

ผลของน้ำมันหอมระเหยกานพลูต่อคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ  
ของฟิล์มแป้งข้าว

Effect of Clove Essential Oil on Antioxidant Properties  
of Rice starch film



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effect of Clove Essential Oil on Antioxidant Properties  
of Rice starch film



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 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2565

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลของน้ำมันหอมระเหยกานพลูต่อคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มแป้งข้าว

Effect of Clove Essential Oil on Antioxidant Properties of Rice starch film


ผู้จัดทำ

1. นางสาวนภัสรพรรณ อันมณี 62010460
2. นายพีรตนัย บุญเกิด 62010646



.....  
(ผศ.ดร.เจษฎา ชัยโถม)

หัวหน้าภาควิชา



.....  
(ผศ.ดร.ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์	ผลของน้ำมันหอมระเหยกานพลูต่อคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของฟิล์มแป้งข้าว	
จัดทำโดย	นางสาวนภัสวรรณ อ้นมณี	62010460
	นายพีรตน์ บัญเกิด	62010646
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ	
ปริญญาานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร	
	ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์	
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ปีการศึกษา	2565	

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของฟิล์มจากแป้งข้าวผสมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลู โดยทำการเติมน้ำมันหอมระเหยใน 2 รูปแบบ คือ น้ำมันและผงน้ำมัน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 10 โดยน้ำหนัก พบว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยกานพลูและผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูเพิ่มขึ้นส่งผลให้ ค่าการต้านทานแรงยืดและค่าการยืดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้น ค่าการต้านทานแรงยืดและค่าการยืดตัวของแผ่นฟิล์มมีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นของผงน้ำมันหอมระเหยร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก และเมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระ พบว่า การเติมผงน้ำมันหอมระเหยส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์กิจกรรมการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น ( $p < 0.05$ )

**คำสำคัญ:** ฟิล์มบริโภคนได้, น้ำมันหอมระเหยกานพลู, การต้านทานอนุมูลอิสระ

<b>Thesis Title</b>	Effect of Clove Essential Oil on Antioxidant Properties of Rice starch film
<b>Students</b>	Miss Napasawan Onmanee 62010460 Mr. Peeradon Boonkerd 62010646
<b>Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Teerin Chysirichote
<b>Thesis for</b>	Bachelor's Degree of Food Engineering Department of Food Engineering Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
<b>Academic Year</b>	2022

### ABSTRACT

This research aims to study the film properties, antioxidant activities of rice modified-starch film supplemented with clove essential oil. Clove essential oil powder in liquid and powder forms were selected for this study. Their concentrations at 0.0, 2.5, 5 and 10% w/w were investigated. The results showed that the increasing concentration of clove essential oil and clove essential oil powder affected. The mechanical properties of the film including, tensile strength and %elongation. The highest tensile strength and elongation were obtained from the film using 2.5 % w/w clove essential oil powder. Antioxidant activity of the film, presenting in results showed that %radical scavenging activity, increased when concentration of clove essential oil powder increased.

**Keywords:** Edible film, Clove essential oil, Antioxidant activity

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ อีรินทร์ ฉายศิริโชติ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ คุณตะคุ (พี่แมน) และคุณวารภรณ์ มาไพศาล ทรัพย์ (พี่นุ้ย) เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการและธุรการภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการยืมอุปกรณ์และห้องปฏิบัติการ รวมทั้งสอนการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงญาติที่ให้ความสนับสนุนด้านการเรียน คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้วิจัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 फिल्मบริโคได้	3
2.2 สารและสารเจือปนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม	4
2.3 จุลินทรีย์ใช้ในการศึกษา	5
2.4 น้ำมันหอมระเหยที่ใช้ศึกษา	6
2.5 Spray Dryer	6
2.6 กัมอาร์บิก	7
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 วัสดุและวิธีการ	8
3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ	8
3.1.1 อุปกรณ์สำหรับการเตรียมแป้งข้าว	8
3.1.2 อุปกรณ์สำหรับการสกัดสตาร์ช	8
3.1.3 อุปกรณ์สำหรับการ Acetylation	8

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.4 อุปกรณ์สำหรับการขึ้นรูปฟิล์ม	9
3.1.5 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลอง	9
3.1.6 วัสดุสำหรับการทดลอง	11
3.1.7 อุปกรณ์สำหรับทำผง	11
3.1.8 อุปกรณ์สำหรับวัดค่า %DPPH	11
3.2 สารเคมี	11
3.2.1 สารเคมีสำหรับการสกัดสาร	11
3.2.2 สารเคมีสำหรับการ Acetylation	12
3.2.3 สารเคมีสำหรับการขึ้นรูปฟิล์ม	12
3.2.4 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลอง	12
3.2.5 สารเคมีสำหรับการทำผง	12
3.3 จุลินทรีย์และอาหารเลี้ยงเชื้อ	12
3.3.1 จุลินทรีย์	12
3.3.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ	13
3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย	13
3.4.1 การเตรียมแป้งข้าว	13
3.4.2 การสกัดสารด้วยต่าง	13
3.4.3 การ Acetylation สาร	14
3.4.4 การขึ้นรูปฟิล์ม	14
3.4.5 การวิเคราะห์	15
3.4.5.1 การทดลองที่ 1 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งข้าว	15
3.4.5.1.1 การวิเคราะห์ %Acetyl และ ระดับการแทนที่ (DS)	15
3.4.5.1.2 การวิเคราะห์ความหนา	15
3.4.5.1.3 การวิเคราะห์ความชื้น	16
3.4.5.1.4 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกล	16

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.5.1.5 ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity	17
3.4.5.1.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ	17
3.4.5.2 การใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับแป้งข้าวในการขึ้นรูปฟิล์ม	18
3.4.5.2.1 การวิเคราะห์สมบัติการต้านจุลินทรีย์ ของฟิล์มที่ใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมในการขึ้นรูป	18
3.4.6 การทำแห้งน้ำมันหอมระเหยกานพลู	18
3.4.6.1 การเปรียบเทียบปริมาณที่ได้กับปริมาณตั้งต้นของการทำแห้ง	18
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์การทดลอง	19
4.1 %Acetyl และ ระดับการแทนที่ (DS)	19
4.2 ผลของการขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลู และผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ความเข้มข้นต่างกันต่อสมบัติของฟิล์ม	19
4.2.1 ความหนา	19
4.2.2 ความชื้น	20
4.2.3 สมบัติเชิงกล	21
4.3 ผลของการใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมในการขึ้นรูปฟิล์มต่อสมบัติการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม	23
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	26
5.1 สรุปผลการทดลอง	26
5.2 ข้อเสนอแนะ	26
บรรณานุกรม	27
ภาคผนวก	30

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 %Acetyl และ ระดับการแทนที่ (DS) ของแป้ง	19
4.2 สมบัติของฟิล์มจากแป้งข้าว	20
ก.1 %Acetyl และระดับการแทนที่	32
ก.2 ความหนาของฟิล์ม	32
ก.3 ความชื้นของฟิล์ม	32
ก.4 การละลายน้ำของฟิล์ม	33
ก.5 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม	33
ข.1 ตาราง Descriptives	35
ข.2 ตาราง ANOVA	38
ข.3 ตาราง Multiple Comparisons	39

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
3.1 เครื่อง Hammer mill และป้อนลม	13
3.2 spectrometer	17
4.1 ความต้านทานแรงดึงของฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับผงน้ำมันหอมระเหย (A) ร้อยละการยืดตัวของฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับผงน้ำมันหอมระเหย (B)	22
4.2 ความต้านทานแรงดึงของฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหย (A) ร้อยละการยืดตัวของฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับผงน้ำมันหอมระเหย (B)	23
4.3 %DPPHของฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับผงน้ำมันหอมระเหยกานพลู	25
4.4 %DPPHของฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลู	25

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความใส่ใจในสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ทำให้ผู้คนมีการสนใจและเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีการย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัยอีกด้วย นวัตกรรมเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้มีอยู่มากมาย ซึ่งเป็นตัวช่วยในการลดขยะพลาสติก เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ซึ่งฟิล์มบริโภคได้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากฟิล์มบริโภคได้ผลิตได้จากพอลิเมอร์ชีวภาพที่พบได้ตามธรรมชาติ ได้แก่ โปรตีน ลิพิด และพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งสามารถหาวัตถุดิบในการผลิตได้ง่าย อีกทั้งฟิล์มบริโภคได้สามารถสัมผัสกับอาหารได้โดยตรง มีความปลอดภัยไม่มีสารที่เป็นอันตรายปนเปื้อน และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ แต่จะยังมีสมบัติบางประการที่ยังต้องปรับปรุง เช่น ความแข็งแรงของฟิล์ม ความยืดหยุ่น รวมไปถึงการซึมผ่านของออกซิเจน เป็นต้น ซึ่งฟิล์มบริโภคได้แต่ละชนิดจะมีสมบัติที่ต่างกันไปตามวัตถุดิบที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์มด้วย ดังนั้นการผลิตฟิล์มบริโภคได้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ได้รับความสนใจ โดยใช้ในการบรรจุหรือห่อหุ้มอาหาร เพื่อลดปัญหาขยะจากบรรจุภัณฑ์นิยมใช้แบงในการผลิต ซึ่งมีราคาถูก หาได้ง่ายและสามารถย่อยสลายได้เอง

ในการจัดเก็บอาหารสามารถเกิดการเน่าเสียของอาหารได้ โดยมีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหาร หรือการปนเปื้อนที่พื้นผิวภายนอก น้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียที่มีขอบข่ายการออกฤทธิ์กว้าง (Viuda-Martor และคณะ, 2551) จึงมีการนำน้ำมันหอมระเหยมาใช้ร่วมกับการขึ้นรูปฟิล์มเพื่อเพิ่มสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของฟิล์ม น้ำมันหอมระเหยร่วมในการขึ้นรูปฟิล์มต่อสมบัติการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม

กานพลู (*Syzygium aromaticum* L. Merr.et Perry) จัดเป็นพืชในตระกูล Myrtaceae เป็นพืชสมุนไพรไทยที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายมีการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆมากมาย ได้แก่ นำมาใช้เป็นเครื่องเทศใช้เป็นวัตถุดิบเสีย ใช้รักษาอาการแน่นจุกเสียดและอาการปวดฟัน มีการศึกษาพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากดอกกานพลูมีสารประกอบฟีนอลิก มากกว่าร้อยละ 85 ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Eugenol ที่มีฤทธิ์ลดการอักเสบ และยังสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้

น้ำมันหอมระเหยกานพลูมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิด หากนำน้ำมันกานพลูมาใช้เป็นส่วนผสมหนึ่งในฟิล์มบริโภคได้จากแป้งข้าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีขึ้น จากงานวิจัย การพัฒนาฟิล์มบริโภคได้จากแป้งข้าว ของ นนทยา คำภานิล (2564) พบว่าการใช้น้ำมันหอม

ระเหยสามารถเห็นพื้นที่การยับยั้งในวงเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ชัดเจน ในขณะที่เชื้อรา *Aspergillus niger* ไม่สามารถมองเห็นพื้นที่การยับยั้งได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจในการศึกษาทดลองใช้น้ำมันหอมระเหยชนิดอื่น ได้แก่ กานพลู ที่ความเข้มข้นต่างกัน ในการทดสอบเพิ่มเติม

## 1.2 จุดประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการต้านจุลินทรีย์และต้านออกซิเดชันของฟิล์มบริโภาคได้ที่ใช้น้ำมันหอมระเหย และผงของน้ำมันหอมระเหยร่วมกับการขึ้นรูปฟิล์ม

## 1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยที่เหมาะสมในการใช้ในฟิล์มจากแป้งข้าว และทราบว่าน้ำมันหอมระเหยแบบใด ที่เหมาะสมในการต้านจุลินทรีย์และต้านออกซิเดชันในฟิล์มจากแป้งข้าวมากที่สุด

## 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาการสกัดสตาร์ชจากแป้งข้าวด้วยต่างและการ Acetylation starch
- 1.4.2 ศึกษาผลของน้ำมันหอมระเหยที่มีต่อฟิล์มที่ความเข้มข้น 0, 2.5, 5 และ 10% ของน้ำหนักแป้ง
- 1.4.3 ศึกษาสมบัติการต้านจุลินทรีย์และออกซิเดชันของฟิล์มจากแป้งข้าวที่ใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับแป้งข้าวในการขึ้นรูปฟิล์ม

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 พิล์มบริโภคนได้ (Edible Film)

ฟิล์มบริโภคนได้ หรือ สารเคลือบบริโภคนได้ หมายถึงวัสดุแผ่นบางที่ผู้บริโภคน สามารถรับประทานได้และมีคุณสมบัติที่ดีสำหรับการบริโภคน (มณฑาทิพย์ อุณหลาด, 2534) สามารถนำมาใช้เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของอาหารใช้ป้องกันการสูญเสียสารกันเสียและสารกันเหี่ยวและควบคุมอัตราการซึมผ่านของสารกันเสียจากฟิล์มสู่เนื้ออาหารหรือยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร (มณฑาทิพย์ อุณหลาด, 2534) การขึ้นรูปฟิล์มสามารถขึ้นรูปในลักษณะของสารเคลือบผิวและแผ่นฟิล์มอิสระ ซึ่งมีลักษณะในการนำมาใช้ในการป้องกันการสูญเสียรสชาติอาหาร

ฟิล์มบริโภคนได้จัดว่าเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยวัตถุดิบในการผลิตส่วนใหญ่มาจากวัสดุธรรมชาติทั้งในกลุ่ม พอลิแซคคาไรด์เช่น สตาร์ช เพคติน ไคโตซาน จากโปรตีนเช่น คอลลาเจน เจลาติน จากลิพิดเช่น กรดไขมัน ซีผึ้ง และจากวัสดุเชิงประกอบจากวัสดุตั้งต้นต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้ ข้างต้น ทั้งนี้ฟิล์มบริโภคนได้แต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตที่แตกต่างกัน (Arvanitoyannis, 2008)

