที่คงเหลืออยู่ในรูปของไซรัปหรือติดอยู่ตาม ผนังของห้องอบแห้ง ซึ่งจะทำให้ร้อยละผลผลิตต่ำลง และเกิดปัญหาระหว่างกระบวนการโดยอาจเกิด การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงไม่กี่องศาในกระบวนการผลิตก็อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้นได้ เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำผัก ผลไม้ น้ำตาลแลคโตส เป็นต้น (ชนกฤต, 2553)

### 2.4.3. ความเข้มข้น

ถ้าเพิ่มปริมาณของแข็งในสารละลายที่ป้อน โดยที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ จะมีผลต่อ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากปริมาณของแข็งในอนุภาคที่พ่นฝอยนั้น จะเพิ่มขึ้นในขณะที่อัตรา การระเหยน้ำยังคงเดิม ดังนั้นอัตราส่วนของความชื้นต่อของแข็งที่เหลืออยู่ในอนุภาคจะน้อยกว่าใน

กรณีนี้ ปริมาณของแข็งในสารละลายต่ำ ผลที่ตามมาคือ ผลิตภัณฑ์นั้นมีความชื้นลดลง (ชนกฤต, 2553)

#### 2.4.4. การไหลเวียนของลมร้อน

อากาศร้อนและแห้งที่เข้าสู่ห้องอบแห้งจะถูกควบคุมอัตราการไหลด้วยมอเตอร์ สามารถปรับระดับให้อัตราอากาศร้อนแห้งเข้าหรือออกเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ การปรับการไหลเวียนลมร้อนมีผลต่อความดันภายในห้องอบลมร้อน ถ้าความดันเปลี่ยนจะส่งผลต่อปริมาณการระเหยของไอน้ำ ดังนั้นระดับการหมุนเวียนลมภายในห้องอบมีผลต่อประสิทธิภาพอุปกรณ์การทำแห้ง โดยอัตราการไหลเวียนลมร้อนสูงทำให้การแยกในไซโคลนมีประสิทธิภาพสูง และอัตราการไหลเวียนลมร้อนต่ำส่งผลให้ระดับความชื้นคงเหลือในผลิตภัณฑ์ต่ำลงด้วย (ชนกฤต, 2553)

#### 2.4.5. บีม

บีมที่ใช้พัดของเหลวเข้าสู่หัวฉีดพ่น ความเร็วของบีมมีผลต่อค่าความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออก อัตราเร็วบีมมีผลต่ออัตรามวลเข้า ซึ่งหากมีปริมาณของเหลวผ่านมาก ก็ต้องใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกมากด้วย การที่อุณหภูมิทางออกลดลงนี้เป็นข้อจำกัดของบีม ทำให้อนุภาคไม่แห้งพอและมีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ และอาจส่งผลให้ผนังห้องอบแห้งมีความชื้น

ขนาดของบีมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความหนืดของของเหลวที่จะทำแห้งและขนาดของท่อ การเพิ่มขนาดบีมทำให้อุณหภูมิทางออกลดลง และส่งผลให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกเพิ่มขึ้น ส่วนการลดขนาดบีมโดยคงอุณหภูมิขาเข้าและอัตราการไหลเวียนของลมร้อนไว้จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีความชื้นต่ำลง (ชนกฤต, 2553)

#### 2.4.6. อัตราการพ่น

อัตราการพ่นคือ ปริมาณลมที่เพียงพอที่ใช้ในการอัดให้ของเหลว (ของผสม สารแขวนลอย) เกิดการกระจายตัว ซึ่งอาจใช้แก๊สอื่นในการอัดได้ อัตราการพ่นมีผลต่อขนาดผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำให้ขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์ได้มีขนาดเล็กลง (พิพัฒน์, 2548)

#### 2.4.7. อัตราการป้อนวัตถุดิบ

อัตราการป้อนวัตถุดิบโดยทั่วขึ้นอยู่กับความเร็วของหัวฉีดพ่นและความเร็วของการบีมที่สูงขึ้น ทำให้อัตราการป้อนสูงขึ้นด้วย (Tonon et al., 2008) โดยมีการศึกษาอัตราการป้อนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต น้ำส้ม คือ 15 – 30 ml/min (Shishir and Chen, 2016)

การเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบโดยที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ มีผลทำให้อนุภาคที่พ่นฝอยมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นต่ำ และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนวัตถุดิบโดยที่อัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณความร้อนที่ให้ระบบคงที่ มีผลทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (ชนกฤต, 2553)

### 2.5. การเติมสารช่วยทำแห้ง

สารช่วยทำแห้ง เป็นสารที่ถูกใส่เพิ่มเข้าไปเพื่อลดการเหนียวติดบนผนังของห้องอบแห้ง (Drying Chamber) และช่วยให้มีการไหลของอนุภาคผงได้อย่างอิสระมากยิ่งขึ้น สามารถแบ่งตามลักษณะหน้าที่ได้ 4 แบบ คือ สารช่วยดูดซับความชื้น สารเพิ่มความยืดหยุ่น สารเพิ่มความคงตัว และสารเพิ่มปริมาณ ดังตารางที่ 2.5 ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการทำแห้ง โดยมักเติมลงไปเป็นสารละลายก่อนป้อนเข้าสู่เครื่องทำแห้ง ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมใช้มอลโตเด็คซ์ตริน (วรพิสัย และคณะ, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.5 ชนิดและตัวอย่างของสารช่วยทำแห้ง

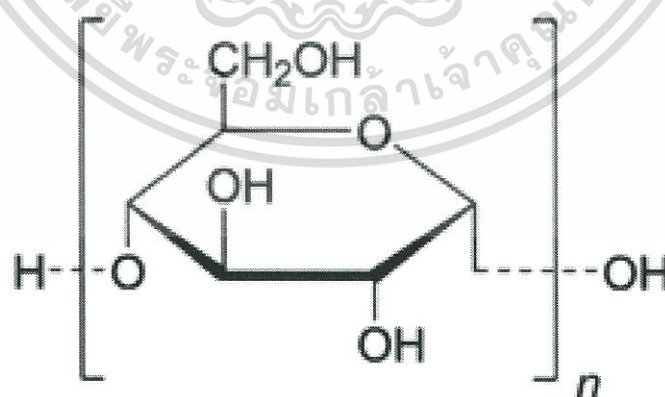
ชนิดสารช่วยทำแห้ง	ตัวอย่าง
สารช่วยดูดซับ	Aerosol, avicel, Ph102
สารเพิ่มความยืดหยุ่น	Polyethylene glycol 400(PEG400)
สารเพิ่มความคงตัว	Gum Arabic, Polyvinyl (PVA), Pectin
สารเพิ่มปริมาณ	Maltodextrin, Lactose

### 2.5.1. มอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin)

มอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin) คือคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ประเภท polysaccharide ที่ได้จากการย่อยโมเลกุลของสตาร์ช (starch) บางส่วนให้เป็นสายสั้นๆ ของน้ำตาลกลูโคส (glucose) มีลักษณะเป็นผงหรือเกล็ดสีขาวไม่มีรส หรือมีรสหวานเล็กน้อยสามารถละลายในน้ำได้ดี ส่วนใหญ่ทำมาจากข้าวโพด และถูกนับว่าเป็นคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ (Polysaccharide) หรือที่เรียกกันว่า คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (Complex Carbohydrate) โดยมอลโตเด็กซ์ตริน 1 กรัม จะให้พลังงาน 4 แคลอรี มอลโตเด็กซ์ตรินมีคุณสมบัติเป็นสารช่วยในการทำแห้งชนิดหนึ่งจึงเป็นที่นิยมใช้กันมากนอกจากนี้ยังนิยมใช้เป็นสารช่วยเพิ่มมวลของผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผง(วันเพ็ญ,2549)

โดยมีการศึกษาปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ใช้ในการผลิตน้ำผลไม้อบแห้งแบบพ่นฝอย โดยมีการศึกษาปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ใช้ในการผลิตน้ำผลไม้อบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งมีการใช้อุณหภูมิในช่วง 6-25% สำหรับน้ำแตงโม น้ำส้มและน้ำสับปะรด ( Shishir and Chen, 2016)

โครงสร้างของมอลโตเด็กซ์ตรินนั้น เป็นโพลีแซคคาไรด์ ถูกใช้เพื่อเป็นสารเติมแต่งในอาหาร (Food Additive) ได้จากการไฮโดรไลซิสแป้ง ประกอบด้วย D-glucose (Dextrin) หนึ่งหน่วยต่อกันเป็นลักษณะโซ่ยาว โดยความยาวสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ หน่วยของกลูโคสจะเชื่อมต่อกันแบบพันธะ  $\alpha$  (1,4) มอลโตเด็กซ์ตรินแบ่งได้ตามค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (Dextrose Equivalent, DE) มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า dextrose equivalent ต่ำ มีค่าอยู่ระหว่าง 5-20 มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE สูง แสดงว่าโมเลกุลของสตาร์ชถูกย่อยได้น้ำตาลกลูโคสมาก จะมีความหวานมากกว่า



$\alpha$ -1,4

$2 < n < 20$

รูปที่ 2.11 โครงสร้างของมอลโตเด็กซ์ตริน

ที่มา : <https://en.wikipedia.org> (16 มี.ค. 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.2. ค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (Dextrose equivalent : DE)

Dextrose equivalent หรือ ค่าสมมูลเด็กซ์โทรส เรียกว่า DE คือ ปริมาณร้อยละของ น้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) คิดเป็นปริมาณน้ำตาลเด็กซ์โทรส (dextrose) ที่มีอยู่ในคาร์โบไฮเดรต ทั้งหมด ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้ค่า dextrose equivalent (DE) แสดงถึงระดับการย่อยแป้ง (flour) หรือ สตาร์ช (starch) ให้เป็นน้ำตาลกลูโคสหรือเด็กซ์โทรส โดยสตาร์ช (starch) มีค่า DE เท่ากับ 0 ขณะที่น้ำตาลกลูโคสมีค่า DE เท่ากับ 100 ตัวอย่างค่า DE ของคาร์โบไฮเดรตบางชนิด เช่น มอลโทเด็กซ์ตริน (maltodextrin) มีค่า DE น้อยกว่า 20 เป็นต้น

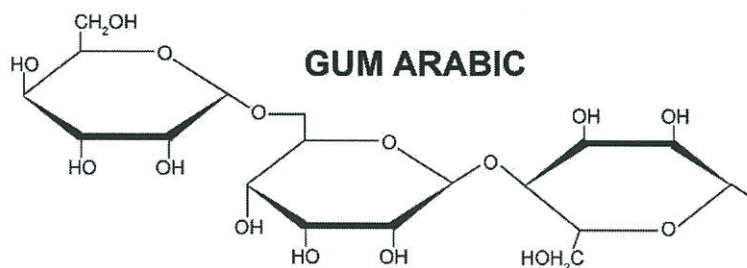
ค่า Dextrose equivalent ใช้เป็นข้อกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยแป้ง ให้มีโมเลกุลเล็กลง (starch hydrolysis) ซึ่งใช้เป็นสารให้ความหวาน (sweetener) โดยจะไม่ยอม กำหนดค่าความหวาน (relative sweetness) แต่จะกำหนดเป็นค่า DE แทน ค่า DE สูงแสดงว่า ผลิตภัณฑ์มีความหวานมากกว่า ค่า Dextrose equivalent ของ น้ำเชื่อมกลูโคส (glucose syrup) หมายถึง ปริมาณน้ำตาลเด็กซ์โทรส (dextrose, ซึ่งคือ D-glucose) ที่มีอยู่ในน้ำเชื่อมกลูโคสทั้งหมด โดยน้ำหนักแห้ง หากสตาร์ช (starch) ถูกไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาลกลูโคสมาก จะทำให้ได้น้ำเชื่อมกลูโคส ที่มีค่า DE สูงมีความหวานมาก และมีความใสมากขึ้น

การใช้สารให้ความหวาน (sweetener) ชนิดคาร์โบไฮเดรต ที่ไม่ใช่น้ำตาล ในนมสำหรับทารก สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาใช้ค่าความหวาน (relative sweetness) ของน้ำตาลแล็กโทส ซึ่งเป็นน้ำตาลในนมวัวที่ 40 เอกสารดังกล่าวมีข้อมูลแสดงว่า corn syrup ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากการย่อยแป้งจากข้าวโพด ที่ค่า DE เท่ากับ 36 และได้อนุญาตให้ใช้ คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่น้ำตาล ในผลิตภัณฑ์นมสำหรับทารก จะต้องเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีค่า DE ไม่เกิน 40 (Jim and Lily., 2011)

### 2.5.3. กัมอาราบิก (Gum Arabic)

กัมอาราบิก เป็นสารประกอบประเภทไฮโดรคอลลอยด์ ได้จากน้ำยางของเปลือกลำต้นพืช จำพวกกลุ่มอะคาเซีย มีสีขาวใสจนถึงสีเหลืองอำพัน ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร มีความหนืดต่ำและมีความสามารถในการละลายสูงทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็นถึง 50% ประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ต่างชนิดและมีโครงสร้างของโปรตีนประมาณ 2% กัมอาราบิกเป็นสารประกอบจากธรรมชาติที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ และไม่มีพิษต่อร่างกายของมนุษย์ ในทางโภชนาการพบว่า ร่างกายของมนุษย์มีความสามารถในการย่อยกัมอาราบิกได้ต่ำมาก จึงเป็นสารที่ไม่ให้พลังงาน กัมอาราบิกมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิฟายเออร์คุณภาพสูง โดยเฉพาะในอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นกรดอะมิโน สามารถจับอยู่บนพื้นผิวของหยดน้ำได้ดีและแข็งแรง (กลอยใจ, 2556)

โดยมีการศึกษาปริมาณกัมอาราบิกที่ใช้ในการผลิตน้ำผลไม้อบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งมีการใช้ใน ช่วง 10-30% สำหรับน้ำสกัดจากผลต้นโมก น้ำฝรั่งและน้ำทับทิม (Yousefi et al., 2011)



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของกัมอาราบิก

ที่มา : [https:// www.justpaint.org](https://www.justpaint.org) (16 มี.ค. 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.5.4. Glass Transition Temperature (TG)

อุณหภูมิที่ทำให้ส่วนที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐานในวัสดุจะเปลี่ยนสถานะจากสถานะคล้ายแก้ว (Solid-like Glassy State) (มีลักษณะแข็งเปราะ มีความหนืดประมาณ 10<sup>12</sup> ปาสคาล.วินาที และมีโครงสร้างจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ แต่เป็นระเบียบน้อยกว่าของแข็ง) กลายเป็น สถานะคล้ายยาง (Liquid-like Rubbery State) (มีลักษณะเหนียวหนืด โครงสร้างจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ โดยโครงสร้างจะไม่เป็นระเบียบน้อยกว่าของเหลว และมีความหนืดประมาณ 10<sup>6</sup> ถึง 10<sup>8</sup> ปาสคาล.วินาที) (Xiao et al., 2008)

การอบแห้งอาหารเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถทำให้เกิด TG ในอาหารได้ เนื่องจากหลักการสำคัญของการอบแห้ง คือให้ความร้อนกับอาหาร เพื่อกำจัดน้ำซึ่งเป็นปัจจัยในการดำรงชีวิตที่สำคัญของจุลินทรีย์ และเป็นปัจจัยสำคัญในการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร ซึ่งในระหว่างกระบวนการอบแห้ง จะมีตัวกลาง เช่น ลมร้อน หรือไอน้ำทำหน้าที่ในการถ่ายเทความร้อนให้กับอาหาร ทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น และน้ำในอาหารได้รับความร้อนจนสามารถระเหยออกจากชิ้นอาหารได้ ดังนั้นในระหว่างการอบแห้งอุณหภูมิและความชื้นของอาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และเนื่องจากอาหารส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นกึ่งอสัณฐาน ทำให้สภาวะเหมาะสมแก่การเกิดกลาสทรานซิชันซึ่งการเกิดกลาสทรานซิชันนี้ส่งผลให้อาหารมีสถานะที่แตกต่างกันไประหว่างการอบแห้ง (สวนิต, 2556)

กระบวนการการสูญเสียกลิ่น การหดตัว การตกผลึกการเกาะตัวกัน และการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของอาหารแห้ง มีความแปรผันอย่างมากกับการเกิด TG ของอาหารในระหว่างการอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิด TG ทำให้สถานะของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลง จากสถานะคล้ายแก้วเป็นสถานะคล้ายยาง โดยอาหารที่มีสถานะทั้งสองแบบนี้จะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันอย่างมากระหว่างการอบแห้งด้วย โดยเฉพาะความหนืดดังนั้นกระบวนการใดที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างและความหนืดของอาหาร จึงมีความแปรผันอย่างมากต่อการเกิด TG ในระหว่างช่วงอบแห้ง โดยกระบวนการต่างๆ เหล่านี้อาจส่งผลอย่างมากต่อคุณภาพของอาหารหลังการอบแห้ง ดังนั้นผู้ผลิตอาหารจึงควรทำการควบคุมการเกิด TG ระหว่างการอบแห้งเพื่อให้อาหารแห้งที่ผลิตได้มีคุณภาพตามที่ผู้บริโภคต้องการ (สวนิต, 2556)

## ตารางที่ 2.6 อุณหภูมิการเปลี่ยนจากสถานะคล้ายแก้วภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

Material (Moisture Free)	Glass transition temperature (°C)	Constant (kg)
Fructose	5	3.18
Glucose	31	4.07
Galactose	32	
Skim milk with hydrolyzed lactose	49	8.00
Sucrose	62	
Maltose	87	
Amorphous lactose	97	6.70
Medium-fat milk (18.6% fat)	98	
Maltodextrin (DE 36)	100	
Maltodextrin (DE 25)	121	
Maltodextrin (DE 20)	141	
Maltodextrin (DE 10)	160	
Maltodextrin (DE 5)	188	

ที่มา : (Yrjö, 2001)

### 2.6. คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

โดยทั่วไปการศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบด้วย

#### 2.6.1. ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Product yield)

แสดงถึง ค่าร้อยละของอัตราส่วนของมวลของผงแห้งที่ได้หลังจากการอบแห้งกับน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดที่ป้อนเข้าไป ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรม เนื่องจากอัตราผลผลิตที่สูงขึ้นหมายถึงได้ผลผลิตที่มากขึ้น ทำให้ได้รายได้จากการจำหน่ายมากขึ้น เหตุผลหลักที่ทำให้ผลผลิตของผลิตภัณฑ์ต่ำคือปัญหาความหนืดและเหนียวติดผนังของอาหารภายในเครื่องทำแห้ง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอัตราผลผลิตจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยควรมีค่ามากกว่า 50% (Bhandari et al., 1997)

#### 2.6.2. ความชื้น (Moisture content)

แสดงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร สามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธี ความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยทั่วไปควรมีค่าต่ำกว่า 5% ซึ่งความชื้นในระดับนี้สามารถรับรองได้ว่าผลิตภัณฑ์จะปราศจากการเติบโตของจุลชีพและสามารถเก็บได้ในระยะเวลาานาน (Santana et al., 2017)

#### 2.6.3. วอเตอร์แอกติวิตี (Water activity)

Water activity ( $a_w$ ) เป็นดัชนีที่สำคัญสำหรับผงพ่นแห้ง เนื่องจากมีผลต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น เป็นค่าที่แสดงระดับพลังงานของน้ำ มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร นิยามของค่าวอเตอร์แอกติวิตี เป็นอัตราส่วนของความดันไอ (vapour pressure) ของน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไอ ของน้ำบริสุทธิ์ ( $P_0$ ) ที่อุณหภูมิและความดัน

เดียวกัน โดยค่า Water activity ของอาหารชนิดผงจะมีค่าต่ำกว่า 0.3 ซึ่งอยู่ในช่วงที่อาหารปลอดภัย จากจุลินทรีย์ต่างๆ (Bicudo et al., 2015)

#### 2.6.4. ความหนาแน่น (Bulk density)

ความหนาแน่น เป็นสมบัติทางกายภาพของวัสดุ หมายถึง ความหนาแน่นของวัสดุปริมาณมวล เช่น แป้ง สตาร์ช เมล็ดธัญพืช กาแฟผง นมผง อาหารสัตว์ ขนมอบเคี้ยว ลูกกวาด เป็นต้น ซึ่งเป็นความหนาแน่นที่รวมที่ว่างระหว่างชิ้นวัสดุด้วย ต่างจากความหนาแน่นเนื้อ ซึ่งเป็นความหนาแน่นของวัสดุแต่ละชิ้นไม่รวมที่ว่างระหว่างชิ้นวัสดุ เช่น การวัดความหนาแน่นของมันฝรั่งแต่ละหัว ได้เป็นค่า solid density แต่หากวัดความหนาแน่นของมันฝรั่งขณะกองอยู่ หรืออยู่ในถังเก็บ ได้เป็นค่า bulk density เป็นต้น (นิธิยา, 2545) ความหนาแน่น ขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และสมบัติผิวของอนุภาค ผงที่มีผิวเรียบเนียนสม่ำเสมอจะมีความหนาแน่นมาก ผงที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะส่งผลให้ใช้ขนาดบรรจุภัณฑ์ที่ใหญ่ขึ้น สำหรับปริมาณวัสดุเดียวกัน (Bicudo et al., 2015)

#### 2.6.5. ความสามารถในการละลายได้ (Solubility)

ความสามารถในการละลายของสารชนิดหนึ่งในสารอีกชนิดหนึ่งนั้นสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างตัวถูกละลาย กับตัวทำละลาย หรืออัตราส่วนตัวถูกละลายกับสารละลายในสถานะที่สารละลายนั้นเป็นสารละลายอิ่มตัว ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของตัวทำละลายกับตัวถูกละลาย อุณหภูมิ ความดัน และปัจจัยอื่นๆ เป็นต้น (นิธิยา, 2545) ความสามารถในการละลาย คือ ความสามารถที่ผลิตภัณฑ์ผงสามารถละลายหรือแขวนลอยในน้ำได้ ซึ่งความสามารถในการละลายนี้เป็นเกณฑ์ที่สำคัญในการประเมินคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้หลังผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย ความสามารถในการละลายจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุดิบและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ เช่น ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ขนาดอนุภาค เป็นต้น โดยผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปแบบของอัสัณฐานจะมีความสามารถในการละลายได้ดีกว่า (Cano-Chauca, Stringheta, Ramos, & Cal-Vidal, 2005)

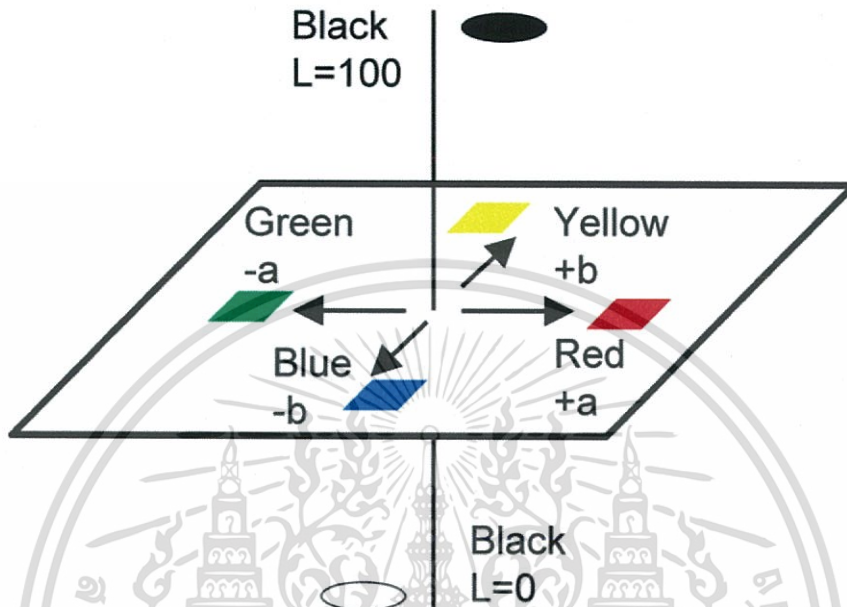
#### 2.6.6. สีของผลิตภัณฑ์ (Color)

จากหลักการพื้นฐานเรื่องสีในการมองเห็นสี จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อใช้วัดสีที่มีมาตรฐาน และลดความไม่เป็นกลางเนื่องจากปัจจัยของแหล่งกำเนิดแสงและผู้สังเกตการณ์ องค์กรที่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดมาตรฐานด้านสี คือ Commission International de l'Eclairage (CIE) หรือในชื่ออังกฤษว่า International Commission on Illumination มีสำนักงานใหญ่อยู่ในประเทศฝรั่งเศส องค์กรนี้ได้กำหนดมาตรฐานการวัดสีซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างในวงการวิชาการและการวิจัย คือระบบ CIE Lab scale ในระยะเริ่มแรก CIE ได้กำหนดสเกลการวัดสีเป็น X-Y-Z ซึ่งใช้บรรยายสีแดง (Red) เขียว (Green) และ น้ำเงิน (Blue)

แต่เนื่องจากระบบสีดังกล่าวไม่สามารถบรรยายถึงลักษณะความมืด-สว่างของสีได้ CIE ได้พัฒนาต่อมาเป็นระบบ X-Y-L ซึ่งบรรยายถึงค่าสีแดง เขียว และความสว่าง (lightness) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวก็ยังมีข้อจำกัดที่บรรยายถึงค่าสีน้ำเงิน CIE จึงได้พัฒนาระบบสีต่อมาจนเป็นระบบที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือระบบ  $L^*a^*b^*$  ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน  $L^*$  จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า  $+L^*$  แสดงถึงสีขาว จนไปถึง  $-L^*$  แสดงถึงสีดำ แกน  $a^*$  จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ( $-a^*$ ) ไปจนถึงแดง ( $+a^*$ ) ส่วนแกน  $b^*$  จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ( $-b^*$ ) ไปเหลือง ( $+b^*$ ) ลักษณะการบรรยายสีของ CIE แสดงได้ดังรูป 2.13 นอกจากนี้ บริษัท Hunter lab ในอเมริกาก็เป็นอีกองค์กรหนึ่งซึ่งทำการวิจัยและพัฒนาระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดสี จนในที่สุดได้ระบบของ Hunter lab เอง ซึ่งเรียกว่า การวัดสีระบบ Hunter lab scale ซึ่งบรรยายแกนใน 3 มิติเช่นเดียวกับระบบ CIE โดยที่ Hunter lab จะใช้สเกล L-a-b บรรยายลักษณะสี เช่นเดียวกับ  $L^*-a^*-b^*$  ของ CIE ข้อแตกต่างระหว่างระบบสีของ CIE และ Hunter lab คือสูตรการคำนวณค่าสี ซึ่งทั้ง L-a-b และ  $L^*-a^*-b^*$  ล้วนมีพื้นฐานการคำนวณมาจากค่าจากระบบ X-Y-Z ทั้งสิ้น (เจริญชัย, 2553)



รูปที่ 2.13 ระบบสีของ CIE Lab

ที่มา : <https://www.researchgate.net> (16 มี.ค. 2561)

การหาความแตกต่างของสี พิจารณาจากระยะห่างของพิกัดสีนั้นๆ เช่น จุดที่ 1 วัดค่าสีได้  $L_1^*$ ,  $a_1^*$ ,  $b_1^*$  จุดที่ 2 วัดค่าสีได้  $L_2^*$ ,  $a_2^*$ ,  $b_2^*$  จะได้ความแตกต่างของสี (DE) ระหว่างจุดที่ 1 และ 2 ตามสมการที่ 1

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (1)$$

ส่วนแหล่งกำเนิดแสง CIE ได้มีการกำหนด มาตรฐานไว้ดังนี้

1. Illuminant A มีการกระจายพลังงานใกล้เคียงกับหลอดไส้ทั้งสแตน (incandescent lamp) ที่มีอุณหภูมิสี 2,848 เคลวิน
2. Illuminant B เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากหลอดไฟแบบ Illuminant A ที่ผ่านตัวกรองแสงแล้วให้แสงที่มีอุณหภูมิสี 4,900 เคลวิน
3. Illuminant C เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากหลอดแบบ Illuminant A ที่ผ่านตัวกรองแสง แล้วให้แสงที่มีอุณหภูมิสี 6,700 เคลวิน
4. Illuminant D เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้แทนแสงแดดตอนกลางวัน แต่อุณหภูมิสีต่างกัน เช่น D65 เป็นแสงแดดตอนกลางวันที่มีอุณหภูมิ 6,500 เคลวิน, D75 เป็นแสงแดดตอนกลางวันที่มีอุณหภูมิ 7,500 เคลวิน (เจริญชัย, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7. คุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์

สารประกอบทางเคมีในพืช (Phytochemicals) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่พบในพืช โดยมีขอบเขตเกี่ยวกับการสกัดสารสำคัญจากพืช การแยกสารให้บริสุทธิ์ การหาสูตรโครงสร้าง และการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารเคมีที่แยกได้จากพืช การวิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญในพืช ตลอดจนการศึกษากระบวนการชีวสังเคราะห์ และกระบวนการสลายสารเคมีในพืช เป็นต้น (นพมาศ สุนทรเจริญนนท์, 2544)

### 2.7.1. การวิเคราะห์หาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดจากผลิตภัณฑ์ผงหัวปลี

การวิเคราะห์หาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดจากผลิตภัณฑ์ผงหัวปลี ทำโดยวิธีการสเปกโตรโฟโตเมตริก ตามวิธีการของ Kathirvel และ Sujatha (2012) โดยมีวิธีการดังนี้ ปิเปิดสารสกัดจากผงหัวปลี (ผงหัวปลีที่เจือจางด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30) ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 250 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไนไตรท์ ( $\text{NaNO}_2$ ) ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 75 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที แล้วเติมสารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ ( $\text{AlCl}_3$ ) ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 150 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ 6 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 500 ไมโครลิตร น้ำกลั่นปริมาตร 275 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Hettich Zentrifugen) จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาปริมาณของฟลาโวนอยด์ทั้งหมดจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานของคาเทชิน โดยรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมของคาเทชินต่อกรัมของสารสกัด ( $\text{mg catechin equivalents (CE)/g extract}$ )

ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดคาเทชิน ที่ความเข้มข้น 1000, 750, 500, 250, 100, 50, 25 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการทดลองตามวิธีการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธีการเช่นเดียวกับข้างต้น แต่ใช้สารละลายกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้นต่างๆแทนสารสกัดจากผักและผลไม้ ส่วนแบลนค์ (blank) ใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 แทนสารสกัด เมื่อได้ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตรของสารละลายกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้นต่างๆแล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาพลอตกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกรดแกลลิกกับค่าการดูดกลืนแสงของกรดแกลลิก จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง หาสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างที่วิเคราะห์

## 2.8. การคำนวณทางทฤษฎี

### 2.8.1. ทฤษฎีเกี่ยวกับ Response Surface Methodology (RSM)

วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments : DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการเพื่อให้ได้ผลตอบสนองเป็นไปตามที่เราต้องการ ซึ่งมีข้อแตกต่างจากวิธีการทดลองโดยทั่วไปคือ วิธีการโดยทั่วไปมักจะเป็นการลองผิดลองถูกหรือใช้การทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One Factor at a Time ; OFAT) ซึ่งจะให้ผลตอบสนองเข้าสู่จุดมุ่งหมายที่ต้องการช้ามากอีกทั้งสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์และเก็บรวบรวมข้อมูลการออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง (Central composite design; CCD) เป็นการออกแบบการทดลองโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ โดยเมื่อตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเพิ่มหรือลดค่าตัวแปรอื่นอาจเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรงทำให้ต้องมีการศึกษา

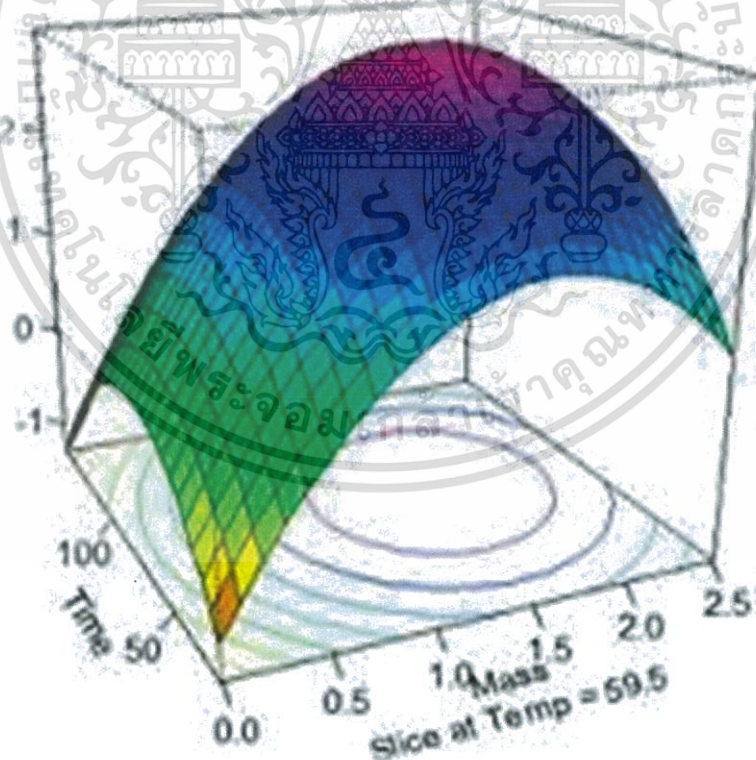
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (quadratic relationship) การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (Response Surface Methodology: RSM) เป็นวิธีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัญหาซึ่งแสดงผลตอบสนองต่อผลจากตัวแปรต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดหรือความเหมาะสมต่อผลนั้น (Montgomery, 1991) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Multiple regression analysis ซึ่งหากตัวแปรใดมีผลต่อค่าการตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ตัวแปรนั้นจะปรากฏอยู่ในสมการกำลังสอง (Second order model) ตัวอย่างดังสมการที่ (2)

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ii} x_i^2 + \sum b_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

โดย	Y	คือ	ค่าการตอบสนอง (ตัวแปรตาม)
	$b_0$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเดลทดลอง
	$b_i$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ของ linear effect
	$b_{ii}$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ของ square effect
	$b_{ij}$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ของปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร
	$X_i, X_j$	คือ	ตัวแปรอิสระ

เมื่อทำการประมวลผลทางสถิติจะได้กราฟโครงร่าง (contour plot) และกราฟพื้นผิวดตอบสนอง (surface plot) เพื่อช่วยในการประมวลผลระหว่างปัจจัยร่วม รูปที่ 2.14 เป็นตัวอย่างของการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในรูปกราฟสามมิติ



รูปที่ 2.14 กราฟพื้นผิวดตอบสนอง

ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com> (16 มี.ค. 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันได้มีงานวิจัยหลายงานวิจัยนำจุดเด่นของ RSM มาประยุกต์ใช้ เช่น S. R. Rani และคณะ (S. R. Rani, 2007) ได้ศึกษาสภาวะของความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการผลิตเซลลูโลส โดยใช้ RSM จากผลการศึกษาพบว่าความชื้นร้อยละ 37.5 และอุณหภูมิ 30 °C เป็นปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดกิจกรรมเอนไซม์เซลลูโลสสูงสุดเท่ากับ 3.52 กรัมซบสเตรด M. Ebrahimi และคณะ (M. Ebrahimi, 2015) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิขณะเคลือบและการไหลของแก๊สไฮโดรเจนต่อลักษณะการสึกหรอของฟิล์มบาง DLC (Diamond Like Carbon) เตรียมโดยวิธี DC reactive magnetron sputtering โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี RSM เพื่อหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการเคลือบ โดยโปรแกรมทำการออกแบบการทดลองทั้งหมด 13 การทดลอง ผลการศึกษาพบว่าทั้งอุณหภูมิขณะเคลือบและการไหลของแก๊สไฮโดรเจนล้วนส่งผลถึงลักษณะการสึกหรอของฟิล์มบาง นอกจากนี้ยังได้สมการเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ อีกด้วย

M. Prabakaran และคณะ (M. Prabakaran et al., 2014) ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของแผ่นรองรับ และอัตราการไหลของไนโตรเจน ต่อสภาพยึดติดและความแข็งของฟิล์มบาง CrN ที่เคลือบโดยวิธี DC reactive magnetron sputtering ลงบนสแตนเลสสตีล (6959) โดยประยุกต์ใช้ RSM เพื่อหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการเคลือบ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า โปรแกรม RSM สามารถประมวลผลและหาเงื่อนไขของการเคลือบที่ดีที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพนอกจากนี้ RSM ยังถูกนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยอื่นๆ เช่น การหาปัจจัยที่ส่งผลต่อน้ำหนักที่หายไป (weight loss) ของลูกบอลที่ขัด (grinding ball) ในเครื่องบด (A. Azizi, 2015) การหาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลถึงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล เป็นต้น (I. Noshadi, 2012, and J. Wu, et al, 2010)

## 2.9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลลิตา (2552) ได้นำพืชที่ใช้เป็นอาหารในท้องถิ่นต่างๆมาศึกษาฤทธิ์ในการต้านเชื้อ *Helicobacter pylori* ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดแกรมลบที่สามารถพบได้ในกระเพาะอาหารของมนุษย์ เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคกระเพาะอาหาร การย่อยที่ผิดปกติ แผลในกระเพาะอาหารและนำไปสู่การเป็นมะเร็งกระเพาะอาหาร โดยงานวิจัยได้สรุปว่าหัวปลีกล้วยนั้นมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อได้

ภัทรวรรณและคณะ (2559) ได้ศึกษาคุณสมบัติของน้ำหัวปลีในการป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร ด้วยการทดลองนำน้ำสกัดหัวปลีจากกล้วยน้ำว้าด้วยแอลกอฮอล์ให้แก่หนูวิสตาร์ผ่านทางปาก ก่อนกระตุ้นให้หนูวิสตาร์เกิดความเครียดที่เกิดจากการชักนำด้วยแอลกอฮอล์ ยาอินโดเมทาซิน (indomethacin) และความเครียด ทำการป้อน EF ให้แก่หนูทางปากแบบเฉียบพลัน ในขนาดความเข้มข้น 250, 500 และ 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนชักนำให้เกิดแผลในกระเพาะอาหาร และทำการวัดพารามิเตอร์ ได้แก่ ขนาดของแผลในกระเพาะอาหาร (ulcer index), % protection, gastric secretion และ สารเมือก (gastric wall mucus content) จากผลการทดลองพบว่าน้ำสกัดหัวปลีจากกล้วยน้ำว้าด้วยแอลกอฮอล์ขนาดความเข้มข้น 250, 500 และ 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม สามารถลดขนาดของแผลในกระเพาะอาหารได้ในทุกโมเดลตั้งแต่ขนาดความเข้มข้นต่ำสุด (250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำสกัดหัวปลีจากกล้วยน้ำว้าด้วยแอลกอฮอล์ ขนาดความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร (% protection) ได้ถึง 78.80, 70.26 และ 68.73 เปอร์เซ็นต์ในโมเดลแอลกอฮอล์ความเครียด และ ยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินโดเมทาซิน ตามลำดับ จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า น้ำสกัดจากหัวปลีกล้วยน้ำว่าสามารถป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารของหนูวิสตาร์ได้ ซึ่งประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารอาจเกี่ยวข้องกับกลไกการเพิ่มขึ้นของสารเมือกในกระเพาะอาหาร

สิริดา (2551) ได้ศึกษาความสามารถของสารสกัดเอทานอลจากหัวปลีในการป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารในหนูขาวพันธุ์วิสตาร์ ที่ถูกกระตุ้นให้เกิดแผลในกระเพาะอาหารโดยปัจจัยที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ 1.การชักนำให้เกิดแผลในกระเพาะอาหารโดยใช้ absolute ethanol 2.การชักนำให้เกิดแผลในกระเพาะอาหารโดยใช้ยาในกลุ่ม NSAIDs เช่น aspirin indomethacin 3.การชักนำให้เกิดความเครียด พบว่า เมื่อให้สารสกัดจากหัวปลีในปริมาณ 400, 800 และ 1200 มิลลิกรัม/น้ำหนักหนู 1 กิโลกรัม หลังจากนั้น 1 ชั่วโมง นำกระเพาะอาหารออกมาตรวจสอบพบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับสารสกัดจากหัวปลี มีร้อยละของแผลในกระเพาะอาหารลดลงที่  $4.34 + 0.17$ ,  $3.44 + 1.65$  และ  $1.46 + 1.14$  ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าแผลในกลุ่มควบคุมที่ให้น้ำมันข้าวโพด 0.5 มิลลิลิตร ดังนั้นสารสกัดจากหัวปลีปริมาณดังกล่าว สามารถป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารได้ 63.22, 71.19 และ 87.63% ตามลำดับ โดยผลจากการศึกษาดังกล่าวสรุปว่าสารสกัดแอลกอฮอล์จากปลีกล้วยนั้น มีสารที่มีความสามารถในการป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารได้

สรศักดิ์ (2558) ได้ศึกษาสภาวะในการผลิตสารแต่งกลิ่นรสกล้วยหอมผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยกำหนดสภาวะการผลิตของอุณหภูมิลมขาเข้าที่แตกต่างกัน ได้แก่ 100, 120, 140 และ 160 องศาเซลเซียส และกำหนดอัตราส่วนผสมของสารช่วยทำแห้งในวัตถุดิบที่แตกต่างกัน (มอลโตเด็กซ์ตริน : กัมอาราบิก) ได้แก่ 5:1 และ 10:1 โดยผลการศึกษาพบว่าที่สภาวะอุณหภูมิลมขาเข้า 100 องศาเซลเซียส และ อัตราส่วนผสม 10:1 ให้สารแต่งกลิ่นกล้วยหอมผงที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาค่อนข้างกลมผิวเรียบ มีค่าความชื้น การละลาย การอุ้มน้ำ และความหนาแน่นปรากฏ (กรัม/มิลลิลิตร)ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 3.41%, 93.80%, 96.06% และ 0.38 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ และสามารถกักเก็บสารหอมระเหยของสารให้กลิ่นรสกล้วยหอมมากที่สุด

สันติชัยและอุษารัตน์ (2544) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่มีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดสภาวะการผลิตของอุณหภูมิลมขาเข้าที่แตกต่างกัน ได้แก่ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียสโดยใช้ความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตริน 30% ผลจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีอิทธิพลต่อความชื้นและปริมาณเบต้าไซยานินอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) และพบว่าอุณหภูมิเท่ากับ 170 องศาเซลเซียสทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีที่สุดคือ มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดเท่ากับ 3.39% ปริมาณเบต้าไซยานินสูงที่สุดเท่ากับ 102.67 มิลลิกรัม/กรัม อีกทั้งพบว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในช่วงที่ทำการศึกษามีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าสี ความสามารถในการละลายและขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์

คณิตนันท์ และคณะ (2554) ได้ศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวผง โดยกำหนดสภาวะการผลิตของอุณหภูมิลมขาเข้าที่แตกต่างกัน ได้แก่ 120 150 และ 180 องศาเซลเซียส และกำหนดอัตราส่วนผสมของมอลโตเด็กซ์ตรินที่แตกต่างกัน ได้แก่ ที่ร้อยละ 10 20 และ 30 (w/v) กำหนดอัตราการป้อนสารคงที่ 4.5-7.5 มิลลิลิตร/นาที ผลการทดลองพบว่าปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อขนาดอนุภาคของน้ำตาลมะพร้าวผง แต่ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพิ่มขึ้น ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของน้ำตาลมะพร้าวผงมีลักษณะค่อนข้างกลม พบรอยยุบตัวและขรุขระบริเวณผิวหน้ามากขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วรัววรรณ และคณะ (2559) ได้ศึกษาการทำมะเกี๋ยงผงโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นกระจาย โดยกำหนดสภาวะการผลิตที่แตกต่างกัน 2 สภาวะ ได้แก่ สภาวะอุณหภูมิลมขาเข้า 140 องศาเซลเซียส ความดันลม 10 MPa และอุณหภูมิลมขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ความดันลม 20 MPa และกำหนดปริมาณการผสมมอลโตเด็กซ์ทรินได้แก่ ร้อยละ 10, 15 และ 20 จากผลการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ทริน ร้อยละ 10, 15 และ 20 สภาวะที่ให้ผลผลิตมะเกี๋ยงผงมากที่สุด คือ อุณหภูมิลมขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ที่ความดันลม 20 MPa โดยร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เท่ากับ 6.56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และการทดลอง

ในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหัวปลีผงด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน 1) การเตรียมน้ำสกัดหัวปลี มีตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อัตราส่วนของปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน (10%, 20%, 30% (% w/w)) และปริมาณกัมอาราบิก (0%, 10%, 20% (% w/w)) 2) ศึกษาการทำแห้งน้ำสกัดหัวปลีผง มีตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (160, 180, 200 องศาเซลเซียส) โดยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box- Behnken Design) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์น้ำสกัดหัวปลีผงที่มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี

#### 3.1. วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา

##### 3.1.1. วัตถุดิบสำหรับขั้นตอนการสกัดน้ำหัวปลี

3.1.1.1 หัวปลีกล้วยหอม อายุการเก็บเกี่ยว 30 วัน โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท วัน บานาน่า จำกัด



รูปที่ 3.1 หัวปลีกล้วยหอมที่ได้รับจากบริษัท วัน บานาน่า จำกัด

##### 3.1.1.2. น้ำเกลือความเข้มข้น 0.1%

#### 3.1.2. วัตถุดิบสำหรับขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.1.2.1 น้ำสกัดหัวปลี ซึ่งมีปริมาณของแข็ง 1.55% ปริมาณ 1000 มล. ต่อการทดลอง



รูปที่ 3.2 น้ำสกัดหัวปลี

### 3.2. อุปกรณ์การทดลอง

- 3.2.1. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย JCM รุ่น Minitab SDE-10
- 3.2.2. เครื่องให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (Steam Jacket Cooker)
- 3.2.3. เครื่องบดหยาบ
- 3.2.4. เครื่องบดละเอียด
- 3.2.5. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น UN160 ยี่ห้อ Memmert, Germany
- 3.2.6. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Zentrifugen) รุ่น EBA 12 ยี่ห้อ Hettich, Germany
- 3.2.7. เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Aw meter) รุ่น Series 3 ยี่ห้อ Aqualab, USA
- 3.2.8. เครื่องกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)
- 3.2.9. เครื่องวัดสี รุ่น MiniScan XE plus
- 3.2.10. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) รุ่น GENESYS 10S UV-Vis ยี่ห้อ Thermo Fisher Scientific, USA

### 3.3. สารเคมี

- 3.3.1. มอลโตเด็กซ์ทริน (DE-10)
- 3.3.2. กัมอาราบิก
- 3.3.3. น้ำกลั่น
- 3.3.4. สารละลายโซเดียมไนไตรต์ ( $\text{NaNO}_2$ ) ความเข้มข้นร้อยละ 5
- 3.3.5. สารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ ( $\text{AlCl}_3$ ) ความเข้มข้นร้อยละ 10
- 3.3.6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ความเข้มข้น 1 โมลาร์
- 3.3.7. เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30
- 3.3.8. สาร Folin Ciocalteu reagent
- 3.3.9. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{NaCO}_3$ ) ความเข้มข้นร้อยละ 20
- 3.3.10. กรดคาเทชิน
- 3.3.11. กรดแกลลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4. การเตรียมวัตถุดิบ

#### 3.4.1. ขั้นตอนการสกัดน้ำหัวปลี

3.4.1.1. การสกัดน้ำจากหัวปลีกล้วยหอมใช้หัวปลีกล้วยหอมอายุการเก็บเกี่ยว 30 วัน นำมาคัดเลือกส่วนที่ใช้ในการสกัดโดยเลือกเฉพาะส่วนที่มีสีขาว

3.4.1.2. ทำการหั่นเพื่อลดขนาดหัวปลีและแช่ในน้ำเกลือความเข้มข้น 0.1% เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของหัวปลีกล้วย

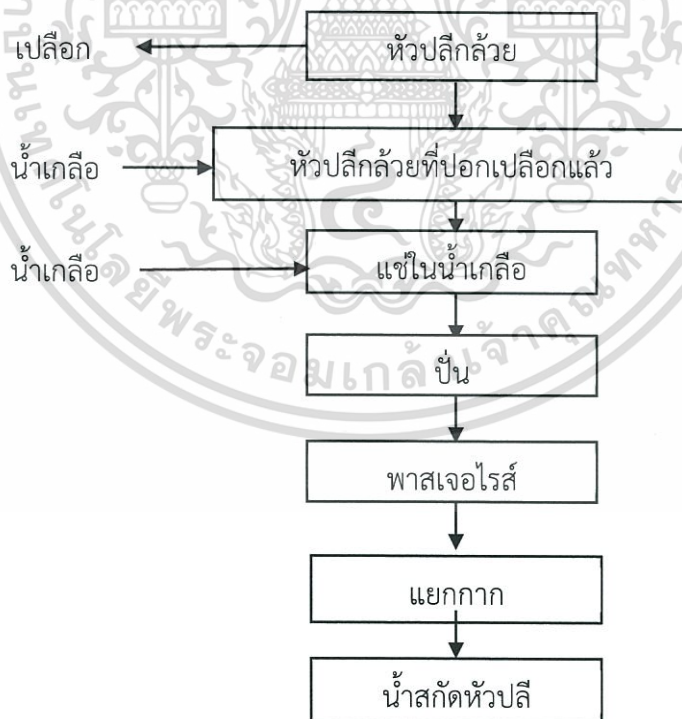
3.4.1.3. นำหัวปลีกล้วยไปปั่นหยาบด้วยเครื่องปั่นสแตนเลสในอัตราส่วนการผลิต หัวปลี : น้ำเกลือ = 1 : 1 ความเข้มข้นน้ำเกลือ 0.1%

3.4.1.4. นำหัวปลีกล้วยที่ได้ไปปั่นด้วยเครื่องปั่นละเอียดอีกครั้ง เพื่อให้ได้น้ำหัวปลีที่มีลักษณะเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน

3.4.1.5. ทำการพาสเจอร์ไรซ์น้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องให้ความร้อนด้วยไอน้ำ (Steam Jacket Cooker)

3.4.1.6. นำไปลดอุณหภูมิเพื่อหยุดการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ป้องกันการสูญเสียสารสำคัญ ในห้องทำความเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.4.1.7. ทำการคั้นแยกกากหัวปลีออกด้วยผ้าขาวบาง เพื่อให้ได้น้ำสกัดหัวปลีที่ใช้ในการทดลอง จากนั้นนำน้ำสกัดที่ได้มาเก็บรักษาไว้ที่ตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.3 ภาพขั้นตอนการสกัดน้ำหัวปลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.4.2.1. นำน้ำสกัดหัวปลีที่เก็บรักษาไว้ที่ตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ออกมาละลายด้วยการให้ความร้อน 50 องศาเซลเซียส

3.4.2.2. เติมน้ำทำแห้งที่กำหนดตามแผนการทดลองลงในน้ำสกัดหัวปลีที่มี อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยกำหนดให้ใส่โมลโตเด็กซ์ทรินจนละลายทั้งหมดก่อนจึงสามารถใส่กัม อาราบิกได้

### 3.4.3. การทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.4.3.1. ติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

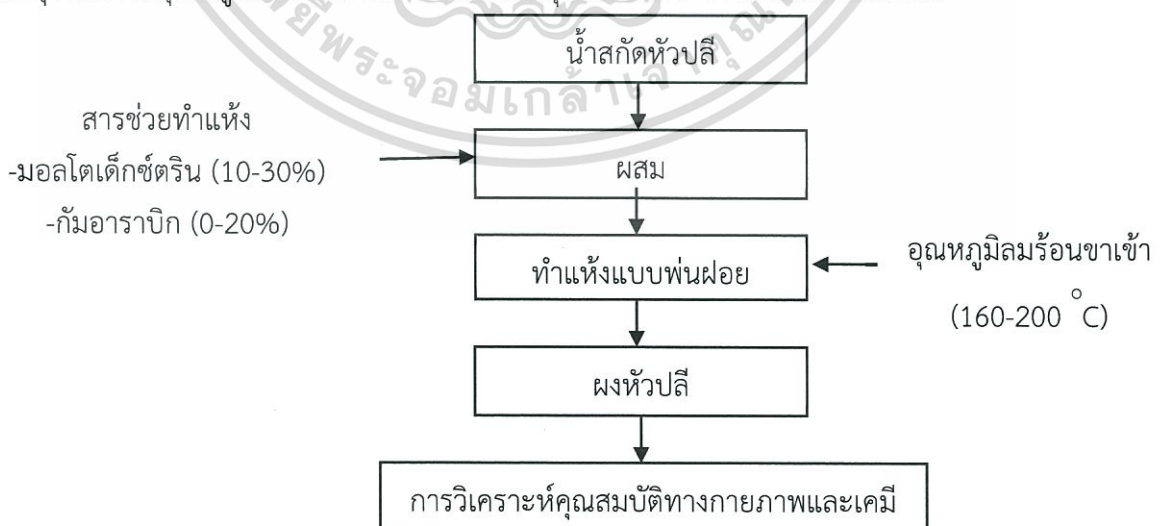
3.4.3.2. ทำการตั้งค่าสถานะของเครื่อง ดังนี้

- อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิลมร้อนขาออก 80 องศาเซลเซียส
- ความเร็วของเครื่องดูดอากาศ 2400 รอบต่อนาที
- ความดันหัวฉีด 0.1 เมกะปาสคาล
- อัตราการป้อนวัตถุดิบ 15 เฮิร์ต
- อุณหภูมิของวัตถุดิบ 50 องศาเซลเซียส
- ชนิดของหัวพ่นฝอย คือ หัวฉีดแบบของไหลสองกระแส (Two-fluid nozzle)

3.4.3.3. เริ่มต้นการทดลองโดยการป้อนน้ำเปล่าเข้าสู่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย จนกระทั่งอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งคงที่

3.4.3.4. เริ่มป้อนวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

3.4.3.5. เก็บผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีที่ได้จากการทดลองลงในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ และปิด ผนึกถุง เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง รอการนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีต่อไป



รูปที่ 3.4 ภาพขั้นตอนการผลิตผงหัวปลีจากน้ำสกัดหัวปลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5. การวิเคราะห์คุณสมบัติของผงหัวปลี

#### 3.5.1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

##### 3.5.1.1. ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (Product yield)

###### การวิเคราะห์

ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ คือ อัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้งต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน หาโดยการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ และปริมาณของแข็งในวัตถุดิบเริ่มต้น โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผงมาหาความชื้นและนำมาคำนวณดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมดในผลิตภัณฑ์แห้ง}}{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบที่ป้อน}} \times 100$$