สมบัติหนึ่งที่สำคัญสำหรับฟิล์มบริโภคนได้คือ สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และร้อยละการยืด (Percent elongation) โดยสมบัติเหล่านี้ขึ้นกับชนิดของวัสดุตั้งต้น โครงสร้าง โมเลกุล และกระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม อีกทั้งยังขึ้นกับการเติมสารเติมแต่งต่างๆ เช่น การเติมพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) เพื่อช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์ม ทำให้ฟิล์มที่ได้มีความสามารถในการยืดที่ดียิ่งขึ้น

2. 1.1 ชนิดของฟิล์มบริโภคนได้สามารถแบ่งตามชนิดของชีววัสดุได้เป็น 3 ชนิด คือ

2.1.1.1 ฟิล์มโปรตีน

โดยทั่วไปฟิล์มโปรตีนจะมีคุณสมบัติทางกลและสมบัติทางด้าน การซึมกว่าฟิล์มที่เตรียมจากโพลีแซคคาไรด์ที่ผลิตได้จากโปรตีนหลายชนิด เช่น คอลลาเจน เจลาติน ผ่านดีกว่า โปรตีนข้าวโพด โปรตีนข้าวสาลี โปรตีนถั่วเหลือง (Krochta, 1997)

2.1.1.2 ฟิล์มลิพิด

ส่วนใหญ่ฟิล์มลิพิดจะใช้ในการขึ้นรูปแบบการเคลือบ เช่น การเคลือบผัก และผลไม้ การเคลือบอาหารด้วยลิพิดก็เพื่อป้องกันการถ่ายเทความชื้น ลดการเสียดสีของผิวผลไม้ ระหว่างการขนส่ง ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของผลไม้บางชนิด ตัวอย่างฟิล์มลิพิด ได้แก่ ฟิล์มไข ความชื้นจะซึมผ่านได้ต่ำมากโดยเฉพาะไขพาราฟิน และซีผึ้ง ฟิล์มลิพิดอีกชนิดหนึ่งคือ สารตั้งผิว การเคลือบอาหารด้วยสารตั้งผิวจะช่วยลดค่า Water activity ที่

ผิวหน้าและอัตราการระเหยน้ำ สารเคลือบที่ให้ผลดีมากที่สุด คือ แอลกอฮอล์ที่มีกรดไขมันในโมเลกุล (Fatty alcohol) ที่มีคาร์บอน 16- 18 ตัว เช่น กลีเซอรอลโมโนพาลมิเตต และกลีเซอรอลโมโนสเตียเรส ( Kester and Fennema, 1986)

### 2.1.1.3 फिल्मโพลีแซคคาไรด์

สามารถใช้โพลีแซคคาไรด์บางชนิด ในการผลิตฟิล์มหรือสารเคลือบบริโภคได้ เช่น แอลจินต เพกติน คาราจีแนน สตาร์ช สตาร์ชไฮโดรไลเซต และอนุพันธ์ของ เซลลูโลส เนื่องจากธรรมชาติของโพลีเมอร์เหล่านี้มีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงไม่เหมาะที่จะนำฟิล์มชนิดนี้มาป้องกันการซึมผ่านความชื้น ( Kester and Fennema, 1986) คุณสมบัติที่ควรคำนึงถึงของฟิล์มบริโภคได้ ได้แก่ ความโปร่งแสงของฟิล์ม ความเรียบของแผ่นฟิล์ม การตอบสนองต่อความชื้นและการละลายน้ำเป็นต้น ฟิล์มที่ได้จะไม่ใส ไม่มีกลิ่นรส ไม่เป็นพิษ มีความแข็งแรงและยืดหยุ่น เป็นมันวาว มีการซึมผ่านต่ำ การใช้งาน เช่น การทำถุงบรรจุ สำหรับกาแฟ ชูบสำเร็จรูป ไส้กรอกสำหรับผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ใช้เคลือบผิวได้ เช่น ลูกพรุน ลูกกวาดผลไม้ ทำให้ไม่เหนียวติดกัน

## 2.2 สารและสารเจือปนที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม

สารที่ใช้ทำฟิล์มที่รับประทานได้มีหลายชนิด เช่น โพลีแซคคาไรด์ โปรตีน ลิพิด ฟิล์มที่เตรียมขึ้นอาจใช้สารชนิดเดียว หรือใช้สารหลายชนิดรวมกัน โดยนำคุณลักษณะเด่นของสารแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ ตัวอย่างฟิล์มที่มีองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ฟิล์มที่มีสตาร์ชและแอลจินต หรือมีสตาร์ชและวันลิพิดและไฮโดรคอลลอยด์ เป็นต้น สารหลายชนิดที่ นำมารวมกันเป็นฟิล์มที่รับประทานได้จะทำให้ฟิล์มมีคุณสมบัติการห่อหุ้มอาหารดีทางประสาทสัมผัส ทำให้น่ารับประทาน และเพิ่มคุณค่าทางอาหารด้วยพลาสติกไซเซอร์ เป็นสารเจือปนชนิดหนึ่งที่ใช้ในการผลิตฟิล์มโดยมีคุณสมบัติในการรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับโพลีเมอร์ที่ใช้ทำฟิล์ม มีการระเหยได้ยาก จุดเดือดสูง อาจจะไม่ละลายในตัวทำละลายได้ดี เพื่อมิให้เกิดการแยกตัวของพลาสติกไซเซอร์ระหว่างการทำฟิล์มแห้ง พลาสติกไซเซอร์ที่ใช้กับอาหารมีหลาย ประเภทเช่น โมโนโดและโอลิโกแซคคาไรด์ (ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส ฟรักโทส น้ำผึ้ง) พวก โพลีอล ได้แก่ ซอร์บิทอล กลีเซอรอล โพลีเอทิลีน ไกลคอล พวกลิซิดและอนุพันธ์ของลิพิด ได้แก่ กรดไขมัน เป็นต้น พลาสติกไซเซอร์ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง จึงทำให้ฟิล์มมีสภาพยืดหยุ่น (flexibility) ได้ดี (วรรณ ชันธชัย, 2555)

การเตรียมฟิล์มบางชนิดอาจต้องใช้สารให้ความชุ่มชื้น (wetting agent) เพื่อทำให้สารละลายกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ หรืออาจใช้ emulsifier เพื่อทำให้เกิดความคงตัวของฟิล์มอิมัลชัน อย่างไรก็ตามสารทั้งสองชนิดนี้มีผลให้สารบางชนิดผ่านแผ่นฟิล์มที่เตรียมไว้ได้มากขึ้น ในการเตรียมฟิล์มนี้อาจผสมสารชนิดต่างๆ ลงไปในสารที่ทำฟิล์ม เช่น สารกันหืน (antioxidant) สารป้องกันจุลินทรีย์ (anti- microbial) แล้วห่อหุ้มอาหาร

ที่จะเสื่อมสภาพ ด้วยเหตุดังกล่าวรวมทั้งยังสามารถเติมสารที่มีคุณค่าอาหาร สารให้รสชาติหรือรควัตถุผสมในการเตรียมฟิล์มด้วย แต่การเติมสารเจือปนต่างๆ ให้ได้ผลดีนั้นต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของสารเจือปนเหล่านั้นด้วย นอกจากนี้ประสิทธิภาพของสารเจือปน ที่มีต่อคุณสมบัติของฟิล์มยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารเจือปนที่ใช้โครงสร้างทางเคมีของสารและระดับการกระจายตัวของสารในฟิล์มด้วย (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2535)

## 2.3 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษา

### 2.3.1 *Staphylococcus aureus*

เป็นแบคทีเรีย (bacteria) ชนิดหนึ่งในสกุล *Staphylococcus* อยู่ในวงศ์ *Micrococcaceae* ก่อโรคที่สำคัญในอาหาร แบคทีเรียชนิดนี้ย้อมติดสีแกรมบวก มีรูปร่างเป็นทรงกลม อยู่รวมกันเป็นพวงคล้ายพวงองุ่น ไม่สร้างสปอร์ ไม่เคลื่อนไหว ส่วนใหญ่ไม่มีแคปซูล ให้ผลบวกในการทดสอบ catalase และในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะสลายน้ำตาลกลูโคสให้กรดอินทรีย์ จัดอยู่ในกลุ่ม facultative anaerobe คือเจริญได้ในที่มีอากาศและไม่มีอากาศ แต่เจริญได้ดีกว่าในสภาวะที่มีอากาศ

แหล่งที่พบเชื้อ *S. aureus* เป็นเชื้อที่สามารถพบได้ที่ผิวหนัง โพรงจมูก เยื่อทางเดินหายใจ ทางเดินอาหาร และ บาดแผลที่เป็นฝี หนอง รวมถึงในดินฝุ่นละออง

อาหารที่มักพบเชื้อ *S. aureus* ปนเปื้อนได้แก่ เนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อ เนื้อสัตว์ปีกและผลิตภัณฑ์จากไข่ อาหาร ประเภทสลัดเช่น ไข่ ทูน่า เนื้อไก่ มันฝรั่ง และมักกะโรนี ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ครีมพาย แอแคลร์ ช็อกโกแลต แซนดวิช และผลิตภัณฑ์นม ที่เก็บไว้ในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม และเก็บไว้เป็นเวลานานก่อนรับประทาน

การทำให้เกิดโรค เชื้อ *S. aureus* ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ ซึ่งเกิดจากการรับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนสารพิษแม่ในปริมาณ น้อยกว่า 1 ไมโครกรัม ก็สามารถทำให้เกิดอาการเจ็บป่วยได้ สารพิษชนิดนี้จะมีปริมาณสูงมากเมื่อมีเชื้อ *S. aureus* ปนเปื้อนอยู่ในอาหาร 100,000 เซลล์ต่อกรัมอาหาร ทำให้เกิดโรค Acute infection (ฝี หนอง แผลติดเชื้อ septicemia) และ Acute toxemia (heat stable enterotoxin)

### 2.3.2 *Aspergillus*

*Aspergillus* เป็นเชื้อราที่พบได้ทั่วไป จัดเป็นเชื้อราจำพวก Mitosporic fungi และ perfect stage อยู่ใน Phylum Ascomycota เป็นเชื้อราชนิดที่เส้นใยมีผนังกัน (septate hypha) ไม่มีสีหรือมีสีน้ำตาลอ่อนหรือสีอื่นตามบริเวณที่ขึ้น โคลนมีสีต่างกัน มีก้านชู (conidiophore) งอกจากเส้นใย ตำแหน่งที่ก้านชูงอกจากเส้นใยเรียกว่า foot cell ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเส้นใย และมีขอบเขตที่ชัดเจน ปลายของก้านชูพองออกเป็นเวสิเคิล

(vesicle) บนเวสิเคิลมีอวัยวะ สร้างสปอร์ (phialide) เป็นแบบชั้นเดียว (uniseriate) หรือสองชั้น (biseriate) อวัยวะสร้างสปอร์อาจเกาะรอบเวสิเคิลหรือเพียงบางส่วนของเวสิเคิล ปลายอวัยวะสร้างสปอร์เป็นที่เกิดของโคนิเดียมซึ่งมีเซลล์เดี่ยว มักกลม โคนิเดียมอ่อนจะอยู่ปลายอวัยวะสร้างสปอร์ เมื่อโคนิเดียมอ่อนเกิดจะดันโคนิเดียมแก่ออกไป จึงปรากฏโคนิเดียมเป็นสาย (basipetal chain) ผิวของโคนิเดียมอาจเรียบหรือขรุขระคล้ายหนาม ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวนี้สามารถนำมาใช้ จำแนกสายพันธุ์ของเชื้อรา *Aspergillus* เช่น โดยอาศัยสีของโคโลนี รูปของเวสิเคิลที่กลมหรือ เป็นรูปโดม มีอวัยวะสร้างสปอร์ชั้นเดียวหรือสองชั้น โคนิเดียมผิวเรียบหรือขรุขระ เป็นต้น (Raper and Fennell, 1977)

## 2.4 น้ำมันหอมระเหยที่ใช้ศึกษา

### 2.4.1 น้ำมันหอมระเหยจากกานพลู

เป็นน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากวิธีการกลั่นโดยใช้ไอน้ำ (Stream distillation) จากนั้นสกัดแยกน้ำมันกานพลูกับน้ำด้วย dichloromethane แล้วระเหยเอา dichloromethane ออกมา ก็จะได้น้ำมันกานพลู มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียอันเป็นสาเหตุอาการแน่นจุกเสียดจากท้องเสีย และแผลในกระเพาะอาหาร สกัดด้วยเอทานอล:น้ำ ในอัตราส่วน 3:1 และน้ำมันกานพลูมีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของอาการแน่นจุกเสียด ได้แก่ *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *S. typhosa*, *S. enteritidis*, *S. paratyphi*, *Shigella*, *Sh. paradysenteriae*, *Sh. dysenteriae*, *Sh. flexneri*, *Bacillus anthracis*, *B. subtilis*, *B. mesentericus*, *B. cereus*, *Proteus vulgaris*, *Rabbit Cholera*, *Vibrio comma*, *V. cholerae*, *V. parahemolyticus*, *Helicobacter pylori* และ *Clostridium botulinum*

## 2.5 Spray Dryer

### 2.5.1 การทำงานของเครื่อง Spray Dryer

การทำงานของเครื่อง Spray Dryer เริ่มจาก อากาศจะถูกดูดผ่านตัวกรองและผ่านตัวให้ความร้อน จากนั้นจึงเข้าสู่ห้องอบแห้ง (drying chamber) ส่วนตัวอย่างของเหลว (feed) ที่นำมาฉีดควรมีลักษณะเหลวและไม่ข้นมาก จากนั้นของเหลวจะถูกดูดโดยปั๊มผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอยคือ atomizer ภายในห้องอบแห้ง เมื่อละอองสัมผัสกับอากาศร้อนจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว และจะได้ผงของผลิตภัณฑ์ตกลงสู่ด้านล่างของ drying chamber ผงบางส่วนที่หลุดออกมากับอากาศจะถูกแยกโดยใช้ cyclone ซึ่งจะรวมเข้าเป็นผลิตภัณฑ์รวมในที่สุด

## 2.5.2 การนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมักอยู่ในรูปที่พร้อมใช้งานได้เลย และสามารถเก็บรักษาได้ง่ายและนาน คือการทำให้อยู่ในรูปของแห้ง ส่วนวิธีการที่นิยมใช้ในการทำแห้งวิธีหนึ่งก็คือการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dry) โดยมีเครื่องมือที่ใช้คือเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) มักใช้วิธีนี้กับผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น นมผง ไข่ผง อาหารเด็ก เนื้อวัวสกัด โปรตีนสกัด และผลิตภัณฑ์ยา เช่น ยาผงสมุนไพร เป็นต้น

## 2.6 กัมอารบิก

Gum Arabic เป็นสารประกอบธรรมชาติชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มสารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) ที่นิยมใช้กันแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมอาหารเป็นสารประกอบจากธรรมชาติที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี ไม่มีรส และที่สำคัญไม่เป็นพิษต่อร่างกายและมลภาวะ ซึ่งได้ผ่านการรับรองระบบมาตรฐานของอาหารโลก และได้รับกำหนดในตำรับ GRAS (Generally Recognized as Safe) และมาตรฐานของ United State pharmacopia, Food Chemical Codex และ EU Number E414 รวมทั้งผ่านการรับรองจากสำนักคณะกรรมการอาหาร และยาประเทศไทย ในแง่โภชนาการยอมรับว่ากัมอารบิกถูกย่อยได้ดีอย่างมากในระบบการย่อยของร่างกายมนุษย์ จึงเป็นสารที่ไม่ให้พลังงาน สามารถใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารที่ให้พลังงานต่ำ หรือปราศจากน้ำตาลได้เป็นอย่างดีคุณสมบัติการเป็นตัวอิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifiers) กัมอารบิกมีประสิทธิภาพสูงในการทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ โดยเฉพาะในอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) เนื่องจากโครงสร้างที่มีส่วนที่เป็นกรดอะมิโนสามารถดูดซับจับอยู่บนพื้นผิวของหยดน้ำได้อย่างดีและแข็งแรง ช่วยป้องกันการเกิด Coalesce in emulsion และในส่วนโครงสร้างที่เป็น arabinogalactan จะช่วยเพิ่มความหนืดให้กับส่วนที่เป็นน้ำ จึงเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมมากในการผลิตอิมัลชันของน้ำมันกลั่นเพื่อให้ในการแต่งกลิ่น

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นนทยา คำภานิล (2564) ได้ทำการศึกษาเรื่องการพัฒนาฟิล์มบรีโกลด์ได้จากแป้งข้าว โดยวัตถุประสงค์เพื่อนำมาใช้ คือ ข้าวเส้าให้ และใช้กลีเซอรอลเป็น พลาสติไซเซอร์ พบว่าแป้งข้าวที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร ไม่ได้ให้สมบัติที่ดีสำหรับการผลิตแผ่นฟิล์ม การอะซิเตเลชันช่วยปรับโครงสร้างโมเลกุลของแป้ง ซึ่งส่งผลให้มีสมบัติของฟิล์มที่ดีขึ้น และการใช้น้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นต่างกันร่วมกับแป้งข้าวในการขึ้นรูปฟิล์ม พบว่าเห็นพื้นที่การยับยั้งในวันเลี้ยงเชื้อที่ ทดสอบกับแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ชัดเจน ในขณะที่เชื้อรา *Aspergillus niger* นั้น ไม่สามารถสังเกตมองเห็นพื้นที่การยับยั้งได้

## บทที่ 3

## วัสดุและวิธีการ

## 3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ

## 3.1.1 อุปกรณ์สำหรับการเตรียมแป้งข้าว

- 1) Hammer mill
- 2) Sieve ขนาด 3.0 และ 0.75 มิลลิเมตร
- 3) บี้มลม
- 4) ถุงโพลีเอทิลีน
- 5) แปรงปัด
- 6) ปีกเกอร์

## 3.1.2 อุปกรณ์สำหรับการสกัดสตาร์ช

- 1) Magnetic stirrer
- 2) แม่เหล็ก
- 3) แคลมป์
- 4) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- 5) เทอร์โมมิเตอร์
- 6) Centrifuge
- 7) pH meter
- 8) ปีกเกอร์
- 9) ตู้อบ Tray dry
- 10) ซ้อนตักสาร
- 11) Dropper
- 12) แท่งแก้วคนสาร
- 13) ถุงโพลีเอทิลีน
- 14) ผ้าฝ้ายมัสลิน
- 15) ครก

## 3.1.3 อุปกรณ์สำหรับการ Acetylation

- 1) Magnetic stirrer

- 2) แม่เหล็ก
- 3) แคลมป์
- 4) pH meter
- 5) ปีกเกอร์
- 6) ตู้อบ Tray dry
- 7) Dropper
- 8) ซ้อนตักสาร
- 9) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- 10) ครก
- 11) แท่งแก้วคนสาร
- 12) ผ้าฝ้ายมัสลิน
- 13) ถุงโพลีเอทิลีน

#### 3.1.4 อุปกรณ์สำหรับการขึ้นรูปฟิล์ม

- 1) Magnetic stirrer
- 2) แม่เหล็ก
- 3) แคลมป์
- 4) ปีกเกอร์
- 5) Hot air oven
- 6) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- 7) Dropper
- 8) ซ้อนตักสาร
- 9) แท่งคนสาร
- 10) จานเพาะเชื้อ (Petri dishes) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร
- 11) เทอร์โมมิเตอร์
- 12) Syringe
- 13) คัตเตอร์
- 14) ซ้อนตักสารสแตนเลส No.13

#### 3.1.5 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลอง

##### 3.1.5.1 การวัด %Acetyl และ ระดับการแทนที่ (DS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) Magnetic stirrer
  - 2) แม่เหล็ก
  - 3) แคลมป์
  - 4) เทอร์โมมิเตอร์
  - 5) ปีกเกอร์
  - 6) ขวดแลกเปลี่ยน
  - 7) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
  - 8) Dropper
  - 9) ซ้อนตักสาร
  - 10) กระบอกตวง
  - 11) บิวเรต
- 3.1.5.2 การวัดความหนาของฟิล์ม
- 1) ไมโครมิเตอร์
- 3.1.5.3 การวัดความชื้นของฟิล์ม
- 1) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
  - 2) ถ้วยจีบอะลูมิเนียม
  - 3) คีมคีบสแตนเลส
  - 4) Hot air oven
- 3.1.5.4 การวัดสมบัติเชิงกลของฟิล์ม
- 1) Texture analyzer
  - 2) หัววัดแบบ Tensile grip
  - 3) ไม้บรรทัด
  - 4) คอมพิวเตอร์
  - 5) เครื่องสำรองไฟฟ้า
- 3.1.5.5 การวัดสมบัติการต้านจุลินทรีย์
- 1) เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ (Autoclave)
  - 2) ตู้ปลอดเชื้อ
  - 3) ตู้บ่มเพาะเชื้อ
  - 4) เวย์เนยคาลิปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) ตะเกียงแอลกอฮอล์แก้ว
- 6) จานเพาะเชื้อพลาสติก
- 7) Pipett tip 1000  $\mu$ l
- 8) แท่งแก้วเกลี่ยเชื้อ
- 9) Transferpette 1000  $\mu$ l
- 10) คีมคีบสแตนเลส
- 11) ปีกเกอร์
- 12) Parafilm
- 13) กรรไกร
- 14) ที่เจาะกระดาษ
- 15) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- 16) ขวดแลปดูแรน
- 17) ซ้อนตักสาร

### 3.1.6 วัสดุสำหรับการทดลอง

- 1) ข้าวเสาไห้
- 2) น้ำมันหอมระเหยกานพลู

### 3.1.7 อุปกรณ์สำหรับทำผง

- 1) เครื่องโฮมจีไนซ์
- 2) ปีกเกอร์
- 3) เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

### 3.1.8 อุปกรณ์วัดค่า%DPPH

- 1) เครื่อง UV-spectrometer

## 3.2 สารเคมี

### 3.2.1 สารเคมีสำหรับการสกัดสาร

- 1) น้ำกลั่น
- 2) Sodium hydroxide (NaOH)
- 3) Hydrochloric acid (HCl)

### 3.2.2 สารเคมีสำหรับการ Acetylation

- 1) น้ำกลั่น
- 2) Sodium hydroxide (NaOH)
- 3) Hydrochloric acid (HCl)
- 4) Acetic acid (CH<sub>3</sub>COOH)

### 3.2.3 สารเคมีสำหรับการขึ้นรูปฟิล์ม

- 1) น้ำกลั่น
- 2) Glycerol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>)

### 3.2.4 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 3.2.4.1 การวัด %Acetyl และ ระดับการแทนที่ (DS)

- 1) เอทานอล 95%
- 2) Sodium hydroxide (NaOH)
- 3) Hydrochloric acid (HCl)
- 4) น้ำกลั่น
- 5) Phenolphthalein (C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>)

#### 3.2.4.4 การวัดสมบัติการต้านจุลินทรีย์

- 1) น้ำกลั่น
- 2) แอลกอฮอล์
- 3.3 จุลินทรีย์และอาหารเลี้ยงเชื้อ

### 3.2.5 สารเคมีสำหรับการทำผง

- 1) กัมอารบิก
- 2) น้ำกรอง

## 3.3 จุลินทรีย์และอาหารเลี้ยงเชื้อ

### 3.3.1 จุลินทรีย์

- 1) เชื้อรา *Aspergillus niger*
- 2) แบคทีเรีย *Staphylococcus aureus*

### 3.3.2 อาหารเลี้ยงเชื้อ

1) Potato dextrose agar (PDA)

## 3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.4.1 การเตรียมแป้งข้าว

ข้าวเสาไห้จะถูกนำไปบดด้วยเครื่อง Hammer mill ที่ใช้ตะแกรง (Sieve) ขนาด 3.0 และ 0.75 มิลลิเมตร แป้งข้าว (Flour) ที่บดแล้วบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ เก็บไว้ที่ 18 °C (Souza, et al. 2016)



รูปที่ 3.1 เครื่อง Hammer mill และบ่ยมล

### 3.4.2 การสกัดสสารด้วยต่าง

การสกัดด้วยต่างอ้างอิงตามวิธีการของ (Souza, et. al. 2016) ; Woo and Seib (1997) และ Liu, et al. (2014) โดยมีการดัดแปลงวิธีการบางอย่าง ดำเนินการขั้นตอนการสกัดเพียงขั้นตอนเดียว เริ่มจากใช้สารละลาย NaOH 0.18% (w/v) 500 มิลลิลิตร ตั้งบนเครื่องกวนผสมแบบ Magnetic stirrer (Hotplate stirrer LMS HTS-1003) จากนั้นจึงเติมแป้งข้าวเสาไห้ 35 กรัม ลงในตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้อง (25 °C) เป็นเวลา 30 นาที

หลังจากนั้นนำไปปั่นหมุนเหวี่ยงในเครื่อง Centrifuge (Zentrifugen Hettich MIKRO 220R) ด้วย ความเร็วรอบ 5930 RPM เป็นเวลา 5 นาที จะได้โปรตีนสกัดและกากแป้ง ส่วนของกากที่เป็นแป้งถูกล้าง อีก ครั้ง ด้วยสารละลาย NaOH 0.18% 250 มิลลิลิตร และหมุนเหวี่ยงที่ 5930 RPM เป็นเวลา 5 นาที อีก ครั้ง แยกสารสกัดที่มีโปรตีนออก และกากแป้งทั้งหมดถูกทำให้เป็นกลางที่ pH 7.0 ด้วยสารละลาย HCL 0.1M 50 มิลลิลิตร และถูกทำให้แห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dry) ที่ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นบด

เป็นผงละเอียดบรรจุในถุงโพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Martinez, et al. 2020) เมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำให้แห้งแล้ว จะใช้สัญลักษณ์แทนสตาร์ชที่ อบแห้งด้วย S

### 3.4.3 การ Acetylation สตาร์ช

การ Acetylation ของแป้งข้าวเสาไห้ มีการดัดแปลงวิธีการอ้างอิงมาจาก Ray, et al. (2021) ; Phillips. et. al. (1999) และ Singh, et al. (2012) โดยใช้แป้ง 100 กรัม กระจายตัวในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร ผสมด้วยเครื่องกวนผสมแบบ Magnetic stirrer เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ใช้สารละลาย NaOH 3% (w/v) ปรับ pH ของสารแขวนลอยเป็น 8.0 เติมกรดอะซิติก (0.6, 1.2, 1.8 มิลลิลิตร) แบบหยดลงใน สารละลาย ที่กวนผสม โดยใช้เวลา 30 นาที ขณะที่คงค่า pH ไว้ระหว่าง 8-8.5 โดยใช้สารละลาย NaOH 3% (w/v) หยด ในขณะที่มีการเติมกรดอะซิติก ปฏิบัติการดังกล่าวดำเนินต่อไปเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้น ปรับ สารละลายให้เป็น pH 4.5 ด้วยสารละลาย HCL 0.5M หลังจากการตกตะกอนจะถูกล้างด้วยน้ำกลั่นให้ไม่มีกรด 2 ครั้ง แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และบดเป็นผงละเอียด บรรจุในถุงโพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Martinez, et, al, 2020) จะใช้สัญลักษณ์แทนสตาร์ชที่ อบแห้งด้วย C1, C2 และ C3 ตามปริมาณกรดอะซิติก 0.6, 1.2 และ 1.8 มิลลิลิตร ตามลำดับ