##### 3.5.1.2. ความชื้น (Moisture content) (AOAC 934.01,1990)

###### การวิเคราะห์

ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของผงหัวปลีหนัก 3 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำเข้าไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง นำตัวอย่างออกมาพักให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักหลังอบ จนกว่าตัวอย่าง จะมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นคำนวณหาปริมาณความชื้น ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

##### 3.5.1.3. ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water activity)

###### การวิเคราะห์

นำตัวอย่างใส่ลงในภาชนะประมาณ 5 กรัมแล้วเกลี่ยตัวอย่างให้สม่ำเสมอ แล้ววัดค่าวอเตอร์แอกติวิตีด้วยเครื่อง Aqualab (Series 3 , USA) โดยทำการวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

##### 3.5.1.4. ความหนาแน่น (Bulk density)

###### การวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักถ้วยหรือภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน
2. ใส่ตัวอย่างให้เต็มภาชนะแล้วปาดออก
3. คำนวณค่าเพื่อหาความหนาแน่น จากสมการ

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรภาชนะ}}$$

### 3.5.1.5. ความสามารถในการละลายได้ (Solubility) (Nadeem et.al, 2011)

การวิเคราะห์

ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของผงหัวปัสติก 1 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง แล้วเติมน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส ปริมาตร 10 มิลลิลิตร กวนด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็กความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที นาน 5 นาที จากนั้นแล้วปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที แล้วจึงเทสารละลายส่วนใสด้านบนใส่ภาชนะอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง นำตัวอย่างออกมาพักให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักหลังอบ จนกว่าตัวอย่างจะมีน้ำหนักคงที่ บันทึกค่าน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นคำนวณหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ความสามารถในการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

### 3.5.1.6. สีของผลิตภัณฑ์ (Color) (เจริญชัย, 2553)

การวิเคราะห์

1. วัดค่าอ้างอิง (baseline) ของเครื่อง ค่าอ้างอิงควรอยู่ในย่านที่กำหนดคือ 0+0.002 Abs. (Absorbance)
2. ตรวจสอบความถูกต้องของความยาวคลื่น (wavelength accuracy) ในย่าน UV-VIS และ NIR ดังนี้
  - ย่าน UV-VIS ตรวจสอบที่ความยาวคลื่น 656.1 นาโนเมตร ค่าผิดพลาดต้องไม่เกิน +0.2 นาโนเมตร
  - ย่าน NIR ตรวจสอบที่ความยาวคลื่น 1,312.2 นาโนเมตร ค่าผิดพลาดต้องไม่เกิน +0.8 นาโนเมตร
3. กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะวัด ดังนี้
  - Measurement mode : %R
  - Scanning Range (x10<sup>-9</sup> m) : 380-780
  - Slit width (x10<sup>-9</sup> m) : 1.0
  - Scan Speed : Medium
  - Standard illuminant : D65
  - Observation Angle : 2°
  - Reflectance Reference : BaSO<sub>4</sub>
  - Color Scale : CIE Lab
4. วัดค่าสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ผงหัวปัสติกจากการทดลอง แล้ววิเคราะห์ค่าสี

### 3.5.2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

#### 3.5.2.1. สารประกอบฟีนอลิก (Vernon et. al,1999)

##### การวิเคราะห์

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยทำการเตรียมสารสกัดหยาบจากผักและผลไม้ (เจือจางด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30) ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วเปิดสารสกัดนี้ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมน้ำบริสุทธิ์คุณภาพสูงปริมาตร 6 มิลลิลิตรลงไป แล้วเติมสาร Folin Ciocalteu reagent ปริมาตร 500 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำมาเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{NaCO}_3$ ) ความเข้มข้นร้อยละ 20 ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำบริสุทธิ์คุณภาพสูงปริมาตร 1.9 มิลลิลิตรลงไป เขย่าให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Hettich Zentrifugen) จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก โดยรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด (mg gallic acid equivalents (GAE)/g extract)

ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ที่ความเข้มข้น 1000, 750, 500, 250, 100, 50, 25 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการทดลองตามวิธีการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธีการเช่นเดียวกับข้างต้น แต่ใช้สารละลายกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้นต่างๆ แทนสารสกัดจากผักและผลไม้ ส่วนแบลนค์ (blank) ใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 แทนสารสกัด เมื่อได้ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตรของสารละลายกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้นต่างๆ แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาพลอตกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกรดแกลลิกกับค่าการดูดกลืนแสงของกรดแกลลิก จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง หาสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างที่วิเคราะห์ (Vernon et. al,1999)

### 3.6. การวางแผนการทดลอง

#### 3.6.1. การออกแบบการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) เป็นการออกแบบรูปทรงลูกบาศก์จัดรัสอิสระ เป็นการดำเนินงานร่วมกันที่มีเป้าหมายเป็นจุดกึ่งกลางของขอบเขตพื้นที่วางกระบวนการ และที่ศูนย์กลางจำเป็นต้องมีปัจจัยอย่างน้อย 3 ปัจจัยซึ่งมีประโยชน์เมื่อผู้ทดลองหลีกเลี่ยงการทำงานร่วมกันของตัวแปรที่ห่างกัน คุณสมบัตินี้ทำให้ข้อเสียลดลง สมรรถภาพเพิ่มขึ้น

#### ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับค่าตัวแปรที่จะศึกษา

ค่าตัวแปรอิสระ(Variable)	ระดับ		
	-1	0	+1
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	160	180	200
ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน (% w/w)	10	20	30
ปริมาณกัมอาราบิก (% w/w)	0	10	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2. การวางแผนการทดลอง

ทำการทดลองโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย(Spray Dryer) JCM รุ่น Minilab SDE-10 ออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) ประกอบด้วย 3 ตัวแปร แบ่งค่าตัวแปรออกเป็น 3 ระดับ ที่สภาวะต่างกัน ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

การทดลองที่	ตัวแปรที่ศึกษา		
	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (%w/w)	ปริมาณกัมอาราบิก (%w/w)
1	160	10	10
2	200	10	10
3	160	30	10
4	200	30	10
5	160	20	0
6	200	20	0
7	160	20	20
8	200	20	20
9	180	10	0
10	180	30	0
11	180	10	20
12	180	30	20
13	180	20	10
14	180	20	10
15	180	20	10

หลังจากทำการทดลองเสร็จสิ้นทั้ง 15 การทดลอง จะนำผลิตภัณฑ์น้ำสกัดห้วปลีผงที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะของน้ำสกัดห้วปลีผงต่อไป

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การเตรียมน้ำสกัดหัวปลี

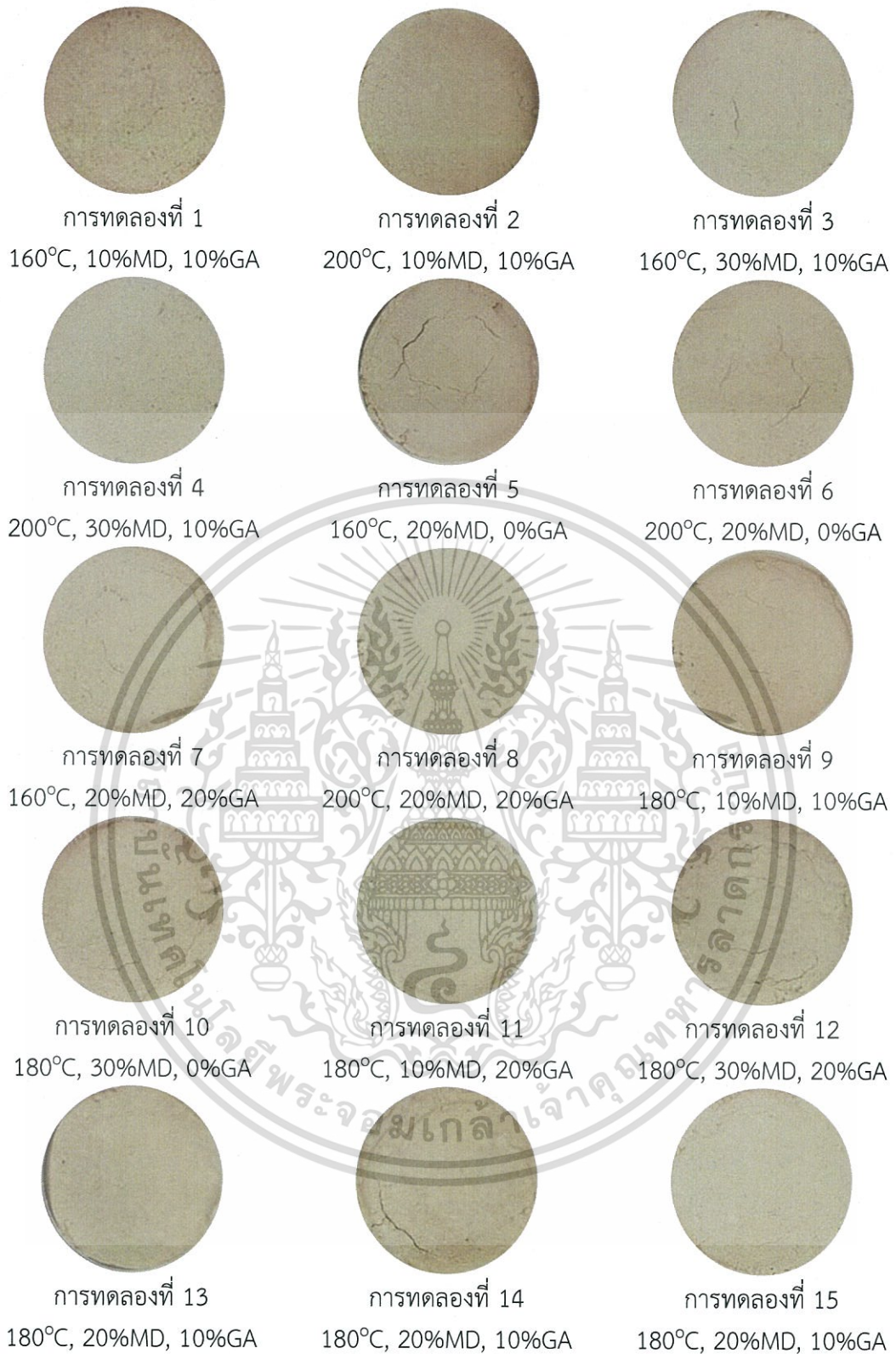
การเตรียมน้ำสกัดหัวปลีมีปัจจัยหลายประการ ทั้งปัจจัยที่อยู่ในกระบวนการทำน้ำสกัดหัวปลี และปัจจัยที่อยู่ในกระบวนการทำแห้ง การศึกษานี้ได้มุ่งเน้นเพื่อหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย จึงได้ทำการวิเคราะห์น้ำหัวปลีสกัดก่อนนำไปศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำสกัดหัวปลีในขั้นตอนต่อไป โดยน้ำหัวปลีสกัดมีปริมาณของแข็งในของเหลวเริ่มต้น 1.55 %

#### 4.2 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองทำแห้งแบบพ่นฝอย เริ่มต้นโดยการเตรียมน้ำสกัดหัวปลี และควบคุมสภาวะของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นดังตาราง

ตารางที่ 4.1 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลอง

No.	อุปกรณ์	ตัวแปรปรับแต่ง	ตัวแปรควบคุม
1	อุณหภูมิความร้อน	ทางเข้า	160-200 °C
		ทางออก	-
2	เครื่องดูดลม (Blower)	ความเร็ว	950kg dry air/hr
3	ปั๊มบ่อนวัตุดิบ	การปรับค่าการบ่อน	16.67 mL/min
4	หัวฉีดวัตุดิบ	ชนิด	Two Fluid nozzle
		ทิศทางการทำแห้ง	Parallel
5	เครื่องทำความร้อน	แผงความร้อน 4 ชุด ใช้ 3 ชุด (1.5, 3, 3 kW)	Auto 1 ชุด
6	ปั๊มลม	ความดันที่บ่อน วัตุดิบ	0.1 MPa



รูปที่ 4.1 ลักษณะผงหัวปลีที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์น้ำสกัดหัวปลีผง

จากการดำเนินการทดลองการทำแห้งครบทุกสภาวะแล้ว เมื่อนำผลผลิตภัณฑ์หัวปลีผงมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี ได้ดังตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์ครีมเทียมด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ

No	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	YD	MC	a <sub>w</sub>	BD	SB	L*	a*	b*	TP
1	160	10	10	78.65	3.2461	0.156	0.5771	91.0757	74.388	3.344	11.158	2322.22
2	200	10	10	60.88	2.5717	0.159	0.5141	90.9721	77.778	2.724	11.416	1322.22
3	160	30	10	68.11	2.5797	0.130	0.5728	91.1204	79.638	2.522	9.788	988.89
4	200	30	10	50.13	2.5339	0.132	0.5747	89.1582	81.622	2.120	9.436	988.89
5	160	20	0	65.57	2.5686	0.157	0.5058	90.9407	77.488	3.144	8.018	1100.00
6	200	20	0	54.99	3.0909	0.197	0.5254	90.5763	78.270	2.850	10.766	877.78
7	160	20	20	54.78	3.4765	0.133	0.5902	91.4357	79.362	2.532	9.904	766.67
8	200	20	20	40.65	3.9109	0.182	0.5565	91.4927	80.294	2.374	9.762	544.44
9	180	10	0	49.52	3.1591	0.213	0.4785	91.6527	75.992	3.468	11.738	988.89
10	180	30	0	66.02	2.4309	0.133	0.5597	90.6424	78.680	3.020	10.202	433.33
11	180	10	20	48.53	1.9632	0.071	0.5582	91.6501	80.402	2.102	9.880	1655.56
12	180	30	20	68.40	1.6130	0.049	0.6009	91.4314	79.748	2.314	8.240	2211.11
13	180	20	10	53.72	2.9701	0.145	0.5522	91.5187	80.042	2.452	10.094	1766.67
14	180	20	10	56.07	2.5527	0.128	0.5505	91.3859	76.100	3.094	11.456	1766.67
15	180	20	10	43.84	2.3522	0.151	0.5498	91.5708	78.802	2.674	10.234	1766.67

หมายเหตุ : X<sub>1</sub> = Inlet air temperature (°C), X<sub>2</sub> = Maltodextrin (%), X<sub>3</sub> = Gum Arabic (%), YD = Yield (%), MC = Moisture content (%), a<sub>w</sub> = Water activity, BD = Bulk density (g/ml), SB = Solubility (%), TP = total phenolic (mg GAE/g powder)

### 4.4 ผลการวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์หัวปลีผงที่สภาวะต่างๆ

เมื่อนำผลการทดลองที่สภาวะต่างๆมาวิเคราะห์ผล นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะต่างๆที่ได้ทำการศึกษา ประกอบไปด้วย Yield (%), Moisture content (%), Water activity, Bulk density (g/ml), Solubility (%), total phenolic (mg GAE/g powder) โดยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3$$

เมื่อ Y คือ คุณสมบัติของผลผลิตภัณฑ์ผง

$\beta_0$  คือ จุดตัด (Intercept) หรือ Gran mean

$\beta_i$  คือ ผลเชิงเส้นตรง (Linear effect) ของ X<sub>i</sub>

$\beta_{ii}$  คือ ผลเชิงเส้นโค้ง (Quadratic effect) ของ X<sub>i</sub>

$\beta_{ij}$  คือ ผลของปฏิกริยาสัมพันธ์ (Interaction effect) ของ X<sub>i</sub> และ X<sub>j</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

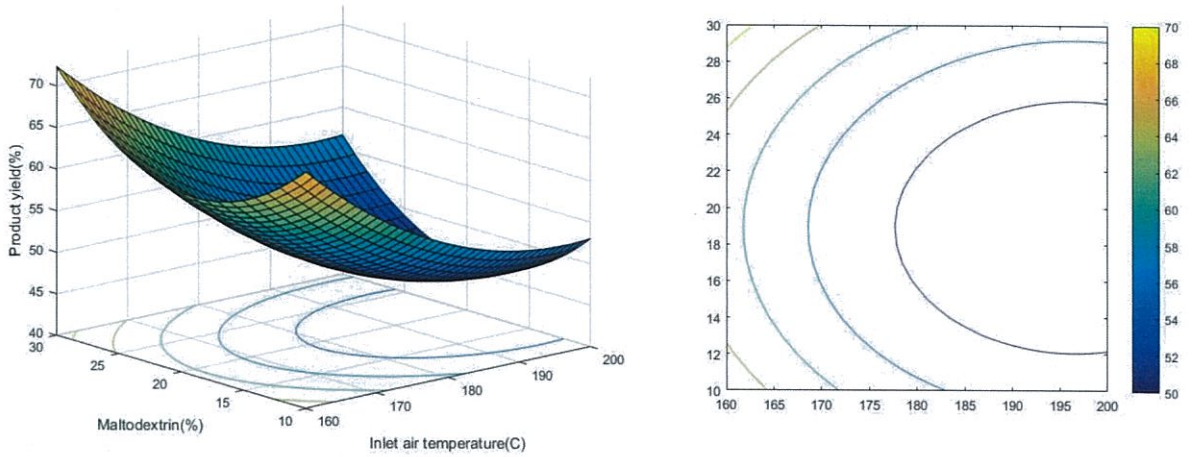
#### 4.4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield)

ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการทดลองพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 40.65-78.65% พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผลึกร้อนขาเข้ามีผลทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงลดลง เมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างอุณหภูมิผลึกร้อนขาเข้า ( $X_1$ ) ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน ( $X_2$ ) และปริมาณกัมอาราบิก ( $X_3$ ) สามารถแสดงได้ดังนี้

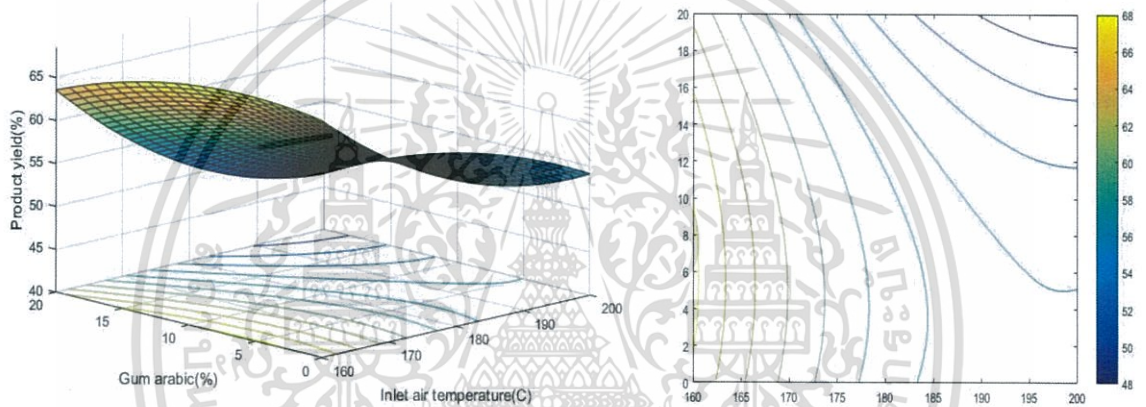
$$\begin{aligned} \% \text{ Yield} = & 513.2292 - 4.42928X_1 - 3.3209X_2 + 0.6866X_3 + 0.0114X_1^2 + 0.0868X_2^2 - \\ & 0.0177X_3^2 - 0.00026X_1X_2 - 0.0044X_1X_3 + 0.0084X_2X_3 \\ & R^2 = 0.6050, \text{ S.E.} = 10.9824, p > 0.1 \end{aligned}$$

จากรูปที่ 4.2 (a) และ (b) พบว่าเมื่ออุณหภูมิผลึกร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ลดลง อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิผลึกร้อนที่สูงทำให้อุณหภูมิอาหารเข้าใกล้ค่าอุณหภูมิ glass transition ส่งผลให้เกิดการเกาะติดตามผนังเครื่องอบแห้งมากขึ้น การเพิ่มปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินมีผลทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ลดลงและเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณกัมอาราบิกมีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้เพียงเล็กน้อย

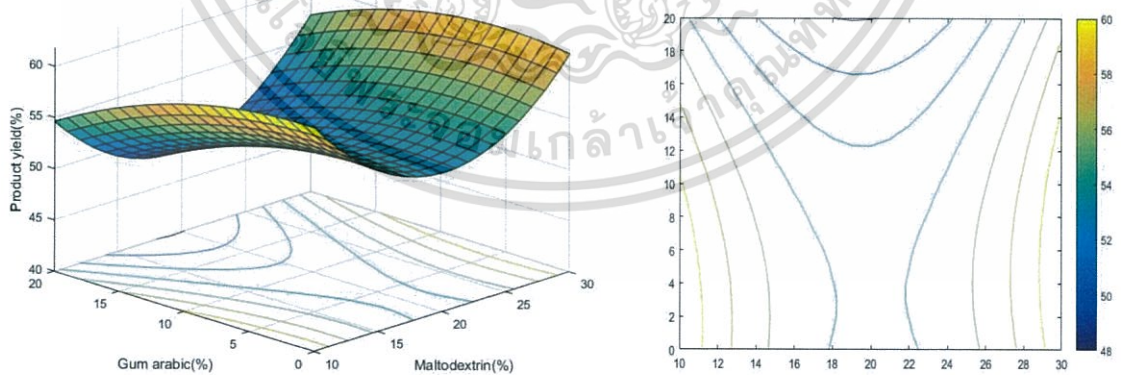




(a) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้



(b) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณกัมอาราบิกต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้



(c) แสดงผลกระทบของปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินและปริมาณกัมอาราบิกต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

รูปที่ 4.2 (a) (b) และ (c) กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

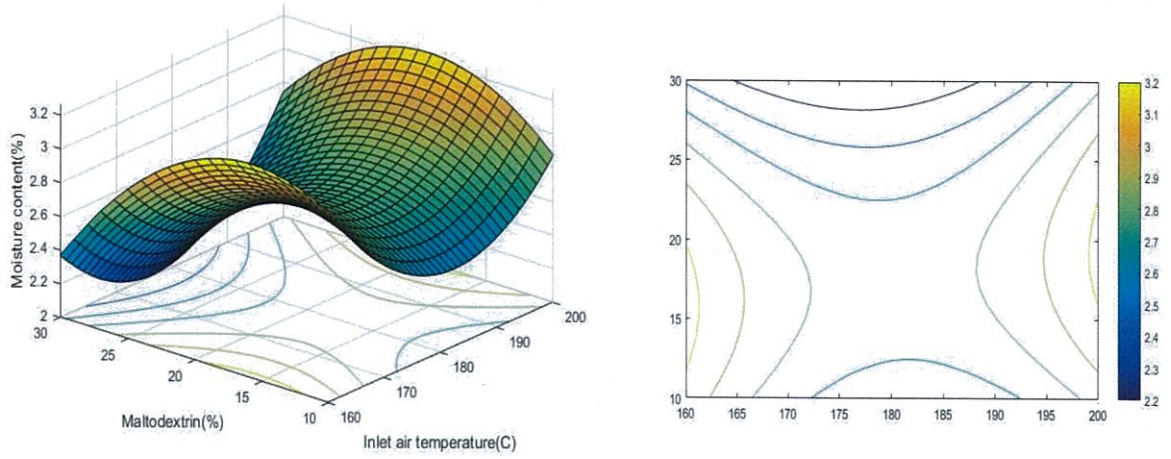
#### 4.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผง (% Moisture content)

ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทดลองพบว่ามีความอยู่ในช่วง 1.61-3.91% เมื่ออุณหภูมิร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงลดลง โดยเมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างอุณหภูมิร้อนขาเข้า ( $X_1$ ) ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน ( $X_2$ ) และปริมาณกัมอาราบิก ( $X_3$ ) สามารถแสดงได้ดังนี้

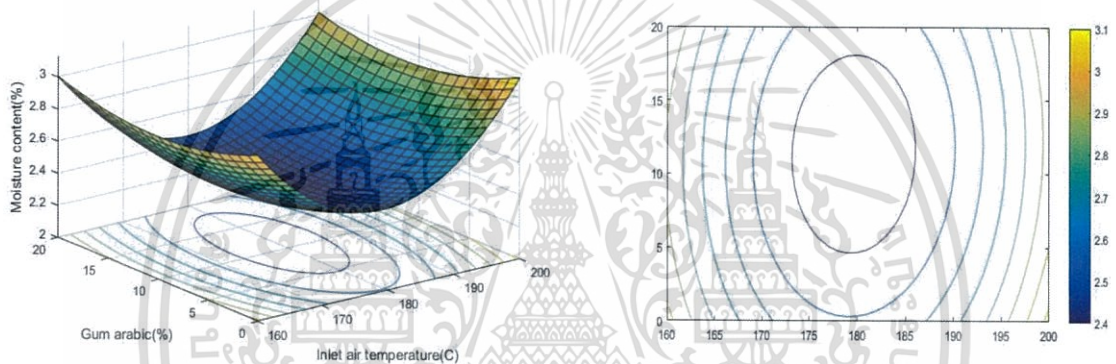
$$\% \text{ Moisture content} = 47.6947 - 0.4983X_1 - 0.00068X_2 - 0.0222X_3 + 0.00135X_1^2 - 0.004312X_2^2 + 0.000978X_3^2 + 0.00079X_1X_2 - 0.00011X_1X_3 + 0.00095X_2X_3$$

$$R^2 = 0.5173, \text{ S.E. } 0.6808, p > 0.1$$

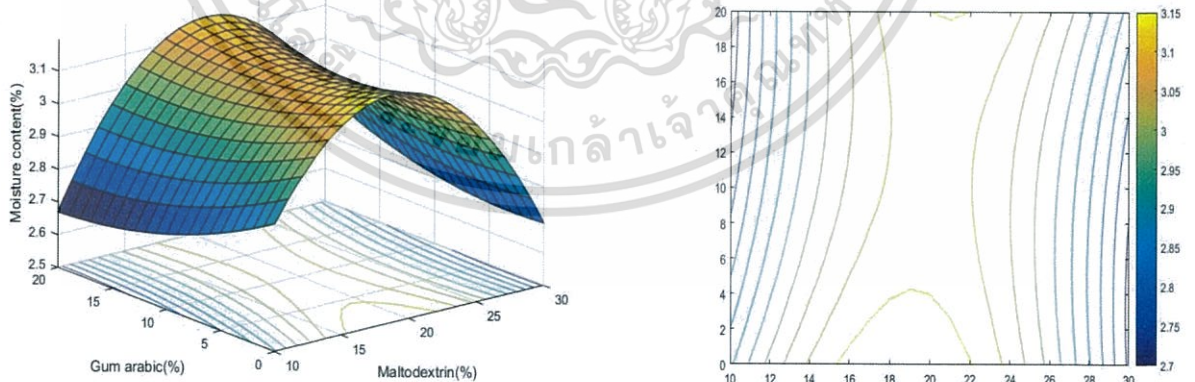
จากรูปที่ 4.3 (a) และ (b) พบว่า เมื่ออุณหภูมิร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงและเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการทำงานของเครื่องอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากจะทำให้เกิดการป้อนอาหารสู่เครื่องอบแห้งตลอดเวลา ความชื้นจึงอาจจะเหวี่ยงออกไปได้ไม่หมด ช่วงอุณหภูมิที่ทำให้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยสุดอยู่ระหว่าง 175-185 °C การเพิ่มปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินมีผลทำให้ความชื้นลดลง เนื่องจากมอลโตเด็คซ์ตรินช่วยลดการเกาะติดกันเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ผงทำให้มีความชื้นต่ำ ส่วนการเพิ่มขึ้นของกัมอาราบิกมีผลต่อค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงเพียงเล็กน้อย



(a) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์



(b) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณกัมอาราบิกต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์



(c) แสดงผลกระทบของปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินและปริมาณกัมอาราบิกต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์