### 3.4.4 การขึ้นรูปฟิล์ม

#### 3.4.4.1 การทดลองที่ 1 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งข้าว

ในการขึ้นรูปฟิล์มจากสตาร์ชของแป้งข้าวเสาไห้ มีการดัดแปลงวิธีการและอ้างอิงมาจาก Martinez. et. al. (2020) ; Chawla, et al. (2021) และ K et al. (2013) โดยใช้สตาร์ช (Starch) 3 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร กวนผสมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ให้ความร้อนที่ 85-90 °C กวนอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องกวนผสมแบบ Magnetic stirrer (Hotplate stirrer LMS HTS-1003) จนสตาร์ชเกิดการ เจลาติไนซ์ไม่มีเม็ดแป้งเหลืออยู่ จากนั้นค่อยๆเติมกลีเซอรอล 30% ของน้ำหนักแป้ง จากนั้นเทของผสมลงบนจานเพาะเชื้อ (Petri dishes) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร ปริมาณ 20 มิลลิลิตร อบที่อุณหภูมิ 32 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำออกจากตู้อบเพื่อตรวจสอบความแห้ง และเก็บไว้ในถุงโพลีเอทิลีน

#### 3.4.4.2 การทดลองที่ 2 การใช้น้ำมันหอมระเหยร่วมกับแป้งข้าวในการขึ้นรูปฟิล์ม

ในการทดลองที่ 2 มีขั้นตอนเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 1 ที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.4.4.1 โดยใช้แป้งจากการทดลองที่ 1 ที่มีสมบัติที่ดีที่สุด ซึ่งก็คือแป้ง C2 ที่มีระดับการแทนที่ (DS) เท่ากับ 3.04 จัดอยู่ในระดับการแทนที่สูง และใช้น้ำมันหอมระเหยกานพลู ที่ความเข้มข้น 2.5, 5.0 และ 10% ของน้ำหนักแป้ง ผสมในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มด้วย

### 3.4.5 การวิเคราะห์

#### 3.4.5.1 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งข้าว

##### 3.4.5.1.1 การวิเคราะห์ %Acetyl และ ระดับการแทนที่ (DS)

การวัด %Acetyl และ ระดับการแทนที่ (DS) มีการดัดแปลงและปรับเปลี่ยนเทคนิคการไทเทรตเพื่อกำหนด %Acetyl และ DS มาจาก Ray. et. al. (2021) ; Colussi, et al. (2017) โดยใช้ Starch 1 กรัม ผสมกับเอทานอล 70% 50 มิลลิลิตร ในขวดแลปดูเรน (Laboratory bottle, Duran) ขนาด 250 มิลลิลิตร กวนให้ความร้อนที่ 50 °C 30 นาที จากนั้นปล่อยให้เย็นจนถึง อุณหภูมิห้อง (25 °C) และเติม NaOH 0.5M 40 มิลลิลิตร จากนั้นใช้สารละลาย HCl 0.5M ไทเทรตอัลคาไลน์ส่วนเกิน โดยใช้ฟีนอพทาลีนเป็นตัวบ่งชี้ กากแป้งที่ถูกชะล้างจะถูกนำมาไทเทรต อีกครั้ง หลังจากปล่อยให้ทิ้งไว้อีก 2 ชั่วโมง โดย %Acetyl และระดับการแทนที่ (DS) คำนวณได้จาก สมการ

$$\text{Acetyl (\%)} = \frac{(V_{\text{blank}} - V_{\text{sample}}) \times \text{Molarity of HCl} \times 0.043 \times 100}{W}$$

$$\text{DS} = \frac{162 \times \text{Acetyl (\%)}}{4300 - \{42 \times \text{Acetyl (\%)}\}}$$

เมื่อ  $V_{\text{blank}}$  = ปริมาตรการไทเทรตตัวอย่างเปล่า (มิลลิลิตร)

$V_{\text{sample}}$  = ปริมาตรการไทเทรตที่ใช้สำหรับแต่ละตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

$W$  = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

##### 3.4.5.1.2 การวิเคราะห์ความหนา

การวัดความหนาของฟิล์ม ได้มาจากการวัดฟิล์มโดยตรง ตามวิธีการของ Sood and Saini (2021) โดยพับแผ่นฟิล์มทั้งหมด 10 ชั้น และใช้ไมโครมิเตอร์วัดสุ่ม 5 จุด ที่ต่างกันของตัวอย่างฟิล์ม แต่ละชั้น และนำค่าเฉลี่ยมาหารจำนวนชั้นที่พับแผ่นฟิล์ม ทำการวัดแบบสุ่มทั้งหมด 3 ซ้ำ และ คำนวณหาค่าเฉลี่ย

### 3.4.5.1.3 การวิเคราะห์ความชื้น

การวัดความชื้นของฟิล์มอ้างอิงมาจากรณีการของ Colussi, et al. (2017) โดยนำ แผ่นฟิล์ม มาชั่งน้ำหนักและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C 24 ชั่วโมง จนมีน้ำหนักคงที่ (AACC. 1995) โดยคำนวณได้ ดังสมการ

$$Mw = \frac{W - d}{w} \times 100$$

เมื่อ  $Mw$  = ความชื้นฐานเปียก (%)

$W$  = มวลเริ่มต้นของฟิล์ม (กรัม)

$d$  = มวลของฟิล์มที่แห้งแล้ว (กรัม)

### 3.4.5.1.3 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกล

การวัดสมบัติเชิงกลของฟิล์ม มีการดัดแปลงจาก Khodaeil et al. (2020) วิเคราะห์ค่า ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ค่าร้อยละการยืดตัว (Elongation) ของแผ่นฟิล์มด้วย เครื่อง Texture analyzer (Texture Analyzer TA-XT Plus) โดยใช้หัววัดแบบ Tensile grip ตัด แผ่นฟิล์มให้มี ขนาด 80×20 มิลลิเมตร มีระยะห่างเริ่มต้นระหว่าง Grip เท่ากับ 40 มิลลิเมตร ใน ระหว่างการวัดฟิล์มถูกดึง ออกมาในอัตรา 1 มิลลิเมตร/วินาที และระยะการดึงอยู่ที่ 70 มิลลิเมตร โดยค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และค่าร้อยละการยืดตัว (Elongation) สามารถหาได้ จากสมการ ตามลำดับ

$$\text{Tensile strength} = \frac{F}{A}$$

$$\text{Elongation} = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100$$

เมื่อ  $F$  = แรงดึงสูงสุดที่ทำให้ฟิล์มขาด (นิวตัน)

$A$  = พื้นที่ภาคตัดขวางของฟิล์มที่ใช้ทดสอบ (ตารางมิลลิเมตร)

$L_0$  = ความยาวหลังจากการดึงขาด (มิลลิเมตร)

$L_f$  = ความยาวเริ่มต้น (มิลลิเมตร)

#### 3.4.5.1.4 ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity

ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH [12] เตรียมสารตัวอย่างโดยตัดชิ้นงานขนาด  $20 \times 150$  มิลลิเมตร แช่ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำสารตัวอย่าง 1.5 มิลลิกรัม ผสมกับสารละลาย DPPH (1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl) ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ที่ละลายในเอทานอล 3 มิลลิกรัม จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง UV-spectrometer วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไป สร้างกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดสอบสารตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณหา ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระดังสมการ

$$\text{DPPH scavenging effect (\%)} = \frac{\text{Abs}_{\text{DPPH}} - \text{Abs}_{\text{sample}}}{\text{Abs}_{\text{DPPH}}} \times 100$$

เมื่อ  $\text{Abs}_{\text{DPPH}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของสารอ้างอิง

$\text{Abs}_{\text{sample}}$  = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง



รูปที่ 3.2 spectrometer

#### 3.4.5.1.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ใช้ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อระบุความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผลลัพธ์เฉลี่ยที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของฟิล์ม การทดสอบหลายช่วงโดยใช้การทดสอบ Tukey เพื่อกำหนดว่าผลลัพธ์เฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทดสอบ LSD เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดว่าผลลัพธ์เฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับการวิเคราะห์สมบัติ การต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มที่ใช้ไขมันหอมระเหยร่วมในการขึ้นรูป

#### 3.4.5.2 การใช้ไขมันหอมระเหยร่วมกับแป้งข้าวในการขึ้นรูปฟิล์ม

3.4.5.2.1 การวิเคราะห์สมบัติการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มที่ใช้ไขมันหอมระเหยร่วมในการขึ้นรูป

การทดสอบการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์ม มีการอ้างอิงและดัดแปลงวิธีการมาจาก Alrjania and Sklicky (2021) ; Agar. et. al. (2020) ; Du (2011) โดยวิธีการ Disc diffusion method โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และเชื้อรา *Aspergillus niger* เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ชีตแบ่งช่องเพื่อเขียนระบุสำหรับการใส่แผ่นฟิล์มเป็น 5 ช่องได้แก่ ฟิล์ม 0% เป็น Control และฟิล์มที่มีไขมันหอมระเหยของกานพลูที่ความเข้มข้น 2.5 5.0 และ 10% ของน้ำหนักแป้ง ใส่เชื้อแบคทีเรียและเชื้อราลงในจานเพาะเชื้อที่มีฐานอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมไว้ รอให้แห้งและวางตัวอย่างฟิล์มที่ตัดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 มิลลิเมตรลงบนพื้นผิวของฐาน นำจานเพาะเชื้อที่มีฟิล์มถูกบ่มในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นสังเกตพื้นที่การยับยั้ง (Zone of Inhibition) การเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดโซนการยับยั้ง(มิลลิเมตร) (Bindhu, M.R. et. al. 2020)

#### 3.4.6 การทำแห้งไขมันหอมระเหยกานพลู

เตรียมสารหล่อหุ้มกัมอารบิก 48 กรัม ละลายในน้ำกรองปริมาตร 1600 ml ในบีกเกอร์ ด้วยอุณหภูมิห้อง คนจนละลายเข้ากันดี เตรียมไขมันหอมระเหย 400 ml นำไขมันหอมระเหย 400 ml ผสมกับสารละลายหล่อหุ้ม 1600 ml ผสมด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ ที่ความเร็วรอบ 3200 รอบ/นาที เป็น เวลา 10 นาที จากนั้นทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้หัวฉีดพ่นแบบ ฝอย (pressure nozzle) อัตราการป้อน 33 มิลลิลิตร/นาที โดย กำหนดค่าความดัน 0.6MPa อุณหภูมิอากาศขาเข้า 190 องศา เซลเซียส และอุณหภูมิอากาศขาออก 90 องศาเซลเซียส (อ้างอิงตาม วิธีของ Priscilla และคณะ, 2005) เก็บใส่ในถุงปิดสนิท ไว้ที่อุณหภูมิห้อง

##### 3.4.6.1 การเปรียบเทียบปริมาณที่ได้กับปริมาณตั้งต้นของการทำแห้ง

สูตรการคำนวณหาค่า % yield (Phrompittayarat และคณะ, 2007) เป็นการเปรียบเทียบปริมาณ เพื่อให้เราทราบต้นทุนการผลิตในแต่ละครั้ง

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{น้ำหนักตั้งต้น}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์การทดลอง

#### 4.1 %Acetyl และ ระดับการแทนที่ (DS)

จากการ Acetylation และนำแป้งมาทดลองหา %Acetyl และ ระดับการแทนที่ (DS) ของสตาร์ช จากแป้งข้าวในระยะเวลา 30 นาที ของปฏิกิริยา แสดงดังตารางที่ 4.1 หลังจากการวิเคราะห์ด้วยการไทเทรต ได้ %Acetyl ที่ปริมาณกรดอะซิติกต่างกัน (0.6, 1.2, 1.8 มิลลิลิตร) แทนด้วย C1, C2 และ C3 เท่ากับ 0.6450, 1.1820 และ 0.4300% ตามลำดับ และมีระดับการแทนที่ (DS) คือ 0.0245, 0.0451 และ 0.0163 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 %Acetyl และ ระดับการแทนที่ (DS) ของแป้ง

Starch	Acetyl (%)	DS
S	0.00	0.00
C1	0.65	0.02
C2	1.18	0.05
C3	0.43	0.02

#### 4.2 ผลของการขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลูและผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ความเข้มข้นต่างกันต่อสมบัติของฟิล์ม

จากการทดลองพบว่าสตาร์ชที่ผ่านการ Acetylation มีความนุ่มมากกว่าสตาร์ชที่ไม่ผ่านการดัดแปรฟิล์มที่ขึ้นรูปจากแป้งอะซิติกจะใช้เวลาในการอบให้แห้งนานกว่าฟิล์มจากสตาร์ชธรรมดา โดยหลังจากนำฟิล์มออกจากตู้อบควรปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง ก่อนลอกแผ่นฟิล์ม หากลอกโดยทันทีฟิล์มจะมีความเหนียวและไม่สามารถลอกออกมาเป็นแผ่นได้ โดยในการขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยการพลูและผงของน้ำมันหอมระเหยกานพลู จะใช้แป้ง C2 ผ่านการ Acetylation ด้วยกรดอะซิติก 1.2 มิลลิลิตร เนื่องจากมี %Acetyl และระดับการแทนที่ (DS) สูงที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้แป้งจับตัวกับน้ำมันได้ดี สมบัติของฟิล์มที่ทำการวิเคราะห์ มีดังต่อไปนี้

##### 4.2.1 ความหนา

จากการขึ้นรูปของฟิล์มจากแป้ง C2 โดยใช้กลีเซอรอล 30% เป็นพลาสติกไซเซอร์ ขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลูและผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ความเข้มข้น 0, 2.5, 5 และ 10% ซึ่งการเติมน้ำมันหอม

ระเหยและผงน้ำมันหอมระเหยไม่มีผลต่อความหนาของฟิล์ม ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2 โดยที่แผ่นฟิล์มทั้งหมดมีความหนาใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) และความหนามีค่าอยู่ในช่วง 0.22-0.23 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.2 สมบัติของฟิล์มจากแป้งข้าว

		DPPH(%)	ความหนา (mm)	Tensile strength(MPA)	Elongation (%)	ความชื้น(%)
	0.0%	72.81±6.06	0.22±0.01	0.42±0.03	1.78±2.14	19.55±3.44
ผง	2.5%	30.21±2.02	0.23±0.00	1.31±0.13	2.15±1.42	17.33±1.41
	5%	36.57±6.06	0.23±0.00	1.05±0.04	1.74±0.71	16.40±1.29
	10%	69.48±4.04	0.23±0.00	0.81±0.03	1.65±0.10	14.20±8.96
น้ำมัน	2.5%	30.05±4.04	0.22±0.00	1.40±0.01	2.00±4.98	17.65±1.38
	5%	20.99±6.06	0.23±0.01	1.03±0.02	1.80±12.35	16.19±4.12
	10%	13.99±2.02	0.23±0.01	0.83±0.01	1.59±2.87	13.90±8.35