รูปที่ 4.3 (a) (b) และ (c) กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

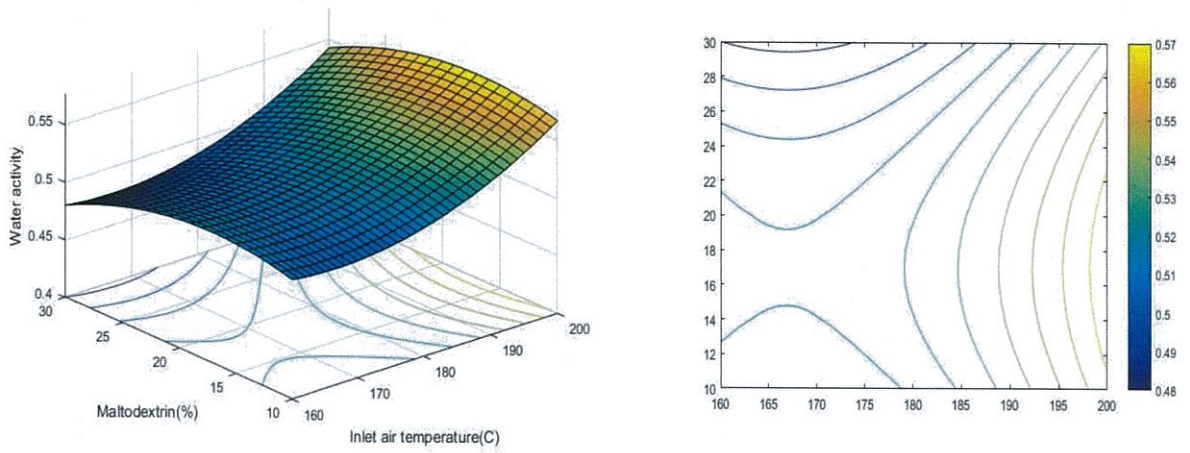
#### 4.4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผง (Water activity)

ค่าปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผงจากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วง 0.049 – 0.213 เมื่ออุณหภูมิร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์ผงเพิ่มขึ้น โดยเมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างอุณหภูมิร้อนขาเข้า ( $X_1$ ) ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน ( $X_2$ ) และปริมาณกัมอาราบิก ( $X_3$ ) สามารถแสดงได้ดังนี้

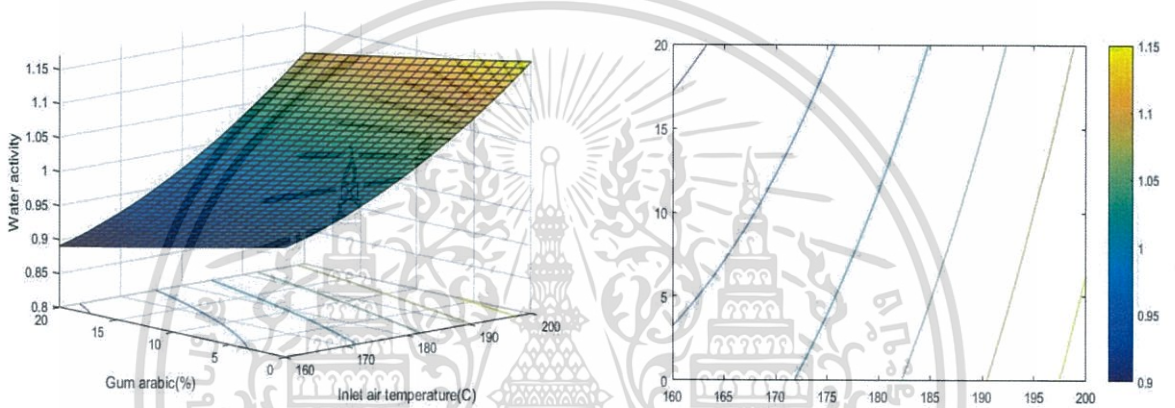
$$\begin{aligned} \text{Water activity} &= 2.2095 - 0.0234X_1 + 0.0062X_2 - 0.0085X_3 + 6.6215 \times 10^{-5}X_1^2 - 0.000235X_2^2 \\ &\quad - 9.3056 \times 10^{-6}X_3^2 - 1.25 \times 10^{-6}X_1X_2 + 1.4167 \times 10^{-5}X_1X_3 + 0.000145X_2X_3 \\ R^2 &= 0.7575, \text{ S.E.} = 0.0345, p > 0.1 \end{aligned}$$

จากรูปที่ 4.4 (a) และ (b) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิร้อนขาเข้ามีผลทำให้ค่าปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.4 (c) พบว่าการเพิ่มขึ้นของมอลโตเด็กซ์ทรินมีผลทำให้ค่าปริมาณน้ำอิสระลดลง แต่การเพิ่มขึ้นของปริมาณกัมอาราบิกมีผลต่อค่าปริมาณน้ำอิสระเพียงเล็กน้อย

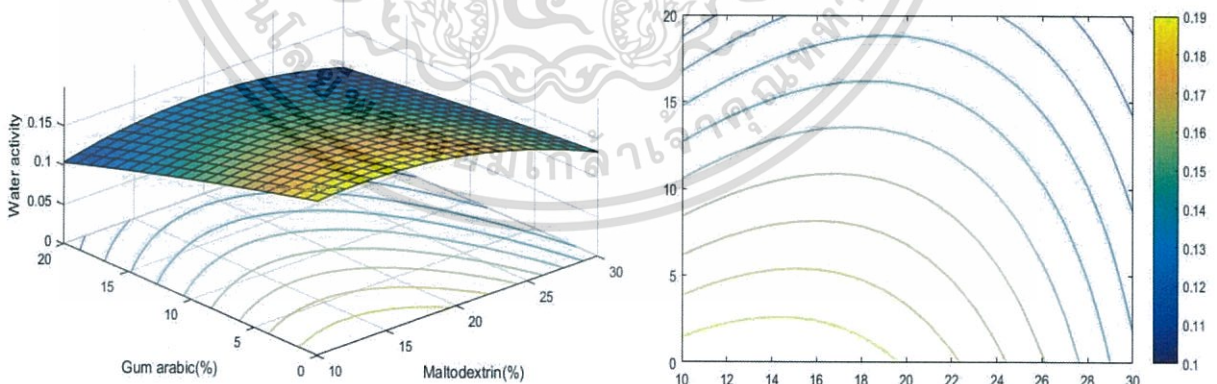




(a) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อปริมาณน้ำอิสระ



(b) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณกัมอาราบิกต่อปริมาณน้ำอิสระ



(c) แสดงผลกระทบของปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินและปริมาณกัมอาราบิกต่อปริมาณน้ำอิสระ

รูปที่ 4.4 (a) (b) และ (c) กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อปริมาณน้ำอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Bulk density)

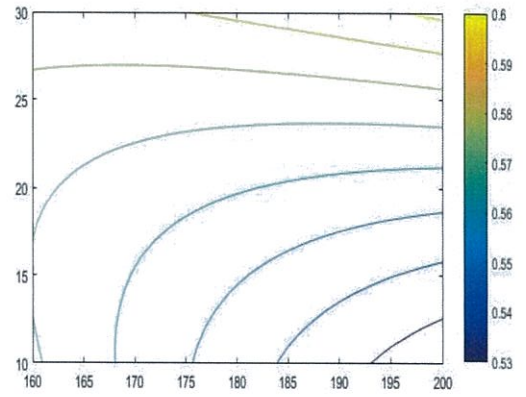
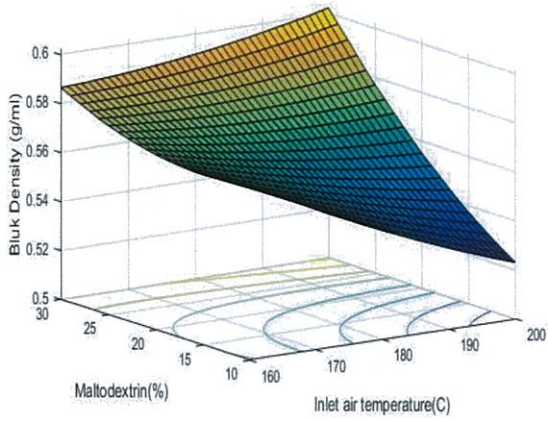
ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ผงจากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วง 0.48-0.60 g/ml เมื่อเพิ่มอุณหภูมิผสมร้อนชาเข้ามีผลทำให้ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลดลงเล็กน้อย โดยเมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างอุณหภูมิผสมร้อนชาเข้า ( $X_1$ ) ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน ( $X_2$ ) และปริมาณกัมอาราบิก ( $X_3$ ) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Bulk density} = 0.8958 - 0.00324X_1 - 0.0141X_2 + 0.0185X_3 + 5.0321 \times 10^{-6}X_1^2 + 6.8135 \times 10^{-5}X_2^2 - 8.3644 \times 10^{-5}X_3^2 + 8.11927 \times 10^{-5}X_1X_2 - 6.6659 \times 10^{-5}X_1X_3 - 9.614 \times 10^{-5}X_2X_3$$

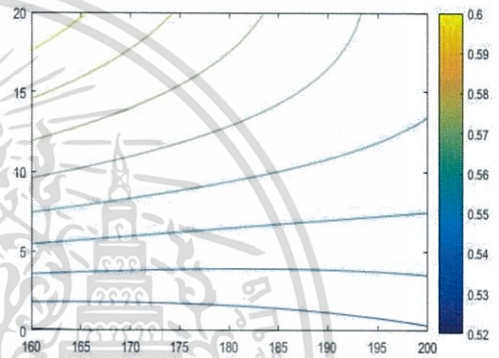
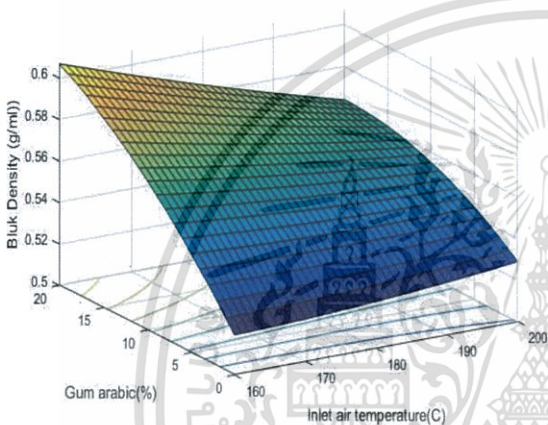
$$R^2 = 0.9439, \text{ S.E.} = 0.0131, p < 0.05$$

จากรูปที่ 4.5 (a) และ (b) พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผสมร้อนชาเข้ามีผลทำให้ค่าความหนาแน่นลดลง ซึ่งอาจมีผลมาจากขนาดของอนุภาคและความพรุนสูงขึ้น จากรูปที่ 4.5 (c) การเพิ่มขึ้นของมอลโตเด็กซ์ทรินทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

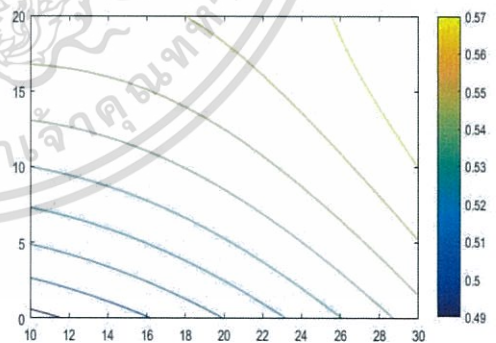
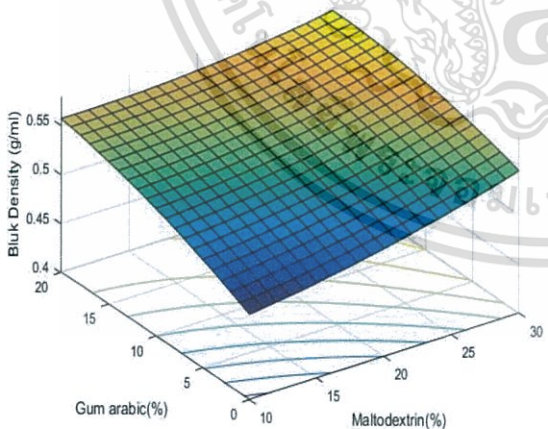




(a) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่อความหนาแน่น



(b) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณกัมอาราบิกต่อความหนาแน่น



(c) แสดงผลกระทบของปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและปริมาณกัมอาราบิกต่อความหนาแน่น

รูปที่ 4.5 (a) (b) และ (c) กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

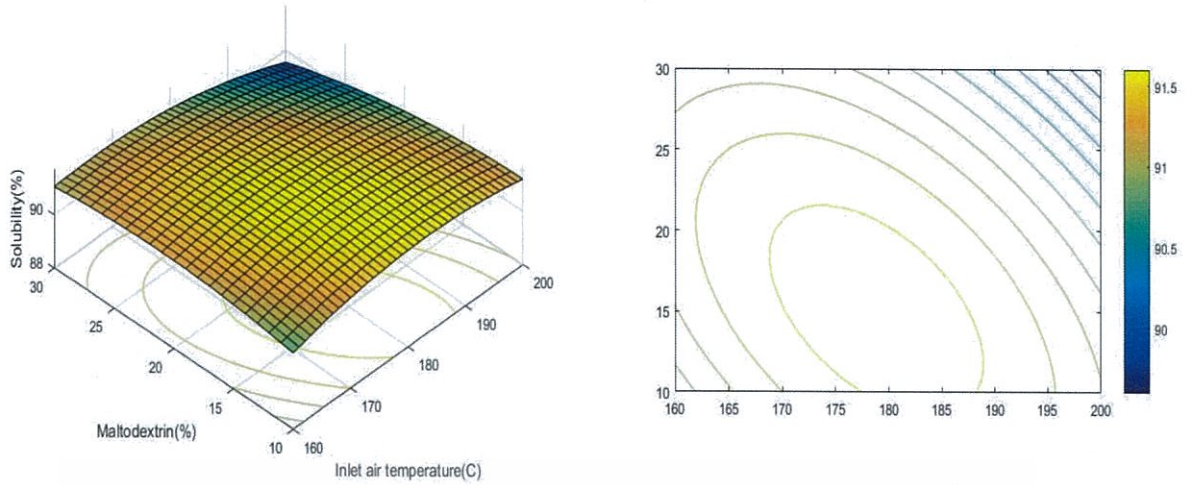
#### 4.4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลาย (Solubility)

ความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ผงจากการวิเคราะห์พบว่ามีความอยู่ในช่วง 89.16-91.65% เมื่อเพิ่มอุณหภูมิร้อนชาเข้ามามีผลทำให้ค่าความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น โดยเมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างอุณหภูมิร้อนชาเข้า ( $X_1$ ) ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน ( $X_2$ ) และปริมาณกัมอาราบิก ( $X_3$ ) สามารถแสดงได้ดังนี้

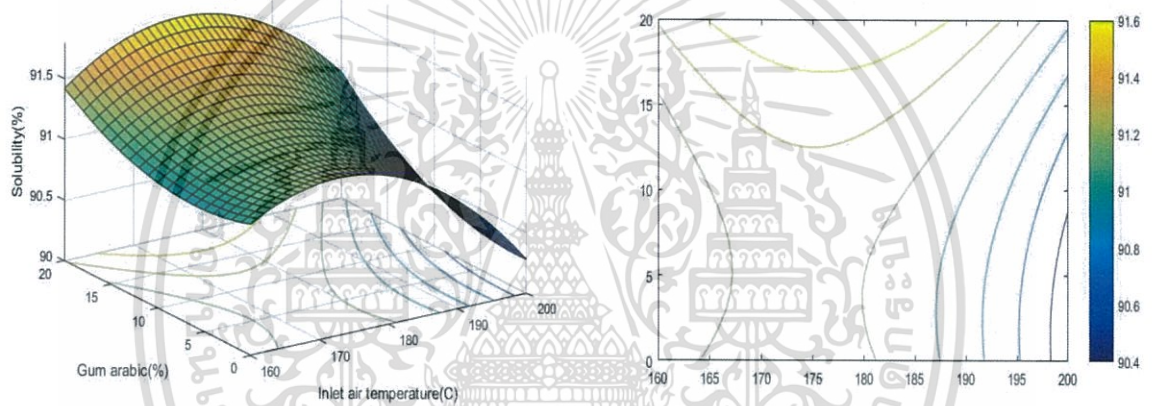
$$\begin{aligned} \text{Solubility} &= 40.1616 + 0.5407X_1 + 0.4964X_2 - 0.1451X_3 - 0.00143X_1^2 - 0.003387X_2^2 + \\ &0.0019103X_3^2 - 0.00232X_1X_2 + 0.000527X_1X_3 + 0.0019789X_2X_3 \\ R^2 &= 0.9149, \text{ S.E.} = 0.3130, p < 0.05 \end{aligned}$$

จากรูปที่ 4.6 (a) และ (b) พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการละลายจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแล้วลดลง อาจเนื่องมาจาก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ผงของผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำจนผงเริ่มแข็งแล้วดูดซับน้ำได้ยาก ส่วนการเติมมอลโตเด็กซ์ทรินทำให้ค่าการละลายลดลง จากรูปที่ 4.6 (c) ซึ่งอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

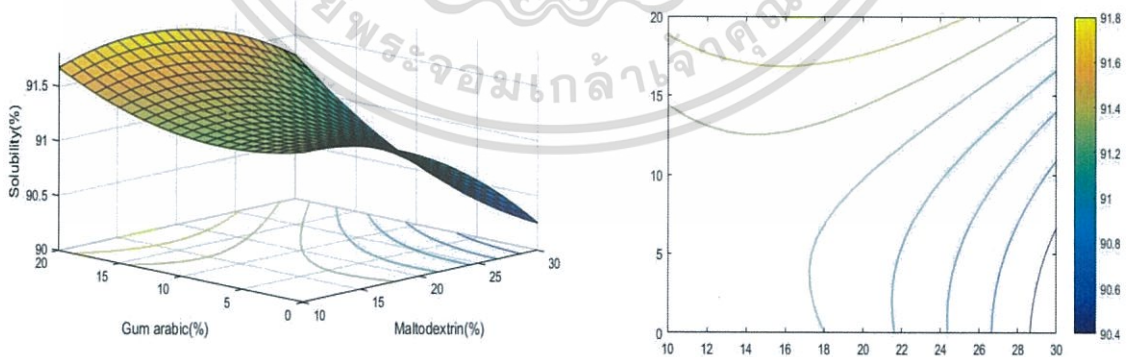




(a) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อค่าการละลาย



(b) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณกัมอาราบิกต่อค่าการละลาย



(c) แสดงผลกระทบของปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินและปริมาณกัมอาราบิกต่อค่าการละลาย

รูปที่ 4.6 (a) (b) และ (c) กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อค่าการละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าสี (Color)

จากการวิเคราะห์ค่าสีผลิตภัณฑ์หัวปลีผง โดยการตรวจสอบจากตัวอย่างทั้ง 15 สูตร พบว่าผลิตภัณฑ์หัวปลีผงมีค่าความสว่าง (L\*) อยู่ระหว่าง 74.39-81.62 โดยเมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างอุณหภูมิหม้อน้ำเข้า (X<sub>1</sub>) ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (X<sub>2</sub>) และปริมาณกัมอาราบิก (X<sub>3</sub>) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Color Lightness (L}^*) = 66.646 - 0.00785X_1 + 0.56023X_2 + 0.161767X_3 + 0.000237X_1^2 - 0.0005308X_2^2 + 0.0044392X_3^2 - 0.0017575X_1X_2 + 0.0001875X_1X_3 - 0.008355X_2X_3$$

$$R^2 = 0.6925, \text{ S.E.} = 1.8079, p > 0.1$$

ค่าสีที่ออกไปทางสีแดงและเขียว (a\*) อยู่ในช่วง 2.10-3.47 โดยเมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างอุณหภูมิหม้อน้ำเข้า (X<sub>1</sub>) ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (X<sub>2</sub>) และปริมาณกัมอาราบิก (X<sub>3</sub>) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Color (a}^*) = 4.14775 + 0.0122125X_1 - 0.074025X_2 - 0.10645X_3 - 7.9375 \times 10^{-5}X_1^2 - 0.0003075X_2^2 + 0.0001675X_3^2 + 0.0002725X_1X_2 + 0.00017X_1X_3 + 0.00165X_2X_3$$

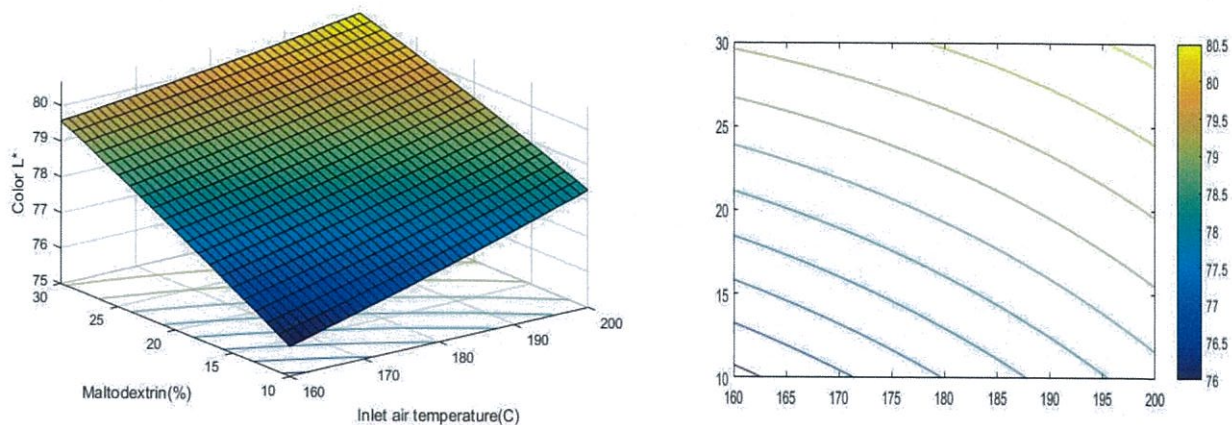
$$R^2 = 0.7838, \text{ S.E.} = 0.3320, p > 0.1$$

ค่าสีที่ออกไปทางสีน้ำเงินและเหลือง (b\*) อยู่ในช่วง 8.02 -11.74 โดยเมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างอุณหภูมิหม้อน้ำเข้า (X<sub>1</sub>) ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (X<sub>2</sub>) และปริมาณกัมอาราบิก (X<sub>3</sub>) สามารถแสดงได้ดังนี้

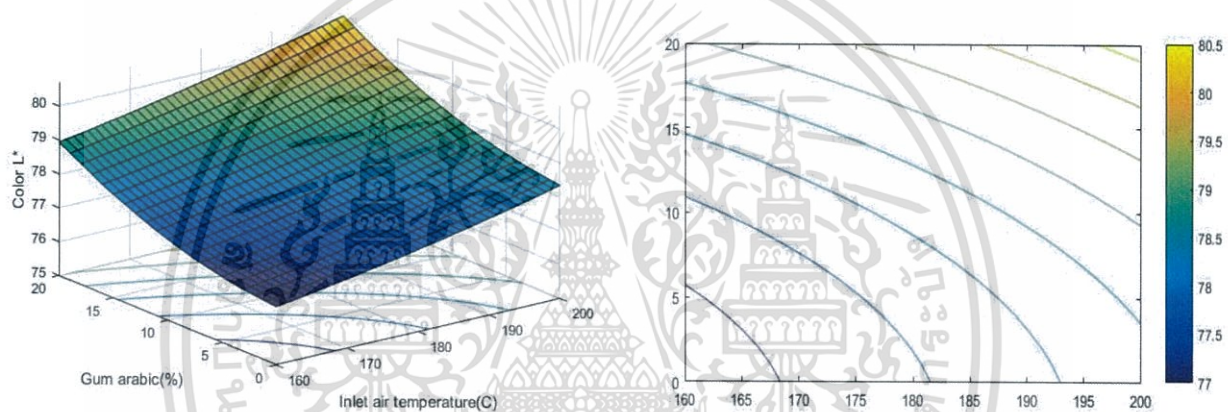
$$\text{Color (b}^*) = -21.9062 + 0.3135X_1 + 0.006808X_2 + 0.7604X_3 - 0.000685X_1^2 + 0.001287X_2^2 - 0.007083X_3^2 - 0.000763X_1X_2 - 0.003613X_1X_3 - 0.000260X_2X_3$$

$$R^2 = 0.7064, \text{ S.E.} = 0.9799, p > 0.1$$

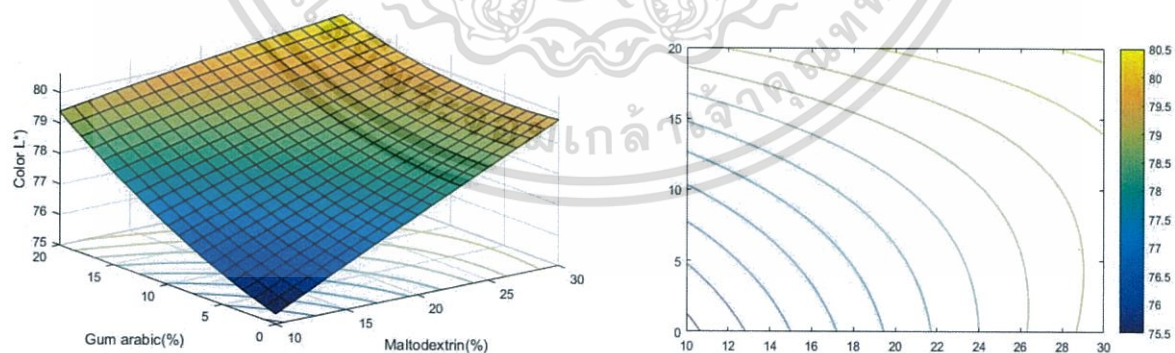
การเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยทั่วไปเกิดจากการเพิ่มอุณหภูมิหม้อน้ำเข้า การเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและการเพิ่มปริมาณกัมอาราบิก จากรูปที่ 4.7 (a), (b) และ (c) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิหม้อน้ำเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและกัมอาราบิกมีผลทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น



(a) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อค่าความสว่างของผงหัวปลี



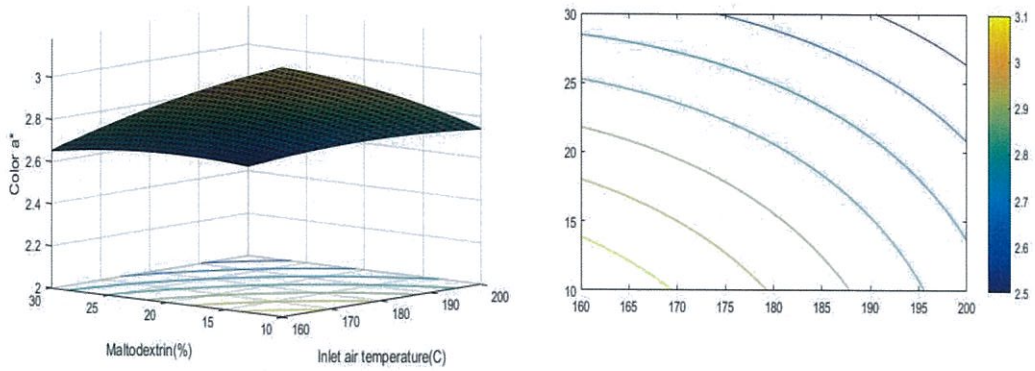
(b) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณกัมอาราบิกต่อค่าความสว่างของผงหัวปลี