หมายเหตุ: มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.2 ความชื้น

จากการทดลองหาปริมาณความชื้นของฟิล์ม ผลแสดงดังในตารางที่ 4.2 โดยค่าความชื้นของฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ความเข้มข้น 10% มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 13.9012 ค่าความชื้นของฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ความเข้มข้น 2.5 และ 5% มีค่าเท่ากับ 17.6501 และ 16.1920 ตามลำดับ ค่าความชื้นของฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ความเข้มข้น 2.5, 5 และ 10% มีค่าเท่ากับ 17.3258, 16.4030 และ 14.2029 ตามลำดับ ค่าความชื้นของฟิล์มที่ไม่มีการขึ้นรูปร่วม มีค่าเท่ากับ 19.5475 และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) จากการทดลองพบว่าน้ำมันหอมระเหยมีผลต่อความชื้นของแผ่นฟิล์ม โดยฟิล์มจากแป้งที่มีการขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยจะมีค่าความชื้นน้อยกว่าฟิล์มที่ไม่มีการขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหย ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยกานพลูมีสมบัติของการเป็นไฮโดรโฟบิก ซึ่งน้ำมันหอมระเหยจะสามารถแทรกตัวในโครงสร้างตาข่ายของฟิล์มจึงทำให้ความชื้นลดลง

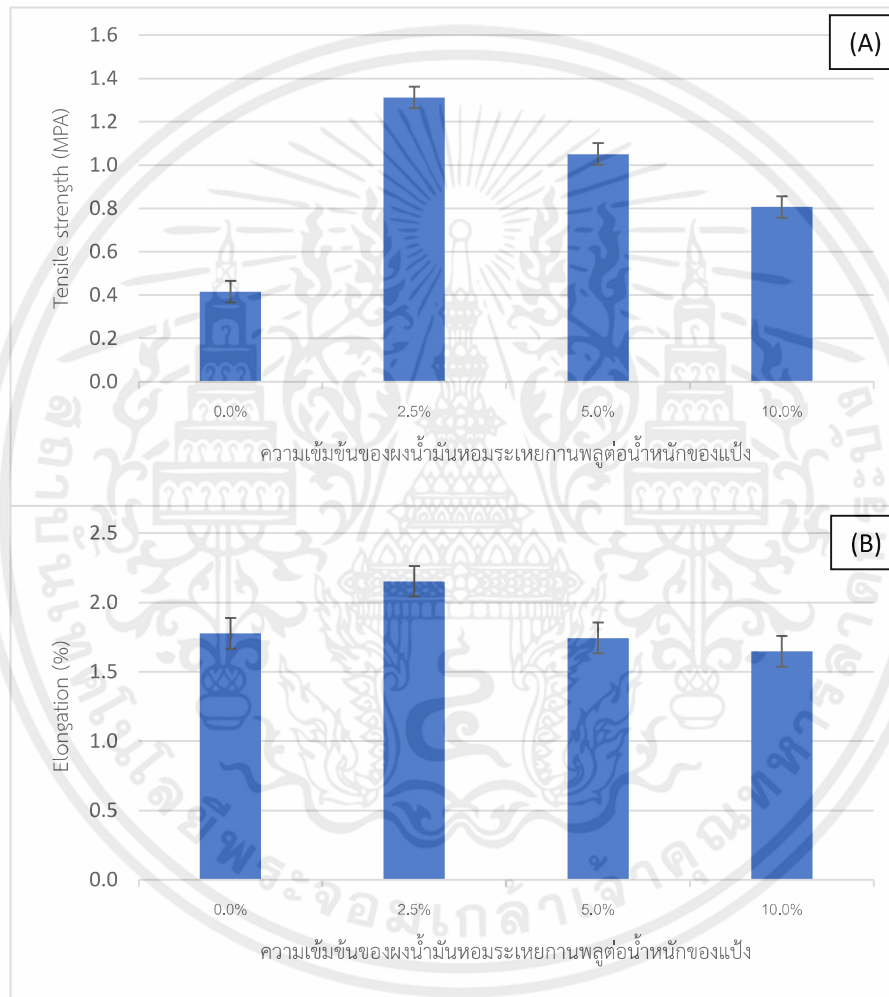
### 4.2.3 สมบัติเชิงกล

ในการทดสอบค่าการต้านแรงดึงและค่าการยืดตัวของฟิล์ม ซึ่งค่าการต้านทานแรงดึงเป็นการทดสอบจากลักษณะการยืดออกของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงจากภายนอก ค่าการยืดตัวเมื่อขาดจะเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการยืดหยุ่นหรือความสามารถในการยืดตัวของฟิล์ม ซึ่งค่านี้วัดได้เมื่อฟิล์มขาดลงภายใต้การทดสอบแรงดึงและคำนวณในรูปของร้อยละของความยาวที่เปลี่ยนไปของตัวอย่างระหว่างจุดที่ยึดฟิล์มไว้ถึงระยะที่ยืดออกไป ผลการทดสอบสมบัติทางกลของฟิล์ม แสดงดังในตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 จะแสดงให้เห็นว่าการขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยและผงน้ำมันหอมระเหย มีผลทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้น 2.5 % และมีความยืดหยุ่นลดลงที่ความเข้มข้น 5 และ 10% ตามลำดับ เช่นเดียวกับความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยและผงน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 2.5% และมีค่าความต้านทานแรงดึงลดลงที่ความเข้มข้น 5 และ 10% ตามลำดับ

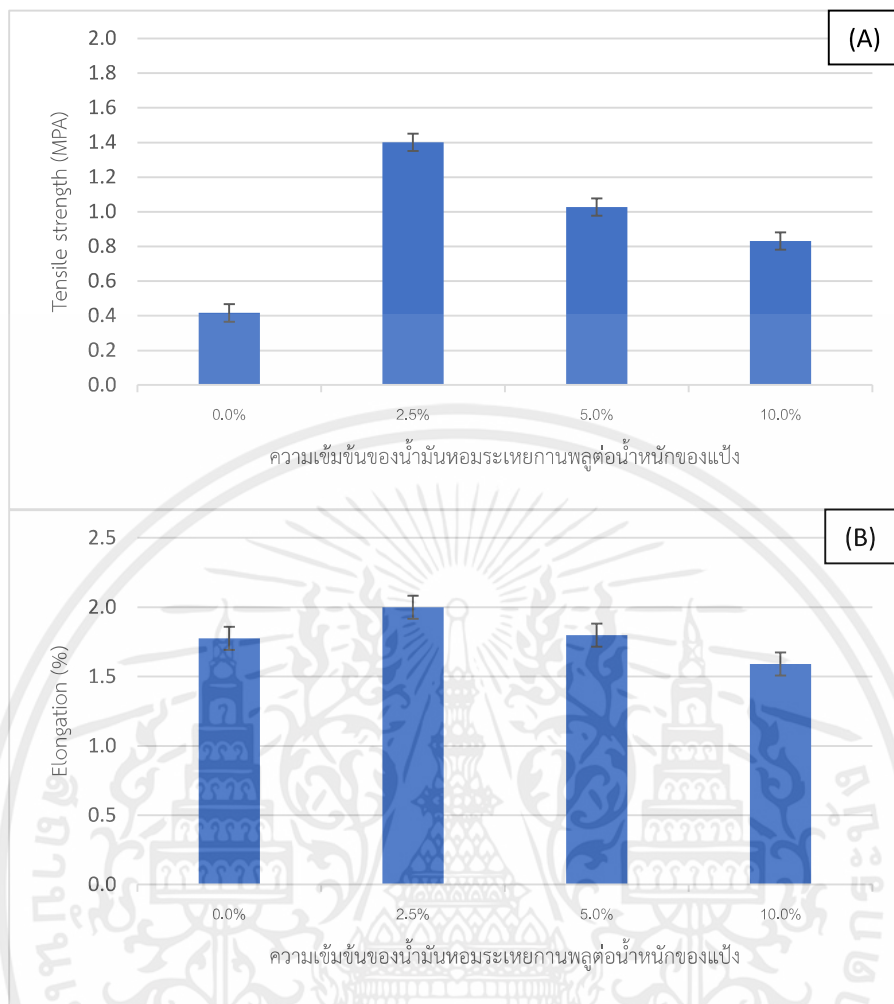
ค่าความยืดหยุ่นของฟิล์มที่ไม่มีการขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยหรือผงน้ำมันหอมระเหยมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับฟิล์มที่มีการขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยและผงน้ำมันหอมระเหย โดยที่ฟิล์มที่ไม่มีการขึ้นรูปร่วมมีค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 0.41586 MPa ฟิล์มที่มีการขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 2.5, 5 และ 10% มีค่าเท่ากับ 1.40071, 1.02650 และ 0.83003 MPa ตามลำดับ และฟิล์มที่มีการขึ้นรูปร่วมกับผงน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 2.5, 5 และ 10% มีค่าเท่ากับ 1.31253, 1.05095 และ 0.80641 MPa ตามลำดับ และร้อยละการยืดตัว (Elongation) ของฟิล์มที่ไม่มีการขึ้นรูปร่วมมีค่าเท่ากับ 1.7759 ฟิล์มที่มีการขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 2.5, 5 และ 10% มีค่าเท่ากับ 1.9992, 1.7987 และ 1.5904 ตามลำดับ และฟิล์มที่มีการขึ้นรูปร่วมกับผงน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้น 2.5, 5 และ 10% มีค่าเท่ากับ 2.1525, 1.7440 และ 1.6474 ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า การเติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูและผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูลงในฟิล์มส่งผลต่อสมบัติของฟิล์ม ( $p < 0.05$ ) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูและผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 มีค่าการต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมน้ำมันหอมระเหยลงในฟิล์มนั้น ส่วนของไขมันที่เพิ่มขึ้นจะทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ อย่างไรก็ตาม การที่ค่าการต้านทานแรงดึงของฟิล์มลดลงเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยและผงน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 2.5 เนื่องจากการเติมน้ำมันหรือไขมันลงไปเป็นส่วนประกอบของฟิล์มนั้น ไขมันส่วนที่มากเกินไปจะไปแทรกและกระจายตัวอยู่ระหว่างโครงข่ายของฟิล์ม ทำให้ฟิล์มสูญเสียสมบัติเชิงกล Weller et al. รายงานว่า Young's modulus ของฟิล์มโพรตีนมีค่าลดลงเมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น ซึ่งมีสาเหตุจากการอ่อนตัวของไขมันบนร่างแหโพรตีนและความไม่สมบูรณ์ในโครงสร้างฟิล์มนั้น ดังนั้นการผสมไขมันลงในฟิล์มมากเกินไปจึงส่งผลให้ค่าการต้านทานแรงดึงของฟิล์มมีค่าลดลง ซึ่งแสดงถึงฟิล์มมีความแข็งแรงลดลงด้วย

เมื่อพิจารณาผลของการเติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูและผงน้ำมันหอมระเหยต่อการยึดตัวของฟิล์ม พบว่าค่าการยึดตัวของฟิล์มเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าการต้านแรงดึงของฟิล์ม การที่ค่าการยึดตัวของฟิล์มมีค่าลดลงนั้นเนื่องจากโมเลกุลไขมันมีความใกล้ชิดกันมากเกินไปในโมเลกุลของฟิล์ม จึงเกิดการรวมตัวกันระหว่างไขมันมากกว่าการแทรกตัวระหว่างฟิล์ม รวมถึงเนื่องมาจากน้ำมันหอมระเหยกานพลูและผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูจะแทรกกระหว่างโมเลกุล ส่งผลให้พันธะแต่ละโมเลกุลของอยู่ห่างกันมากขึ้น ทำให้มีผลต่อการยึดตัวของฟิล์มด้วย



รูปที่ 4.1 ความต้านทานแรงดึงของฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับผงน้ำมันหอมระเหย (A)  
ร้อยละการยึดตัวของฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับผงน้ำมันหอมระเหย (B)



รูปที่ 4.2 ความต้านทานแรงดึงของฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหย (A)  
ร้อยละการยืดตัวของฟิล์มขึ้นรูปร่วมกับผงน้ำมันหอมระเหย (B)

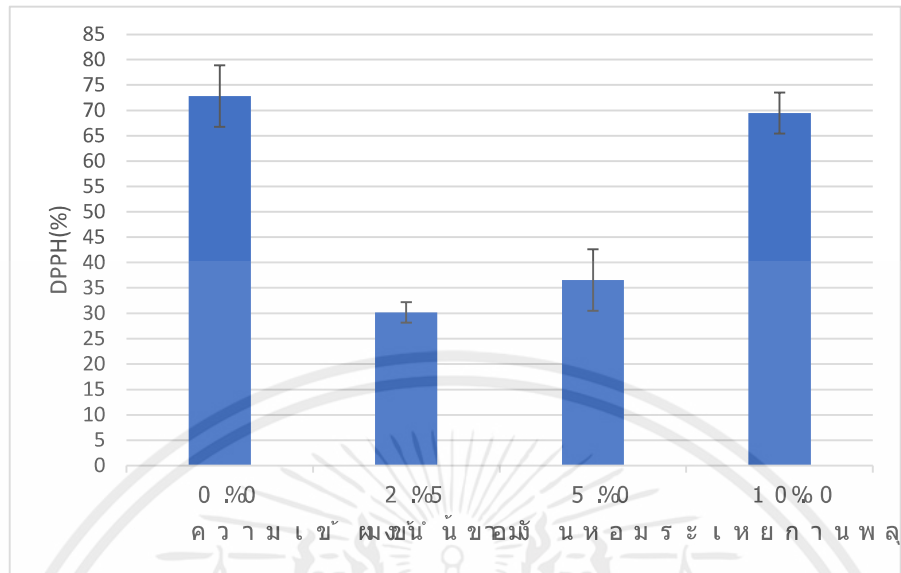
#### 4.3 ผลของการเติมน้ำมันหอมระเหยและผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ความเข้มข้นต่างกันต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของฟิล์ม

การทดสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชันของฟิล์มทำโดยการวิเคราะห์ค่า %DPPH scavenging effect โดยใช้สาร 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl ซึ่งเป็นการตรวจสอบความสามารถของฟิล์มในการให้ไฮโดรเจนหรือ อิเล็กตรอน โดยติดตามการจางลงของสารละลายสีม่วงของสารละลาย DPPH หรือสารอนุมูลอิสระที่เสถียร (Stable radical) ซึ่งดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 515-517 นาโนเมตร หากสารนั้นมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูง ความเข้ม ของสารละลายสีม่วงจะลดลง

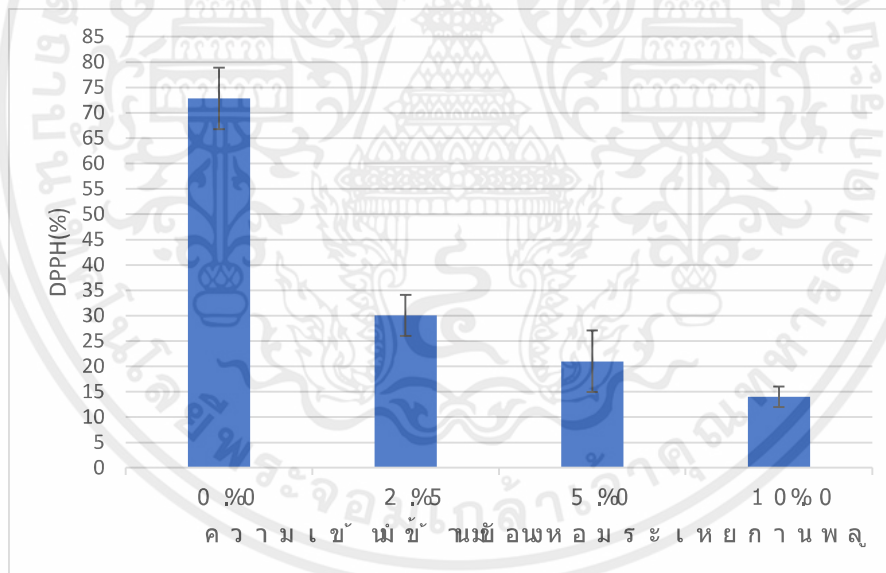
จากการทดลองพบว่าผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ( $p < 0.05$ ) โดยความเข้มข้นของผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่สูงขึ้นก็จะทำให้ฟิล์มมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงจากร้อยละ 30.2067 เป็นร้อยละ 69.4754 (รูปที่ 4.3) เมื่อมีการเติมผงน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นสูงขึ้นจาก 2.5 เป็น 10% โดยน้ำหนัก แต่ในทางกลับกัน เมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูทำให้ฟิล์มมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระลดลงจากร้อยละ 30.0477 เป็น ร้อยละ 13.9904 (รูปที่ 4.4) เมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นสูงขึ้นจาก 2.5 เป็น 10% ทั้งนี้ฟิล์มที่ไม่มีการขึ้นรูปรวมกลับมีค่าต้านทานอนุมูลอิสระสูงที่สุด ที่ร้อยละ 72.8140 และมีแนวโน้มค่าต้านทานอนุมูลอิสระจะเพิ่มขึ้นเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยในความเข้มข้นที่สูงขึ้น

จากผลการทดลองครั้งนี้ ไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่คณะผู้จัดทำสันนิษฐานไว้ เนื่องจากจากการศึกษามานาน การเติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูควรทำให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของฟิล์มเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยกานพลูมีสารประกอบหลักคือยูจินอลซึ่งเป็นสารสำคัญในการทำให้เกิดประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระโดยสารนี้มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอน ไฮโดรเจนหรือออกซิเจนอิสระหรือเรียกว่าเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox) ทำให้สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงสีโดยติดตามสีม่วงของสารละลาย DPPH ที่จางลงได้ แต่ในการทดลองนี้ ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของฟิล์มเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูกลับลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

จึงมีการสันนิษฐานปัจจัยที่ส่งผลทำให้ผลการทดลองเป็นเช่นนี้ ได้ว่า อาจเกิดจากชั้นรูปฟิล์มร่วมกับน้ำมันหอมระเหยในปริมาณความเข้มข้นที่สูงขึ้นส่งผลให้ฟิล์มมีการละลายตัวลดลง และในขั้นตอนการวัดค่า DPPH นั้นมีขั้นตอนการละลายฟิล์มร่วมกับเอทานอล ในที่นี้อาจจะแช่ฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยในระยะเวลาที่น้อยเกินไป ส่งผลให้ค่า DPPH ที่ได้มีค่าลดลงตามลำดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ในทางกลับกันฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยมีการละลายตัวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากกัมอาร์บิกส่งผลให้มันการละลายของน้ำมันเพิ่มขึ้นและได้มีการนำมาใช้ในการทำผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูด้วย



รูปที่ 4.3 %DPPHของฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับผงน้ำมันหอมระเหยกานพลู



รูปที่ 4.4 %DPPHของฟิล์มที่ขึ้นรูปร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลู

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของฟิล์มจากแป้งข้าวที่ผสมด้วยน้ำมันหอมระเหยกานพลูและผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูไม่ส่งผลต่อความหนาของฟิล์ม แต่การเติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูส่งผลต่อค่าความชื้น โดยพบว่าค่าความชื้นของฟิล์มมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยและผงน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การเติมน้ำมันหอมระเหยกานพลูและผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูลงในฟิล์มส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์ม โดยค่าการต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำมันหอมระเหยและผงน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ฟิล์มจากแป้งข้าวมีค่าต้านทานแรงดึงลดลง เช่นเดียวกับค่าการยืดตัวของฟิล์ม พบว่าค่าการยืดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมน้ำมันหอมระเหยและผงน้ำมันหอมระเหยที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก และมีค่าการยืดตัวของ ฟิล์มลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยสูงกว่าร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก

ในการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) ของฟิล์มจากแป้งข้าว พบว่าผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูส่งผลต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ( $p < 0.05$ ) โดยความเข้มข้นของผงน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่สูงขึ้น มีแนวโน้มจะทำให้ฟิล์มมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงขึ้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) สามารถทดลองใช้น้ำมันหอมระเหยชนิดอื่นๆ ที่ความเข้มข้นต่างกันไปเพื่อทดสอบสมบัติการต้านทานอนุมูลอิสระได้
- 2) สามารถใช้วิธี ABTS ในการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระร่วมด้วยได้

## บรรณานุกรม

- มยุรา ปรารณาเปลี่ยน. 2547. "Biobased food packaging." วารสารสถาบันอาหาร. 6(34) : 11 – 15.
- มณฑาทิพย์ รุ่งฉลาด. 2535. "ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้" อาหาร. 22(1) : 2535.
- ยุทธนา นามวงษา. ละมุล วิเศษ และ ญัฐพล ภูมิสะอาด. 2559. "ผลของพลาสติกไฮเซอร์และอุณหภูมิมอบแห้งต่อสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้ตามธรรมชาติจากแป้งบุก." วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัย อุบลราชธานี. 18(2) : 3.
- วรรณภา ชันธชัย. 2555. การพัฒนาฟิล์มและสารเคลือบรับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้ามาประยุกต์ใช้ในทอพีผลไม้. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- วารินทร์ พิมพา. 2549. อิทธิพลของฟิล์มพลาสติกโปรตีนต้านจุลินทรีย์ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาเนื้อสัตว์. คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร : พิษณุโลก.
- วารินทร์ พิมพา และ นิทรา เนื่องจำนงค์. 2551. การพัฒนาฟิล์มจากพลาสติกของเลือดหมูในการรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์. คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร : พิษณุโลก.
- นิจศิริ เรืองรังษี, เครื่องเทศ พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542 : 81-88.
- กานพลู [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.panyathai.or.th/wiki/index.php/> (6 เม.ย. 2566).
- สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กานพลู [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : <http://www.medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/syzygium.html> (6 เม.ย. 2566).
- ศูนย์สมุนไพรทักษิณ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, กานพลู [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา : <http://herbal.pharmacy.psu.ac.th/index.php?> (18 เม.ย. 2566).
- Agarwal, S., Hoque, M., Bandara, N., Pal, K. and Sarkar, P.. 2020. "Synthesis and characterization of tamarind kernel powder based antimicrobial edible films loaded with geraniol." **Food Packaging and Shelf Life.** 26 : 3.
- Alarjania, K. M. and Skalicky, M.. 2021. "Antimicrobial resistance profile of *Staphylococcus aureus* and its invitro potential inhibition efficiency. **Journal of Infection and Public Health.**14: 1796-1801.
- Knorr D. **Use of chitinous polymer in food.** Food Technol 1984; 38(1): 85-97.
- Tassavil, P., Kerdchoecheen, O., and Laohakunjit, N. Properties of Biopolymer Composite Films from Starch and Pectin. **Agricultural Sci. J.** 41 (3/1) (Suppl.) : 597-600 (2010)

- Extending Shelf-life and Quality of Minimally Processed Durians (*Durio zibethinus* L.) with Edible Coatings. **Agricultural Sci. J.** 40 : 1 (Suppl.) : 257-260 (2009)
- Gennadios, A. and Weller C. 1990. Edible Film and Coating from Wheat and Corn Protein. **Food Technol.**, 44(10):63.
- Kester, J.J. and Fennema, O.R. 1986. Edible Film and Coating: A Reveiw. **Food Technol.**, 40(12):47.
- Sood, A. and Saini, C.S.. 2021. "Red pomelo peel pectin based edible composite films: Effect of pectin incorporation on mechanical, structural, morphological and thermal properties of composite films." **Food Hydrocolloids.** 123: 107135.
- Souza, D. de, Sbardelotto, A. Francisco, Ziegler, D. Righetto, Ferreira, L. Damasceno Marczak and Tessaro, I. Cristina. 2016. "Characterization of rice starch and protein obtained by a fast alkaline extraction method." **Food Chemistry.** 191: 36-44.
- Suwanpugdee, A., Saisornthip, R. and Sutthimusik, S. 2012. "The inhibitory efficiency of the essential oil from lemon grass and citronella grass on the growth of Bovine mastitis pathogens: *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae* and *Escherichia coli*." **Khon Kaen Agriculture Journal.** 40: 230-235.
- Usman, M., Ishfaq, M. Tahir, Malik, S. Raza, Iqbal, M., and Ishfaq, B.. 2014. "Alkaline Extraction of Starch from Broken Rice of Pakistan." **International Journal of Innovation and Applied Studies.** 7(1): 146-152.
- Woo, K. and Seib, P. A.. 1997. "Cross-linking of wheat starch and hydroxypropylated heat starch in alkaline slurry with sodium trimetaphosphate." **Carbohydrate Polymers.** 33(4): 263- 271.
- Yang, C., Lai, H.M. and Lij, C. Y.. 1984. "The modified alkaline steeping method for the isolation of rice starch." **Food Science.** 11: 158-162.
- Fan W, Sun J, Chen Y, Zhang Y, Chi Y. Effect of chitosan coating on quality and shelf life of silver carp during frozen storage. **Food Chem.** 2009; 115(1): 66-70.
- Petrou S, Tsiraki M, Giatrakou V, Savvaidis IN. Chitosan dipping or oregano oil treatments, singly or combined on modified atmosphere packaged chicken breast meat. **Int J Food Microbiol.** 2012; 156: 264-271.

- Suman SP, Mancini RA, Joseph P, Ramanathan R, Konda, MKR, Dady G, Yin, S. Packaging-specific influence of chitosan on color stability and lipid oxidation in refrigerated ground beef. **Meat Sci.** 2010; 86(4): 994-998.
- Cao Y, Gu W, Zhang J, Chu Y, Ye X, Hu, Y. Effects of chitosan, aqueous extract of ginger, onion and garlic on quality and shelf life of stewed pork during refrigerated storage. **Food Chem.** 2013; 141: 1655-1660.
- Chantararataporn P, Tepkasikul P, Kingcha Y, Yoksan R, Pichyangkura R, Visessanguan W, Chirachanchai S. Water-based oligochitosan and nanowhisker chitosan as potential food preservatives for shelf-life extension of minced pork. **Food chem.** 2014; 159: 463-470.
- Qin YY, Yang JY, Lu HB, Wang SS, Yang XC, Chai M, Li L, Cao JX. Effect of chitosan film incorporated with tea polyphenol on quality and shelf life of pork meat patties. **Int J Biol Macromol.** 2013; 61: 312-316.
- Park S, Marsh KS, Dawson P. Application of chitosan-incorporated LDPE film to sliced fresh red meats for shelf life extension. **Meat Sci.** 2010; 85: 493-499.

## ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก ข้อมูลดิบ

- ก.1 %Acetyl และระดับการแทนที่
- ก.2 ความหนาของฟิล์ม
- ก.3 ความชื้นของฟิล์ม
- ก.4 %DPPHของฟิล์ม
- ก.5 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม

### ภาคผนวก ข ข้อมูลทางสถิติ

- ข.1 ตาราง Descriptives
- ข.2 ตาราง ANOVA
- ข.3 ตาราง Multiple Comparisons





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 %Acetyl และระดับการแทนที่

	V blank(ml)	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	เฉลี่ย	Acetyl(%)	DS
C1	47.75	47.40	47.50	47.450	0.6450	0.0245
C2	47.75	47.10	47.30	47.200	1.1820	0.0451
C3	47.75	47.70	47.40	47.550	0.4300	0.0163
S	47.75	47.80	47.70	47.750	0.0000	0.0000

ตารางที่ ก.2 ความหนาของฟิล์ม

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0.0%	0.2236	0.2215	0.22255
ผง 2.5%	0.2301	0.2297	0.22990
ผง 5%	0.2327	0.2334	0.23305
ผง 10%	0.2342	0.2338	0.23400
น้ำมัน 2.5%	0.2238	0.2239	0.22385
น้ำมัน 5%	0.2257	0.2271	0.22640
น้ำมัน 10%	0.2260	0.2282	0.22710

ตารางที่ ก.3 ความชื้นของฟิล์ม

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0%	19.8186	19.2764	19.5475
ผง 2.5%	17.4372	17.2144	17.3258
ผง 5%	16.5046	16.3013	16.4030
ผง 10%	14.9079	13.4979	14.2029
น้ำมัน 2.5%	17.7585	17.5416	17.6501
น้ำมัน 5%	16.5160	15.8679	16.1920
น้ำมัน 10%	13.2440	14.5584	13.9012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 %DPPHของฟิล์ม

		ค่าดูดกลืนแสง			%DPPH
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	
	0.0%	0.087	0.084	0.08550	0.72814
ผง	2.5%	0.219	0.220	0.21950	0.30207
	5.0%	0.201	0.198	0.19950	0.36566
	10.0%	0.095	0.097	0.09600	0.69475
น้ำมัน	2.5%	0.221	0.219	0.22000	0.30048
	5.0%	0.247	0.250	0.24850	0.20986
	10.0%	0.270	0.271	0.27050	0.13990

ตารางที่ ก.5 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม

		Tensile strength		Elongation (%)		เฉลี่ย	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	Tensile strength	Elongation (%)
	0.0%	0.4136	0.4181	1.6071	1.9448	0.4159	1.7759
ผง	2.5%	1.3225	1.3025	2.2642	2.0408	1.3125	2.1525
	5.0%	1.0539	1.0481	1.6877	1.8003	1.0510	1.7440
	10.0%	0.8085	0.8043	1.6393	1.6555	0.8064	1.6474
น้ำมัน	2.5%	1.4016	1.3998	2.3914	1.6071	1.4007	1.9992
	5.0%	1.0278	1.0252	2.7710	0.8264	1.0265	1.7987
	10.0%	0.8292	0.8309	1.3645	1.8164	0.8300	1.5904



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ตาราง Descriptives

Descriptives									
		N	Mean	SD	SE	95% Confidence Interval		Minimum	Maximum
						Lower	Upper		
						%DPPH	0%		
			9	1	95	80	18		
	ผง	2	30.2066	0.2248	0.158	28.186	32.226	30.04769	30.36566
	2.5%		8	4	98	61	74		
	ผง 5%	2	36.5659	0.6745	0.476	30.505	42.626	36.08903	37.04293
			8	1	95	78	17		
	ผง 10%	2	69.4753	0.4496	0.317	65.435	73.515	69.15739	69.79332
			6	7	97	23	49		
	น้ำมัน	2	30.0476	0.4496	0.317	30.034	30.060	29.72973	30.36566
	2.5%		9	7	97	99	40		
	น้ำมัน	2	20.9856	0.6745	0.476	20.966	21.004	20.50874	21.46264
	5%		9	1	95	63	75		
	น้ำมัน	2	13.9904	0.2248	0.158	13.984	13.996	13.83148	14.14944
	10%		6	4	98	11	81		
	Total	14	39.1551	22.140	5.917	26.371	51.938	13.83148	73.29094
			2	40	27	63	61		
ค่าความ	0%	2	0.22255	0.0014	0.001	0.2092	0.2358	0.22150	0.22360
หนา				8	05	1	9		
	ผง	2	0.22990	0.0002	0.000	0.2273	0.2324	0.22970	0.23010
	2.5%			8	20	6	4		
	ผง 5%	2	0.23305	0.0004	0.000	0.2286	0.2375	0.23270	0.23340
				9	35	0	0		
	ผง 10%	2	0.23400	0.0002	0.000	0.2314	0.2365	0.23380	0.23420
				8	20	6	4		
	น้ำมัน	2	0.22385	0.0000	0.000	0.2232	0.2244	0.22380	0.22390
	2.5%			7	05	1	9		
	น้ำมัน	2	0.22640	0.0009	0.000	0.2175	0.2352	0.22570	0.22710
	5%			9	70	1	9		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	น้ำมัน 10%	2	0.22710	0.0015 6	0.001 10	0.2131 2	0.2410 8	0.22600	0.22820
	Total	14	0.22812	0.0042 7	0.001 14	0.2256 6	0.2305 8	0.22150	0.23420
Tensile strengt h	0%	2	0.41586	0.0031 8	0.002 25	0.3873 1	0.4444 1	0.41361	0.41811
	ผง 2.5%	2	1.31253	0.0141 5	0.010 00	1.1854 1	0.4444 1	1.30252	1.32253
	ผง 5%	2	1.05095	0.0041 0	0.002 90	1.0141 5	1.0877 6	1.04806	1.05385
	ผง 10%	2	0.80641	0.0030 2	0.002 14	0.7792 6	0.8335 6	0.80427	0.80855
	น้ำมัน 2.5%	2	1.40071	0.0012 6	0.000 89	1.3893 6	1.4120 7	1.39982	1.40161
	น้ำมัน 5%	2	1.02650	0.0018 7	0.001 33	1.0096 6	1.0433 4	1.02518	1.02783
	น้ำมัน 10%	2	0.83003	0.0012 5	0.000 88	0.8188 4	0.8412 2	0.82915	0.83091
	Total	14	0.97757	0.3200 3	0.085 53	0.7927 9	1.1623 5	0.41361	1.40161
Elongat ion	0%	2	1.77592	0.2387 7	0.168 84	- 0.3693 8	3.9212 3	1.60708	1.94476
	ผง 2.5%	2	2.15251	0.1579 6	0.111 70	0.7332 6	3.1951 8	2.04082	2.26421
	ผง 5%	2	1.74401	0.0796 4	0.056 32	1.0284 4	2.4595 8	1.68769	1.80033
	ผง 10%	2	1.64741	0.0114 0	0.008 06	1.5449 8	1.7498 3	1.63934	1.65547
	น้ำมัน 2.5%	2	1.99925	0.5546 0	0.392 16	- 2.9836 6	6.9821 5	1.60708	2.39141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	น้ำมัน 5%	2	1.79874	1.3750 3	0.972 29	- 10.555 38	14.152 85	0.82645	2.77103
	น้ำมัน 10%	2	1.59043	0.3195 7	0.225 97	- 1.2807 8	4.4616 4	1.36446	1.81640
	Total	14	1.81547	0.4686 5	0.125 25	1.5448 7	2.0860 6	0.82645	2.77103
Moistur e	0%	2	19.5475 0	0.3833 9	0.271 10	16.102 85	22.992 15	19.27640	19.81860
	ผง 2.5%	2	17.3258 0	0.1575 4	0.111 40	15.910 33	18.741 27	17.21440	17.43720
	ผง 5%	2	16.4029 5	0.1437 5	0.101 65	15.111 36	17.694 54	16.30130	16.50460
	ผง 10%	2	14.2029 0	0.9970 2	0.705 00	5.2450 3	23.160 77	13.49790	14.90790
	น้ำมัน 2.5%	2	17.6500 5	0.1533 7	0.108 45	16.272 06	19.028 04	17.54160	17.75850
	น้ำมัน 5%	2	16.1919 5	0.4582 8	0.324 05	12.074 50	20.309 40	15.86790	16.51600
	น้ำมัน 10%	2	13.9012 0	0.9294 2	0.657 20	5.5506 8	22.251 72	13.24400	14.55840
	Total	14	16.4603 4	1.9437 3	0.519 48	15.338 06	1.9437 27	13.24400	19.81860

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ตาราง ANOVA

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
%DPPH	Between Groups	0.063	6	0.011	3973.77 5	3.866
	Within Groups	0.000	7	0.000		
	Total	0.063	13			
ความหนา	Between Groups	0.000	6	0.000	44.729	0.000
	Within Groups	0.000	7	0.000		
	Total	0.000	13			
Tensile strength	Between Groups	1.331	6	0.222	6395.55 4	0.000
	Within Groups	0.000	7	0.000		
	Total	1.331	13			
Elongation	Between Groups	0.466	6	0.078	0.228	0.954
	Within Groups	2.389	7	0.341		
	Total	2.855	13			
Moisture	Between Groups	46.831	6	7.805	23.922	0.000
	Within Groups	2.284	7	0.326		
	Total	49.115	13			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ตาราง Multiple Comparisons

Multiple Comparisons							
Tukey HSD							
			Mean Differenc e	SE	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower	Upper
DPPH	0%	ผง 2.5%	42.60731	5.91727	0.010	42.4842	42.7304
		ผง 5%	36.24801	5.91727	0.000	36.1432	36.3528
		ผง 10%	3.33863	5.91727	0.149	3.3287	3.3486
		น้ำมัน 2.5%	42.76630	5.91727	0.002	42.6427	42.8899
		น้ำมัน 5%	51.82830	5.91727	0.012	51.6785	51.9781
		น้ำมัน 10%	58.82353	5.91727	0.007	58.6536	58.9935
	ผง 2.5%	0.0%	-42.60731	5.91727	0.010	-42.7304	-42.4842
		ผง 5%	-6.35930	5.91727	0.063	-6.3778	-6.3408
		ผง 10%	-39.26868	5.91727	0.003	-39.3821	-39.1552
		น้ำมัน 2.5%	0.15898	5.91727	0.795	0.1575	0.1605
		น้ำมัน 5%	9.22099	5.91727	0.022	9.1943	9.2477
		น้ำมัน 10%	16.21622	5.91727	0.000	16.1694	16.2631
	ผง 5%	0.0%	-36.24801	5.91727	0.000	-36.3528	-36.1432
		ผง 2.5%	6.35930	5.91727	0.063	6.3408	6.3778
		ผง 10%	-32.90938	5.91727	0.015	-33.0045	-32.8143
		น้ำมัน 2.5%	6.51828	5.91727	0.016	6.4993	6.5373
		น้ำมัน 5%	15.58029	5.91727	0.039	15.5352	15.6254
		น้ำมัน 10%	22.57552	5.91727	0.018	22.5103	22.6408
	ผง 10%	0.0%	-3.33863	5.91727	0.149	-3.3486	-3.3287
		ผง 2.5%	39.26868	5.91727	0.003	39.1552	39.3821
		ผง 5%	32.90938	5.91727	0.015	32.8143	33.0045

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		น้ำมัน 2.5%	39.42766	5.91727	0.010	39.3137	39.5416
		น้ำมัน 5%	48.48967	5.91727	0.002	48.3495	48.6298
		น้ำมัน 10%	55.48490	5.91727	0.002	55.3246	55.6452
	น้ำมัน 2.5%	0.0%	-42.76630	5.91727	0.002	-42.8899	-42.6427
		ผง 2.5%	-0.15898	5.91727	0.795	-0.1605	-0.1575
		ผง 5%	-6.51828	5.91727	0.016	-6.5373	-6.4993
		ผง 10%	-39.42766	5.91727	0.010	-39.5416	-39.3137
		น้ำมัน 5%	9.06200	5.91727	0.056	9.0357	9.0883
		น้ำมัน 10%	16.05723	5.91727	0.019	16.0108	16.1037
	น้ำมัน 5%	0.0%	-51.82830	5.91727	0.012	-51.9781	-51.6785
		ผง 2.5%	-9.22099	5.91727	0.022	-9.2477	-9.1943
		ผง 5%	-15.58029	5.91727	0.039	-15.6254	-15.5352
		ผง 10%	-48.48967	5.91727	0.002	-48.6298	-48.3495
		น้ำมัน 2.5%	-9.06200	5.91727	0.056	-9.0883	-9.0357
		น้ำมัน 10%	6.99523	5.91727	0.029	6.9749	7.0155
	น้ำมัน 10%	0.0%	-58.82353	5.91727	0.007	-58.9935	-58.6536
		ผง 2.5%	-16.21622	5.91727	0.000	-16.2631	-16.1694
		ผง 5%	-22.57552	5.91727	0.018	-22.6408	-22.5103
		ผง 10%	-55.48490	5.91727	0.002	-55.6452	-55.3246
		น้ำมัน 2.5%	-16.05723	5.91727	0.019	-16.1037	-16.0108
		น้ำมัน 5%	-6.99523	5.91727	0.029	-7.0155	-6.9749
ความหนา	0%	ผง 2.5%	-0.00735	0.00114	0.073	-0.0142	-0.0005
		ผง 5%	-0.01050	0.00114	0.084	-0.0203	-0.0007
		ผง 10%	-0.01145	0.00114	0.047	-0.0221	-0.0008
		น้ำมัน 2.5%	-0.00130	0.00114	0.447	-0.0031	0.0005
		น้ำมัน 5%	-0.00385	0.00114	0.272	-0.0077	0.0000
		น้ำมัน 10%	-0.00455	0.00114	0.281	-0.0092	0.0001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ผง 2.5%	0.0%	0.00735	0.00114	0.073	0.0005	0.0142
		ผง 5%	-0.00315	0.00114	0.110	-0.0061	-0.0002
		ผง 10%	-0.00410	0.00114	0.005	-0.0079	-0.0003
		น้ำมัน 2.5%	0.00605	0.00114	0.026	0.0005	0.0116
		น้ำมัน 5%	0.00350	0.00114	0.160	0.0001	0.0069
		น้ำมัน 10%	0.00280	0.00114	0.277	-0.0002	0.0058
	ผง 5%	0.0%	0.01050	0.00114	0.084	0.0007	0.0203
		ผง 2.5%	0.00315	0.00114	0.110	0.0002	0.0061
		ผง 10%	-0.00095	0.00114	0.334	-0.0020	0.0001
		น้ำมัน 2.5%	0.00920	0.00114	0.021	0.0007	0.0177
		น้ำมัน 5%	0.00665	0.00114	0.033	0.0005	0.0128
		น้ำมัน 10%	0.00595	0.00114	0.080	0.0003	0.0116
	ผง 10%	0.0%	0.01145	0.00114	0.047	0.0008	0.0221
		ผง 2.5%	0.00410	0.00114	0.005	0.0003	0.0079
		ผง 5%	0.00095	0.00114	0.334	-0.0001	0.0020
		น้ำมัน 2.5%	0.01015	0.00114	0.016	0.0008	0.0195
		น้ำมัน 5%	0.00760	0.00114	0.075	0.0006	0.0146
		น้ำมัน 10%	0.00690	0.00114	0.119	0.0004	0.0134
	น้ำมัน 2.5%	0.0%	0.00130	0.00114	0.447	-0.0005	0.0031
		ผง 2.5%	-0.00605	0.00114	0.026	-0.0116	-0.0005
		ผง 5%	-0.00920	0.00114	0.021	-0.0177	-0.0007
		ผง 10%	-0.01015	0.00114	0.016	-0.0195	-0.0008
		น้ำมัน 5%	-0.00255	0.00114	0.159	-0.0065	0.0014
		น้ำมัน 10%	-0.00325	0.00114	0.199	-0.0086	0.0021
	น้ำมัน 5%	0.0%	0.00385	0.00114	0.272	0.0000	0.0077
		ผง 2.5%	-0.00350	0.00114	0.160	-0.0069	-0.0001
		ผง 5%	-0.00665	0.00114	0.033	-0.0128	-0.0005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		ผง 10%	-0.00760	0.00114	0.075	-0.0146	-0.0006
		น้ำมัน 2.5%	0.00255	0.00114	0.159	-0.0014	0.0065
		น้ำมัน 10%	-0.00070	0.00114	0.330	-0.0025	0.0011
	น้ำมัน 10%	0.0%	0.00455	0.00114	0.281	-0.0001	0.0092
		ผง 2.5%	-0.00280	0.00114	0.277	-0.0058	0.0002
		ผง 5%	-0.00595	0.00114	0.080	-0.0116	-0.0003
		ผง 10%	-0.00690	0.00114	0.119	-0.0134	-0.0004
		น้ำมัน 2.5%	0.00325	0.00114	0.199	-0.0021	0.0086
		น้ำมัน 5%	0.00070	0.00114	0.330	-0.0011	0.0025
Tensile strength	0%	ผง 2.5%	-0.89667	0.08553	0.009	-1.7205	-0.0728
		ผง 5%	-0.63509	0.08553	0.005	-1.2186	-0.0516
		ผง 10%	-0.39055	0.08553	0.007	-0.7494	-0.0317
		น้ำมัน 2.5%	-0.98485	0.08553	0.002	-1.8896	-0.0801
		น้ำมัน 5%	-0.61064	0.08553	0.004	-1.1716	-0.0496
		น้ำมัน 10%	-0.41417	0.08553	0.002	-0.7947	-0.0337
	ผง 2.5%	0.0%	0.89667	0.08553	0.009	0.0728	1.7205
		ผง 5%	0.26157	0.08553	0.017	0.0209	0.5023
		ผง 10%	0.50612	0.08553	0.010	0.0410	0.9713
		น้ำมัน 2.5%	-0.08819	0.08553	0.066	-0.1702	-0.0061
		น้ำมัน 5%	0.28603	0.08553	0.019	0.0229	0.5491
		น้ำมัน 10%	0.48250	0.08553	0.014	0.0390	0.9260
	ผง 5%	0.0%	0.63509	0.08553	0.005	0.0516	1.2186
		ผง 2.5%	-0.26157	0.08553	0.017	-0.5023	-0.0209
		ผง 10%	0.24454	0.08553	0.002	0.0198	0.4693
		น้ำมัน 2.5%	-0.34976	0.08553	0.004	-0.6711	-0.0284
		น้ำมัน 5%	0.02445	0.08553	0.041	0.0016	0.0473
		น้ำมัน 10%	0.22092	0.08553	0.011	0.0179	0.4239