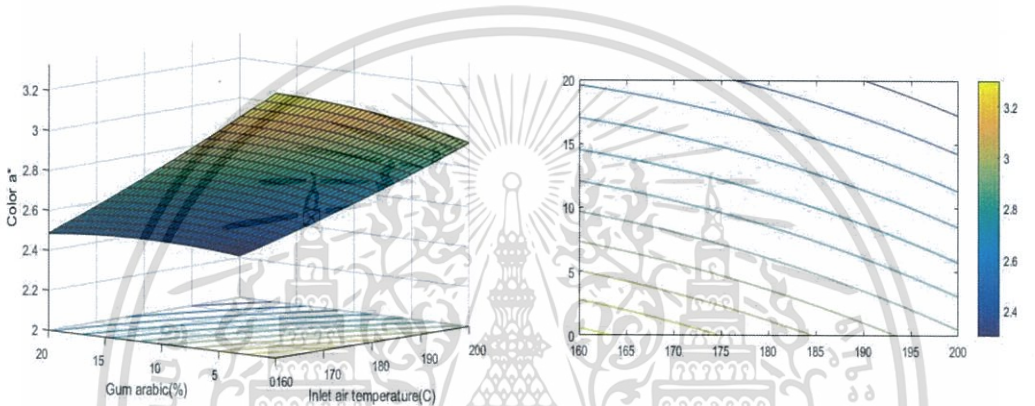
(c) แสดงผลกระทบของปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินและปริมาณกัมอาราบิกต่อค่าความสว่างของผงหัวปลี

รูปที่ 4.7 (a) (b) และ (c) กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อค่าความสว่างของผงหัวปลี

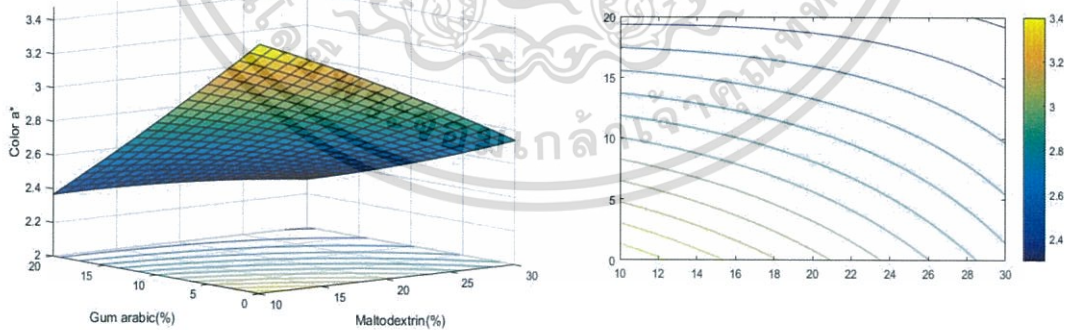
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อค่าความเป็นสีแดงและเขียวของผงหัวปลี



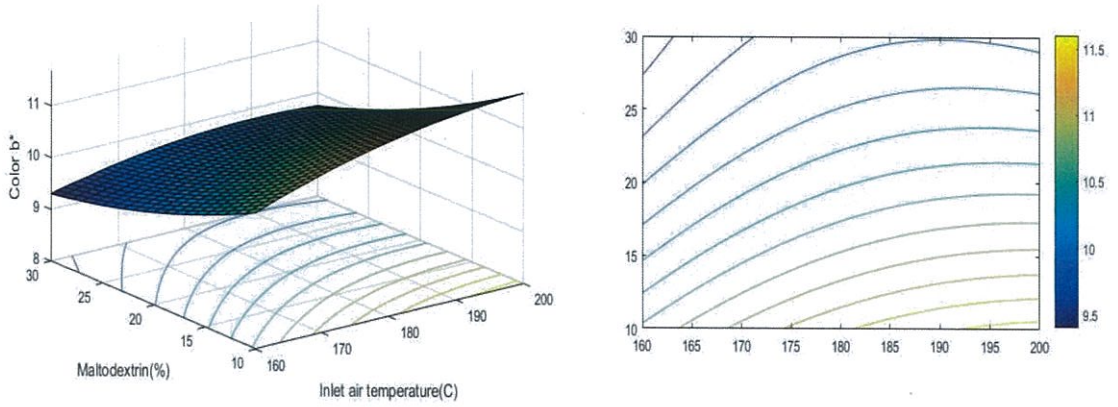
(b) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณกัมอาราบิกต่อค่าความเป็นสีแดงและเขียวของผงหัวปลี



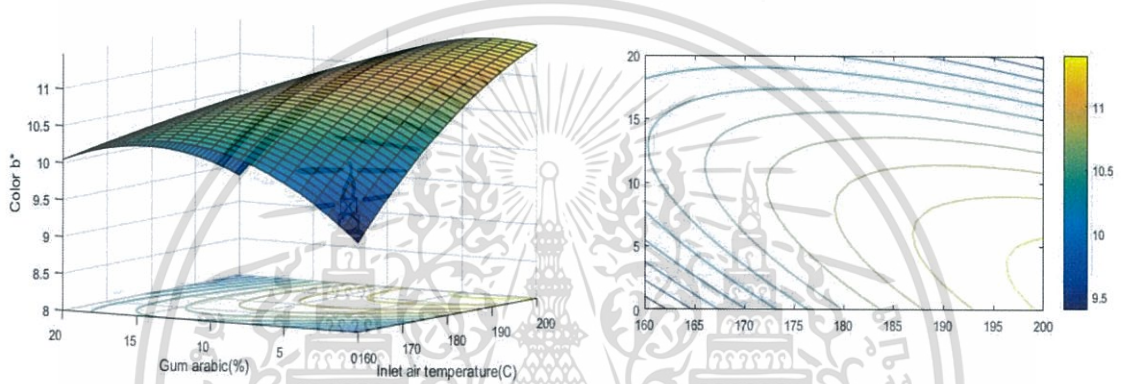
(c) แสดงผลกระทบของปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินและปริมาณกัมอาราบิกต่อค่าความเป็นสีแดงและเขียวของผงหัวปลี

รูปที่ 4.8 (a) (b) และ (c) กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อค่าความเป็นสีแดงและเขียวของผงหัวปลี

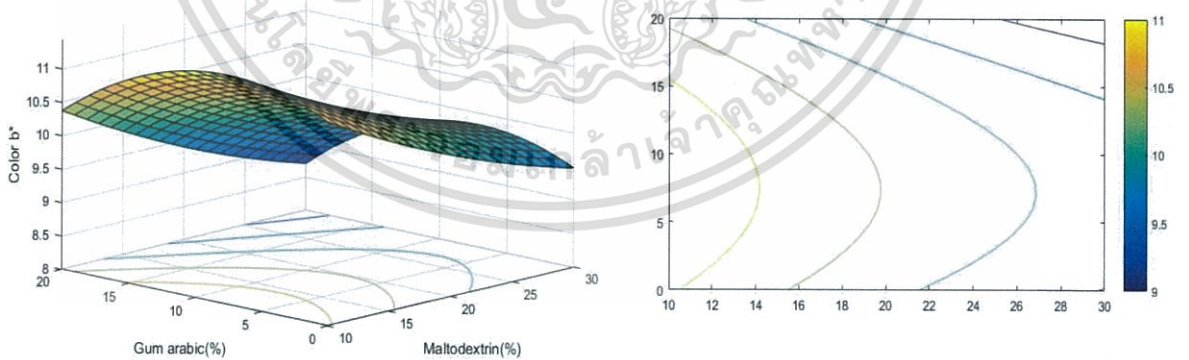
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่อค่าความเป็นสีน้ำเงินและเหลืองของผงหัวปลี



(b) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณกัมอาราบิกต่อค่าความเป็นสีน้ำเงินและเหลืองของผงหัวปลี



(c) แสดงผลกระทบของปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและปริมาณกัมอาราบิกต่อค่าความเป็นสีน้ำเงินและเหลืองของผงหัวปลี

รูปที่ 4.9 (a) (b) และ (c) กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อค่าความเป็นสีน้ำเงินและเหลืองของผงหัวปลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

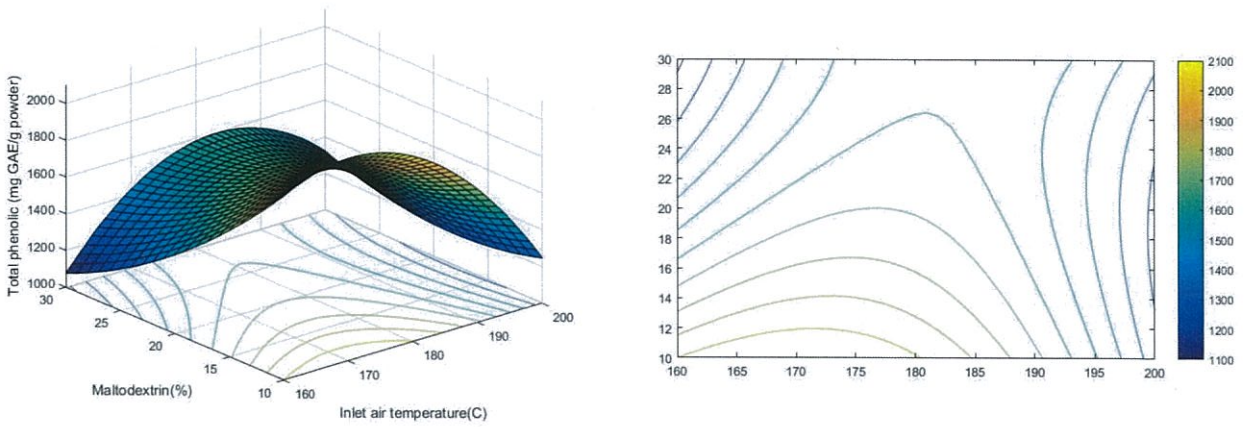
#### 4.4.7 ปริมาณสารฟีนอลิก (total phenolic)

จากการวิเคราะห์ค่าปริมาณสารฟีนอลิกในผลิตภัณฑ์หัวปลีผง โดยการตรวจสอบจากตัวอย่าง ทั้ง 15 สูตร พบว่าผลิตภัณฑ์หัวปลีผงมีปริมาณสารฟีนอลิกอยู่ระหว่าง 433.33-2322.22 mg GAE/g powder โดยเมื่อนำผลมาสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างอุณหภูมิรมร้อนชาเข้า ( $X_1$ ) ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน ( $X_2$ ) และปริมาณกัมอาราบิก ( $X_3$ ) สามารถแสดงได้ดังนี้

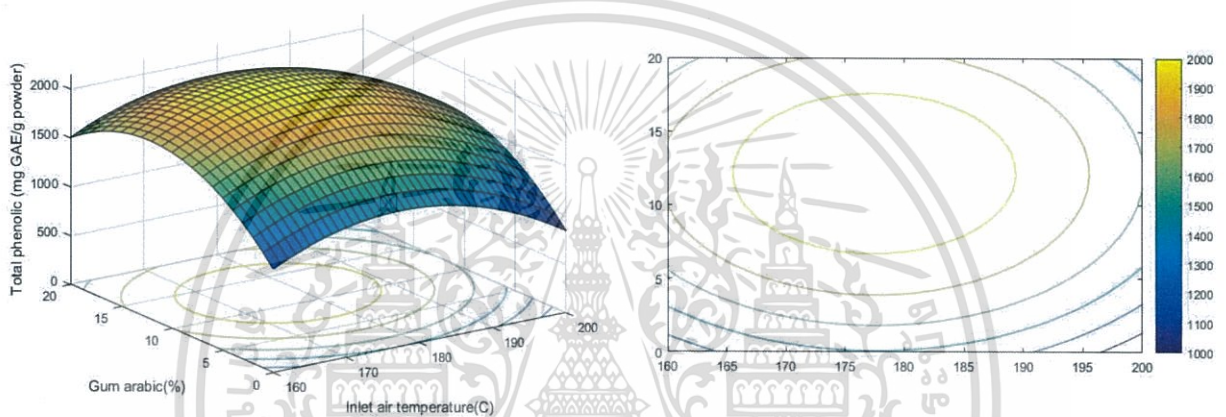
$$\begin{aligned} \text{Total Phenolic} = & -25775 + 349.6142X_1 - 336.1111X_2 + 0X_3 - 1.0764X_1^2 + 0.6944X_2^2 - \\ & 5.1389X_3^2 + 1.4429X_1X_2 + 0.3858X_1X_3 + 6.2500X_2X_3 \\ R^2 = & 0.665502, \text{ S.E.} = 564.92, p > 0.1 \end{aligned}$$

การเปลี่ยนแปลงโดยทั่วไปเกิดจากการเพิ่มปริมาณกัมอาราบิก จากรูปที่ 4.10 (a) และ (b) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิรมร้อนชาเข้า ทำให้ค่าฟีนอลิกลดลง จากรูปที่ 4.10 (c) พบว่าการเพิ่มปริมาณกัมอาราบิกทำให้ค่าฟีนอลิกเพิ่มขึ้น เนื่องจากกัมอาราบิกมีส่วนช่วยในการเอนแคปซูเลท สารสำคัญในผลิตภัณฑ์

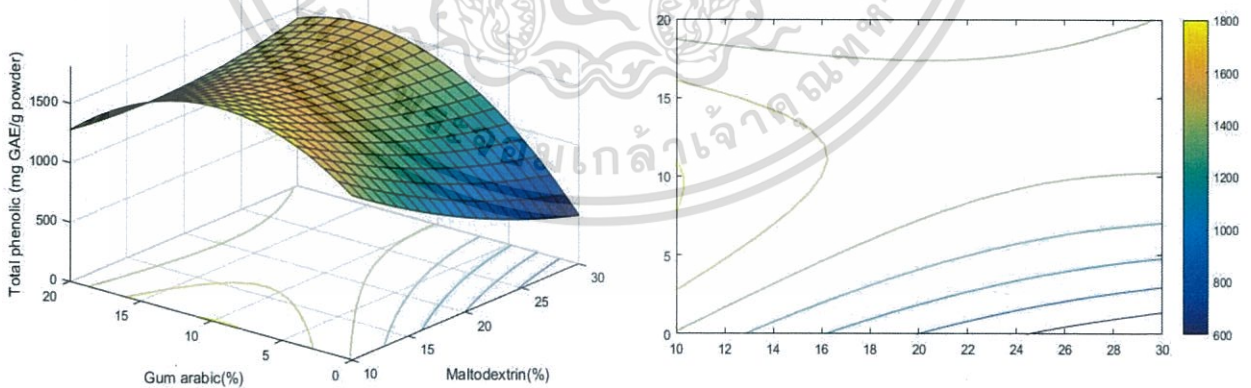




(a) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่อปริมาณสารฟีนอลิก



(b) แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณกัมอาราบิกต่อปริมาณสารฟีนอลิก



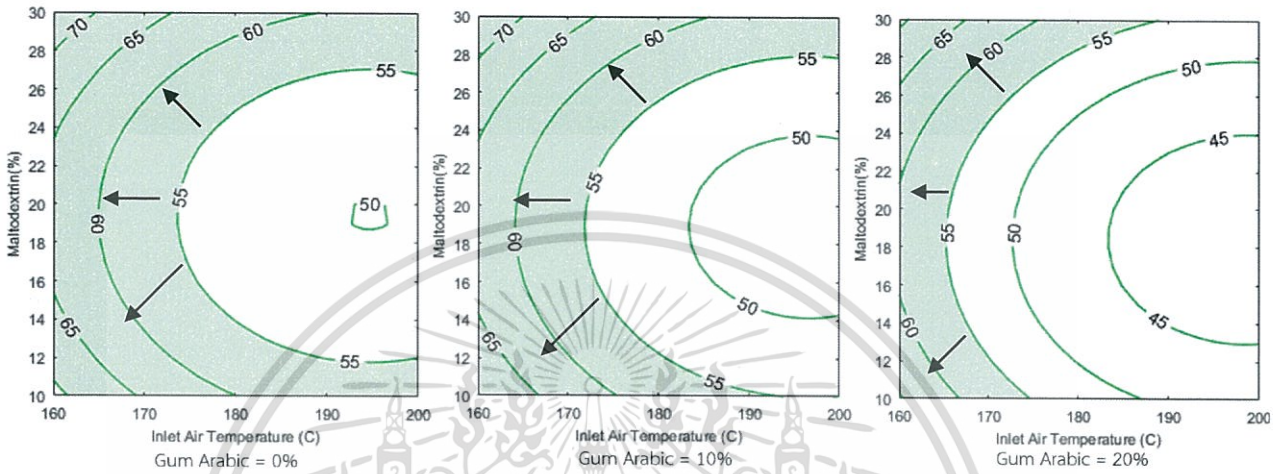
(c) แสดงผลกระทบของปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินและปริมาณกัมอาราบิกต่อปริมาณสารฟีนอลิก

รูปที่ 4.10 (a) (b) และ (c) กราฟแสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน และปริมาณกัมอาราบิก ต่อปริมาณสารฟีนอลิก

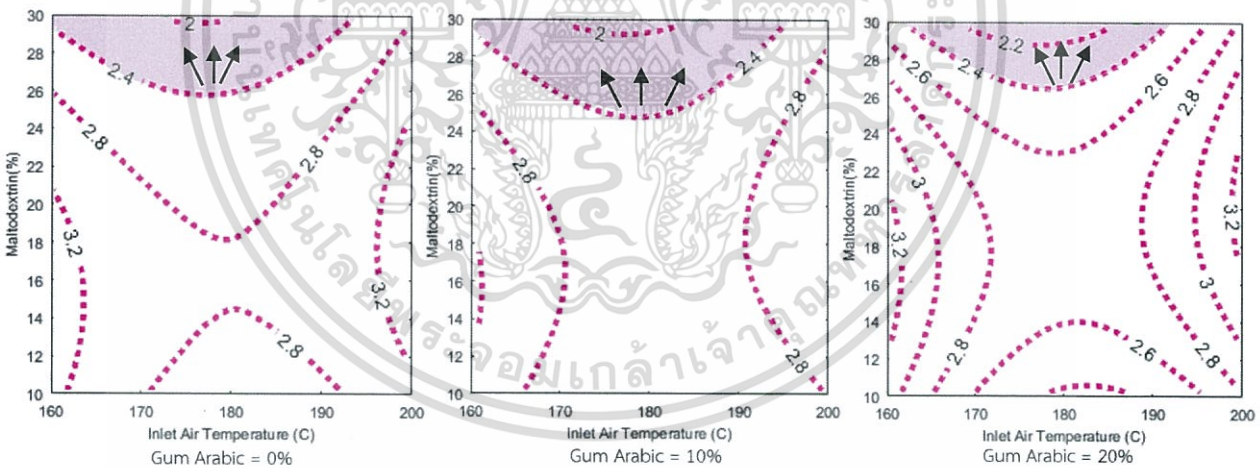
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5. การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ผงจากน้ำหัวปลีสกัด (Optimization)

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ (ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ความสามารถในการละลาย ปริมาณฟีนอลิก) โดยพิจารณาที่ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มากกว่า 55% ความชื้นของผลิตภัณฑ์น้อยกว่า 2.4% ความสามารถในการละลายมากกว่า 90% และปริมาณฟีนอลิกมากกว่า 2000 mg GAE/g powder

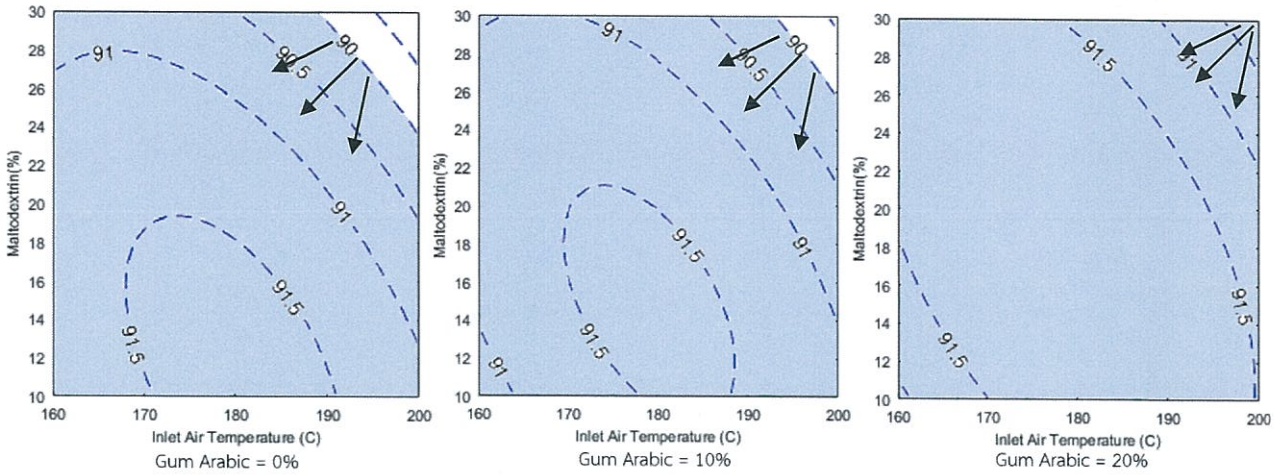


(a) แสดงผลของขอบเขตที่มีปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มากกว่า 55%

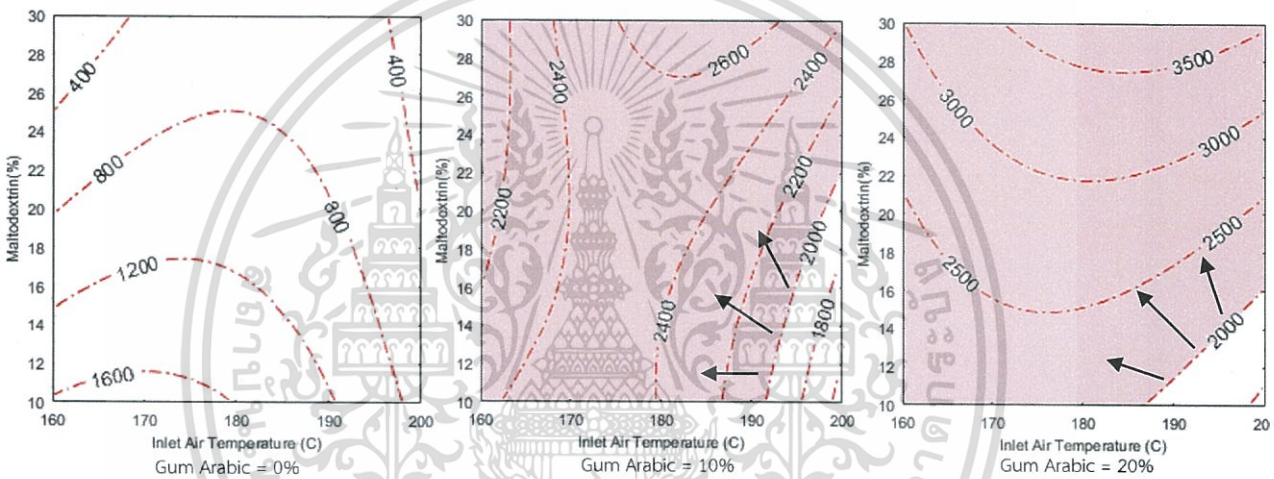


(b) แสดงผลของขอบเขตที่มีความชื้นของผลิตภัณฑ์น้อยกว่า 2.4%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



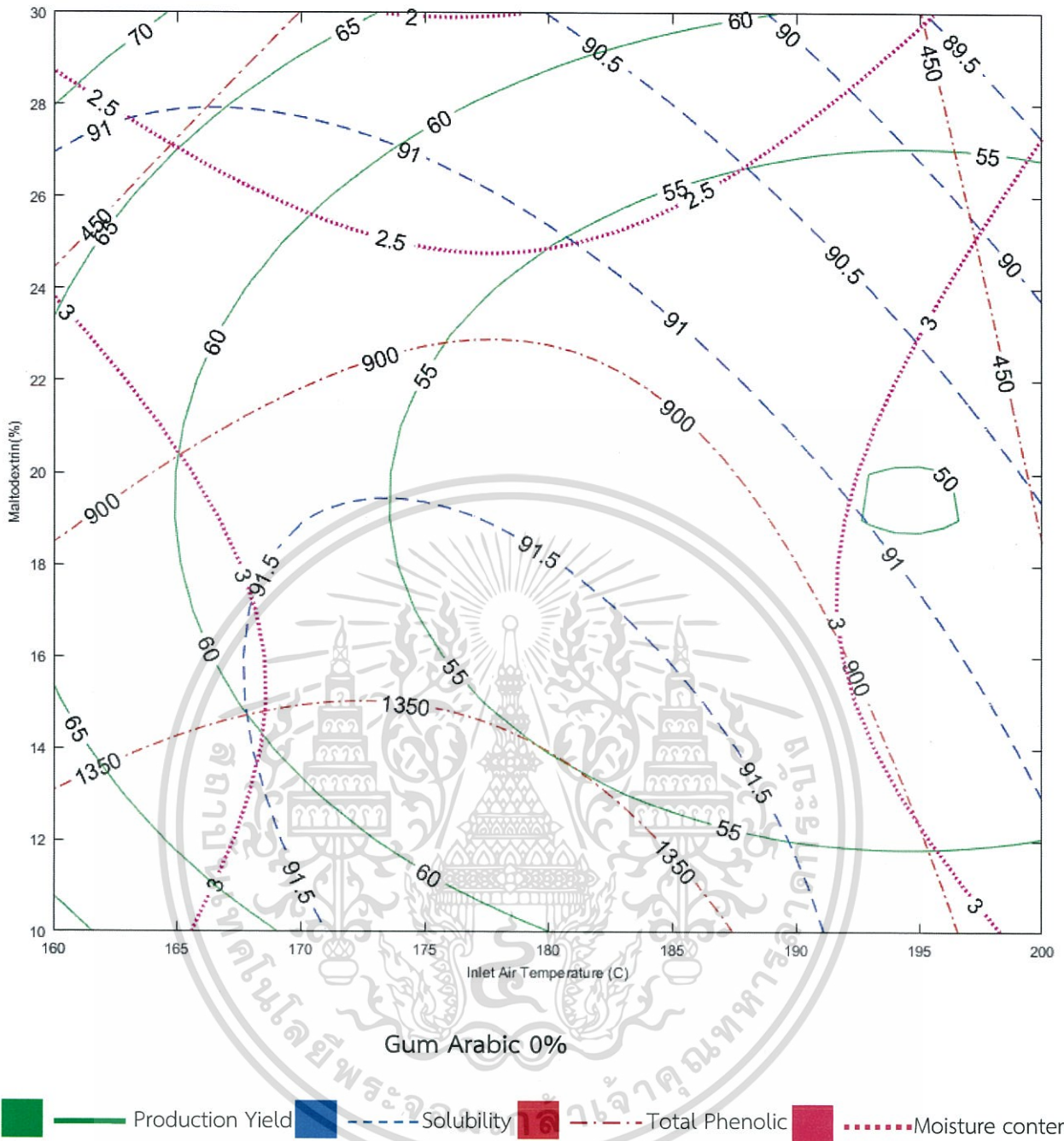
(c) แสดงผลของขอบเขตที่มีความสามารถในการละลายมากกว่า 90%



(d) แสดงผลของขอบเขตที่มีปริมาณฟีนอลมากกว่า 2000 mg GAE/g powder

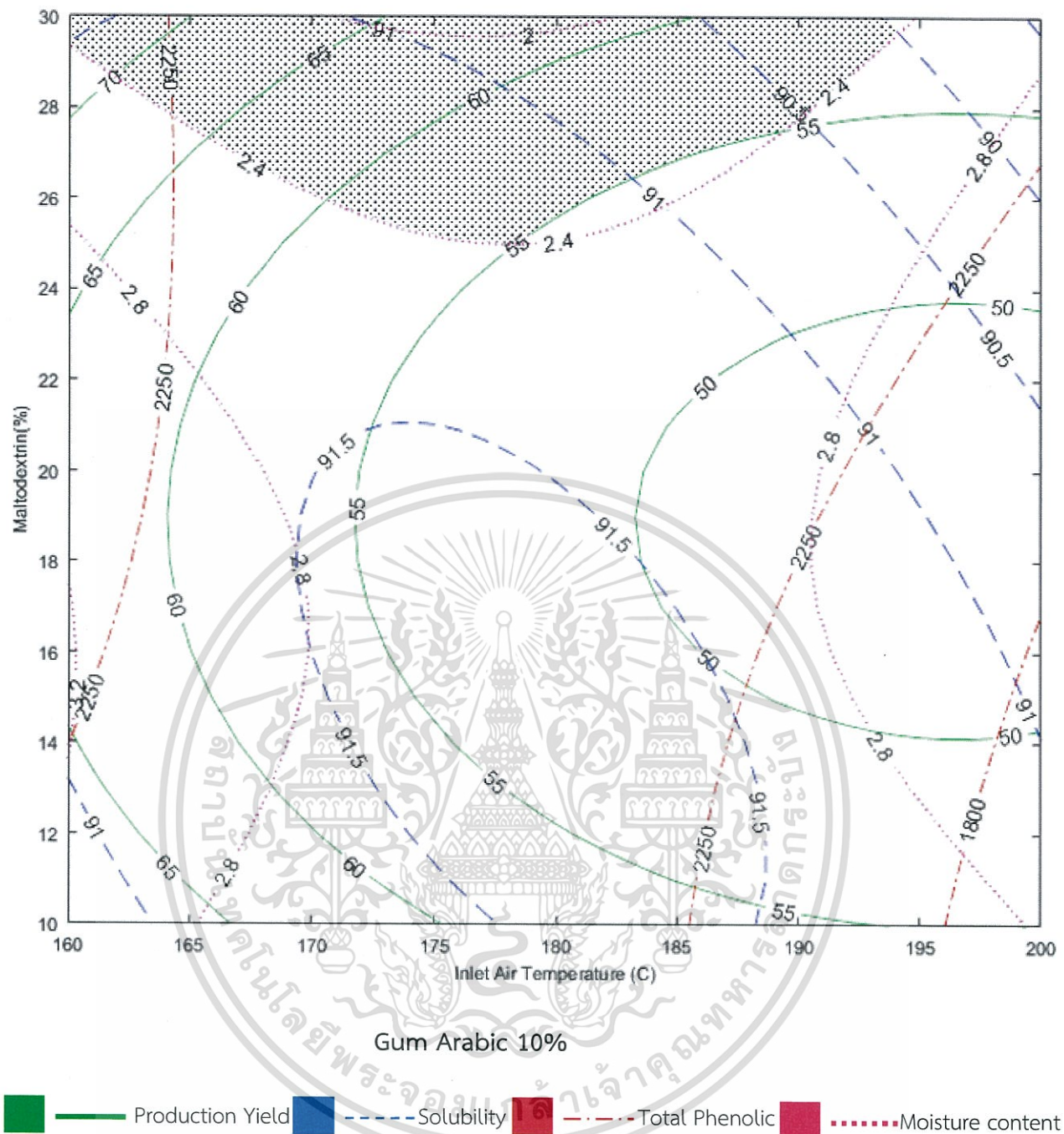
รูปที่ 4.11 (a) (b) (c) และ (d) กราฟแสดงผลของขอบเขตต่างๆ ในการคำนวณหาสภาวะที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



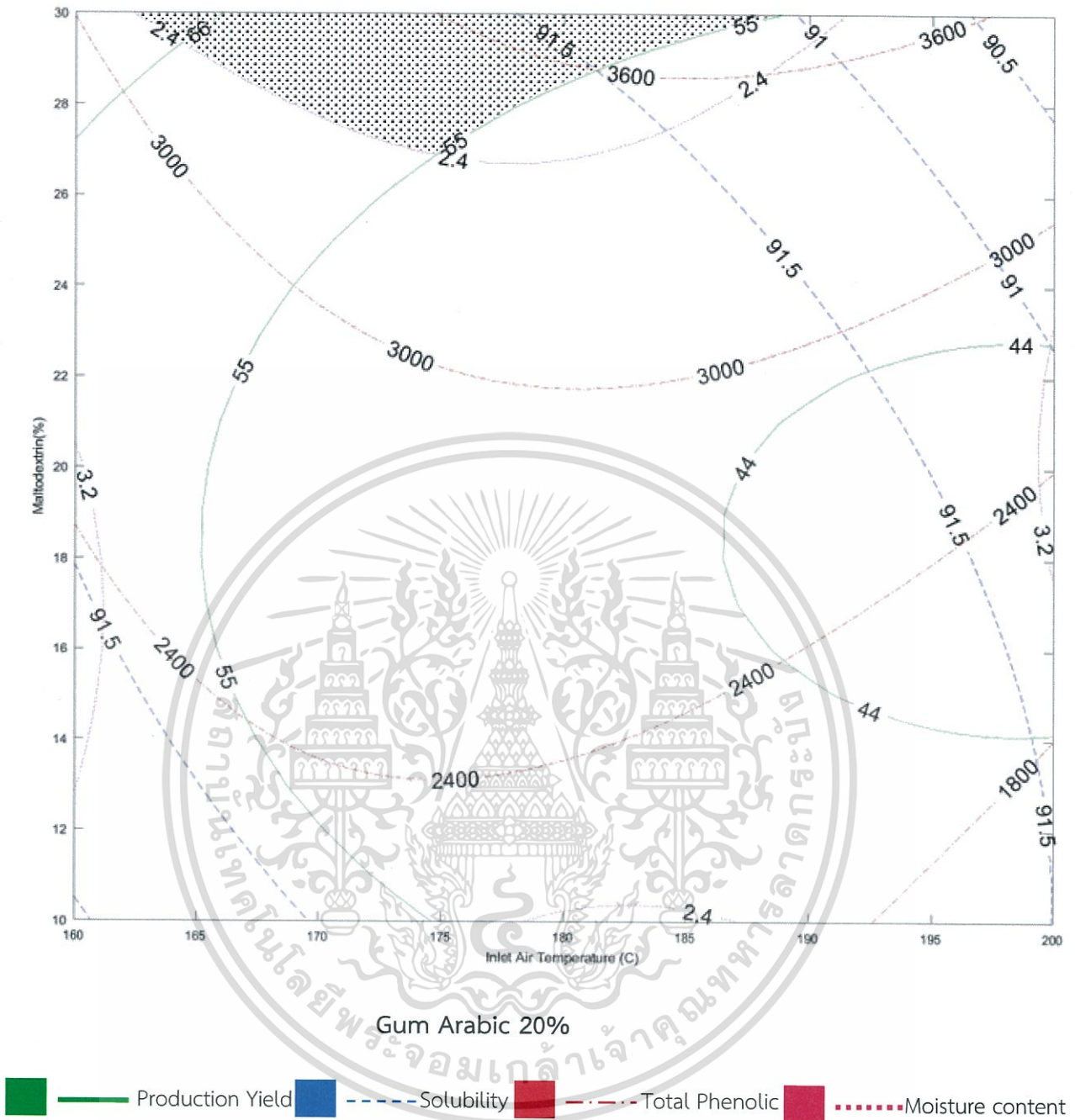
รูปที่ 4.12 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ค่าการละลาย และปริมาณสารฟีนอลิก ที่ปริมาณกัมอาราบิก 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ค่าการละลาย และปริมาณสารฟีนอลิก ที่ปริมาณกัมอาราบิก 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิสมร่อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ค่าการละลาย และปริมาณสารฟีนอลิก ที่ปริมาณกัมอาราบิก 20%

พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์สูง ความชื้นต่ำ ละลายน้ำได้ง่ายและมีคุณประโยชน์ต่อผู้บริโภค รวมถึงมีความราบเรียบในการผลิต ต้องใช้อุณหภูมิสมร่อนขาเข้า 180 °C, ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน 30% และปริมาณกัมอาราบิก 20% โดยสภาวะดังกล่าวมีปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ 68.40% ความชื้นของผลิตภัณฑ์ 1.61% ความสามารถในการละลาย 91.43% และปริมาณฟีนอลิก 2211.11 mg GAE/g powder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการทดลองการผลิตผลิตภัณฑ์ผงจากหัวปลีโดยใช้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้สภาวะของเครื่องดังนี้ อุณหภูมิลมร้อนขาออก 80 °C ปริมาณลมร้อนที่ใช้ 950kg dry air/hr อัตราการป้อนวัตถุดิบ 16.67 ml/min และความดันลมที่ใช้ 0.1 MPa โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบไปด้วย อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (160, 180, 200 °C) ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน (10%, 20%, 30%) และปริมาณกัมอาราบิก (0%, 10%, 20%)

จากการทดลองพบว่า

5.1.1 เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield) ลดลง ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture content) ลดลง ปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผง (Water activity) เพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่น (Bulk density) ลดลง ความสามารถในการละลาย (Solubility) เพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อย และค่าสี (Color) เพิ่มขึ้น

5.1.2 เมื่อปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield) ลดลงและเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture content) เพิ่มขึ้นและลดลง ปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผง (Water activity) ลดลง ค่าความหนาแน่น (Bulk density) เพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลาย (Solubility) เพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อย และค่าสี (Color) เพิ่มขึ้น

5.1.3 เมื่อปริมาณกัมอาราบิกเพิ่มขึ้น ไม่มีผลกับปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% Yield) ไม่มีผลกับค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture content) ปริมาณน้ำอิสระผลิตภัณฑ์ผง (Water activity) ลดลงเล็กน้อย ค่าความหนาแน่น (Bulk density) เพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลาย (Solubility) เพิ่มขึ้น และค่าสี (Color) เพิ่มขึ้น

5.1.4 เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกพบว่า ปัจจัยที่มีผลสำคัญต่อปริมาณสารฟีนอลิกคือ ปริมาณกัมอาราบิกและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า โดยค่าฟีนอลิกจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกัมอาราบิก แต่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มสูงขึ้น

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ (ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ความสามารถในการละลาย ปริมาณฟีนอลิก) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์สูง ละลายน้ำได้ง่าย และมีคุณประโยชน์ต่อผู้บริโภครวมถึงมีความราบเรียบในการผลิต ต้องใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 180 °C, ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน 30% และปริมาณกัมอาราบิก 20% โดยสภาวะดังกล่าวมีปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ 68.40% ความชื้นของผลิตภัณฑ์ 1.61% ความสามารถในการละลาย 91.43% และปริมาณฟีนอลิก 2211.11 mg GAE/g powder

5.2 ปัญหาที่พบ

ในขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอยอุปกรณ์ในการป้อนวัตถุดิบไม่มีเครื่องมือควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้น จึงอาจมีผลทำให้การทดลองมีความคลาดเคลื่อนได้ ระบบควบคุมเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบอัตโนมัติ ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าด้วยการส่งสัญญาณไฟควบคุมการเปิด-ปิด จ่ายไฟให้กับแผงทำความร้อน ทำให้อุณหภูมิลมร้อนไม่คงที่ และมีการควบคุมอุณหภูมิลมขาออกเพื่อไม่ให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์สูงเกินไปด้วยการเปิด-ปิดระบบป้อนของเหลวเข้าสู่เครื่องอบแห้ง ทำให้อัตราป้อนของเหลวไม่คงที่ตลอดช่วงการทดลอง ในการเก็บผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ มีผงจำนวนมากที่ติดอยู่ในท่อลำเลียง ผงและส่วนของกรวยแยกของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยทำให้ไม่สามารถนำออกมาได้หมด

5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรมีเครื่องมือในการควบคุมอุณหภูมิของเหลวเริ่มต้น มีการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องทำแห้งให้คงที่ ควบคุมอัตราการป้อนเข้าเหลวเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยให้คงที่ตลอดการทดลอง ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ควรมีการเติมกลิ่น หรือผสมผลิตภัณฑ์ผงชนิดอื่นเพื่อให้รับประทานได้ง่ายขึ้น



## เอกสารอ้างอิง

- กลอยใจ เขยกลิ่นเทศ. (2556). การผลิตสีผงสำหรับอาหารจากวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย. ปทุมธานี:คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- คณิตนันท์ เอชเอ็น, เบญจวรรณ ธรรมธนารักษ์ และ สุภาภรณ์ เลขวัต. (2554). ผลของสภาวะการอบแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวผง. กรุงเทพฯ:ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- เจริญชัย เหลืองอ่อน. (2553). การวัดสีด้วยเทคนิค UV-VIS-NIR SPECTROPHOTOMETRY. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. วารสาร MTEC. เมษายน-พฤษภาคม 2553.
- ชนกฤต จันทร์คำ, พรทิพย์ ถวิลประภา และสุทธิรัตน์ บุญทะจิตรี. (2553). การผลิตครีมเทียมผง กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นพมาศ สุนทรเจริญนนท์. (2544). ยาและผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- นิธยา รัตนพานนท์. (2545). เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์อาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์, มณฑิรา นพรัตน์, ดวงพร ตั้งบำรุงพงษ์, สุเทพ อภินันท์จารุพงศ์. (2545). กระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและไมโครเวฟสุญญากาศ. กรุงเทพฯ: ภาควิชาจุลวิทยา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พิพัฒน์ ปัทมราชวิเชียร, ศศิธร นามโคตร และ ศิริรัตน์ อมรรวิริยะกุล. (2548). สภาวะการผลิตน้ำลำไยผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ภัทรารวรรณ คำบุญเรือง, .ธีราพร อนันตะเศรษฐกุล, สมภพ นวีภาพ, และ ศุภางค์ มณีศรี เลอกรองต์. (2559) การป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารโดยใช้สารสกัดจากลำต้นเทียมของกล้วยน้ำว้าในหนูวิสตาร์ วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ปีที่ 44 เล่มที่ 2, 282-293
- ลลิตา วีระเสถียร. (2552). ฤทธิ์ต้านเชื้อ Helicobacter pylori ของพืชที่ใช้เป็นอาหารในท้องถิ่น.กรุงเทพฯ: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- วรวิทย์ อารีกุล, มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, ศदानันท์ นรินทร์สุขสันติ และสุวรรณ ทาเขียว. (2557). การพัฒนาชาเขียวกู่หลานผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยและความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา. กรุงเทพฯ: คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วรวิวรรณ์ พงษ์พิจารณ์, มาริษา ภูภิญโญกุล และ พัชรี ตั้งตระกูล. (2559). การพัฒนามะเข็ญผงสำเร็จรูปโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นกระจาย. Journal of Home Economics, 59(3), 14-25.
- วันเพ็ญ สีทองษ์. (2549). ผลของมอลโตเดรกซทรินต่อคุณภาพมะนาวผงผลิตโดยกระบวนการทำแห้งแบบระเหิด.กรุงเทพฯ:ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สรศักดิ์ งามสง่า, ญัญฐา เลหากุลจิตต์, และ อรพิน เกิดชูชื่น. (2558). คุณลักษณะและการประเมินประสิทธิผลของกล้วยหอมผงที่ได้จากเทคนิคอบแห้งแบบพ่นฝอย.กรุงเทพฯ:คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สวนิต อิชยาวณิชัย. (2556). ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดกลาสทรานซิชั่นระหว่างการอบแห้งกับคุณภาพของอาหารแห้งที่ผลิตได้. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 23 ฉบับที่ 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สันติชัย สิริวัชโรดม และอุษารัตน์ แวตระการ. (2554). ผลของอุณหภูมิรมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการอบแบบพ่นฝอยต่อความคงตัวของเบต้าไซยานินจากแก้วมังกร. กรุงเทพฯ:ภาควิชาวิศวกรรมเคมี. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2559). สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้าปี 2559. กรุงเทพฯ:สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สิรดา ศรีหิรัญ. (2551). การป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารโดยใช้สารสกัดจากหัวปลีในหนูวิสตาร์. กรุงเทพฯ:ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุวรรณี แสนทวีสุข, ดวงใจ จงตามกลาง, ทศน์วรรณ สมจันทร์ และ ปิติพงษ์ โทบั่นลือภพ. (2555). ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสมุนไพรบางชนิด. วารสารแก่นเกษตร 40 ฉบับพิเศษ 2 :480-483.
- อนงค์นาฏ ศรีบุญแก้ว. (2554). ทรัพยากรชีวภาพพืช. กรุงเทพฯ:สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ (องค์การมหาชน).
- เอกนัย วงศ์ธนบัตร. (2548). การแปรรูปน้ำกะทิอบแห้งแบบพ่นฝอย. กรุงเทพฯ:วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Anal, A.K., Jaisanti, S., Noomhorm, A., 2014. Enhanced yield of phenolic extracts from banana peels (*Musa acuminata* Colla AAA) and cinnamon barks (*Cinnamomum varum*) and their antioxidative potentials in fish oil. *J. Food Sci. Technol.* 51, 2632–2639.
- Bhandari, B. R., Datta, N., & Howes, T., 1997. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology*, 15, 671-684.
- Bicudo, M. O. P., Jo, J., Oliveira, G. A. d., Chaimsohn, F. P., Sierakowski, M. R., Freitas, R.A. d., et al. (2015). Microencapsulation of juçara (*Euterpe edulis* M.) pulp by spray drying using different carriers and drying temperatures. *Drying Technology*, 33, 153-161.
- Brijesh K. Tiwari , Nigel P. Brunton, Charles Brennan., 2013. Handbook of Plant Food Phytochemicals: Sources, Stability and Extraction. Wiley-Blackwell, 1-8.
- Can Karaca, A., Guzel, O., & Ak, M. M. (2016). Effects of processing conditions and formulation on spray drying of sour cherry juice concentrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 449-455.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P., Ramos, A., & Cal-Vidal, J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6, 420-428.
- Chattopadhyay S, Chandhuri S, Chosal S. Activation of ulcerogenic acylsteryl glycoside from *Musa paradisiaca*. *Planta Med* 1987;52:16-8.
- Chegini, G. R., & Ghobadian, B. (2005). Effect of spray drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23, 657-668.
- David ALewisa, William N Fieldsa, & Graham P Shaw., 1999. A natural flavonoid present in unripe plantain banana pulp (*Musa sapientum* L. var. *paradisiaca*) protects the gastric mucosa from aspirin-induced erosions. *Journal of Ethnopharmacology*, 65, 283-288.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Gonzalez-Montelongo, R., Lobo, M.G., Gonzalez, M., 2010. Antioxidant activity in banana peel extracts: testing extraction conditions and related bioactive compounds. *Food Chem.* 119, 1030–1039.
- Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11, 342-351.
- Jim Smith, Lily Hong-Shum. (2011). *Food Additives Data Book*. 2<sup>nd</sup> ed, Wiley-Blackwell: USA.
- Kathirvel A. & Sujatha V. (2012). In vitro assessment of antioxidant and antibacterial properties of *Terminalia chebula* Retz. leaves. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2, 788-795.
- Majumdar, K., Saha, R., Datta, B.K., Bhakta, T., 2006. Medicinal plants prescribed by different tribal and non-tribal medicine men of Tripura state. *Ind. J. Trad. Knowl.* 5, 559–562.
- McNamee, B. F., O'Riordan, E. D., & O'Sullivan, M. (1998). Emulsification and microencapsulation properties of gum Arabic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4551-4555.
- Mohammad Rezaul Islam Shishir, Wei Chen., 2016. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science & Technology*. 65(2017), 49-67
- Nadeem, H.S., M. Torun, and F. Ozdemir. 2011. Spray drying of the mountain tea (*Sideritis stricta*) water extract by using different hydrocolloid carriers. *LWT - Food science and technology*.44:1626-1635.
- Osorio, C., Forero, D. P., & Carriazo, J. G. (2011). Characterisation and performance assessment of guava (*Psidium guajava* L.) microencapsulates obtained by spraydrying. *Food Research International*, 44, 1174-1181.
- Prabhat K. Nema, Barjinder Pal Kaur and Arun S. Majumdar, (2015). *Drying Technologies for Foods: Fundamentals and Applications*. Vedams eBooks (P) Ltd: New Delhi, India.
- Quek, S. Y., Chok, N. K., & Swedlund, P., 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification.*, 46, 386-392.
- Santana, A. A., Martin, L. G. P., de Oliveira, R. A., Kurozawa, L. E., & Park, K. J. (2017). Spray drying of babassu coconut milk using different carrier agents. *Drying Technology*, 35, 76-87.
- Solval, K. M., Sundararajan, S., Alfaro, L., & Sathivel, S., 2012. Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) juice powders using spray drying technology. *LWT Food Science and Technology*, 46, 287-293.
- Subbaraya, U., 2006. *Farmers Knowledge of Wild Musa in India*. Food and Agriculture Organization of the United States, Rome.
- Sumathy, V., Lachumy, S.J., Zakaria, Z., Sasidharan, S., 2011. In vitro bioactivity and phytochemical screening of *Musa acuminata* flower. *Pharmacologyonline* 2, 118–127.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D., 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88, 411 - 418.
- Vernon L. Singleton, Rudolf Orthofer, Rosa M. & Lamuela-Raventós. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.
- Xiao Dong Chen and Arun S. Mujumdar. (2008). *Drying Technologies in Food Processing*. United Kingdom. Backwell. P.144-146.
- Yousefi, S., Emam-Djomeh, Z., & Mousavi, S. M. (2011). Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum* L.). *Journal of Food Science and Technology*, 48, 677-684.
- Yrjö H. Roos. (2002). Importance of glass transition and water activity to spray drying and stability of dairy powders. Department of Food Science, Food Technology and Nutrition, University College, Cork, Ireland.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



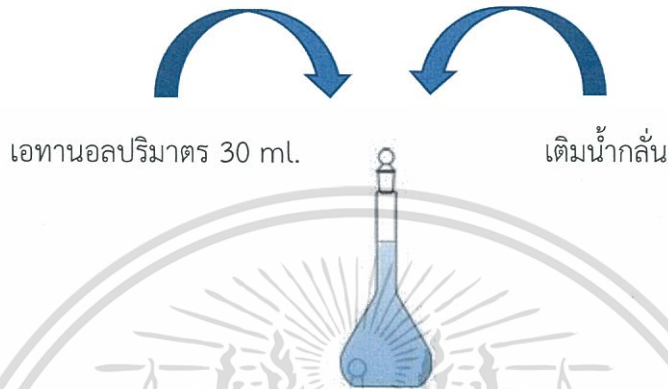
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### การเตรียมสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อหารปริมาณพฤษภาคมศาสตร์เคมี

#### 1. การเตรียมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30

เตรียมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยเริ่มจากปิเปตสารละลายเอทานอล ปริมาณ 30 มิลลิลิตรลงในขวดปรับปริมาตร จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นซึ่งทำได้ดังนี้



รูปที่ ก.1 การเตรียมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30

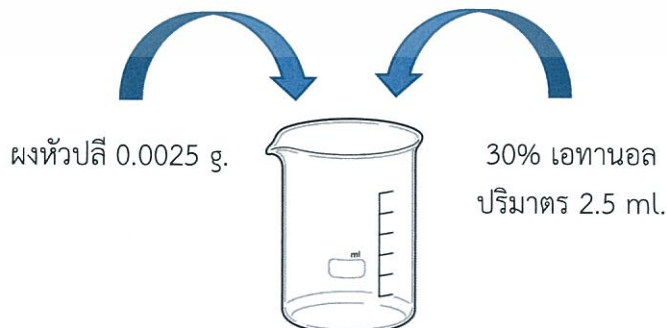
#### 2. การเตรียมสารละลายจากผงหัวปัสกัด

การเตรียมสารละลายจากผงหัวปัสเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารพฤษภาคมศาสตร์เคมี โดยใช้ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร การเตรียมสารละลายจากผงหัวปัสความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำได้โดยการชั่งผงหัวปัส 0.0010 กรัม แล้วเติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 ลงไป 1 มิลลิลิตร ซึ่งการชั่งผงหัวปัสให้ได้ 0.0010 กรัม นั้นเป็นไปได้ยาก และได้ปริมาณที่น้อยมากจึงทำได้ดังนี้

จากสารละลายจากผงหัวปัสความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กล่าวได้ว่าในสารละลายเอทานอลมีความเข้มข้นร้อยละ 30 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จะมีผงหัวปัสอยู่ 0.0010 กรัม

ดังนั้น ชั่งผงหัวปัส 0.0010 กรัม จะต้องเติมสารละลายเอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร 1 มล.

ถ้า ชั่งผงหัวปัส 0.0025 กรัม จะต้องเติมสารละลายเอทานอลร้อยละ 30 ปริมาตร  $\frac{1 \times 0.0025}{0.0010}$  เท่ากับ 2.5 มิลลิลิตร



รูปที่ ก.2 การเตรียมสารละลายผงหัวปัสความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงหัวปลี

#### 3.1. การเตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร)

ทำการเตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร (20% (w/v)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) สามารถคิดได้ดังนี้

จาก สารละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะใช้สาร  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  20 กรัม

ถ้าเตรียม สารละลายปริมาตร 500 มิลลิลิตร จะใช้สาร  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  100 กรัม

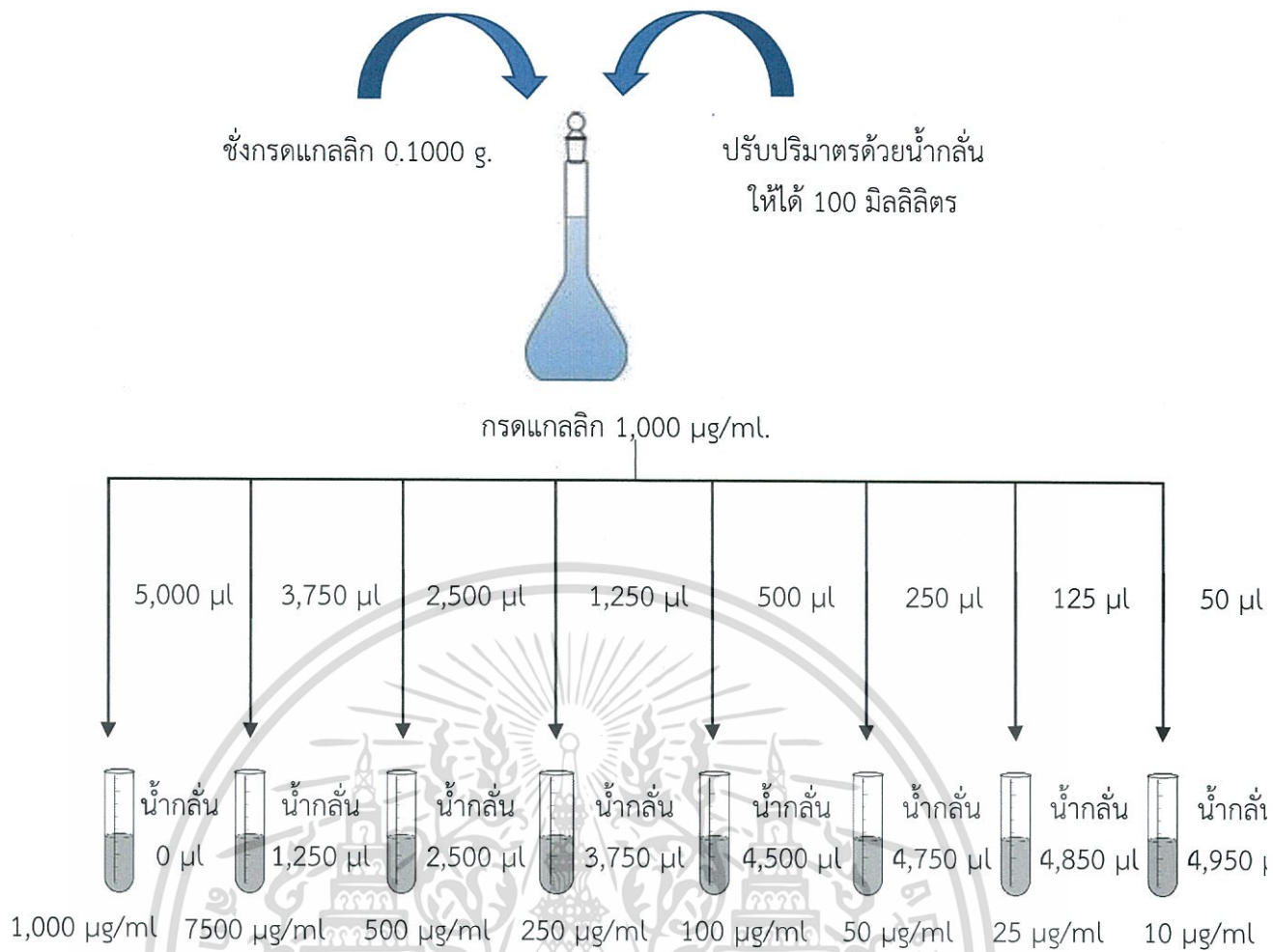
ดังนั้นในการเตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 500 มิลลิลิตรนั้น จะต้องชั่งสารโซเดียมคาร์บอเนตปริมาณ 100 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปเล็กน้อย จากนั้นเทสารละลายที่ได้ลงในขวดปรับปริมาตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 500 มิลลิลิตร



รูปที่ ก.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร)

#### 3.2. สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

สำหรับการทำกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 1,000, 750, 500, 250, 100, 50, 25 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ได้ดังนี้



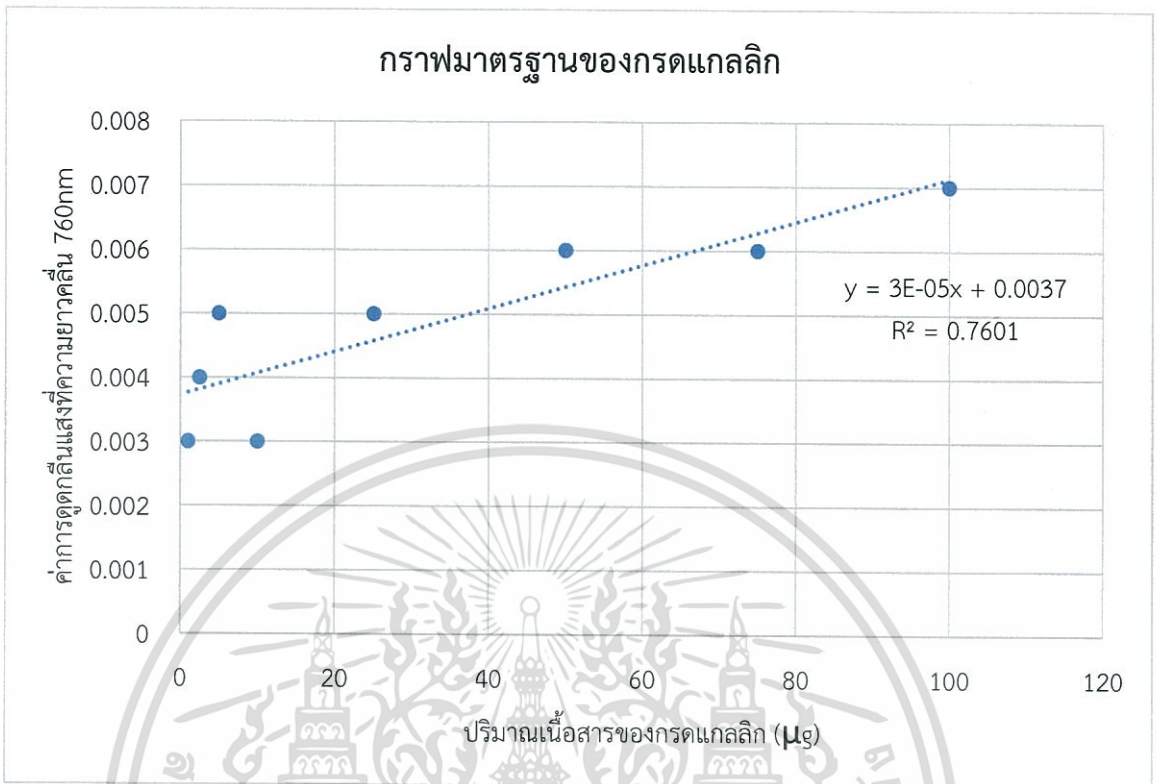
รูปที่ ก.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

ตารางที่ ก.1 การทำความเข้าใจของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของ กรดแกลลิก (µg/ml)	ปริมาตรของ กรดแกลลิก (µl)	ปริมาตรของ น้ำกลั่น (µl)	ความเข้มข้นสุดท้ายของกรด แกลลิกในหลอดทดลอง (µg/ml)
1,000	5,000	0	1,000
1,000	3,750	1,250	750
1,000	2,500	2,500	500
1,000	1,250	3,750	250
1,000	500	4,500	100
1,000	250	4,750	50
1,000	125	4,875	25
1,000	50	4,950	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการพล็อตกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตรกับปริมาณเนื้อสารของกรดแกลลิกในหน่วยไมโครกรัม ดังนี้



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร กับปริมาณเนื้อสารของกรดแกลลิกในหน่วยไมโครกรัมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

#### ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงหัวปลี คิดได้โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ของผงหัวปลีแทนค่าในสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายกรดแกลลิก ดังนี้

ผงหัวปลีที่การทดลองที่ 1 (160°C, 10%MD, 10%GA) มีค่า O.D. 760 เท่ากับ 0.011

จากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

$$y = 3E-05x + 0.0037$$

เมื่อ x คือ ปริมาณเนื้อสารของกรดแกลลิก (ไมโครกรัม)

Y คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร

แทนค่า

$$0.011 = 3 \times 10^{-5}x + 0.0037$$

$$X = \frac{0.011 + 0.0037}{3 \times 10^{-5}}$$

$$X = \frac{0.0147}{3 \times 10^{-5}}$$

$$X = 232.222 \text{ ไมโครกรัมของกรดแกลลิก}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### การคำนวณและการวิเคราะห์ปริมาณพิษศาสตร์เคมี

#### 1. การคำนวณสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของผงหัวปลี

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 1,000, 750, 500, 250, 100, 50, 25 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการทดลองตามวิธีการเช่นเดียวกับสารละลายผงหัวปลี ซึ่งในการทดลองจะใช้สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ดังนั้นในหลอดของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆ จะมีเนื้อสารของกรดแกลลิกดังนี้

สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ในหลอดทดลองนั้นจะมีสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เพราะฉะนั้นในหลอดทดลองนี้จะมีเนื้อสารของกรดแกลลิก เท่ากับ

$$\frac{1,000 \mu\text{g} \times 0.1 \text{ ml}}{1 \text{ ml}} = 100 \mu\text{g}$$

สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ในหลอดทดลองนั้นจะมีสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 750 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เพราะฉะนั้นในหลอดทดลองนี้จะมีเนื้อสารของกรดแกลลิก เท่ากับ

$$\frac{750 \mu\text{g} \times 0.1 \text{ ml}}{1 \text{ ml}} = 75 \mu\text{g}$$

สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ในหลอดทดลองนั้นจะมีสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เพราะฉะนั้นในหลอดทดลองนี้จะมีเนื้อสารของกรดแกลลิก เท่ากับ

$$\frac{500 \mu\text{g} \times 0.1 \text{ ml}}{1 \text{ ml}} = 50 \mu\text{g}$$

สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ในหลอดทดลองนั้นจะมีสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เพราะฉะนั้นในหลอดทดลองนี้จะมีเนื้อสารของกรดแกลลิก เท่ากับ

$$\frac{250 \mu\text{g} \times 0.1 \text{ ml}}{1 \text{ ml}} = 25 \mu\text{g}$$

ดังนั้นสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 1,000, 750, 500, 250, 100, 50, 25 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งใช้ในการทดลองปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร จะมีเนื้อสารของกรดแกลลิกอยู่ในหลอดเท่ากับ 100, 75, 50, 25, 10, 5, 2.5 และ 1 ไมโครกรัม ตามลำดับ

โดยในการทดลองนั้นจะใช้สารละลายผงหัวปลี ความเข้มข้น 1มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เพราะฉะนั้นในหลอดทดลองจะมีปริมาณเนื้อสารของผงหัวปลีเท่ากับ 0.1 มิลลิกรัม ซึ่งจะรายงานผลในหน่วยมิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของผงหัวปลี

ดังนั้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารละลายผงหัวปลี 0.1 มิลลิกรัม เทียบเท่ากับปริมาณเนื้อสารของกรดแกลลิกเท่ากับ 232.22 ไมโครกรัมของกรดแกลลิก

สารละลาย 1 mg จะมีปริมาณเนื้อสารของกรดแกลลิก เท่ากับ  $\frac{232.22 \mu\text{g} \times 1 \text{ mg}}{0.1 \text{ mg}}$   
เท่ากับ 2322.22  $\mu\text{g}$  GAE

ดังนั้น สารละลาย 1 mg เทียบเท่ากับปริมาณเนื้อสารของกรดแกลลิก เท่ากับ  $\frac{2322.22 \text{ mg GAE}}{1,000}$

ถ้า สารละลาย 1,000 mg จะมีปริมาณเนื้อสารของกรดแกลลิกเท่ากับ  $\frac{2322.22 \times 1,000}{1,000}$   
เท่ากับ 2322.22 mg GAE

เพราะฉะนั้น ผงหัวปลีจากการทดลองที่ 1 (160°C, 10%MD, 10%GA) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 2322.22 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของผงหัวปลี



## 2. รายละเอียดของการสกัดน้ำห้วปลี

ตารางที่ ค.1 ปริมาณร้อยละผลได้ของกระบวนการผลิตน้ำห้วปลีสกัด

ขั้นตอน	น้ำหนัก (kg)	
ก่อนแกะเปลือก	75.8	%Yield แกะ = 29%
หลังแกะเปลือก	22	
หลังล้างและสะเด็ดน้ำ	24.2	%Yield ผลิต = 77.48%
ผลิตภัณฑ์ก่อนคั้น	37.5	
ผลิตภัณฑ์	29.24 kg	%Yield การคั้น = 77.96%

หมายเหตุ อัตราส่วนการผลิต ห้วปลี : น้ำเกลือ = 1 : 1 ความเข้มข้นน้ำเกลือ 0.1%

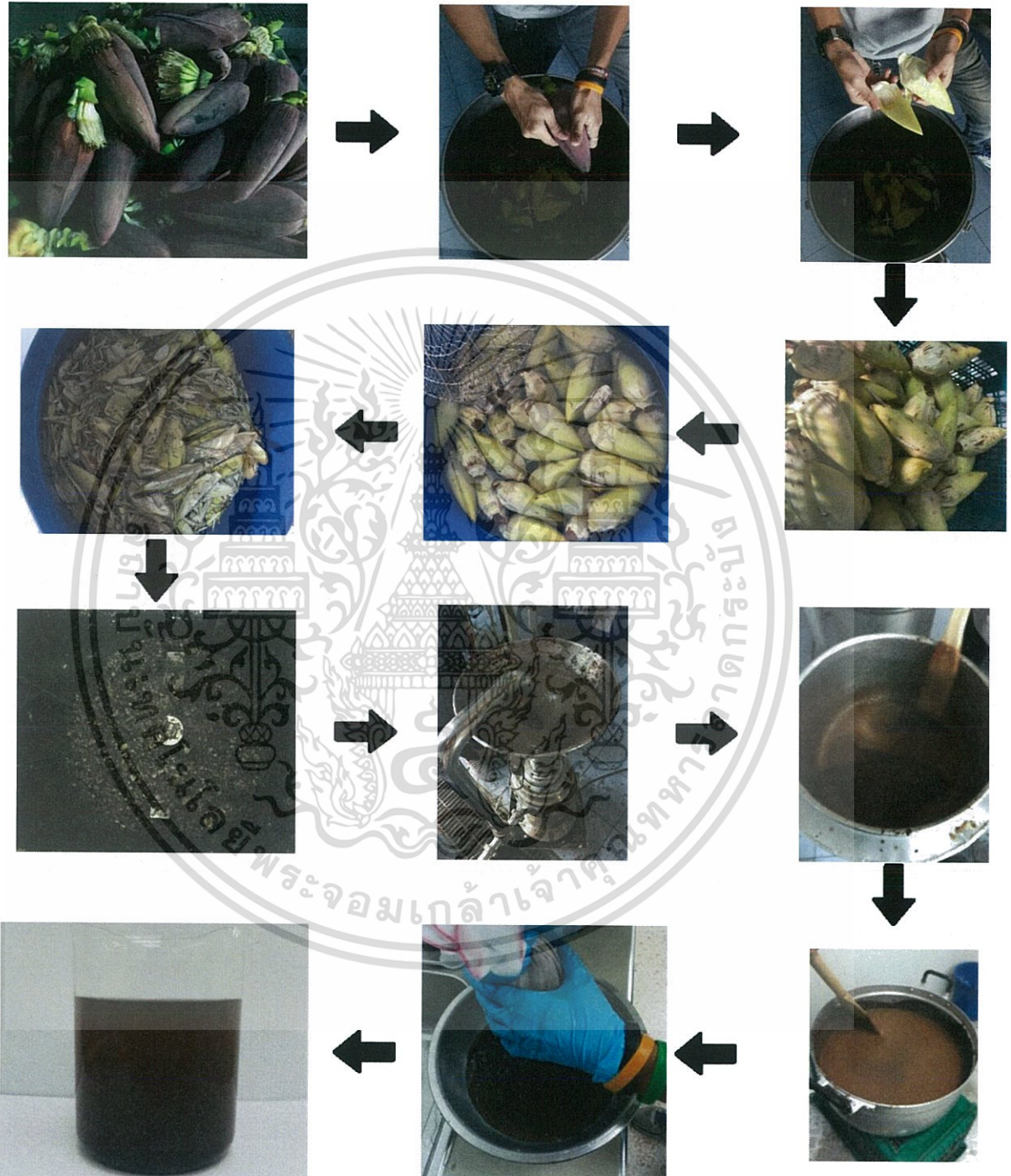
โดยจากกระบวนการผลิตน้ำสกัดห้วปลี จากห้วปลีสลวยหอม เพื่อเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตผลิตภัณฑ์ผงห้วปลีนั้น พบว่าปริมาณของน้ำสกัดห้วปลีที่ได้คือ 29.24 กิโลกรัม คิดเป็น 29.90% โดยมีปริมาณของแข็งเริ่มต้นในน้ำห้วปลีสกัดเท่ากับ 1.55%



# ภาคผนวก ค

## การสกัดน้ำหัวปลี

### 1. ขั้นตอนการสกัดน้ำหัวปลี



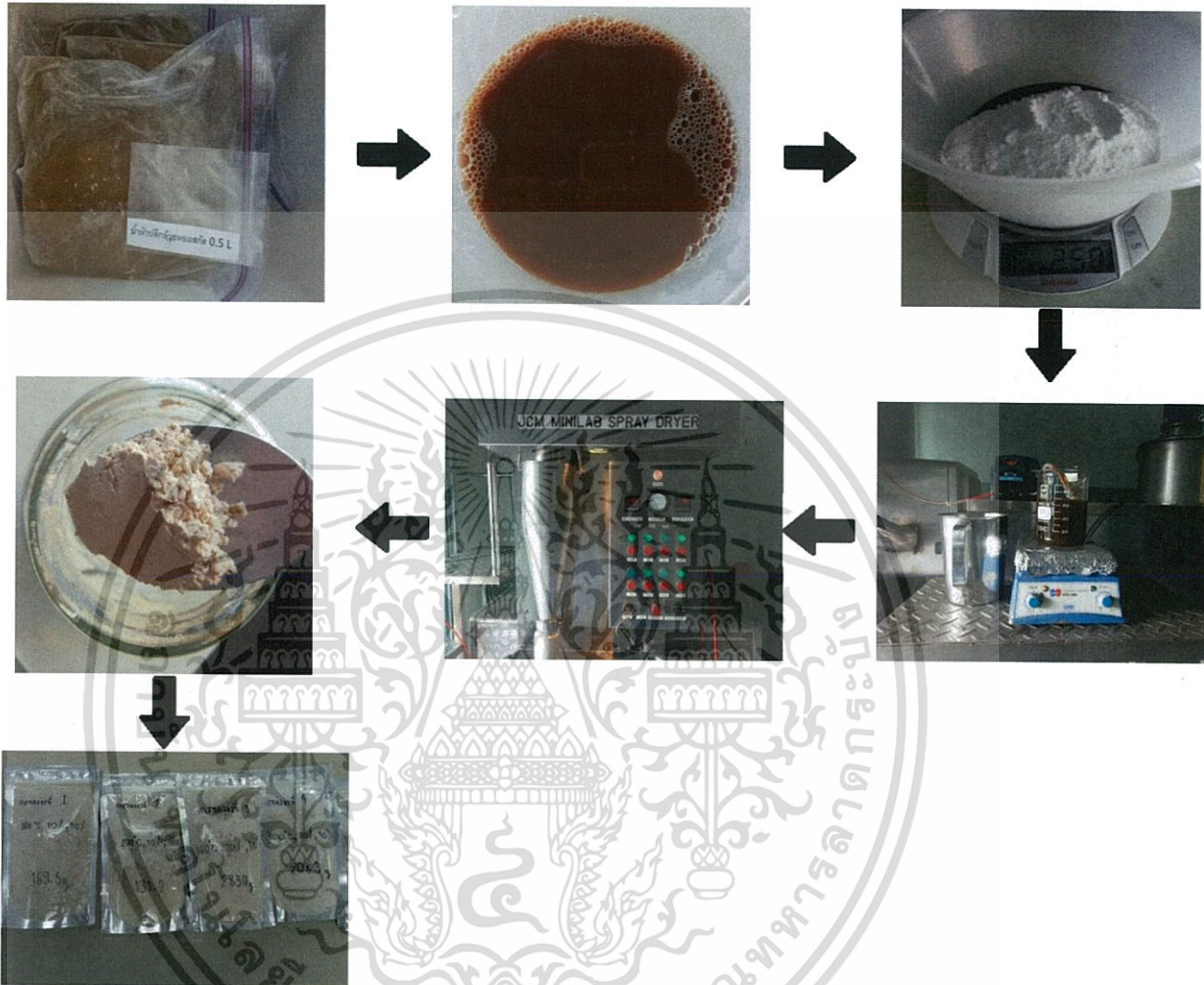
รูปที่ ค.1 ขั้นตอนการสกัดน้ำหัวปลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง

## การทำผงห้วยปลีโดยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

### 1. ขั้นตอนการทำแห้ง



รูปที่ ง.1 ขั้นตอนการผลิตห้วยปลีผงด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

### ผลการวิเคราะห์ผงหัวปลีจากการทำแห้งด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ตารางที่ จ.1 ปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองที่	ตัวแปรที่ศึกษา			Production Yield (%)		
	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)	ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน (%)	ปริมาณกัมอราบิก (%)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	%Yield
1	160	10	10	215.5	169.5	78.65
2	200	10	10	215.5	131.2	60.88
3	160	30	10	415.5	283.0	68.11
4	200	30	10	415.5	208.3	50.13
5	160	20	0	215.5	141.3	65.57
6	200	20	0	215.5	118.5	54.99
7	160	20	20	415.5	227.6	54.78
8	200	20	20	415.5	168.9	40.65
9	180	10	0	115.5	57.2	49.52
10	180	30	0	315.5	208.3	66.02
11	180	10	20	315.5	153.1	48.53
12	180	30	20	515.5	352.6	68.40
13	180	20	10	315.5	169.5	53.72
14	180	20	10	315.5	176.9	56.07
15	180	20	10	315.5	138.3	43.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.2 ความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองที่	ตัวแปรที่ศึกษา				ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (%)							
	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)	ปริมาณมอเตอร์เด็กซ์ตริน (%)	ปริมาณกัมอราบิก (%)	ถ้วยที่	น้ำหนักถ้วย (กรัม)	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบพร้อมถ้วย (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (%)	ความชื้นของผลิตภัณฑ์เฉลี่ย (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
1	160	10	10	1	10.1151	3.1116	13.1264	3.0113	3.2234			
				2	10.6136	3.1398	13.6516	3.0380	3.2422	3.246	0.025	
				3	10.4545	3.2176	13.5668	3.1123	3.2726			
2	200	10	10	4	9.9443	3.0710	12.9362	2.9919	2.5757			
				5	12.8243	3.1684	15.9108	3.0865	2.5849	2.572	0.016	
				6	10.3844	3.1355	13.4398	3.0554	2.5546			
3	160	30	10	7	10.3658	3.2291	13.5095	3.1437	2.6447			
				8	12.6910	3.2120	15.8239	3.1329	2.4626	2.580	0.102	
				9	12.4196	3.1651	15.5014	3.0818	2.6318			
4	200	30	10	10	12.6099	3.2374	15.7668	3.1569	2.4866			
				11	12.6389	3.2039	15.7596	3.1207	2.5968	2.534	0.057	
				12	10.8417	3.1888	13.9502	3.1085	2.5182			
5	160	20	0	13	10.1592	3.1671	13.2458	3.0866	2.5418			
				14	10.7732	3.2205	13.9130	3.1398	2.5058	2.569	0.080	
				15	9.5152	3.1900	12.6204	3.1052	2.6583			
6	200	20	0	16	10.5308	3.0675	13.5044	2.9736	3.0611			
				17	12.9819	3.0092	15.8994	2.9175	3.0473	3.091	0.064	
				18	12.8467	3.2676	16.0109	3.1642	3.1644			
7	160	20	20	19	12.6169	3.0849	15.5962	2.9793	3.4231			
				20	12.7184	3.1846	15.7892	3.0708	3.5734	3.476	0.084	
				21	10.2789	3.1519	13.3226	3.0437	3.4329			
8	200	20	20	22	12.6303	3.1759	15.6818	3.0515	3.9170			
				23	10.7819	3.0031	13.6694	2.8875	3.8494	3.911	0.059	
				24	9.3650	3.0027	12.2486	2.8836	3.9664			
9	180	10	0	25	12.6315	2.0195	14.5864	1.9549	3.1988			
				26	9.3570	2.0290	11.3216	1.9646	3.1740	3.159	0.049	
				27	12.4260	2.0358	14.3986	1.9726	3.1044			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.2 ความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (ต่อ)

การทดลองที่	ตัวแปรที่ศึกษา				ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (%)							ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)	ปริมาณมอเตอร์เด็กซ์ตริน (%)	ปริมาณกำอราบิก (%)	ถ้วยที่	น้ำหนักถ้วย(กรัม)	น้ำหนักก่อนอบ(กรัม)	น้ำหนักหลังอบพร้อมถ้วย(กรัม)	น้ำหนักหลังอบ(กรัม)	ความชื้นของผลิตภัณฑ์ (%)	ความชื้นของผลิตภัณฑ์เฉลี่ย (%)		
10	180	30	0	28	12.7209	3.0348	15.6822	2.9613	2.4219	2.431	0.028	
				29	12.7468	3.0253	15.6976	2.9508	2.4626			
				30	12.7470	3.2099	15.8796	3.1326	2.4082			
11	180	10	20	31	7.8769	3.0528	10.8704	2.9935	1.9425	1.963	0.087	
				32	7.9304	3.0233	10.8966	2.9662	1.8887			
				33	7.9620	3.0945	10.9928	3.0308	2.0585			
12	180	30	20	34	8.0118	3.2384	11.2009	3.1891	1.5224	1.613	0.082	
				35	8.0900	3.1174	11.1564	3.0664	1.6360			
				36	7.8454	3.1297	10.9225	3.0771	1.6807			
13	180	20	10	37	7.9149	3.0397	10.8692	2.9543	2.8095	2.970	0.189	
				38	7.8808	3.0046	10.7976	2.9168	2.9222			
				39	7.4961	3.1240	10.5208	3.0247	3.1786			
14	180	20	10	40	7.8599	3.1621	10.9452	3.0853	2.4288	2.553	0.113	
				41	7.9109	3.1495	10.9769	3.0660	2.6512			
				42	7.8712	3.2194	11.0076	3.1364	2.5781			
15	180	20	10	43	9.3258	3.0563	12.3138	2.9880	2.2347	2.352	0.103	
				44	9.0533	3.0790	12.0576	3.0043	2.4261			
				45	9.8903	3.0597	12.8767	2.9864	2.3957			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 วอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลอง ที่	ตัวแปรที่ศึกษา			Water activity				ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	อุณหภูมิ ร้อนขาเข้า (°C)	ปริมาณ มอลโต เด็กซ์ตริน (%)	ปริมาณ กัมอราบิก (%)	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1	160	10	10	0.156	0.158	0.154	0.156	0.002
2	200	10	10	0.138	0.149	0.190	0.159	0.027
3	160	30	10	0.135	0.124	0.130	0.130	0.006
4	200	30	10	0.137	0.129	0.129	0.132	0.005
5	160	20	0	0.150	0.166	0.154	0.157	0.008
6	200	20	0	0.186	0.199	0.199	0.195	0.008
7	160	20	20	0.132	0.135	0.132	0.133	0.002
8	200	20	20	0.182	0.183	0.182	0.182	0.001
9	180	10	0	0.220	0.211	0.209	0.213	0.006
10	180	30	0	0.133	0.134	0.132	0.133	0.001
11	180	10	20	0.070	0.073	0.071	0.071	0.002
12	180	30	20	0.067	0.007	0.073	0.049	0.036
13	180	20	10	0.143	0.145	0.146	0.145	0.002
14	180	20	10	0.123	0.141	0.119	0.128	0.012
15	180	20	10	0.140	0.137	0.176	0.151	0.022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.4 ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองที่	ตัวแปรที่ศึกษา			ความหนาแน่น (กรัม/มล.)					
	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)	ปริมาณมอเตอร์เด็กซ์ตริน (%)	ปริมาณกัมอราบิก (%)	ถ้วยที่	น้ำหนักผง (กรัม)	ปริมาตรถ้วย (มล.)	ความหนาแน่น (กรัม/มล.)	ความหนาแน่นเฉลี่ย (กรัม/มล.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	160	10	10	1	10.1151	10.48123	0.0954		
				2	10.6136	10.48123	0.1908	0.1908	0.0954
				3	10.4545	10.48123	0.2862		
				4	9.9443	10.48123	0.3816		
2	200	10	10	5	12.8243	10.48123	0.4770	0.4770	0.0954
				6	10.3844	10.48123	0.5725		
				7	10.3658	10.48123	0.6679		
3	160	30	10	8	12.6910	10.48123	0.7633	0.7633	0.0954
				9	12.4196	10.48123	0.8587		
				10	12.6099	10.48123	0.9541		
4	200	30	10	11	12.6389	10.48123	1.0495	1.0495	0.0954
				12	10.8417	10.48123	1.1449		
				13	10.1592	10.48123	1.2403		
5	160	20	0	14	10.7732	10.48123	1.3357	1.3357	0.0954
				15	9.5152	10.48123	1.4311		
				16	10.5308	10.48123	1.5265		
6	200	20	0	17	12.9819	10.48123	1.6219	1.6219	0.0954
				18	12.8467	10.48123	1.7174		
				19	12.6169	10.48123	1.8128		
7	160	20	20	20	12.7184	10.48123	1.9082	1.9082	0.0954
				21	10.2789	10.48123	2.0036		
				22	12.6303	10.48123	2.0990		
8	200	20	20	23	10.7819	10.48123	2.1944	2.1944	0.0954
				24	9.3650	10.48123	2.2898		
				25	12.6315	10.48123	2.3852		
9	180	10	0	26	9.3570	10.48123	2.4806	2.4806	0.0954
				27	12.4260	10.48123	2.5760		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.4 ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (ต่อ)

การทดลองที่	ตัวแปรที่ศึกษา			ความหนาแน่น (กรัม/มล.)					
	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน (%)	ปริมาณกัมมอราบิก (%)	ถ้วยที่	น้ำหนักผง (กรัม)	ปริมาตรถ้วย (มล.)	ความหนาแน่น (กรัม/มล.)	ความหนาแน่นเฉลี่ย (กรัม/มล.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10	180	30	0	28	12.7209	10.48123	2.6714	2.7669	0.0954
				29	12.7468	10.48123	2.7669		
				30	12.7470	10.48123	2.8623		
				31	7.8769	10.48123	2.9577		
11	180	10	20	32	7.9304	10.48123	3.0531	3.0531	0.0954
				33	7.9620	10.48123	3.1485		
				34	8.0118	10.48123	3.2439		
				35	8.0900	10.48123	3.3393		
12	180	30	20	36	7.8454	10.48123	3.4347	3.3393	0.0954
				37	7.9149	10.48123	3.5301		
				38	7.8808	10.48123	3.6255		
				39	7.4961	10.48123	3.7209		
13	180	20	10	40	7.8599	10.48123	3.8163	3.6255	0.0954
				41	7.9109	10.48123	3.9118		
				42	7.8712	10.48123	4.0072		
				43	9.3258	10.48123	4.1026		
14	180	20	10	44	9.0533	10.48123	4.1980	4.1980	0.0954
				45	9.8903	10.48123	4.2934		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.5 ค่าความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองที่	ตัวแปรที่ศึกษา				ความสามารถในการละลาย (%)							
	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน (%)	ปริมาณกัมมอราบิก (%)	ถ้วยที่	น้ำหนักผงก่อนเหวี่ยง (กรัม)	น้ำหนักถ้วย(กรัม)	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบพร้อมถ้วย (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ความสามารถในการละลาย (%)	ความสามารถในการละลายเฉลี่ย (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	160	10	10	1	1.0838	12.4175	22.6951	13.3956	0.9781	91.18	91.076	0.144
				2	1.0989	10.2592	20.3855	11.2680	1.0088	90.91		
				3	1.0665	12.6389	23.0558	13.6193	0.9804	91.14		
2	200	10	10	4	1.0826	12.7168	22.9997	13.7325	1.0157	90.84	90.972	0.447
				5	1.0217	12.6146	22.7158	13.5546	0.9400	91.47		
				6	1.1201	9.5133	19.9775	10.5575	1.0442	90.61		
3	160	30	10	7	1.0913	9.9431	20.3959	10.9378	0.9947	91.03	91.120	0.087
				8	1.0308	12.6284	23.0535	13.5984	0.9700	91.21		
				9	1.0355	10.1147	20.5632	11.0943	0.9796	91.12		
4	200	30	10	10	1.0118	10.0410	21.2494	11.8148	1.7738	83.89	89.158	4.570
				11	1.0354	12.8465	23.2188	13.7208	0.8743	92.08		
				12	1.0155	10.2792	21.3003	11.2149	0.9357	91.51		
5	160	20	0	13	1.0192	9.3560	19.8300	10.3150	0.9590	91.30	90.941	0.334
				14	1.0539	12.6982	23.2420	13.7052	1.0070	90.89		
				15	1.0656	12.6085	23.3409	13.6448	1.0363	90.63		
6	200	20	0	16	1.0258	10.7691	21.4999	11.7995	1.0304	90.65	90.576	0.327
				17	1.0951	10.3626	20.9200	11.4480	1.0854	90.22		
				18	1.0226	12.7452	23.3604	13.7530	1.0078	90.86		
7	160	20	20	19	1.0123	10.1132	19.5786	11.0244	0.9112	91.73	91.436	0.463
				20	1.0093	12.6302	22.4109	13.5462	0.9160	91.68		
				21	1.0944	10.2574	20.0966	11.2668	1.0094	90.90		
8	200	20	20	22	1.0820	12.4176	22.2901	13.3737	0.9561	91.37	91.493	0.302
				23	1.0128	12.9793	22.8356	13.8783	0.8990	91.84		
				24	1.0752	10.3844	20.5956	11.3514	0.9670	91.27		
9	180	10	0	25	1.0278	10.8407	20.9102	11.0878	0.7295	93.38	91.653	1.917
				26	1.0287	10.3583	21.0631	10.3962	0.8845	91.98		
				27	1.0841	9.5117	19.9419	10.5074	1.1535	89.59		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.5 ค่าความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (ต่อ)

การทดลองที่	ตัวแปรที่ศึกษา					ความสามารถในการละลาย (%)					
	อุณหภูมิร้อนชาเข้า (°C)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน (%)	ปริมาณกัมอราบิก (%)	ถ้วยที่	น้ำหนักผงก่อนเหวี่ยง (กรัม)	น้ำหนักถ้วย(กรัม)	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบพร้อมถ้วย (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ความสามารถในการละลาย (%)	ความสามารถในการละลายเฉลี่ย (%)
				28	1.0799	9.3539	19.3995	10.4253	1.0730	90.32	
10	180	30	0	29	1.0865	9.3523	19.5343	10.4320	1.0797	90.26	90.642
				30	1.0165	12.7000	22.8270	13.6529	0.9529	91.35	
				31	1.0104	12.7207	21.9830	13.6348	0.9141	91.70	
11	180	10	20	32	1.0175	12.7699	21.9702	13.6973	0.9274	91.58	91.650
				33	1.0253	12.6109	22.0869	13.5293	0.9184	91.67	
				34	1.0512	12.6189	22.1866	13.5601	0.9412	91.48	
12	180	30	20	35	1.0225	10.7677	20.6422	11.7651	0.9974	90.95	91.431
				36	1.0031	12.7923	22.4790	13.6880	0.8957	91.86	
				37	1.0248	12.6993	22.4658	13.6310	0.9317	91.55	
13	180	20	10	38	1.0036	12.5140	22.1261	13.4317	0.9177	91.66	91.519
				39	1.0113	10.0749	19.3556	11.0277	0.9528	91.35	
				40	1.0248	10.5302	20.0674	11.4727	0.9425	91.45	
14	180	20	10	41	1.0064	10.2778	19.4594	11.2251	0.9473	91.39	91.386
				42	1.0136	12.7432	22.2435	13.6999	0.9567	91.31	
				43	1.0191	12.4232	21.9798	13.3527	0.9295	91.56	
15	180	20	10	44	1.0268	12.8748	22.6617	13.8154	0.9406	91.47	91.571
				45	1.0044	10.6307	19.8090	11.5465	0.9158	91.68	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.6 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองที่	ตัวแปรที่ศึกษา			ค่าสีของผลิตภัณฑ์ผง		
	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (%)	ปริมาณกัมมอราบิก (%)	L*	a*	b*
1	160	10	10	74.388	3.344	11.158
2	200	10	10	77.778	2.724	11.416
3	160	30	10	79.638	2.522	9.788
4	200	30	10	81.622	2.120	9.436
5	160	20	0	77.488	3.144	8.018
6	200	20	0	78.270	2.850	10.766
7	160	20	20	79.362	2.532	9.904
8	200	20	20	80.294	2.374	9.762
9	180	10	0	75.992	3.468	11.738
10	180	30	0	78.680	3.020	10.202
11	180	10	20	80.402	2.102	9.880
12	180	30	20	79.748	2.314	8.240
13	180	20	10	80.042	2.452	10.094
14	180	20	10	76.100	3.094	11.456
15	180	20	10	78.802	2.674	10.234

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.7 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760nm ของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบฟุ้งฝอย

การทดลองที่	ตัวแปรที่ศึกษา			ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760nm				
	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน (%)	ปริมาณกัมมอราบิก (%)	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	160	10	10	0.009	0.012	0.011	0.011	0.002
2	200	10	10	0.012	0.006	0.005	0.008	0.004
3	160	30	10	0.008	0.009	0.003	0.007	0.003
4	200	30	10	0.006	0.008	0.006	0.007	0.001
5	160	20	0	0.009	0.005	0.007	0.007	0.002
6	200	20	0	0.005	0.006	0.008	0.006	0.002
7	160	20	20	0.006	0.004	0.008	0.006	0.002
8	200	20	20	0.006	0.007	0.003	0.005	0.002
9	180	10	0	0.007	0.007	0.006	0.007	0.001
10	180	30	0	0.006	0.005	0.004	0.005	0.001
11	180	10	20	0.008	0.010	0.008	0.009	0.001
12	180	30	20	0.010	0.010	0.011	0.010	0.001
13	180	20	10	0.009	0.009	0.009	0.009	0.000
14	180	20	10	0.008	0.009	0.010	0.009	0.001
15	180	20	10	0.009	0.009	0.009	0.009	0.000

ตารางที่ จ.8 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760nm ของกรดแกลลิก

ปริมาณเนื้อสารของกรดแกลลิก (µg)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 nm
100	0.007
75	0.006
50	0.006
25	0.005
10	0.003
5	0.005
2.5	0.004
1	0.003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.9 ปริมาณฟีนอลิกรวมของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบฟุ้งฝอย

การทดลองที่	ตัวแปรที่ศึกษา			ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g powder)
	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)	ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน(%)	ปริมาณกัมอราบิก(%)	
1	160	10	10	2322.22
2	200	10	10	1322.22
3	160	30	10	988.89
4	200	30	10	988.89
5	160	20	0	1100.00
6	200	20	0	877.78
7	160	20	20	766.67
8	200	20	20	544.44
9	180	10	0	988.89
10	180	30	0	433.33
11	180	10	20	1655.56
12	180	30	20	2211.11
13	180	20	10	1766.67
14	180	20	10	1766.67
15	180	20	10	1766.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.10 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์แบบถดถอย

สัมประสิทธิ์ ตัวแปรใน สมการ	คุณลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลี								
	PD	MC	aw	BD	SB	L*	a*	b*	TR
$\beta_0$	513.2292	47.6947	2.2095	0.8958	40.1616**	66.6460	4.1477	-21.9062	-257.1
$\beta_1$	-4.4293	-0.4983	-0.0234	-0.0032	0.5407**	-0.0079	0.0122	0.3135	349.6
$\beta_2$	-3.3210	-0.0007	0.0062	-0.0141*	0.4964**	0.5602	-0.0740	0.0068	-336.1
$\beta_3$	0.6866	-0.0222	-0.0085	0.0185**	-0.1451	0.1618	-0.1065	0.7604	0.00
$\beta_{11}$	0.0114	0.0013	0.0001	0.0000	-0.0014**	0.0002	-0.0001	-0.0007	-1.07
$\beta_{22}$	0.0868	-0.0043	-0.0002	0.0001	-0.0033*	-0.0005	-0.0003	0.0013	0.69
$\beta_{33}$	-0.0177	0.0010	0.0000	-0.0001	0.0019	0.0044	0.0002	-0.0071	-5.13
$\beta_{12}$	-0.0003	0.0008	0.0000	0.00008*	-0.0023**	-0.0018	0.0003	-0.0008	1.44
$\beta_{13}$	-0.0044	-0.0001	0.0000	-0.00007*	0.0005	-0.0002	0.0002	-0.0036	0.38
$\beta_{23}$	0.0084	0.0009	0.0001	-0.0001	0.0020	-0.0084	0.0017	-0.0003	6.25
$R^2$	0.6050	0.5173	0.7575	0.9439	0.9149	0.6925	0.7838	0.7064	0.66
SE	10.9824	0.6808	0.0345	0.0131	0.3130	1.8079	0.3320	0.9799	564.9

\* Significant at  $p < 0.1$  \*\* Significant at  $p < 0.05$  \*\*\* Significant at  $p < 0.01$

$X_1$ = อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (C),  $X_2$ = ปริมาณมอเตอร์เด็กซ์ตริน(%),  $X_3$ = ปริมาณกัมอาราบิก(%)

ภาคผนวก ฉ

ANOVA TABLE

ตารางที่ ฉ.1 ANOVA Table ของปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

SUMMARY OUTPUT		ANOVA						
<i>Regression Statistics</i>			<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
Multiple R	0.777809326							
R Square	0.604987348	Regression	9	923.6359648	102.6262	0.850869	0.60841941	
Adjusted R Square	-0.106035426	Residual	5	603.0669786	120.6134			
Standard Error	10.98241302	Total	14	1526.702943				
Observations	15							

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	513.2292121	476.5975005	1.076861	0.330734	-711.903666	1738.36209	-711.9036656	1738.36209
X1	-4.429279448	5.184030501	-0.85441	0.431901	-17.7552541	8.89669519	-17.75525409	8.896695193
X2	-3.320997727	5.486628596	-0.60529	0.571406	-17.4248255	10.7828301	-17.42482553	10.78283008
X3	0.686615226	5.204590133	0.131925	0.900188	-12.6922096	14.0654401	-12.69220963	14.06544008
X1^2	0.01139139	0.014288572	0.797238	0.461477	-0.02533856	0.04812133	-0.025338555	0.048121334
X2^2	0.08678485	0.057154289	1.518431	0.189366	-0.06013493	0.23370463	-0.060134928	0.233704629
X3^2	-0.017702657	0.057154289	-0.30973	0.769256	-0.16462243	0.12921712	-0.164622435	0.129217122
X1*X2	-0.000257147	0.027456033	-0.00937	0.99289	-0.07083513	0.07032083	-0.070835125	0.070320832
X1*X3	-0.004434388	0.027456033	-0.16151	0.878016	-0.07501237	0.06614359	-0.075012367	0.06614359
X2*X3	0.008437714	0.054912065	0.153659	0.883888	-0.13271824	0.14959367	-0.132718243	0.149593671

ตารางที่ จ.2 ANOVA Table ของความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

SUMMARY OUTPUT		ANOVA						
<i>Regression Statistics</i>			<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
Multiple R	0.719221031							
R Square	0.517278892	Regression	9	2.483630405	0.275959	0.595328	0.765020035	
Adjusted R Square	-0.351619103	Residual	5	2.317706833	0.463541			
Standard Error	0.680838723	Total	14	4.801337239				
Observations	15							
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	47.69471441	29.54596891	1.614255	0.167393	-28.2556166	123.645045	-28.25561658	123.6450454
X1	-0.498267552	0.321376432	-1.55042	0.181734	-1.32439197	0.32785686	-1.32439197	0.327856865
X2	-0.000677187	0.34013556	-0.00199	0.998488	-0.87502348	0.87366911	-0.87502348	0.873669107
X3	-0.022247535	0.322650996	-0.06895	0.9477	-0.85164832	0.80715326	-0.851648324	0.807153255
X1^2	0.001347589	0.000885799	1.521325	0.188663	-0.00092943	0.00362461	-0.000929431	0.003624608
X2^2	-0.004311674	0.003543197	-1.21689	0.277947	-0.01341975	0.0047964	-0.013419752	0.004796404
X3^2	0.000977218	0.003543197	0.275801	0.793736	-0.00813086	0.0100853	-0.00813086	0.010085296
X1*X2	0.000785619	0.001702097	0.46156	0.663782	-0.00358976	0.005161	-0.00358976	0.005160998
X1*X3	-0.000109833	0.001702097	-0.06453	0.95105	-0.00448521	0.00426555	-0.004485212	0.004265546
X2*X3	0.000944955	0.003404194	0.277586	0.792442	-0.0078058	0.00969571	-0.007805803	0.009695714

ตารางที่ ๓.3 ANOVA Table ของค่าอเวอร่าจของผลผลิตกัมมันต์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>		ANOVA				
Multiple R	0.870372445					
R Square	0.757548193					
Adjusted R Square	0.32113494					
Standard Error	0.034499732					
Observations	15					

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	2.209458333	1.497165134	1.475761	0.200032	-1.63912716	6.05804383	-1.639127164	6.058043831
X1	-0.023377083	0.016284915	-1.43551	0.210622	-0.06523879	0.01848462	-0.06523879	0.018484623
X2	0.006226389	0.017235485	0.361254	0.732672	-0.03807884	0.05053161	-0.038078836	0.050531613
X3	-0.008538889	0.0163495	-0.52227	0.623786	-0.05056662	0.03348884	-0.050566617	0.033488839
X1^2	6.62153E-05	4.48856E-05	1.475202	0.200175	-4.9167E-05	0.0001816	-4.91668E-05	0.000181597
X2^2	-0.000235139	0.000179542	-1.30966	0.247257	-0.00069667	0.00022639	-0.000696667	0.000226389
X3^2	-9.30556E-06	0.000179542	-0.05183	0.960672	-0.00047083	0.00045222	-0.000470834	0.000452223
X1*X2	-1.25E-06	8.62493E-05	-0.01449	0.988997	-0.00022296	0.00022046	-0.000222961	0.000220461
X1*X3	1.41667E-05	8.62493E-05	0.164252	0.875966	-0.00020754	0.00023588	-0.000207544	0.000235878
X2*X3	0.000145	0.000172499	0.840586	0.438916	-0.00029842	0.00058842	-0.000298422	0.000588422

ตารางที่ ๓.4 ANOVA Table ของค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>		ANOVA						
Multiple R	0.971543822							
R Square	0.943897399							
Adjusted R Square	0.842912716							
Standard Error	0.013068882							
Observations	15							
			<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
		Regression	9	0.014367748	0.00159641	9.346936351	0.012041993	
		Residual	5	0.000853978	0.00017079			
		Total	14	0.015221726				
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	0.895771139	0.567142818	1.579445442	0.17506915	-0.56211588	2.35365816	-0.56211588	2.353658165
X1	-0.00323832	0.006168907	-0.52494365	0.62205766	-0.01909600	0.01261935	-0.019096	0.012619352
X2	-0.01412617	0.006528994	-2.16360731	0.08280878	-0.03090949	0.00265713	-0.03090949	0.002657134
X3	0.018549403	0.006193373	2.995040629	0.03027131	0.002628831	0.03446997	0.002628831	0.034469974
X1^2	5.03214E-06	1.70032E-05	0.295953527	0.77916315	-3.86759E-05	4.8741E-05	-3.86759E-05	4.87401E-05
X2^2	6.8135E-05	6.80126E-05	1.001799766	0.36242743	-0.00010669	0.00024296	-0.00010669	0.000242967
X3^2	-8.3642E-05	6.80126E-05	-1.22983400	0.27346142	-0.00025847	9.1187E-05	-0.00025847	9.11878E-05
X1*X2	8.11928E-05	3.26722E-05	2.485071287	0.05549510	-2.79382E-06	0.00016517	-2.79382E-06	0.000165179
X1*X3	-6.6658E-05	3.26722E-05	-2.04023087	0.09684028	-0.00015064	1.7327E-05	-0.00015064	1.73277E-05
X2*X3	-9.61401E-05	6.53444E-05	-1.471282903	0.201183913	-0.00026411	7.1833E-05	-0.00026411	7.1833E-05

ตารางที่ ๑.5 ANOVA Table ของค่าความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>		ANOVA					
Multiple R	0.956520091		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
R Square	0.914930685	Regression	9	5.269380717	0.585487	5.975067	0.031620418
Adjusted R Square	0.761805917	Residual	5	0.489941607	0.097988		
Standard Error	0.313030863	Total	14	5.759322324			
Observations	15						

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	40.16162468	13.58442146	2.956447	0.031649	5.241757633	75.0814917	5.241757633	75.08149174
X1	0.540711773	0.147760018	3.659392	0.014604	0.160882555	0.92054099	0.160882555	0.920540991
X2	0.49640187	0.156384948	3.17423	0.024697	0.094401564	0.89840218	0.094401564	0.898402177
X3	-0.14511653	0.148346027	-0.97823	0.372887	-0.52645214	0.23621907	-0.526452137	0.23621907
X1^2	-0.00142874	0.000407266	-3.50812	0.017135	-0.00247565	-0.00038183	-0.002475647	-0.000381826
X2^2	-0.00338689	0.001629064	-2.07904	0.092174	-0.00757453	0.00080075	-0.007574532	0.000800754
X3^2	0.001910287	0.001629064	1.172629	0.293766	-0.00227736	0.00609793	-0.002277356	0.00609793
X1*X2	-0.00232329	0.000782577	-2.96877	0.031201	-0.00433497	-0.00031161	-0.004334969	-0.000311612
X1*X3	0.000526701	0.000782577	0.673033	0.530774	-0.00148498	0.00253838	-0.001484978	0.002538379
X2*X3	0.001978854	0.001565154	1.264319	0.261847	-0.0020445	0.00600221	-0.002044503	0.006002212

ตารางที่ ๑.6 ANOVA Table ของค่าสี (ความสว่าง, L\*) ของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>		ANOVA						
Multiple R	0.832192673							
R Square	0.692544646							
Adjusted R Square	0.139125007							
Standard Error	1.807919947							
Observations	15							
			<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
		Regression	9	36.81239827	4.090266	1.251392	0.422905307	
		Residual	5	16.34287267	3.268575			
		Total	14	53.15527093				
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	66.646	78.45726856	0.849456	0.434404	-135.034829	268.326829	-135.0348294	268.3268294
X1	-0.00785	0.853392795	-0.0092	0.993016	-2.20156602	2.18586602	-2.201566018	2.185866018
X2	0.560233333	0.903206359	0.620272	0.562253	-1.76153253	2.88199919	-1.761532527	2.881999194
X3	0.161766667	0.856777313	0.188808	0.857668	-2.04064953	2.36418286	-2.040649531	2.364182864
X1^2	0.000237292	0.002352178	0.100882	0.923565	-0.00580918	0.00628376	-0.005809175	0.006283759
X2^2	-0.000530833	0.009408714	-0.05642	0.957193	-0.0247167	0.02365504	-0.024716702	0.023655035
X3^2	0.004439167	0.009408714	0.471814	0.656931	-0.0197467	0.02862504	-0.019746702	0.028625035
X1*X2	-0.0017575	0.0045198	-0.38884	0.713399	-0.01337602	0.00986102	-0.013376015	0.009861015
X1*X3	0.0001875	0.0045198	0.041484	0.968516	-0.01143102	0.01180602	-0.011431015	0.011806015
X2*X3	-0.008355	0.0090396	-0.92427	0.397761	-0.03159203	0.01488203	-0.031592031	0.014882031

ตารางที่ ๑.7 ANOVA Table ของค่าสี่ (สี่แดงและเขียว, a\*) ของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

SUMMARY OUTPUT		ANOVA						
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.885338816							
R Square	0.783824818							
Adjusted R Square	0.394709492							
Standard Error	0.332046081							
Observations	15							
			<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
		Regression	9	1.9988486	0.222094289	2.01437662	0.227978386	
		Residual	5	0.551273	0.1102546			
		Total	14	2.5501216				
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	4.14775	14.40961399	0.287846017	0.78501422	-32.89334199	41.18884199	-32.8933	41.18884
X1	0.0122125	0.156735775	0.077917757	0.94091552	-0.390689635	0.415114635	-0.39069	0.415115
X2	-0.074025	0.16588463	-0.44624387	0.6740831	-0.500445018	0.352395018	-0.50045	0.352395
X3	-0.10645	0.157357382	-0.67648558	0.52875609	-0.510950027	0.298050027	-0.51095	0.29805
X1^2	-7.9375E-05	0.000432006	-0.18373602	0.86143942	-0.001189881	0.001031131	-0.00119	0.001031
X2^2	-0.0003075	0.001728023	-0.17794906	0.86574786	-0.004749523	0.004134523	-0.00475	0.004135
X3^2	0.0001675	0.001728023	0.096931603	0.92654621	-0.004274523	0.004609523	-0.00427	0.00461
X1*X2	0.0002725	0.000830115	0.32826769	0.75601063	-0.001861379	0.002406379	-0.00186	0.002406
X1*X3	0.00017	0.000830115	0.204790852	0.84581119	-0.001963879	0.002303879	-0.00196	0.002304
X2*X3	0.00165	0.00166023	0.99383796	0.36593317	-0.002617758	0.005917758	-0.00262	0.005918

ตารางที่ ๘.8 ANOVA Table ของค่าสี (สีน้ำเงินและเหลือง, b\*) ของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

SUMMARY OUTPUT		ANOVA						
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.840498334							
R Square	0.70643745							
Adjusted R Square	0.178024859							
Standard Error	0.97992629							
Observations	15							
			<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
		Regression	9	11.55393407	1.283770452	1.33690503	0.392406515	
		Residual	5	4.801277667	0.960255533			
		Total	14	16.35521173				
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-21.90625	42.52530109	-0.51513451	0.62841629	-131.2210165	87.40851655	-131.2210165	87.40851655
X1	0.313525	0.462554792	0.677811591	0.52798235	-0.875509947	1.502559947	-0.875509947	1.502559947
X2	0.006808333	0.489554672	0.013907197	0.98944188	-1.251632014	1.265248681	-1.251632014	1.265248681
X3	0.760391667	0.464389264	1.637401477	0.16247292	-0.43335894	1.954142273	-0.43335894	1.954142273
X1^2	-0.000684583	0.001274925	-0.53695989	0.61431897	-0.003961881	0.002592714	-0.003961881	0.002592714
X2^2	0.001286667	0.005099698	0.252302517	0.81085055	-0.011822525	0.014395858	-0.011822525	0.014395858
X3^2	-0.007083333	0.005099698	-1.38897111	0.22352901	-0.020192525	0.006025858	-0.020192525	0.006025858
X1*X2	-0.0007625	0.002449816	-0.3112479	0.76817078	-0.007059952	0.005534952	-0.007059952	0.005534952
X1*X3	-0.0036125	0.002449816	-1.47460071	0.20032954	-0.009909952	0.002684952	-0.009909952	0.002684952
X2*X3	-0.00026	0.004899631	-0.05306522	0.95973485	-0.012854904	0.012334904	-0.012854904	0.012334904

ตารางที่ ๑.9 ANOVA Table ของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ผงหัวปลีด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>		ANOVA					
Multiple R	0.815783103		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
R Square	0.66550207	Regression	10	3174691	317469.1	1.105308	0.50296076
Adjusted R Square	-0.136594203	Residual	5	1595679	319135.8		
Standard Error	564.9210586	Total	15	4770370			
Observations	15						

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	-25775.0000	24333.99	-1.05922	0.337964	-88327.51875	36777.52	-88327.5	36777.52
X1	349.6142	266.0766	1.313961	0.245912	-334.357514	1033.586	-334.358	1033.586
X2	-336.1111	308.9362	-1.08796	0.326251	-1130.256792	458.0346	-1130.26	458.0346
X3	0.0000	0	65535	0	0	0	0	0
X1^2	-1.0764	0.734986	-1.4645	0	-2.965729522	0.812952	-2.96573	0.812952
X2^2	0.6944	2.939942	0.23621	0.822641	-6.862918087	8.251807	-6.86292	8.251807
X3^2	-5.1389	2.939942	-1.74796	0.140893	-12.69625142	2.418474	-12.6963	2.418474
X1*X2	1.4429	1.596129	0.904	0.407439	-2.660079113	5.545882	-2.66008	5.545882
X1*X3	0.3858	0.466388	0.827213	0.445786	-0.813086619	1.584692	-0.81309	1.584692
X2*X3	6.2500	13.08446	0.477666	0.653039	-27.38467198	39.88467	-27.3847	39.88467