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ผง 10%	0.0%	0.39055	0.08553	0.007	0.0317	0.7494
		ผง 2.5%	-0.50612	0.08553	0.010	-0.9713	-0.0410
		ผง 5%	-0.24454	0.08553	0.002	-0.4693	-0.0198
		น้ำมัน 2.5%	-0.59430	0.08553	0.001	-1.1403	-0.0483
		น้ำมัน 5%	-0.22009	0.08553	0.002	-0.4223	-0.0179
		น้ำมัน 10%	-0.02362	0.08553	0.081	-0.0455	-0.0017
	น้ำมัน 2.5%	0.0%	0.98485	0.08553	0.002	0.0801	1.8896
		ผง 2.5%	0.08819	0.08553	0.066	0.0061	0.1702
		ผง 5%	0.34976	0.08553	0.004	0.0284	0.6711
		ผง 10%	0.59430	0.08553	0.002	0.0483	1.1403
		น้ำมัน 5%	0.37421	0.08553	0.001	0.0304	0.7180
		น้ำมัน 10%	0.57068	0.08553	0.002	0.0464	1.0950
	น้ำมัน 5%	0.0%	0.61064	0.08553	0.004	0.0496	1.1716
		ผง 2.5%	-0.28603	0.08553	0.019	-0.5491	-0.0229
		ผง 5%	-0.02445	0.08553	0.041	-0.0473	-0.0016
		ผง 10%	0.22009	0.08553	0.002	0.0179	0.4223
		น้ำมัน 2.5%	-0.37421	0.08553	0.001	-0.7180	-0.0304
		น้ำมัน 10%	0.19647	0.08553	0.007	0.0160	0.3770
	น้ำมัน 10%	0.0%	0.61064	0.08553	0.002	0.2301	0.9911
		ผง 2.5%	-0.48250	0.08553	0.014	-0.9260	-0.0390
		ผง 5%	-0.22092	0.08553	0.011	-0.4239	-0.0179
		ผง 10%	0.02362	0.08553	0.081	0.0017	0.0455
		น้ำมัน 2.5%	-0.57068	0.08553	0.002	-1.0950	-0.0464
		น้ำมัน 5%	-0.19647	0.08553	0.007	-0.3770	-0.0160
Elongation	0%	ผง 2.5%	-0.37659	0.12525	0.408	-0.8112	0.0580
		ผง 5%	1.77592	0.12525	0.824	1.5428	2.0090
		ผง 10%	0.12852	0.12525	0.571	-0.1208	0.3779

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	น้ำมัน 2.5%	-0.22332	0.12525	0.759	-0.8148	0.3681
	น้ำมัน 5%	-0.02281	0.12525	0.987	-1.3051	1.2595
	น้ำมัน 10%	0.18550	0.12525	0.190	-0.2187	0.5897
ผง 2.5%	0.0%	0.37659	0.12525	0.408	-0.0580	0.8112
	ผง 5%	0.40850	0.12525	0.248	-0.0005	0.8175
	ผง 10%	0.50511	0.12525	0.148	0.0188	0.9914
	น้ำมัน 2.5%	0.15327	0.12525	0.682	-0.3949	0.7014
	น้ำมัน 5%	0.35378	0.12525	0.752	-0.9586	1.6662
	น้ำมัน 10%	0.56209	0.12525	0.344	-0.0494	1.1736
ผง 5%	0.0%	-0.03191	0.12525	0.824	-0.2650	0.2012
	ผง 2.5%	-0.40850	0.12525	0.248	-0.8175	0.0005
	ผง 10%	0.09661	0.12525	0.295	-0.0189	0.2121
	น้ำมัน 2.5%	-0.25524	0.12525	0.671	-0.8209	0.3104
	น้ำมัน 5%	-0.05473	0.12525	0.966	-1.3211	1.2116
	น้ำมัน 10%	0.15358	0.12525	0.532	-0.1803	0.4874
ผง 10%	0.0%	-0.12852	0.12525	0.571	-0.3779	0.1208
	ผง 2.5%	-0.40850	0.12525	0.148	-0.8948	0.0778
	ผง 5%	0.09661	0.12525	0.295	-0.0189	0.2121
	น้ำมัน 2.5%	-0.25524	0.12525	0.541	-0.8587	0.3482
	น้ำมัน 5%	-0.05473	0.12525	0.902	-1.3256	1.2162
	น้ำมัน 10%	0.15358	0.12525	0.837	-0.1448	0.4520
น้ำมัน 2.5%	0.0%	0.22332	0.12525	0.759	-0.3681	0.8148
	ผง 2.5%	-0.15327	0.12525	0.682	-0.7014	0.3949
	ผง 5%	0.25524	0.12525	0.671	-0.3104	0.8209
	ผง 10%	0.35184	0.12525	0.541	-0.2516	0.9553
	น้ำมัน 5%	0.20051	0.12525	0.788	-1.1740	1.5750
	น้ำมัน 10%	0.40882	0.12525	0.628	-0.2889	1.1066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	น้ำมัน 5%	0.0%	0.02281	0.12525	0.987	-1.2595	1.3051
		ผง 2.5%	-0.35378	0.12525	0.752	-1.6662	0.9586
		ผง 5%	0.05473	0.12525	0.966	-1.2116	1.3211
		ผง 10%	0.15133	0.12525	0.902	-1.1196	1.4222
		น้ำมัน 2.5%	-0.20051	0.12525	0.788	-1.5750	1.1740
		น้ำมัน 10%	0.20831	0.12525	0.890	-1.1026	1.5192
	น้ำมัน 10%	0.0%	-0.18550	0.12525	0.190	-0.5897	0.2187
		ผง 2.5%	-0.56209	0.12525	0.344	-1.1736	0.0494
		ผง 5%	-0.15358	0.12525	0.532	-0.4874	0.1803
		ผง 10%	-0.05698	0.12525	0.837	-0.3554	0.2414
		น้ำมัน 2.5%	-0.40882	0.12525	0.628	-1.1066	0.2889
		น้ำมัน 5%	-0.20831	0.12525	0.890	-1.5192	1.1026
Moisture	0%	ผง 2.5%	2.22170	0.51948	0.0457	0.1454	4.2980
		ผง 5%	3.14455	0.51948	0.0343	0.2313	6.0578
		ผง 10%	5.34460	0.51948	0.0516	0.3374	10.3518
		น้ำมัน 2.5%	1.89745	0.51948	0.0544	0.1135	3.6814
		น้ำมัน 5%	3.35555	0.51948	0.0100	0.2243	6.4868
		น้ำมัน 10%	5.64630	0.51948	0.1037	0.3775	10.9151
	ผง 2.5%	0.0%	-2.22170	0.51948	0.0457	-4.2980	-0.1454
		ผง 5%	0.92285	0.51948	0.0067	0.0527	1.7930
		ผง 10%	3.12290	0.51948	0.1196	0.1078	6.1380
		น้ำมัน 2.5%	-0.32425	0.51948	0.0058	-0.6842	0.0357
		น้ำมัน 5%	1.13385	0.51948	0.1180	0.0010	2.2667
		น้ำมัน 10%	3.42460	0.51948	0.1406	0.1614	6.6878
	ผง 5%	0.0%	-3.14455	0.51948	0.0343	-6.0578	-0.2313
		ผง 2.5%	-0.92285	0.51948	0.0067	-1.7930	-0.0527
		ผง 10%	2.20005	0.51948	0.1704	-0.0229	4.4230

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	น้ำมัน 2.5%	-1.24710	0.51948	0.0035	-2.4090	-0.0852
	น้ำมัน 5%	0.21100	0.51948	0.5167	-0.2709	0.6929
	น้ำมัน 10%	2.50175	0.51948	0.1875	0.0464	4.9571
ผง 10%	0.0%	-5.34460	0.51948	0.0516	-10.3518	-0.3374
	ผง 2.5%	-3.12290	0.51948	0.1196	-6.1380	-0.1078
	ผง 5%	-2.20005	0.51948	0.1704	-4.4230	0.0229
	น้ำมัน 2.5%	-3.44715	0.51948	0.1091	-6.7468	-0.1475
	น้ำมัน 5%	-1.98905	0.51948	0.1205	-4.0760	0.0979
	น้ำมัน 10%	0.30170	0.51948	0.8612	-0.9808	1.5842
น้ำมัน 2.5%	0.0%	-1.89745	0.51948	0.0544	-3.6814	-0.1135
	ผง 2.5%	0.32425	0.51948	0.0058	-0.0357	0.6842
	ผง 5%	1.24710	0.51948	0.0035	0.0852	2.4090
	ผง 10%	3.44715	0.51948	0.1704	0.1475	6.7468
	น้ำมัน 5%	1.45810	0.51948	0.0935	0.0469	2.8693
	น้ำมัน 10%	3.74885	0.51948	0.1283	0.1977	7.3000
น้ำมัน 5%	0.0%	-3.35555	0.51948	0.0100	-6.4868	-0.2243
	ผง 2.5%	-1.13385	0.51948	0.1180	-2.2667	-0.0010
	ผง 5%	-0.21100	0.51948	0.5167	-0.6929	0.2709
	ผง 10%	1.98905	0.51948	0.1205	-0.0979	4.0760
	น้ำมัน 2.5%	-1.45810	0.51948	0.0935	-2.8693	-0.0469
	น้ำมัน 10%	2.29075	0.51948	0.2576	-0.0191	4.6006
น้ำมัน 10%	0.0%	-5.64630	0.51948	0.1037	-10.9151	-0.3775
	ผง 2.5%	-3.42460	0.51948	0.1406	-6.6878	-0.1614
	ผง 5%	-2.50175	0.51948	0.1875	-4.9571	-0.0464
	ผง 10%	-0.30170	0.51948	0.8612	-1.5842	0.9808
	น้ำมัน 2.5%	-3.74885	0.51948	0.1283	-7.3000	-0.1977
	น้ำมัน 5%	-2.29075	0.51948	0.2576	-4.6006	0.0191

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวนภัสวรรณ อ้นมณี  
 รหัสนักศึกษา 62010460  
 วัน เดือน ปีเกิด 30 เมษายน 2544  
 ที่อยู่ 107/2 หมู่ 12 ต.บางยาง อ.กระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร  
 74110 โทร. 0926546416  
 ประวัติการศึกษา 2562-ปัจจุบัน ปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ-นามสกุล นายพีรตน์ บุญเกิด  
 รหัสนักศึกษา 62010646  
 วัน เดือน ปีเกิด 27 ธันวาคม 2543  
 ที่อยู่ 13/50 ซ.นวมินทร์ 74 แขวงรามอินทรา เขตคันนายาว กรุงเทพมหานคร  
 10230  
 ประวัติการศึกษา 2562-ปัจจุบัน ปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง