



# โครงการ การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การพัฒนาฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย

ชื่อนิสิต นายกฤตนัย วิจิตรานนท์  
นางสาวณัฏฐณิชา จำจิตรชื่น

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร  
ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# การพัฒนาฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย

โดย

นายกฤษณ์ วิจิตรานนท์

นางสาวณัฐณิชา นัจจิตรชื่น

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรมหา คงเป็นสุข

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประจำปีการศึกษา 2563



# DEVELOPMENT OF COCONUT MILK FILM FOR THAI DESSERTS

Krittanaï Vichitrananda

Nuttanicha Chumjitchuen

Project Advisor

Asst. Prof. Varapha Kongpensook, Ph.D

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
For the Degree of Bachelor of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

หัวข้อวิจัย การพัฒนาฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย  
โดย นายกฤตชัย วิจิตรานนท์  
นางสาวณัฐธิดา ฉ่ำจิตรชื่น  
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรมหา คงเป็นสุข  
ปีการศึกษา 2563

---

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
อนุมัติให้รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร  
ประจำปีการศึกษา 2563

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ชนานวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรมหา คงเป็นสุข)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้อวิจัย	การพัฒนาฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย
โดย	นายกฤตชัย วิจิตรานนท์ นางสาวณัฐธัญญา ฉ่ำจิตรชื่น
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรภา คงเป็นสุข
ปีการศึกษา	2563

---

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย โดยใช้มอลโทเดกซ์ทรินผสมแซนแทนกัมเป็นสารก่อฟิล์มหลัก สารละลายก่อฟิล์มจากมอลโทเดกซ์ทรินความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและแซนแทนกัม ร้อยละ 0.5 ผสมกับน้ำกะทิสูตรพื้นฐาน (หางกะทิผสมน้ำตาลมะพร้าว อัตราส่วน 70:30) โดยอัตราส่วนสารก่อฟิล์มต่อสารละลายน้ำกะทิเป็น 35:65 จากนั้นขึ้นรูปฟิล์มด้วยการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง พบว่า แผ่นฟิล์มน้ำกะทิมีความแข็งแรง ไม่เปราะแตกง่าย มีความยืดหยุ่น สามารถลอกออกจากถาดได้ง่าย และมีความสามารถในการละลายน้ำกลับ ขั้นตอนที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบสูตรสารละลายน้ำกะทิ 6 สูตร โดยแปรชนิดของน้ำกะทิ (หัวกะทิและหางกะทิ) และแปรชนิดของน้ำตาล 2 ชนิด เป็น 3 สัดส่วน ได้แก่ น้ำตาลมะพร้าว น้ำตาลทราย และ น้ำตาลมะพร้าวผสมกับน้ำตาลทราย (1:1) พบว่า ทุกสูตรสามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ โดยค่าความหนา ค่าความชื้น ค่าปริมาณน้ำอิสระ ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าการยืดตัว ค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 1 นาที และ 2 นาที ของ ฟิล์มน้ำกะทิทั้ง 6 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.05$ ) แต่มีความแตกต่างกันในค่าสีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากสีของน้ำตาลมะพร้าวที่สีออกน้ำตาลและมีค่าน้ำตาลทราย จากเหตุผลที่หางกะทิมีส่วนไขมันน้อยกว่าหัวกะทิ และน้ำตาลปี๊บที่มีกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์ จึงได้คัดเลือกสูตรที่ใช้หางกะทิร่วมกับน้ำตาลมะพร้าว และสูตรที่ใช้หางกะทิร่วมกับน้ำตาลมะพร้าวผสมน้ำตาลทราย (1:1) เพื่อพัฒนาและปรับปรุงสูตรของผลิตภัณฑ์ฟิล์มน้ำกะทิต่อไป โดยการแปรสูตรน้ำกะทิและน้ำตาลที่ได้คัดเลือกไว้ กับแปรสัดส่วนของซอร์บิทอลทดแทนน้ำตาล 3 สัดส่วน ได้แก่ 0.00% 3.25% และ 6.50% พบว่าสามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ และฟิล์มมีลักษณะปรากฏที่ดีขึ้น โดยค่าความหนา ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าการยืดตัว ค่าความชื้น และค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 1 นาที ของฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุงทั้ง 6 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.05$ ) พบว่าปริมาณน้ำอิสระ ของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญขึ้นอยู่กับสัดส่วนของซอร์บิทอล ( $p < 0.05$ ) ค่าความสามารถในการละลายน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีสัดส่วนของซอร์บิทอลสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ในการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ พบว่า ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ชอบสารละลายน้ำกะทิหลังการละลายของสูตรน้ำตาลปี๊บ (น้ำตาลมะพร้าว) มากกว่า แต่ควรต้องปรับปรุงในด้านการละลายน้ำกลับ

<b>Project Title</b>	Development of coconut milk film for Thai desserts
<b>Student</b>	Krittanai Vichitrananda Nuttanicha Chumjitchuen
<b>Student Program</b>	Bachelor of Science in Food Technology
<b>Advisor</b>	Asst. Prof. Varapha Kongpensook, Ph.D
<b>Academic Year</b>	2020

---

### ABSTRACT

The aim of this research was to develop an instant coconut milk for Thai desserts in the form of edible film product. Maltodextrin and xanthan gum were applied as the film forming agents. The film forming solution, 30% w/w maltodextrin with 0.5% xanthan gum was mixed with the basic coconut milk solution (coconut milk mix with coconut sugar, 70:30) in the ratio of 35:65. After drying at 60 °C for 14 hours, the film was strong, flexible, easily to peel off and dissolvable. The 2<sup>nd</sup> part, the 6 formulas of maltodextrin based films were prepared by varying the formulas or sweeten coconut milk solution, using 2 types of coconut milk (full fat and undiluted coconut milk) and 3 types of sugar (coconut sugar, white cane sugar and the mixture of coconut and white sugar (1:1)). The results showed that all 6 films were not significant difference ( $p \geq 0.05$ ) in thickness, moisture content, water activity, tensile strength, % elongation and % solubility at 1 and 2 minutes. The films were significant difference ( $p < 0.05$ ) in color values because the color of coconut sugar is darker and brown. Because the coconut sugar has a unique flavor and the fewer lipid content of the diluted coconut milk, the diluted coconut milk mixed with coconut sugar or mixed with coconut and white sugar (1:1) were selected for the next parts. The sorbitol was added into 3 levels (0.00%, 3.25% and 6.50%) and studied by substitution the sugar in the formula. The results showed that the films were capable to form film sheets, have a better appearance and no significant difference ( $p \geq 0.05$ ) in thickness, moisture content, tensile strength, % elongation and % solubility at 1 minute. There was a significant difference ( $p < 0.05$ ) in water activity due to the sorbitol proportion. The film solubility significantly increases by the sorbitol substitution ( $p < 0.05$ ). The acceptance test of the films with 6.50% sorbitol substitution showed the formula with coconut sugar was preferred, but the solubility of the film was need to be improved.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนตามหลักสูตรปริญญาบัณฑิตของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยงานวิจัยนี้ได้เงินทุนสนับสนุนด้านงบประมาณจากโครงการการเรียนการสอนเพื่อประสบการณ์ ปีการศึกษา 2563 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยนี้จักเสร็จสมบูรณ์ได้ ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภา คงเป็นสุข ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงการ เป็นอย่างสูง ที่คอยให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ ตลอดจนการช่วยเหลือและแก้ไขสิ่งผิดพลาดต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.ศานต์ เศรษฐชัยมงคล อาจารย์ผู้ประสานงานรายวิชา 2314499 Senior Project ที่เป็นอาจารย์ผู้ช่วยเหลือ แจ้งข่าวสารการทำงาน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือและติดตามงานนิสิต ตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน ที่ให้ความรู้อันมีค่าและประสบการณ์การทำงานปฏิบัติการแก่ผู้วิจัยตลอดหลักสูตร

ขอขอบพระคุณหัวหน้าห้องปฏิบัติการ บุคลากร นิสิตปริญญาโท ตลอดจนเพื่อนนิสิตปริญญาตรี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือ ความสะดวกต่าง ๆ รวมถึงการให้กำลังใจและการช่วยเหลือที่ดีในทุก ๆ ด้านตลอดการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา และงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องต่อไปในอนาคต

นายกฤตชัย วิจิตรานนท์

นางสาวณัฐธินิชา ฉ่ำจิตรชื่น

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขต/กรอบแนวคิดของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	3
2.1 กะทิ	3
2.1.1 คุณสมบัติของกะทิ	4
2.1.2 ชนิดของน้ำกะทิในอุตสาหกรรม	5
2.2 น้ำตาล	6
2.2.1 น้ำตาลซูโครส หรือ น้ำตาลทราย	6
2.2.2 น้ำตาลบีบ (น้ำตาลมะพร้าว)	7
2.3 फिल्मและสารเคลือบบริโภคได้	8
2.3.1 ชนิดของฟิล์มบริโภคได้	8
2.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบริโภคได้	10
2.3.3 กลไกการเกิดฟิล์ม	11
2.3.4 กระบวนการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม	11
2.4 มอลโทเดกซ์ทริน	12
2.5 แชนแทนกัม	13
2.6 พลาสติไซเซอร์	14
2.7 ซอร์บิทอล	15
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย	16
3.1 วัสดุดิบ วัสดุ อุปกรณ์	16

3.1.1	วัตถุดิบ	16
3.1.2	สารเคมี	16
3.1.3	อุปกรณ์และเครื่องมือ	16
3.2	วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.2.1	การศึกษาสารก่อฟิล์มสูตรควบคุม และการหาเวลาการขึ้นรูปฟิล์มน้ำกะทิ	18
3.2.2	การศึกษาผลของของสูตรน้ำกะทิ ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของฟิล์มน้ำกะทิ	18
3.2.3	การพัฒนาสูตรของฟิล์มน้ำกะทิ ด้วยการเติมซอร์บิทอลเพื่อเป็นพลาสติกไซเซอร์และลดปริมาณน้ำตาล	21
3.2.4	การทดสอบความยอมรับ ทางประสาทสัมผัส (Acceptance test) ของผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย	22
บทที่ 4	ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	24
4.1	การศึกษาสารก่อฟิล์มสูตรควบคุม และการหาเวลาการขึ้นรูปฟิล์มน้ำกะทิ	24
4.2	การศึกษาผลของของสูตรน้ำกะทิ ต่อสมบัติทางกายภาพ และเคมีของฟิล์มน้ำกะทิ	25
4.2.1	สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารละลายน้ำกะทิ	25
4.2.2	สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารละลายน้ำกะทิผสมสารก่อฟิล์ม	27
4.2.3	สมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ	29
4.3	การพัฒนาสูตรของฟิล์มน้ำกะทิ ด้วยการเติมซอร์บิทอล เพื่อเป็นพลาสติกไซเซอร์และลดปริมาณน้ำตาล	35
4.3.1	สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำกะทิสูตรปรับปรุง	36
4.3.2	สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำกะทิสูตรปรับปรุงผสมสารก่อฟิล์ม	38
4.3.3	สมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง	40
4.4	การทดสอบความยอมรับ และทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย	47



บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ระยะเวลาการทำแห้งของฟิล์มน้ำกะทิ	57
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของน้ำกะทิ	58
ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์สมบัติของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ	59
ภาคผนวก ง ตารางทดสอบประเมินผลทางประสาทสัมผัส	63
ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านต่าง ๆ ของสารละลายฟิล์มน้ำกะทิและแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ	66
ภาคผนวก ฉ ผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่ใช้เป็นวัตถุดิบ	70
ประวัติผู้วิจัย	72

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ข้อมูลโภชนาการของน้ำกะทิสำเร็จรูป ตรา ชาวเกาะ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร	4
3.1	สัดส่วนสูตรสารละลายน้ำกะทิ	19
3.2	สัดส่วนสูตรสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุง	22
4.1	คะแนนความชอบในด้านคุณลักษณะของแผ่นฟิล์มน้ำกะทีก่อนการละลาย	47
4.2	คะแนนความชอบในด้านการละลายของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ	48
4.3	คะแนนความชอบในด้านคุณลักษณะน้ำกะทิสำหรับขนมไทยที่ละลายได้จากแผ่น	48
4.4	คะแนนความคิดเห็นในด้านความน่าสนใจของผลิตภัณฑ์ และการยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ ของผู้ทดสอบ	49
ก.1	ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (ความชื้น) ของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิในระหว่างการอบ	57
จ.1	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารละลายน้ำกะทิที่ไม่ผสมสารก่อฟิล์ม	66
จ.2	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารละลายน้ำกะทิที่ผสมสารก่อฟิล์ม	66
จ.3	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ	67
จ.4	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุง ที่ไม่ผสมสารก่อฟิล์ม	68
จ.5	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุง ผสมสารก่อฟิล์ม	68
จ.6	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง	69

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของเซนแทนกัม	14
3.1	กล่องพัสดุสำหรับผู้ร่วมทดสอบทางประสาทสัมผัส	22
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ความชื้น (wet basis) ของแผ่นฟิล์มกับเวลา	24
4.2	ค่าความหนืดของสารละลายน้ำกะทิก่อนการผสมมอลโทเดกซ์ทริน	25
4.3	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของสารละลายน้ำกะทิ ก่อนการผสมมอลโทเดกซ์ทริน	26
4.4	ค่าความ pH ของสารละลายน้ำกะทิก่อนการผสมมอลโทเดกซ์ทริน	26
4.5	ค่าความหนืดของสารละลายน้ำกะทิล้างการผสมมอลโทเดกซ์ทริน	27
4.6	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของสารละลายน้ำกะทิ หลังการผสมมอลโทเดกซ์ทริน	28
4.7	ค่า pH ของสารละลายน้ำกะทิล้างการผสมมอลโทเดกซ์ทริน	28
4.8	ค่าความหนาของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร	29
4.9	ค่าปริมาณน้ำอิสระของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร	30
4.10	ค่าความชื้นของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร	30
4.11	ค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร	31
4.12	ค่าการยืดตัวของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร	31
4.13	ค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 1 นาทีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร	32
4.14	ค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 2 นาทีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร	33
4.15	ค่าความสว่างของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร	34
4.16	ค่าสีแดงของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร	34
4.17	ค่าสีเหลืองของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร	35
4.18	ค่าความหนืดของสารละลายน้ำกะทิสู่ตรปรับปรุ้งก่อนการผสมมอลโทเดกซ์ทริน	36

ภาพที่	หน้า
4.19 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุง ก่อนการผสมมอลโทเดกซ์ทริน	37
4.20 ค่า pH ของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงก่อนการผสมมอลโทเดกซ์ทริน	37
4.21 ค่าความหนืดของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงหลังการผสมมอลโทเดกซ์ทริน	38
4.22 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุง หลังการผสมมอลโทเดกซ์ทริน	39
4.23 ค่า pH ของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงหลังการผสมมอลโทเดกซ์ทริน	39
4.24 ค่าความหนาของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร	40
4.25 ค่าความชื้นของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร	41
4.26 ค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร	42
4.27 ค่าการยืดตัวของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร	42
4.28 ค่าปริมาณน้ำอิสระของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร	43
4.29 ค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 1 นาที่ของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร	44
4.30 ค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 2 นาที่ของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร	44
4.31 ค่าความสว่างของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร	45
4.32 ค่าสีแดงของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร	46
4.33 ค่าสีเหลืองของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร	46
ฉ.1 ฉลากผลิตภัณฑ์น้ำกะทิสสำเร็จรูป ตรา ชาวเกาะ บริษัท อัมพลฟู๊ดส์ โพรเซสซิง จำกัด	70
ฉ.2 ฉลากผลิตภัณฑ์น้ำกะทิสสำเร็จรูป สูตรหัวกะทิ ตรา ชาวเกาะ บริษัท อัมพลฟู๊ดส์ โพรเซสซิง จำกัด	70
ฉ.3 ฉลากผลิตภัณฑ์น้ำตาลทราย ตรา ลิน กลุ่มบริษัทน้ำตาลไทยรุ่งเรือง	70
ฉ.4 ฉลากผลิตภัณฑ์น้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ตรา มิตรผล บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด	71

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ขนมไทยเป็นอาหารที่อยู่คู่สำรับอาหารไทยมาตั้งแต่ครั้งอดีตกาล ก่อกำเนิดมาจากภูมิปัญญาไทยที่มีความหลากหลาย เป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่สำคัญของคนไทย โดยขนมไทยนั้นมีหลากหลายประเภท หลากหลายรูปแบบ สามารถทำมาจากวัตถุดิบท้องถิ่นหลากหลายอย่าง ซึ่งมีวัตถุดิบหนึ่งที่สำคัญและถูกใช้เป็นอย่างดีประกอบในขนมไทยอย่างแพร่หลายนั่นคือ มะพร้าวและน้ำกะทิ

กะทิหรือน้ำกะทิ เป็นของเหลวสีขาวขุ่น ได้จากการคั้นหรือสกัดส่วนเนื้อของมะพร้าว ใช้เป็นองค์ประกอบหลักของอาหารและขนมไทยหลายประเภท เนื่องจากกะทิ เป็นสิ่งที่มีลักษณะและเอกลักษณ์หลายอย่างที่เฉพาะตัว ไม่ว่าจะเป็นสีขาว กลิ่นหอมมัน และรสชาติของน้ำกะทิ โดยไขมันในกะทิเป็นองค์ประกอบหลักที่ส่งผลในด้านกลิ่นรส ทำให้อาหารและขนมไทยมีเนื้อสัมผัสและรสชาติที่มีเอกลักษณ์โดดเด่น เนื่องจากกะทิตั้งเดิมมีความยุ่งยากในการจัดเตรียม และมีอายุการเก็บที่สั้นมาก โดยในปัจจุบันอุตสาหกรรมได้มีการนำกะทิมาแปรรูปให้เป็นน้ำกะทิในหลากหลายรูปแบบเพื่อยืดอายุการเก็บ ไม่ว่าจะเป็นน้ำกะทิพาสเจอร์ไรซ์ น้ำกะทิกระป๋อง หรือกะทิรูปแบบผง ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพด้านประสาทสัมผัสที่แตกต่างกัน แต่ยังคงขาดความสะดวกในการใช้ หรือการพกพา ผู้วิจัยจึงต้องการพัฒนาน้ำกะทิปรุงรสสำหรับขนมไทยในรูปแบบแผ่นฟิล์มละลายน้ำได้ ซึ่งจะช่วยเรื่องความสะดวกในการใช้งานที่สามารถดูน้ำคืนกลับได้ง่าย การพกพาที่ง่ายเพราะมีขนาดและน้ำหนักเบา และอายุการเก็บที่มากขึ้น เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ที่สะดวกมากขึ้นแก่ผู้บริโภค

#### วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมและการขึ้นรูปฟิล์มแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย โดยศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำกะทิ ชนิดน้ำตาลและสัดส่วนน้ำตาลต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย และศึกษาอิทธิพลของพลาสติกไซเซอร์ ซอร์บิทอล ต่อการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย

### ขอบเขต/กรอบแนวคิดของการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการผลิตน้ำกะทิและศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำกะทิในรูปแบบสดและพาสเจอร์ไรซ์
2. ศึกษาผลของการขึ้นฟิล์มโดยปรับปรุงสูตรให้มีน้ำกะทิและน้ำตาลที่ต่างชนิดกัน วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ
3. ศึกษาผลการวิเคราะห์และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มทางเลือกและความสะดวกให้กับผู้บริโภค
2. เพื่อคงไว้และพัฒนาผลิตภัณฑ์ของไทยให้มีความก้าวหน้า
3. เพื่อลดขยะที่จะเกิดขึ้นจากการใช้พลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์

## บทที่ 2

### วารสารปริทัศน์

#### 2.1 กะทิ

น้ำกะทิ (coconut milk) คือ เป็นของเหลวสีขาวขุ่นที่ได้จากการบีบคั้นหรือ สกัด (extraction) ส่วนเนื้อแก่ของมะพร้าว โดยอาจไม่เติมน้ำหรือเติมน้ำขณะสกัด มีกลิ่นรสเฉพาะตัวของมะพร้าว (nutty flavor) ส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำกะทิ คือ น้ำมัน น้ำ โปรตีน น้ำตาล และแร่ธาตุอื่น ๆ (ตารางที่ 2.1) อยู่รวมกันเป็นอิมัลชัน ชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) โดยมีโปรตีนทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำกะทิที่มีปริมาณน้ำมันมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีน โปรตีนไม่เพียงพอที่จะดึงน้ำมันให้กระจายแขวนลอยอยู่ทั่วไป เมื่อตั้งทิ้งไว้จะแยกเป็นชั้น โดยความหนาของชั้นน้ำมันด้านบนแสดงถึงความเข้มข้น สัดส่วนขององค์ประกอบในกะทิขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สายพันธุ์ อายุ สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต กระบวนการเตรียมและวิธีการแยก กะทิ องค์ประกอบของกะทิประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 50.0 – 54.0 ไขมันร้อยละ 32.0 – 40.0 โปรตีนร้อยละ 2.8 – 4.4 เกลือร้อยละ 1.0 – 1.5 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 5.5 – 8.3 โดยวัดในช่วงอุณหภูมิ 10 – 80 องศาเซลเซียส จึงถือว่ากะทิเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low- acid food) (เทพกัญญา หาญศีลวัต, 2558) กะทิเข้มข้นที่คั้นน้ำแรก มีส่วนผสมของน้ำเล็กน้อย มีสีขาวขุ่น ลักษณะขุ่นหนืด มีปริมาณไขมันมาก เรียกว่า หัวกะทิ ส่วนหางกะทิ คือ น้ำที่ผ่านการคั้นกะทิ 2-3 ครั้ง มีลักษณะขาวใส ขุ่นหนืดน้อย มีปริมาณไขมันน้อยกว่า



ตาราง 2.1 ข้อมูลโภชนาการของน้ำกะทิสำเร็จรูป ตรา ชาวเกาะ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

ข้อมูลโภชนาการ			
หนึ่งหน่วยบริโภค: 1/3 ถ้วยตวง (80 มล.)			
จำนวนหน่วยบริโภคต่อกล่อง: ประมาณ 12			
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค			
พลังงานทั้งหมด 140 กิโลแคลอรี พลังงานจากไขมัน 140 กิโลแคลอรี			
*ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน			
ไขมันทั้งหมด 15 ก.			23%
ไขมันอิ่มตัว 12 ก.			60%
ไขมันชนิดทรานส์ 0 ก.			
โคเลสเตอรอล 0 มก.			0%
โปรตีน 1 ก.			
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 1 ก.			0%
ใยอาหาร 0 ก.			0%
น้ำตาล 1 ก.			
โซเดียม 25 มก.			1%
วิตามินเอ	0%	วิตามินบี 1	0%
วิตามินบี 2 (Vitamin B2)	0%	แคลเซียม	0%
เหล็ก	4%		
*ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี			

### 2.1.1 คุณสมบัติของกะทิ

น้ำกะทิจัดเป็นคอลลอยด์อาหารประเภทอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ระบบอิมัลชันประกอบด้วยอนุภาคน้ำมันมะพร้าวกระจายแขวนลอยในวัฏภาคน้ำ เมื่อนำน้ำกะทิมาส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์สังเกตพบกลุ่มอนุภาคน้ำมันทรงกลมล้อมรอบด้วยโปรตีน โปรตีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในน้ำกะทิ เพราะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์หลักตามธรรมชาติ ช่วยให้อนุภาคน้ำมันมะพร้าวสามารถแขวนลอยในน้ำ โปรตีนซึ่งมีประจุทำหน้าที่ป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคน้ำมัน โดยทำให้เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Repulsion) และแรงผลักแบบสเตอริก (Steric Repulsion) ระหว่างอนุภาคน้ำมัน ในน้ำกะทิมีโปรตีนประมาณ 3-4% โปรตีนสองชนิดหลัก คือโปรตีนไกลบูลินและโปรตีนแอลบูมิน มีน้ำหนักโมเลกุล ตั้งแต่ 14,000-52,000 มีค่า pI เท่ากับ 3.5-4 หมู่กรดอะมิโนที่มีปริมาณสูงคือ กรดกลูตมิก อาร์จินีน และกรดแอสปาร์ติก ประมาณ 30% ของโปรตีนละลายอยู่ในวัฏภาคน้ำ และที่เหลือเกาะบนอนุภาคน้ำมัน (Seow and Gwee, 1997) จากงานวิจัยพบว่าบนอนุภาคน้ำมันประกอบด้วยโปรตีน 7 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร (Tangsuphoom and Coupland, 2009)

อิมัลชันกะทิมีลักษณะไม่คงตัว อนุภาคน้ำมันอาจเกาะกันเป็นกลุ่ม เมื่อตั้งอิมัลชันกะทิทิ้งไว้ ระยะเวลาหนึ่งอนุภาคน้ำมันลอยแยกเป็นชั้นครีมสีขาวด้านบนและเหลือชั้นน้ำด้านล่างเนื่องจากน้ำมันมีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ ในบางกรณีอนุภาคน้ำมันอาจรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น และสลายตัวเป็นชั้นน้ำมันในท้ายที่สุด ซึ่งลักษณะไม่คงตัวของระบบอิมัลชันของน้ำกะทิเป็นปัญหาที่สำคัญในการผลิตน้ำกะทิระดับอุตสาหกรรม

จากงานวิจัยได้ศึกษาอิทธิพลการแปรค่า pH และ ความเข้มข้นเกลือต่อลักษณะอิมัลชันกะทิ พบว่าอนุภาคน้ำมันเกาะกลุ่มกันเมื่อ pH เท่ากับ 3.5-4 หรือที่ ค่า pI ของโปรตีนในกะทิ ทั้งนี้ โปรตีนบนอนุภาคน้ำมันมีค่าประจุเข้าใกล้ศูนย์ที่ค่า pH ดังกล่าว ทำให้ลดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิตระหว่างอนุภาคน้ำมัน และพบว่าอนุภาคน้ำมันเกาะกลุ่มกันเมื่อเติมเกลือ NaCl ที่ความเข้มข้นมากกว่า 50 มิลลิโมลลิตริ ในสภาวะที่ pH ต่ำกว่าค่า pI ทั้งนี้เกลือทำหน้าที่ลดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิตระหว่างอนุภาคน้ำมัน (Tangsuphoom and Coupland, 2008)

### 2.1.2 ชนิดของน้ำกะทิในอุตสาหกรรม

ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่ต้องการใช้น้ำกะทิในปริมาณมาก ก็สามารถใช้น้ำกะทิอุตสาหกรรมเป็นการลดภาระในการเตรียมน้ำกะทิทั้งเป็นการกระจายรายได้อีกด้วย น้ำกะทิอุตสาหกรรม แบ่งได้เป็น 5 แบบคือ น้ำกะทิสด น้ำกะทิพาสเจอร์ไรซ์ น้ำกะทิบรรจุกระป๋อง น้ำกะทิบรรจุกระป๋องยูเอชที และกะทิผง (นิธิยา รัตนาปนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2559)

น้ำกะทิสด ได้จากการคั้นน้ำกะทิด้วยเครื่อง แล้วเก็บรักษาด้วยความเย็นที่อุณหภูมิตู้เย็นปกติ (ประมาณ 5 องศาเซลเซียส) ความเย็นสามารถรักษาน้ำกะทิจากการเน่าเสีย สามารถเก็บรักษาได้นาน 1-2 วัน แต่รสชาติจะเปลี่ยนไปเล็กน้อยจึงนิยมจำหน่ายวันต่อวัน อุตสาหกรรมที่ใช้น้ำกะทิสดคือ อุตสาหกรรมทำไอศกรีม อุณหภูมิห้องเย็นในการเก็บรักษาต้องไม่ต่ำเกินไปจนเกิดผลึกน้ำแข็ง เพราะจะทำให้เนื้อสัมผัสของน้ำกะทิเปลี่ยนไป คือ มีตะกอนโปรตีนแยกตัวและให้ลักษณะเนื้อเป็นทราย การขนส่งจะต้องรักษาอุณหภูมิด้วยเช่นกันเนื่องจากมีความเสี่ยงจากการเน่าเสียมาก และเนื่องจากเป็นสินค้าสำหรับอุตสาหกรรมจึงบรรจุในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ เช่น 10 กิโลกรัม บรรจุซ้อนในลังพลาสติกเพื่อความแข็งแรงระหว่างการเก็บรักษาและขนส่ง

น้ำกะทิพาสเจอร์ไรซ์ เป็นน้ำกะทิสดที่นำมาให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค โดยพาสเจอร์ไรซ์ผ่านเครื่องแบบ plate heat exchanger ที่อุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 วินาที จากนั้นจึงนำมา cooling (บริษัท อัมพลฟู๊ดส์ โพรเซสส์ จำกัด, 2558) แต่เชื่อที่เหลือยังสามารถเจริญได้จึงต้องเก็บในห้องเย็นเหมือนน้ำกะทิสด แต่ความเสี่ยงในการเน่าเสียน้อยกว่าจึงสามารถเก็บรักษาได้นาน 4-6 วัน การขนส่งและการวางจำหน่ายควรใช้อุณหภูมิต่ำ น้ำกะทิพาสเจอร์ไรซ์นี้มีบรรจุถุงพลาสติกขนาดต่าง ๆ คือ 250 กรัม 500 กรัม และ 1,000 กรัม เพื่อใช้ในครอบครัว และบรรจุขนาด 10 กรัม เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมแกงบรรจุกระป๋อง

น้ำกะทิบรรจุกระป๋อง เป็นน้ำกะทิที่ผ่านกระบวนการบรรจุกระป๋อง ปิดฝา แล้วทำให้ปลอดเชื้อทางการค้า (commercial sterilization) โดยจะนิยมการฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลส์ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียสภายใต้ความดัน ในกรณีของเครื่องฆ่าเชื้อภายใต้ความดันที่ใช้ไอน้ำเป็นตัวกลางในการให้ความร้อนที่ 121.1 องศาเซลเซียส มีค่าความดันประมาณ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2016) เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาตามปกติ ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่ต้องเก็บในที่เย็น ส่งไปจำหน่ายในต่างประเทศได้

น้ำกะทิกล่องยูเอชที เป็นน้ำกะทิผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยระบบความร้อนสูงระยะเวลาสั้น โดยนิยมใช้อุณหภูมิมากกว่า 139 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วินาที แล้วบรรจุในกล่องที่ผ่านการฆ่าเชื้อมาแล้ว ระยะเวลาให้ความร้อนสั้นทำให้คงสภาพคล้ายน้ำกะทิสดมาก แต่อายุการเก็บรักษาจะสั้นกว่าแบบบรรจุกระป๋อง และกล่องกระดาษไม่แข็งแรงเท่ากระป๋อง จึงอาจมีการเน่าเสียเกิดขึ้นจากกล่องกระดาษชำรุดได้

กะทิผง เป็นน้ำกะทิที่นำมาทำให้แห้งเป็นผงละเอียด โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) น้ำกะทิโดยธรรมชาติมีน้ำมันเป็นส่วนประกอบอยู่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมโค จึงไม่สามารถทำให้แห้งได้เหมือนนมผง ดังนั้นต้องเติมสารเพิ่มปริมาณของแข็งคือ สารมอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin) เครื่องทำแห้งมีอุปกรณ์ฉีดน้ำกะทิให้เป็นละอองฝอยเข้ามาในห้องอบ และสัมผัสกับลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 160-180 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำระเหยออกจากละอองของเหลวอย่างรวดเร็วได้ เป็นอนุภาคผงที่มีขนาดเล็ก กะทิผงมีความชื้นต่ำจึงเก็บรักษาได้นานไม่เน่าเสียแต่ต้องเก็บในภาชนะป้องกันความชื้น เช่น ในถุงอลูมิเนียมพอยล์ หรือกระป๋องที่มีฝาปิดสนิท เนื่องจากกะทิผงดูดความชื้นได้ดีทำให้เกาะตัวเป็นก้อน

## 2.2 น้ำตาล

น้ำตาล (Sugar) จัดเป็นสารชีวโมเลกุลคาร์โบไฮเดรต ประเภทน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและน้ำตาลโมเลกุลคู่ประเภทสารให้พลังงานที่มีรสหวาน ละลายได้ดีในน้ำได้ นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน อาทิ ใช้ปรุงอาหาร ใช้เป็นอาหารเสริมให้แก่ร่างกาย ชนิดของน้ำตาลที่นำมาใช้ประโยชน์มาก ได้แก่ น้ำตาลซูโครส หรือน้ำตาลทราย (สยามเคมี)

### 2.2.1 น้ำตาลซูโครส หรือ น้ำตาลทราย

เป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ผลิตจากอ้อย (sugar cane) ในเขตร้อน (ประมาณ 60%) และผลิตจากหัวบีท (beet root) ในเขตอบอุ่น (ประมาณ 40%) โดยมีกรรมวิธีการผลิตที่คล้ายกัน คือ การสกัดเอาสารละลายน้ำตาล นำมากรอง ต้มระเหยน้ำออก และสุดท้ายเป็นการตกผลึกได้เป็นก้อนน้ำตาลขนาดเล็ก

น้ำตาลเป็นสารให้ความหวานที่มีคุณค่าทางโภชนา และสามารถแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ รสหวานของน้ำตาลเกิดจากรสของต่อมรับรสบริเวณปลายลิ้นด้านบน ค่าความหวานของน้ำตาลจะใช้ค่าความหวานของน้ำตาลซูโครสเป็นมาตรฐานเปรียบเทียบกับความหวานของน้ำตาลอื่น ๆ เนื่องจากน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลที่หวานมากที่สุดในบรรดาน้ำตาลทุกชนิด รองลงมาจะเป็นน้ำตาลกลูโคส มอลโทส และกาแลคโทส

น้ำตาลสามารถละลายได้ดีในน้ำ ปริมาณการละลายได้มากถึง 100% ขึ้นกับความเข้มข้นและอุณหภูมิ หากมีความเข้มข้นมากจะละลายได้น้อยลง หากมีอุณหภูมิสูงจะละลายได้มากขึ้นเช่นกัน ความสามารถในการละลายน้ำของน้ำตาล เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย คือ ฟรุคโทส, ซูโครส, กลูโคสกับมอลโทส และแลคโทส

การให้สารสีน้ำตาลในอาหาร สารสีน้ำตาลที่มาจากน้ำตาลเป็นรงควัตถุที่เกิดจากการไหม้ของน้ำตาล แต่ไม่ได้ไหม้สนิทจนเกิดสีดำ ซึ่งการทำให้เกิดการไหม้ของน้ำตาลจนมีสีน้ำตาลหรือน้ำตาลอมดำเป็นวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดสีของน้ำตาลสำหรับผสมหรือผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ใช้ผสมซีอิ๊วดำ ซอสถั่วเหลือง และน้ำอัดลม เป็นต้น

การดูดซับความชื้น น้ำตาลแต่ละชนิดจะสามารถดูดความชื้นได้แตกต่างกัน น้ำตาลฟรุคโทสเป็นน้ำตาลที่ดูดความชื้นได้ดีที่สุด รองลงมาเป็น น้ำตาลซูโครส มอลโทส และแลคโทส เมื่อดูดซับความชื้น และเป็นส่วนผสมในอาหารจะทำให้อาหารมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น การเก็บรักษาความชื้นจากการดูดซับความชื้นของน้ำตาล ช่วยให้อาหารที่มีส่วนผสมของน้ำตาลมีความชุ่มชื้น ไม่แห้งง่าย และสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

## 2.2.2 น้ำตาลبيب (น้ำตาลมะพร้าว)

น้ำตาลبيب หมายถึง น้ำตาลมะพร้าว หรือน้ำตาลโตนด ได้มาจากการเคี้ยวน้ำหวานจากยอดทลายอ่อนของมะพร้าวหรือตาลจนกระทั่งเหนียวข้น มีความหนืดสูง แต่ไม่ตกเป็นผลึก มีรสหวานและมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว การเคี้ยวน้ำตาลจะเคี้ยวไปจนกระทั่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 82 °Brix หรือมีอุณหภูมิประมาณ 115-120 องศาเซลเซียส น้ำตาลสดนำไปเคี้ยว หลังจากตกผลึกจะได้น้ำตาลมะพร้าว 12-15% (de Taffin, 1998) ในน้ำตาลมะพร้าวมีซูโครสเป็นองค์ประกอบหลัก 70-90% มีกลูโคสและฟรุคโทสอย่างละ 3-9% สำหรับองค์ประกอบอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับคุณภาพ สายพันธุ์ของมะพร้าว หรือตาล และกระบวนการทำ (Purnomo, 1992)

น้ำตาลอินเวิร์ต (invert sugar) คือ สารให้ความหวาน (sweetener) เตรียมโดยการนำ น้ำเชื่อมจากน้ำตาลซูโครส (sucrose) มาทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) สลายพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ด้วยกรด หรือเอนไซม์ (enzyme) ทำให้ได้น้ำตาลฟรุกโทส (fructose) และ กลูโคส (glucose) อย่างละเท่า ๆ กัน มีความหวานมากกว่าน้ำตาลทราย เพราะสมบัติเด่นของน้ำตาล ฟรุกโทส ซึ่งมีความหวานมากกว่าและตกผลึกได้ยากกว่า (นิริยา รัตนาปนนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2559)

Veiga-Santos et al. (2007) จากงานวิจัยการใช้น้ำตาลซูโครสและน้ำตาลอินเวิร์ตเป็น พลาสติกไซเซออร์ เพื่อศึกษาฟิล์มจาก cassava ที่มีฐานเป็นแป้งมันสำปะหลังผสมเจลาติน พบว่าน้ำตาล ซูโครสสามารถเพิ่มคุณสมบัติของฟิล์มในด้านค่าการยึดตัว น้ำตาลอินเวิร์ตก็สามารถเพิ่มคุณสมบัติได้ แต่น้อยกว่าน้ำตาลซูโครส

## 2.3 ฟิล์มและสารเคลือบบริโภคได้

ฟิล์มและสารเคลือบบริโภคได้ (Edible film and coating) หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่รับประทานได้ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน โดยนำมาเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์อาหารด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การห่อหุ้ม การจุ่ม การทาด้วยแปรง หรือการพ่นกระจาย (Kester and Fennema, 1986) เพื่อทำหน้าที่กั้นการเคลื่อน ตัวของน้ำ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กลิ่น และ ไขมัน หรือทำหน้าที่เก็บสารเติมแต่งของอาหาร เช่น วัตถุกันเสีย สารช่วยรักษากลิ่นรส ตลอดจนทำหน้าที่ช่วยให้อาหารนั้นแข็งแรงขึ้นเพื่อสะดวกในการลำเลียง (Krocha et al, 1994) สำหรับสารเคลือบนั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างจากฟิล์มอย่างชัดเจน การเคลือบเป็นการนำเอาสารมาเคลือบกับผิวของผลิตภัณฑ์โดยตรง แต่การใช้ฟิล์มจะต้องมีการผลิตแผ่นฟิล์มขึ้นมาก่อนแล้ว จึงนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ (มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด, 2535) โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ และ ไขมันจากสัตว์ ผักและ ผลไม้ เป็นองค์ประกอบหลักของการขึ้นรูปฟิล์มแต่ละฟิล์ม แต่ฟิล์มที่ได้จะมีความเปราะ จึงต้องมีการเติมสาร พลาสติกไซเซออร์ ซึ่งเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น กลีเซอรอล (Glycerol) ซอร์บิทอล (Sorbitol) พอลิเอทรีลีนไกลคอล (Polyethylene glycol) โพรพิลีนไกลคอล (Propylene glycol) และกรดไขมัน (Fatty acid) (Krochta et al., 1997) เพื่อช่วยเพิ่มความอ่อนตัว ความคงทนต่อการใช้งาน และการยึดตัว (Banker, 1966)

### 2.3.1 ชนิดของฟิล์มบริโภคได้

ฟิล์มบริโภคได้ผลิตจากวัตถุดิบหลายชนิด สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ พอลิแซ็กคาไรด์ โปรตีน และไขมัน (Bourtoom, 2008)

ฟิล์มจากพอลิแซ็กคาไรด์ ได้แก่ สตาร์ช (starch) เซลลูโลส (cellulose) เพกทิน (pectin) มอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin) แอลจีเนต (alginate) คาราจีแนน (carrageenan) และไคโตซาน (chitosan) ฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์มีส่วนช่วยยืดอายุในการเก็บรักษาผลไม้ให้นานขึ้นมีราคาถูก มีสมบัติเชิงกลที่ดี ช่วยป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไขมัน แต่ธรรมชาติของพอลิเมอร์เหล่านี้มีส่วนชอบน้ำ (hydrophilic) จึงไม่เหมาะสำหรับป้องกันการสูญเสียความชื้น พอลิแซ็กคาไรด์บางชนิดใช้เคลือบอาหารมีลักษณะเหมือนวุ้นช่วยชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหารได้ในช่วงระยะเวลาเก็บสั้น นอกจากนี้ฟิล์มจากพอลิแซ็กคาไรด์มีส่วนช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจากลิปิด (lipid oxidation) และองค์ประกอบอื่นในอาหารที่ส่งผลให้อาหารเกิดการเหม็นหืน (Bourtoom, 2008)

ฟิล์มจากโปรตีน ได้แก่ โปรตีนจากไข่ขาว (albumin) โปรตีนข้าวโพด (zein protein) โปรตีนข้าวสาลี (wheat gluten protein) โปรตีนถั่วเหลือง (soy protein) โปรตีนจากเมล็ดพืชน้ำมัน (oil seed protein) โปรตีนนม (milk protein) คอลลาเจน (collagen) และ เจลาติน (gelatin) (รัตนาจินดาพรรณ และ วิไลลักษณ์ ไผ่เพชร, 2549) ฟิล์มโปรตีนเกิดจากสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีน (functional properties of protein) ซึ่งถูกดัดแปลงด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น ความร้อน แรงกล ความดัน รังสี หรือถูกดัดแปรด้วยสารเคมี เพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของโปรตีน (protein configuration) และอันตรกิริยาของโปรตีน (protein interaction) ที่เหมาะสมสำหรับการเกิดฟิล์ม (Gennadios and Weller, 1990) ในกระบวนการผลิตนิยมเติม hydrophilic plasticizer ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ เนื่องจากสามารถเกิด hydrogen bonding และ electrostatic interactions กับสายของโปรตีนได้ ฟิล์มบรีโอบคที่ได้ผลิตจากโปรตีนมีความแข็งแรงสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ กลิ่นและไขมันได้ดี มีคุณค่าทางอาหารสูง (Bourtoom, 2008)

ฟิล์มจากไขมัน ได้แก่ wax สารลดแรงตึงผิว เรซิน และกรดไขมัน ฟิล์มบรีโอบคที่ผลิตจากไขมัน มีสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี แต่มีความเปราะและทำให้เกิดกลิ่นหืนได้จึงนิยมนำมาใช้เป็นสารเคลือบมากกว่านำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม โดยใช้เคลือบผลไม้เพื่อให้เกิดเงาทดแทนไขที่มีอยู่ตามธรรมชาติที่สูญเสียไป รวมถึงช่วยชะลอการเสื่อมเสียจากการหายใจทำให้ผลไม้เกิดการสุกอม ป้องกันการเกิดสีน้ำตาล ไม่ทำให้เกิดการสะสมของกลิ่นรสผิดปกติในเนื้อเยื่อของผลไม้ สารประกอบจากไขมันหลายชนิด รวมทั้งอะซิทิเลตมอโนกลีเซอไรด์ ไชธรรมาชาติ และสารลดแรงตึงผิว สามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบได้ นอกจากนี้ฟิล์มจากไฮพาราฟินและไฮคาร์บูนาช่วยให้เกลือเบนโซเอต (Benzoate) แพร่เข้าสู่อาหารได้ดี ใช้รักษาความเข้มข้นของสารกันเสียที่ผิวของอาหารไว้ได้นาน (Bourtoom, 2008)

### 2.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบริโกลด์ (Gilbert et al., 1996) มีดังนี้

ความหนา (Thickness) คือระยะระหว่างผิวหน้าทั้งสองของฟิล์ม มีหน่วยเป็นไมโครเมตร หรือมิลลิเมตร ความหนามีส่วนสัมพันธ์กับคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ความต้านทานแรงดึง การต้านทานการซึมผ่านไอน้ำ การต้านทานการซึมผ่านก๊าซออกซิเจน เป็นต้น

ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) คือค่าความเครียดที่ใช้ในการดึงฟิล์มที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งของแผ่นทดสอบที่มีความกว้างคงที่จนแผ่นฟิล์มนั้นขาด ภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด (ปลายอีกข้างหนึ่งยึดให้อยู่กับที่) มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร ค่านี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะระหว่างสายพอลิเมอร์มากกว่าความแข็งแรงภายในสายโซ่พอลิเมอร์ การเติมพลาสติกไซเซอร์ในโครงสร้างตาข่ายก็มีผลทำให้ค่าการต้านทานแรงดึงลดลงเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้เติมพลาสติกไซเซอร์เพราะพลาสติกไซเซอร์จะไปจับกับพอลิเมอร์ด้วยพันธะทุติยภูมิ ทำให้ความแข็งแรงระหว่างสายโซ่โมเลกุลลดลง

ค่าการยืดตัว (% Elongation) คือร้อยละของระยะทางที่ฟิล์มยืดออกด้วยแรงดึงจนขาดต่อความยาวเดิม ถ้าการยืดตัวของฟิล์มน้อย ฟิล์มจะมีลักษณะเปราะและ ไม่ยืดหยุ่น การเติมพลาสติกไซเซอร์ในโครงสร้างตาข่ายก็มีผลทำให้ค่าการยืดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากพลาสติกไซเซอร์ทำให้ความแข็งแรงระหว่างพันธะของสายโซ่โมเลกุลลดลง สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้มากขึ้น

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม (Water vapor transmission rate) และก๊าซ (Gas transmission rate) คือปริมาณไอน้ำหรือก๊าซ เช่น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ที่ซึมผ่านจากผิวหน้าจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวฟิล์ม ในเวลาที่กำหนดและภายใต้สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิกับความชื้น



### 2.3.3 กลไกการเกิดฟิล์ม

ฟิล์มมีองค์ประกอบหลัก คือ พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีสมบัติในการเกิดฟิล์มได้ ในการเตรียมฟิล์ม มีแรง 2 ชนิด เข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ แรงโคฮีชัน (Cohesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุล พอลิเมอร์ด้วยกันเอง ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันจะสร้างพันธะที่แข็งแรง ซึ่งจะช่วยป้องกันหรือต้านทานการแยกจากกัน ปัจจัยที่มีผลต่อแรงโคฮีชัน ได้แก่ โครงสร้างและสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ ระบบการละลาย และสภาพในการเตรียม โดยแรงโคฮีชันมีความสัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของโครงสร้างสายโซ่ การแผ่กิ่งก้าน และการกระจายของกลุ่มที่มีขั้วอย่างมีระเบียบในสายพอลิเมอร์ โดยการกระจายตัวที่มีระเบียบจะช่วยให้เกิดพันธะไฮโดรเจน และพันธะไอออนิกระหว่างสายโซ่ทำให้มีความแข็งแรง สภาพะในการเตรียมนั้น ควรเตรียมฟิล์มโดยใช้สารละลายอุ่นและทำให้ฟิล์มแห้งโดยใช้ความร้อนที่เหมาะสม เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้อัตราการระเหยตัวทำละลายเร็วเกินไป โมเลกุลของพอลิเมอร์จะถูกตรึงก่อนที่จะเชื่อมกันอย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดรู หรือทำให้ฟิล์มมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ส่วนแรงอีกชนิดคือ แรงแอดฮีชัน (Adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับพลาสติกไซเซออร์ ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มเช่นเดียวกัน (Banker, 1966) เมื่อเติมพลาสติกไซเซออร์ลงไปแล้ว จะไปยึดจับกับพอลิเมอร์ เกิดพันธะมีขั้ว หรือพันธะไฮโดรเจนอย่างหลวม ๆ ทำให้แรงระหว่างสายโมเลกุลที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ลดความเปราะ แตกง่าย (Kester and Fennema, 1986)

### 2.3.4 กระบวนการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากพอลิเมอร์สามารถทำได้หลากหลายวิธีขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้ โดยต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและเวลาให้เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้ฟิล์มเกิดการขึ้นรูปเร็วเกินไป เพราะจะส่งผลให้ผิวของฟิล์มไม่เรียบเนียน มีความขรุขระ และแตกง่าย (Banker, 1966)

การขึ้นรูปฟิล์มโดยโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent casting) เป็นการขึ้นรูปฟิล์มโดยการละลายพอลิเมอร์ในตัวทำละลายที่เหมาะสม นำมาเทลงบนภาชนะเฉพาะที่ใช้ในการขึ้นฟิล์ม และระเหยตัวทำละลายออกด้วยลมร้อน แล้วทำการลอกแผ่นฟิล์ม (สายตะวัน เลี้ยววศุต และคณะ, 2551) ฟิล์มที่ได้จะมีลักษณะโปร่งใส และส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ อาจมีการเคลือบฟิล์มซ้ำด้วยสารที่มีสมบัติในการปรับปรุงคุณภาพของฟิล์ม

การขึ้นรูปโดยกระบวนการทางความร้อน (Thermal process) เป็นการขึ้นรูปฟิล์มโดยการนำสารละลายพอลิเมอร์ใส่ลงไปในเข้าของแม่พิมพ์ จากนั้นทำการปิดแม่พิมพ์ที่ใส่เข้าไปในเครื่องอัดเครื่องอัดจะใช้แรงดันกดปิดแม่พิมพ์จนสนิท โดยก่อนจะกดปิดแม่พิมพ์จะมีการกด-คลาย (bumpin) ก่อน เพื่อไล่อากาศออกจากสารละลายพอลิเมอร์ไหล หลังจากได้รับความร้อนจากเครื่องอัดและใช้เวลาระยะหนึ่งจน แม่พิมพ์จะถูกเปิดออก สามารถลอกแผ่นฟิล์มออกได้จากแม่พิมพ์ (Sorthorvit et al., 2003) ศึกษาแผ่นฟิล์มโพรตีนเวย์ที่มีกลีเซอรอลเป็น พลาสติกไซเซอร์ ที่ระดับ 30, 40 และ 50% โดยน้ำหนัก ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคการอัดเข้า พบว่า แผ่นฟิล์มที่ได้มีความยืดหยุ่น สามารถละลายน้ำได้ โดยความสามารถในการละลายน้ำขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม

## 2.4 มอลโทเดกซ์ทริน

มอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin) เป็นคาร์โบไฮเดรต ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ได้จากการย่อยโมเลกุลของสตาร์ช การไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริก หรือโดยเอนไซม์แอลฟา-แอมิเลส เพื่อให้เกิดสารละลายกลูโคสพอลิเมอร์ (glucose polymer solution) ที่มีสายยาว สารละลายนี้จะถูกกรองและทำให้แห้งหรือทำให้เข้มข้นมากขึ้นเพื่อให้ได้มอลโทเดกซ์ทริน สตาร์ชที่นำมาใช้ได้แก่สตาร์ชจากข้าวโพด ข้าวเจ้า มันสำปะหลัง มันฝรั่ง เป็นต้น (หนูเดือน สาระบุตร และคณะ, 2557) มีลักษณะเป็นผงหรือเกล็ดสีขาวไม่มีรส หรือมีรสหวานเล็กน้อยสามารถละลายในน้ำได้ดี (นิธิยา รัตนาปนนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2559) มอลโทเดกซ์ทรินที่ดี จะมีค่า DE ต่ำกว่า 20 (Loret et al., 2004) มอลโทเดกซ์ทรินจะมีค่า DE ตั้งแต่ 10-36 ซึ่งทำให้คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ รวมถึงค่าการละลาย และความหนืดที่แตกต่างกัน (Klinkesorn et al., 2004) มอลโทเดกซ์ทรินมีความสามารถในการละลายน้ำและมีสมบัติการขึ้นรูปฟิล์มที่ดี เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลที่ค่อนข้างต่ำ (Zhang and Han, 2006) ฟิล์มฐานมอลโทเดกซ์ทรินมีข้อจำกัด คือ ความเปราะของฟิล์ม จึงต้องมีการเติมพลาสติกไซเซอร์ เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์ม โดยพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสมของฟิล์มฐานมอลโทเดกซ์ทริน คือ น้ำ กลีเซอรอล (glycerol) และโพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) (Cilurzo et al., 2008)

มีงานวิจัยหลายงานที่ใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารก่อฟิล์ม โดยการผสมมอลโทเดกซ์ทรินกับสารที่เกี่ยวข้อง ใส่ลงไปในผสมกันที่อุณหภูมิน้ำเดือด คนจนละลายเข้าด้วยกัน ลดอุณหภูมิจนอยู่ประมาณ 35 ถึง 40 องศาเซลเซียส นำอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแผ่นฟิล์มมีความชื้นคงที่ ของเหลวที่เป็นสารละลายฟิล์มจับตัวเป็นแผ่น (Dzija et al., 2003)

ศิโยน กรพิบูลย์พงษ์ และ วรภา คงเป็นสุข (2563) ศึกษาผลของชนิดกรด น้ำตาล และสารก่อฟิล์มต่อสมบัติของฟิล์มบรรจุ พบว่า การใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารก่อฟิล์มหลัก ทำให้ฟิล์มมีสมบัติการละลายน้ำที่ดี และการใส่กลีเซอรอลเพื่อปรับปรุงสมบัติของแผ่นฟิล์มฐานมอลโทเดกซ์ทริน ทำให้แผ่นฟิล์มมีความสามารถในการละลายน้ำ และสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

นุชนาฏ กิจวรเมธา และคณะ (2561) ศึกษาสมบัติของฟิล์มบรรจุละลายเร็วฐานมอลโทเดกซ์ทรินที่มีน้ำมะขามเปียกและมะนาว และแซนแทนกัมเป็นองค์ประกอบ พบว่า การใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารก่อฟิล์มทำให้มีสมบัติในการละลายน้ำและคืนรูปได้ และการนำแซนแทนกัมมาใช้ร่วมกับฟิล์มมอลโทเดกซ์ทรินที่มีสมบัติเปราะและแตกหักง่ายจะให้ฟิล์มที่มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

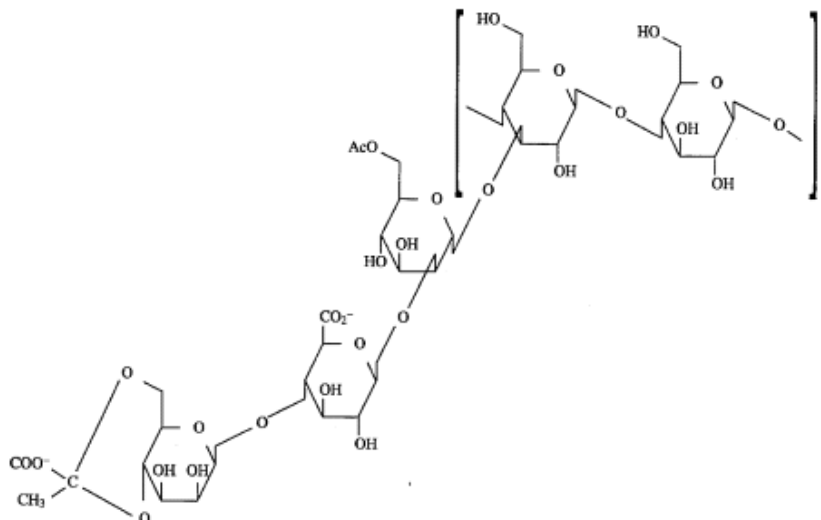
กรคณา ธนารุ่งโรจน์ และ วรภา คงเป็นสุข (2562) ศึกษาผลของสารก่อฟิล์มผสมและปริมาณเกลือต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแผ่นบรรจุที่มีส่วนผสมเป็นน้ำปลา น้ำมะขามเปียก และน้ำตาล พบว่าแผ่นบรรจุที่ขึ้นรูปโดยใช้สารก่อฟิล์มมอลโทเดกซ์ทริน แซนแทนกัม มีความเหมาะสมในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นบรรจุเนื่องจากมีสมบัติทางกายภาพเหมาะสมในการนำมาใช้เนื่องจากสามารถทำให้ฉีกขาดได้ง่าย แต่ก็ไม่เปราะจนเกินไป และมีความสามารถในการละลายน้ำดี

Pacheco et al. (2021) ระบุว่าวิธีที่ใช้ในการผลิตฟิล์มมอลโทเดกซ์ทรินที่ดีที่สุด คือ วิธี solvent casting เป็นการเตรียมฟิล์มโดยการละลายพอลิเมอร์ในตัวทำละลายที่เหมาะสม นำมาเทลงภาชนะเฉพาะและระเหยตัวทำละลายแล้วทำการลอกแผ่นฟิล์มออก ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีความยืดหยุ่นสูงและใช้เวลาในการแตกตัวต่ำ ผลลัพธ์เหล่านี้บ่งชี้ถึงศักยภาพในการใช้เทคโนโลยีการพิมพ์เพื่อพัฒนาฟิล์มแบบละลายได้ในปากตามความต้องการและเฉพาะบุคคล

## 2.5 แซนแทนกัม

แซนแทนกัม เป็นสารพอลิแซคคาไรด์ ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากแซนแทนกัมมีลักษณะทาง rheology ที่โดดเด่นคือ มีความคงตัวของความหนืดต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มข้นของสารละลายเกลือ สามารถให้ความหนืดที่ค่อนข้างสูงแม้จะใช้ในปริมาณน้อย จึงนิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมมากมายทั้งในเรื่องคุณสมบัติของการละลายที่ดี การเป็น pseudoplastic รวมทั้งคุณสมบัติในการกระจายตัวที่ดี จึงถูกใช้เป็น suspending, stabilizing, thickening และ emulsify agent เป็นต้น (Moreno et al., 1998) แซนแทนกัมเป็น secondary metabolite polysaccharide (Pinches and Pallent, 1986)

แซนแทนกัม ประกอบด้วย น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลแมนโนสและกรดกลูโคโรนิกในอัตราส่วน 2:2:1 และมีหมู่ไพรุวิกและแอสติกประมาณ 4% ซึ่งน้ำตาลกลูโคสทั้ง 2 หน่วยทำหน้าที่เป็นแกนหลักของโครงสร้างต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -1,4 glycosidic ส่วนน้ำตาลแมนโนสและกลูโคโรนิกทำหน้าที่เป็นกิ่งก้านของโครงสร้าง (Sandford et al., 1977)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของแซนแทนกัม

ที่มา : Lelpi et al. (1983)

การเกิดฟิล์มของแซนแทนกัม เกิดจากการให้ความร้อนแซนแทนกัมทำให้โครงสร้างที่เป็นระเบียบ (rigid ordered structure) เปลี่ยนเป็นโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบ (flexible disordered coli) (Mandala and Bayas, 2004) เมื่ออุณหภูมิลดลงสายพอลิเมอร์แต่ละสายเกิดการพันกันและเกิดอันตรกิริยาดัวยพันธะไฮโดรเจน (Saha and Bhattacharya, 2010) สารละลายแซนแทนกัมสามารถเกิดไฮโดรเจนเป็นโครงร่างเครือข่ายสามมิติของพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำและบวมน้ำได้ (Bueno and Petri, 2014) และกำจัดตัวทำละลายออก ทำให้เกิดการจับตัวของพอลิเมอร์เป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติที่แข็งแรง เกิดเป็นฟิล์มขึ้น (Han, 2005)

## 2.6 พลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์ คือสารเติมแต่งชนิดหนึ่งใช้ในการผลิตฟิล์ม โดยมีคุณสมบัติการละลายแทรกไประหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์ม มีการระเหยได้ยาก จุดเดือดสูง อาจจะละลายในตัวทำละลายได้ดีเพื่อไม่ให้เกิดการแยกตัวของพลาสติไซเซอร์ระหว่างการทำฟิล์มแห้งพลาสติไซเซอร์ ที่ใช้กับอาหารมีหลายประเภท เช่น โมโน ได และโอลิโกแซคคาไรด์ (ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส น้ำผึ้ง) พวกโพลีออล ได้แก่ ซอร์บิทอล กลีเซอรอล โพลีเอทิลีน ไกลคอล พวกลิปิด และ อนุพันธ์ลิปิด ได้แก่ กรดไขมัน เป็นต้น พลาสติไซเซอร์ทำให้ระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง จึงทำให้ฟิล์มมีสภาพยืดหยุ่น (flexibility) ได้ดี (วรรณ ชันธชัย, 2555)

## 2.7 ซอร์บิทอล

ซอร์บิทอล เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ ที่พบในธรรมชาติทั้งพืชและสัตว์ ผลไม้ที่พบซอร์บิทอล เช่น แอปเปิ้ล สาลี่ แพร์ พลัม และโดยเฉพาะผลของเมาน์เทนแอส (mountain ash) หรือนานากามาโด (nanagamado) พบซอร์บิทอลสูงถึง 12-13% (Fedor, 1960) และนอกจากนี้ยังพบในยาสูบ สาหร่ายทะเลอีกด้วย ซอร์บิทอลอาจจะมีชื่อเรียกได้หลายอย่าง เช่น D-glucitol, L-gulition, sorbit, sorbol, sorbicolon, sorbo, sorbostyl, nivitin, chloaxine, karion, sionit, sionon, sorbilande และ diatiarmon (Windholz, 1976)

จากการศึกษาทางเคมีพบว่า ซอร์บิทอลเป็น hexahydric alcohol ที่มีสูตรโมเลกุล คือ  $C_6H_{14}O_6$  น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 182.17 ประกอบด้วยสายตรงของคาร์บอน 6 อะตอม และ hydroxyl 6 กลุ่ม

ซอร์บิทอลมีลักษณะ เป็นผลึกของแข็งสีขาว ไม่ระเหย ละลายน้ำได้ดี ละลายได้บ้างในเมทานอล (methanol), ไอโซโพรพานอล (isopropanol), บิวทานอล (butanol), ไซโคลเฮกซานอล (cyclohexanol), ฟีนอล (phenol), อะซีโตน (acetone), กรดอะซิติก (acetic acid), ไพริดีน (pyridine) และอะเซตาไมด์ (acetamide) แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายใสไม่มีสี มีค่าพลังงานความร้อนของการละลายเท่ากับ 100 กิโลจูล/กรัม ทำให้มีรสเย็นคล้ายเมนทอล และมีความหวาน 60% เมื่อเทียบกับน้ำตาลซูโครส เมื่อผ่านกระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายจะให้พลังงาน 3.994 แคลอรี/กรัม

Rahmawati et al. (2019) พบว่าการเติมซอร์บิทอลในฟิล์มที่มีฐานเป็นคาร์ราจีแนน สามารถปรับปรุงสมบัติของฟิล์มในด้านความหนา ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าการยึดตัว แต่ไม่ส่งผลต่อค่าการซึมผ่านของไอน้ำ

น้ำกะทิเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีข้อจำกัดในการใช้งานหลายอย่าง มีสถานะเป็นของเหลว ไม่สะดวกแก่การพกพาและการนำไปใช้ มีอายุการเก็บรักษาที่ต่ำจากการเสื่อมเสียทางเคมีและจากจุลินทรีย์ ในทางการค้าจะถูกขายในปริมาณที่สูงเพื่อการนำไปใช้ประกอบอาหารต่อ ไม่เหมาะแก่การบริโภคทันที ดังนั้นจึงได้นำแผ่นฟิล์มละลายน้ำบริโภคได้ มาประยุกต์ใช้กับน้ำกะทิ เพื่อพัฒนาและปรับปรุงข้อจำกัดต่าง ๆ ในน้ำกะทิ และเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค โดยใช้มอลโทเดกซ์ทรินซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติละลายน้ำได้ดีเป็นฐานในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม และมีแซนแทนกัมช่วยให้ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มได้ดี และแผ่นฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติที่เหมาะสม

### บทที่ 3

#### วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และอุปกรณ์

##### 3.1.1 วัสดุ

- น้ำกะทิสำเร็จรูป ตรา ชาวเกาะ บริษัท อ่าพลฟู๊ดส์ โพรเซสซิง จำกัด (ปริมาณไขมัน 15 กรัม/หน่วยบริโภค (80 มิลลิลิตร))
- น้ำกะทิสำเร็จรูป สูตรหัวกะทิ ตรา ชาวเกาะ บริษัท อ่าพลฟู๊ดส์ โพรเซสซิง จำกัด (ปริมาณไขมัน 18 กรัม/หน่วยบริโภค (80 มิลลิลิตร))
- น้ำตาลทราย ตรา ลิน กลุ่มบริษัทน้ำตาลไทยรุ่งเรือง
- น้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ตรา มิตรผล บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด

##### 3.1.2 สารเคมี

- มอลโทเดกซ์ตริน บริษัท เคมีภัณฑ์ จำกัด (ค่า DE = 10)
- แชนแทนกัม บริษัท เคมีภัณฑ์ จำกัด
- ซอร์บิทอล บริษัท เคมีภัณฑ์ จำกัด
- ซิลิกาเจล

##### 3.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- เครื่องแก้วและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์
  - ปีกเกอร์ ขนาด 600 และ 1,000 มิลลิลิตร
  - กระบอกตวง ขนาด 100, 250 และ 500 มิลลิลิตร
  - กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ขนาดเส้นรอบวง 110 มิลลิเมตร
  - เครื่องวัดอุณหภูมิ Thermometer
  - กรวยบุนเนอร์
  - Suction flask
  - แ่งแก้วคนสาร ซ้อนตักสาร

- อุปกรณ์เครื่องครัว
  - ซ้อนตวง
  - แผ่นเทพลอน ขนาด 30 x 30 ตารางเซนติเมตร
  - ภาชนะคริลิก (acrylic plate) 20 x 20 ตารางเซนติเมตร
  - กระจกหน้าต่าง
  - อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น มีด เขียง ทัพพี กะละมัง ฯลฯ
  - กล่องพลาสติก Super Lock ขนาด 850 มิลลิลิตร (เพื่อบรรจุแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ)
- เครื่องมือสำหรับเตรียมฟิล์มบรีโกล
  - เครื่องชั่ง (ทศนิยม 3 ตำแหน่ง)
  - Hot plate magnetic stirrer
  - เครื่อง pH meter รุ่น F20 (บริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)
  - เครื่องวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ รุ่น N1 (บริษัท Atago ประเทศญี่ปุ่น)
  - เครื่องวัดความหนืด Viscometer หัววัด R2 รุ่น Premium R (Brookfield Engineering Laboratories, USA)
  - ตู้อบลมร้อน (บริษัท Memmert ประเทศเยอรมนี)
- อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สมบัติของแผ่นฟิล์มบรีโกล
  - เครื่องวัดความหนา รุ่น MWZ380 (ตรา Mitutoyo ประเทศญี่ปุ่น)
  - เครื่องวิเคราะห์สมบัติเชิงกล Stable Micro Systems Texture Analyzer รุ่น Model TA-XT2i Icon ประเทศอังกฤษ
  - เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระในอาหาร รุ่น Series 3 (ตรา Aqua lab บริษัท Decagon Devices ประเทศสหรัฐอเมริกา)
  - เครื่องวัดความชื้น รุ่น HB43-S (ตรา Mettler-Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)
  - เครื่องวัดสี รุ่น CR-400 (ตรา Konica Minolta model ประเทศญี่ปุ่น)
  - เครื่อง Impulse sealer รุ่น TIS 450/10
- อุปกรณ์สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส
  - ถุงสุญญากาศ Food grade พลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (PE) และโพลีเอสเตอร์ (PET) ขนาด 7 x 10 ตารางเซนติเมตร
  - ถุง Food grade ประเภทลามิเนต AL ขนาดเล็ก 8 x 10 ตารางเซนติเมตร



### 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.2.1 การศึกษาสารก่อฟิล์มสูตรควบคุม และการหาเวลาการขึ้นรูปฟิล์มน้ำกะทิ

หาเวลาการขึ้นรูปฟิล์มน้ำกะทิ (Drying curve) โดยการเตรียม สารละลายก่อฟิล์มซึ่งเตรียมจากสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ผสมแซนแทนกัม ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งอ้างอิงการเลือกสัดส่วนจากงานวิทยานิพนธ์ปริญญาโท เรื่อง ผลของกรด น้ำตาล และพลาสติกไซเซอร์ต่อสมบัติของฟิล์มฐานมอลโทเดกซ์ทรินรสน้ำยำ (ศิโยน กรพิบูลย์พงษ์ และ วรภา คงเป็นสุข, 2563) โดยละลายมอลโทเดกซ์ทริน ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วย hot plate magnetic stirrer จนละลายหมด แล้วเติมแซนแทนกัม ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 จนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

จากนั้นผสมน้ำกะทิสสูตรควบคุม (หางกะทิผสมกับน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ในอัตราส่วน 70:30) กับสารละลายก่อฟิล์มในอัตราส่วน น้ำกะทิ:สารละลายก่อฟิล์ม 65:35 กวนผสมให้เข้ากัน นำสารละลายน้ำกะทิมาขึ้นรูป โดยเทสารละลายฟิล์มที่เตรียมไว้ข้างต้นปริมาตร 125 มิลลิลิตร ลงบน ถาดอะคริลิกขนาด 20 x 20 ตารางเซนติเมตร ที่ปูรองด้วยแผ่นเทฟลอน นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนฟิล์มที่ได้มีค่าความชื้นคงที่ โดยการชั่งและบันทึกน้ำหนักแผ่นฟิล์มทุก ๆ 1 ชั่วโมงจนน้ำหนักไม่มีการเปลี่ยนแปลง บันทึกเวลาที่น้ำหนักแผ่นฟิล์มคงที่ เพื่อนำไปเป็นเวลามาตรฐานที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปฟิล์ม

#### 3.2.2 การศึกษาผลของของสูตรน้ำกะทิ ต่อสมบัติทางกายภาพ และเคมีของฟิล์มน้ำกะทิ

##### 3.2.2.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารละลายน้ำกะทิ

เตรียมน้ำกะทิสำหรับขนมไทยสูตรต่างๆ โดยแปรชนิดของ ชนิดของน้ำกะทิ สำเร็จรูป ได้แก่ หางกะทิ และหัวกะทิ และแปรชนิดน้ำตาล 2 ชนิดเป็น 3 สัดส่วน ได้แก่ น้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) น้ำตาลทราย และน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมกับน้ำตาลทราย (1:1) ผสมน้ำกะทิกับน้ำตาลในอัตราส่วน น้ำกะทิ:น้ำตาล 70:30 รวมเป็น 6 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนสูตรสารละลายน้ำกะทิ

สูตร	มอลโทเดกซ์ทรีน	แซนแทนกัม	ร้อยละโดยน้ำหนัก				น้ำตาลปีป (น้ำตาลมะพร้าว)	น้ำ
			หางกะทิ	หัวกะทิ	น้ำตาลทราย			
1	10.50	0.18	-	45.50	-	19.50	24.32	
2	10.50	0.18	-	45.50	19.50	-	24.32	
3	10.50	0.18	-	45.50	9.75	9.75	24.32	
4	10.50	0.18	45.50	-	-	19.50	24.32	
5	10.50	0.18	45.50	-	19.50	-	24.32	
6	10.50	0.18	45.50	-	9.75	9.75	24.32	

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำกะทิ ดังนี้

- วิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ( $^{\circ}$ Brix) ด้วยเครื่อง hand refractometer
- วิเคราะห์ค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter
- วิเคราะห์ค่าความหนืดด้วยเครื่อง rotational rheometer (Brookfield Engineering Laboratories, USA) หัววัดเบอร์ R2

### 3.2.2.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารละลายกึ่งฟิล์มผสมสารละลายน้ำกะทิ

เตรียมสารละลายกึ่งฟิล์มตามข้อ 3.2.1 จากนั้นผสมสารละลายน้ำกะทิแต่ละสูตร (ข้อ 3.2.2.1) ในอัตราส่วน น้ำกะทิ:สารละลายกึ่งฟิล์ม 65:35 กวนให้เข้ากัน

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และเคมีของสารละลายน้ำกะทิผสมสารกึ่งฟิล์ม ดังนี้

- วิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ( $^{\circ}$ Brix) ด้วยเครื่อง hand refractometer
- วิเคราะห์ค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter
- วิเคราะห์ค่าความหนืดด้วยเครื่อง rotational rheometer (Brookfield Engineering Laboratories, USA) หัววัดเบอร์ R2

### 3.2.2.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ

ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มโดย เทสารละลายน้ำกะทิที่เตรียม (ข้อ 3.2.2.3) ปริมาตร 125 มิลลิลิตร ลงบนถาดอะคริลิกขนาด 20 x 20 ตารางเซนติเมตร ที่ปูรองด้วยแผ่นเทฟลอน นำสารละลายน้ำกะทิไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนฟิล์มที่ได้มีค่าความชื้นคงที่ประเมินเวลาการอบแห้งจากข้อ 3.2.1 หลังจากครบเวลา รอให้อุณหภูมิของถาดอบอะคริลิกเป็นอุณหภูมิห้อง ลอกแผ่นฟิล์มที่ได้พร้อมกระดาษเทฟลอนออกจากถาดอบอะคริลิกเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ที่ภาวะควบคุม (ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0 และอุณหภูมิห้อง) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

วิเคราะห์คุณสมบัติทางทางเคมีและกายภาพของแผ่นฟิล์ม ดังนี้

- วัดค่าความหนาของแผ่นฟิล์มตัดตัวอย่างฟิล์มเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 X 5 ตารางเซนติเมตรวัดความหนาของฟิล์มด้วย micrometer (Mitutoyo Corp., Japan) ทำการสุ่มวัดความหนาของแผ่นฟิล์ม 5 ตำแหน่งโดยรอบของแผ่นฟิล์ม
- วัดสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์ม ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และค่าการยืดตัว (% Elongation) โดยใช้เครื่อง Texture analyzer (TA-XT Icon, Stable Micro Systems Texture Analytcae, UK)
- วิเคราะห์ค่าความชื้นของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องวัดปริมาณความชื้น (Moisture analyzer)
- วิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระของแผ่นฟิล์ม ( $a_w$ ) ด้วยเครื่อง Aqua lab (Decagon Devices, Inc., USA)
- วิเคราะห์ค่าสีของแผ่นฟิล์มในระบบสี CIELAB ด้วยเครื่อง Minolta Chroma Meter (CR 400c series, Konica Minolta Inc., Japan) วัด 5 จุดต่อแผ่น บริเวณตรงกลาง, ริมบนซ้าย, ริมบนขวา, ริมล่างซ้าย และริมล่างขวา
- วิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม (Solubility) ดัดแปลงจากวิธี (Shojaee et al., 2013) โดยตัดฟิล์มขนาด 2 x 2 ตารางเซนติเมตร ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นที่แน่นอน แล้วนำแผ่นฟิล์มที่ได้มาแช่ในถ้วยที่บรรจุน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง ปริมาตร 50 มิลลิลิตรสุ่มตัวอย่างที่เวลา 1 และ 2 นาที พร้อม คนตัวอย่าง จากนั้นนำชิ้นฟิล์มที่เหลือมาทำให้แห้งอีกครั้งโดยอบที่อุณหภูมิ  $100 \pm 5$  องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ก่อนนำไปชั่งน้ำหนักทำซ้ำจนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่

### 3.2.2.4 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

จากแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (น้ำกะทิที่แปรชนิดกะทิ และชนิดน้ำตาลทั้ง 6 สูตร) โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### 3.2.3 การพัฒนาสูตรของฟิล์มน้ำกะทิ ด้วยการเติมซอร์บิทอล เพื่อเป็นพลาสติกไซเซอร์และลดปริมาณน้ำตาล

จากขั้นตอนที่ 3.2.2 เลือก สูตรน้ำกะทิ 2 สูตรได้แก่ สูตรที่ใช้ทางกะทิร่วมกับ น้ำตาลปีป (น้ำตาลมะพร้าว) และทางกะทิร่วมกับน้ำตาลปีป (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมน้ำตาลทราย (1:1) เพื่อเป็นสูตรพื้นฐานในการแปรสัดส่วนของพลาสติกไซเซอร์ ซอร์บิทอล 3 สัดส่วน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนสูตรสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุง

สูตร	มอลโทเดกซ์ทริน	แซนแทนกัม	ทางกะทิ	ร้อยละโดยน้ำหนัก			
				น้ำตาลทราย	น้ำตาลปีป (น้ำตาลมะพร้าว)	ซอลบิทอล	น้ำ
1	10.50	0.18	45.50	-	19.50	-	24.32
2	10.50	0.18	45.50	-	16.25	3.25	24.32
3	10.50	0.18	45.50	-	13.00	6.50	24.32
4	10.50	0.18	45.50	9.75	9.75	-	24.32
5	10.50	0.18	45.50	8.12	8.12	3.25	24.32
6	10.50	0.18	45.50	6.50	6.50	6.50	24.32

#### 3.2.3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงทั้ง 6 สูตร

จัดเตรียมสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงตามวิธีในข้อ 3.2.2.1

#### 3.2.3.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารละลายกึ่งฟิล์มผสมสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุง

เตรียมสารละลายกึ่งฟิล์มผสมน้ำกะทิสูตรปรับปรุง และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำกะทิ

#### 3.2.3.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง

เตรียมแผ่นฟิล์ม และวิเคราะห์สมบัติของแผ่นฟิล์มทั้ง 6 สูตร ตามวิธีในข้อ 3.2.2.3

### 3.2.3.4 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

จากแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (แผ่นฟิล์มที่ใช้ทางกะทิ ร่วมกับน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) และทางกะทิร่วมกับน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมน้ำตาลทราย ที่แปรปริมาณพลาสติกไซเซอร์ ซอร์บิทอล ใน 3 สัดส่วน 0.00%, 3.25% และ 6.50%) โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### 3.2.4 การทดสอบความยอมรับ ทางประสาทสัมผัส (Acceptance test) ของผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์ม น้ำกะทิสำหรับขนมไทย

คัดเลือกแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 2 สูตร (จากข้อ 3.2.3) ได้แก่ สูตรทางกะทิร่วมกับน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) และสูตรทางกะทิร่วมกับน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมน้ำตาลทราย (1:1) ผสมซอร์บิทอล 6.50% เตรียมชุดตัวอย่างผลิตภัณฑ์เพื่อส่งให้ผู้ทดสอบ ประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยตนเองในที่พักอาศัย (เนื่องจากมาตรการการเว้นระยะห่างทางสังคม จากเหตุการณ์การแพร่ระบาดของไวรัส COVID-19) โดยเตรียมแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย แต่ละสูตร ขนาด 5 x 5 ตารางเซนติเมตร บรรจุแผ่นฟิล์มใส่พลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (PE) และโพลีเอสเตอร์ (PET) โดยบรรจุแบบสุญญากาศ กำหนดรหัสเลข 3 ตัวให้ตัวอย่างทดสอบแต่ละตัวอย่าง และเตรียมน้ำสำหรับทำการละลายแผ่นฟิล์ม ปริมาตร 25 มิลลิลิตรบรรจุถุงพลาสติกปิดสนิท 2 ถุง โดยใช้ถุงพลาสติกประเภทลามิเนต AL ส่งให้ผู้ร่วมทดสอบทางไปรษณีย์



ภาพที่ 3.1 กล่องพัสดุสำหรับผู้ร่วมทดสอบทางประสาทสัมผัส

ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 26 คน เป็นนิสิต และบุคคลในครอบครัวของนิสิตในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ ที่มีอายุมากกว่า 18 ปี เป็นผู้ที่มีความคุ้นเคยในการรับประทานขนมไทยที่มีน้ำกะทิเป็นส่วนประกอบหลัก ผู้ทดสอบแต่ละคนจะได้ แผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 2 ตัวอย่างและน้ำปริมาณ 25 มิลลิลิตร 2 ถ้วย ทำการทดสอบที่ละตัวอย่างแบบสุ่ม ในแต่ละตัวอย่างจะมีการประเมิน 4 ส่วน ได้แก่ การประเมินคุณลักษณะของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ การละลายของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ ลักษณะของน้ำกะทิที่ได้หลังจากการละลาย และความคิดเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ให้ผู้ทดสอบทำแบบประเมินผ่านทางออนไลน์ โดยได้จัดทำแบบประเมินผ่านทาง Google form (แบบสอบถามแสดงในภาคผนวก ง.)

- การประเมินลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ จะประเมินร่วมกับสี ความรู้สึกเหนอะหนะหลังจับ และความมันของแผ่นฟิล์ม โดยใช้ในการประเมินแบบ 7-point hedonic scale (1= ไม่ชอบมากและ 7= ชอบมาก)
- การประเมินการละลายของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ ผู้ทดสอบจะต้องฉีกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ก่อนเอาไปผสมกับน้ำ 25 มิลลิลิตรที่ผ่านการทำให้ร้อนให้อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส คนจนแผ่นฟิล์มละลายหมด ทำการประเมินโดย 7-point hedonic scale (1= ไม่ชอบมาก และ 7= ชอบมาก)
- การประเมินน้ำกะทิที่ผ่านการละลายแล้ว ผู้ทดสอบจะประเมินจากน้ำกะทิตัวอย่างที่ละลายเอง โดยให้คะแนนความชอบของสี กลิ่น รสชาติ ความข้นหนืด และความชอบโดยรวม โดยใช้ในการประเมินแบบ 7-point hedonic scale (1= ไม่ชอบมากและ 7= ชอบมาก)
- การสอบถามเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ในด้านความสนใจในผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค (1= ไม่น่าสนใจ และ 7= น่าสนใจมากที่สุด) การยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ และสอบถามถึงแนวความคิดในการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ในชีวิตจริง

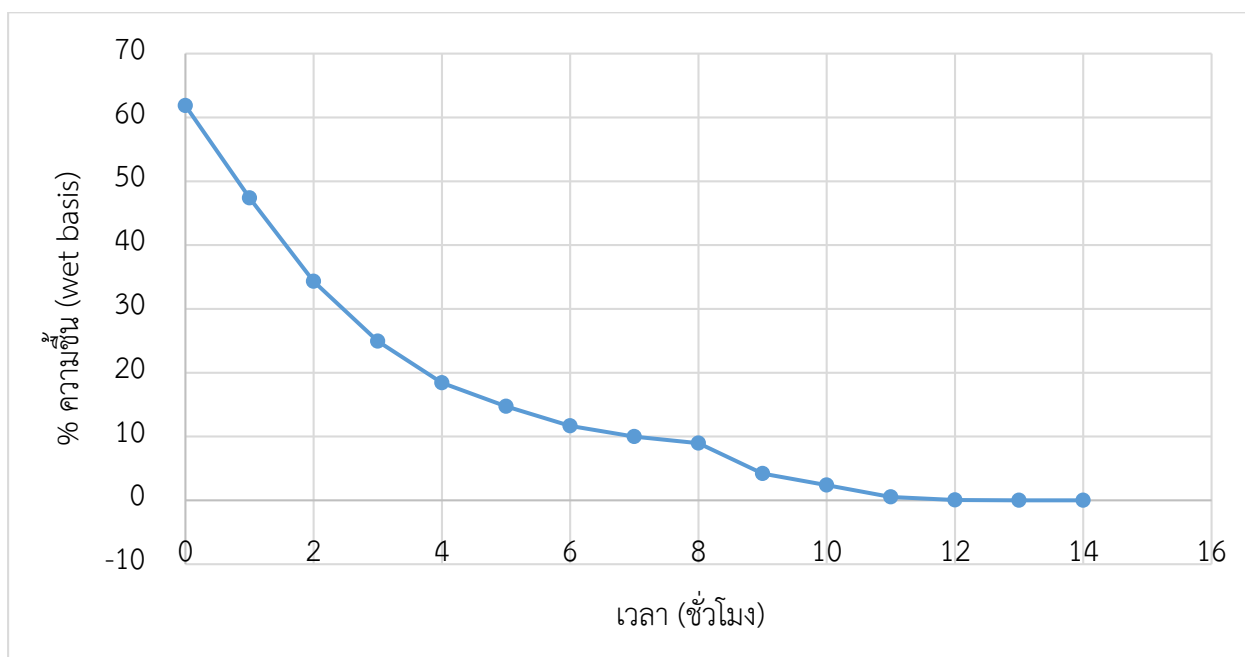
วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจากแผนการทดลองแบบ Randomized Block Design (RBD) สำหรับความยอมรับทางประสาทสัมผัสของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสำหรับการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยวิธี General Linear Model T-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

#### 4.1 การศึกษาสารก่อฟิล์มสูตรควบคุม และการหาเวลาการขึ้นรูปฟิล์มน้ำกะทิ

จากการศึกษาหาสัดส่วนสารก่อฟิล์มสูตรควบคุมที่เหมาะสม และการหาเวลาการขึ้นรูปฟิล์มน้ำกะทิ โดยการละลายมอลโทเดกซ์ทริน ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก กับแซนแทนกัม ร้อยละ 0.5 (ดัดแปลงจากวิธีของ ศิโยน กรพิบูลย์พงษ์ และ วรภา คงเป็นสุข, 2563) นำมาผสมกับน้ำกะทิสูตรควบคุม (หางกะทิผสมกับน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ในอัตราส่วน 70:30) ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแผ่นฟิล์มในตู้อบลมร้อนจนน้ำหนักของแผ่นฟิล์มคงที่ (ความชื้น) คือ 14 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 4.1 (Drying Curve) (และแสดงดังตาราง ก.1) และสามารถขึ้นรูปแผ่นฟิล์มได้ โดยฟิล์มมีความแข็งแรง ไม่เปราะ แตกง่าย สามารถลอกออกจากแผ่นเทพลอนได้ไม่ยาก สามารถฉีกออกได้ง่าย แต่มีลักษณะของน้ำมันเคลือบผิวจากไขมันในน้ำกะทิ ทำให้มีความมันเมื่อสัมผัสแผ่นฟิล์ม เมื่อนำแผ่นฟิล์มขนาด 5 x 5 ตารางเซนติเมตร ไปละลายน้ำปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 30 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า แผ่นฟิล์มสามารถละลายน้ำได้ไม่ยาก เมื่อนำน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.1 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ความชื้น (wet basis) ของแผ่นฟิล์มกับเวลา

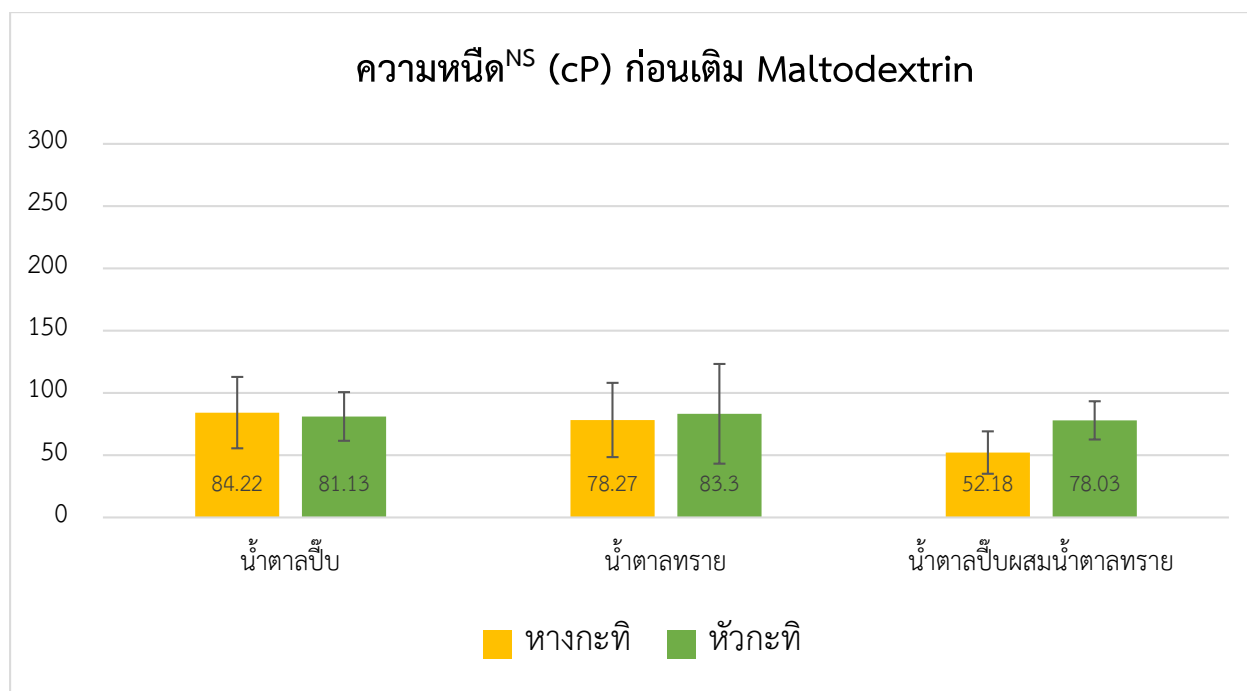
จากงานวิจัยของ Melo et al. (2011) ได้ศึกษาฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัม พบว่า แซนแทนกัมเป็นสารที่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างโมเลกุลของฟิล์ม โดยเกิดการเชื่อมข้ามของโมเลกุลภายในโครงสร้างฟิล์ม ส่งผลให้ฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น ดังนั้นจึงได้เลือกสัดส่วนดังกล่าวในการศึกษา และเวลาการอบแห้ง เพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป

## 4.2 การศึกษาผลของของสูตรน้ำกะทิ ต่อสมบัติทางกายภาพ และเคมีของฟิล์มน้ำกะทิ

เพื่อศึกษาและคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย โดยได้แปรชนิดของน้ำกะทิ 2 ชนิด ได้แก่ หางกะทิ และหัวกะทิ และแปรชนิดของน้ำตาล 2 ชนิด 3 สัดส่วน ได้แก่ น้ำตาลปี๊บ (น้ำตาลมะพร้าว) น้ำตาลทราย และน้ำตาลปี๊บ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมน้ำตาลทราย (1:1)

### 4.2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารละลายน้ำกะทิ

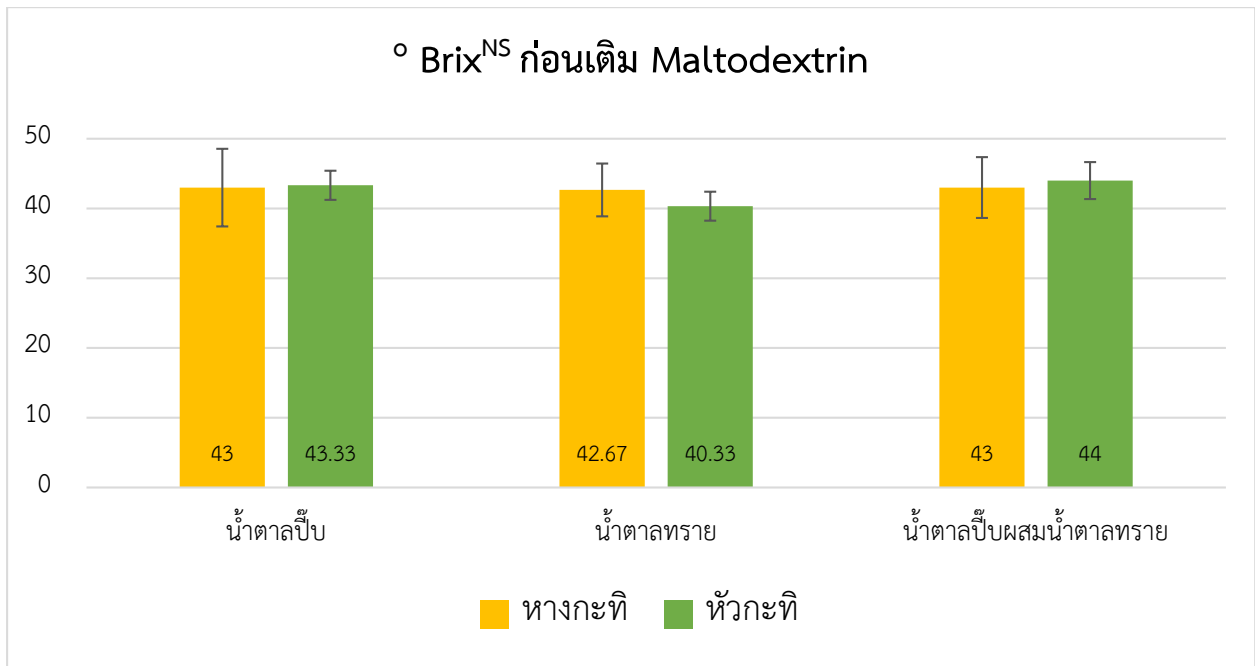
จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารละลายน้ำกะทิที่ไม่ผสมสารก่อฟิล์ม เมื่อพิจารณาค่าความหนืด แสดงดังภาพ 4.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) แสดงดังภาพ 4.3 และค่า pH แสดงดังภาพ 4.4 (และแสดงดังตาราง จ.1) พบว่า ค่าความหนืด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และค่า pH ของสารละลายน้ำกะทิทั้ง 6 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.05$ )



ภาพที่ 4.2 ค่าความหนืดของสารละลายน้ำกะทีก่อนการผสมมอลโทเดกซ์ทริน

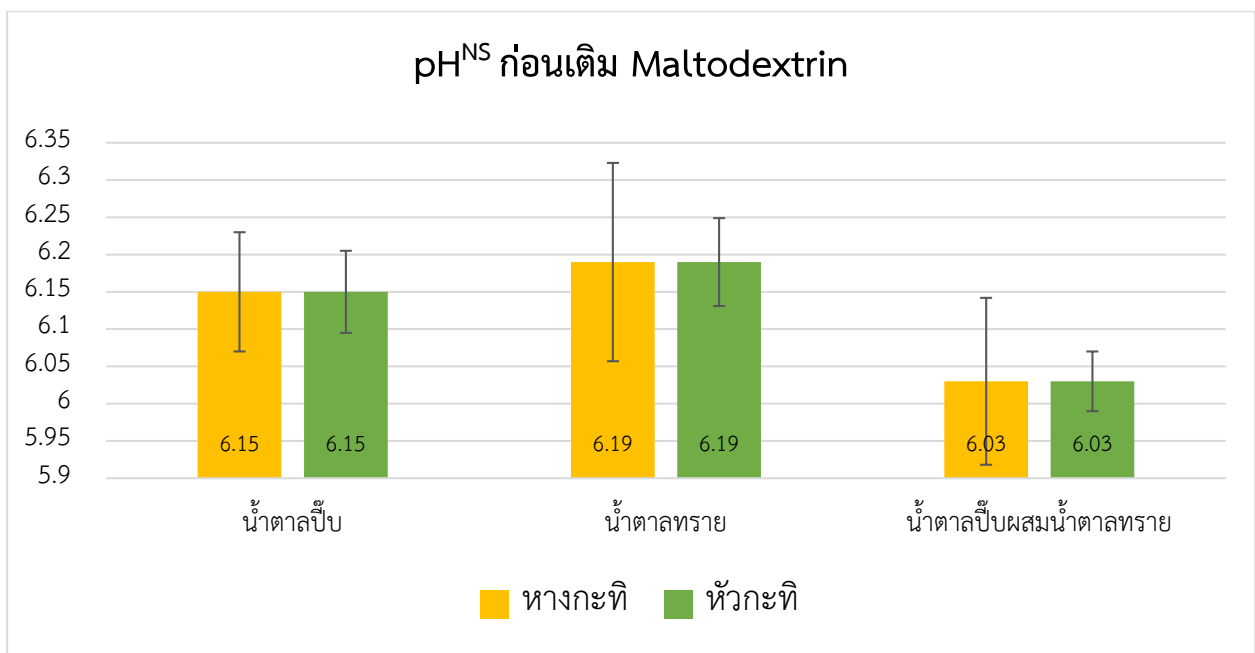
<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )





ภาพที่ 4.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของสารละลายน้ำกะทีก่อนการผสมมอลโทเดกซ์ทริน

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

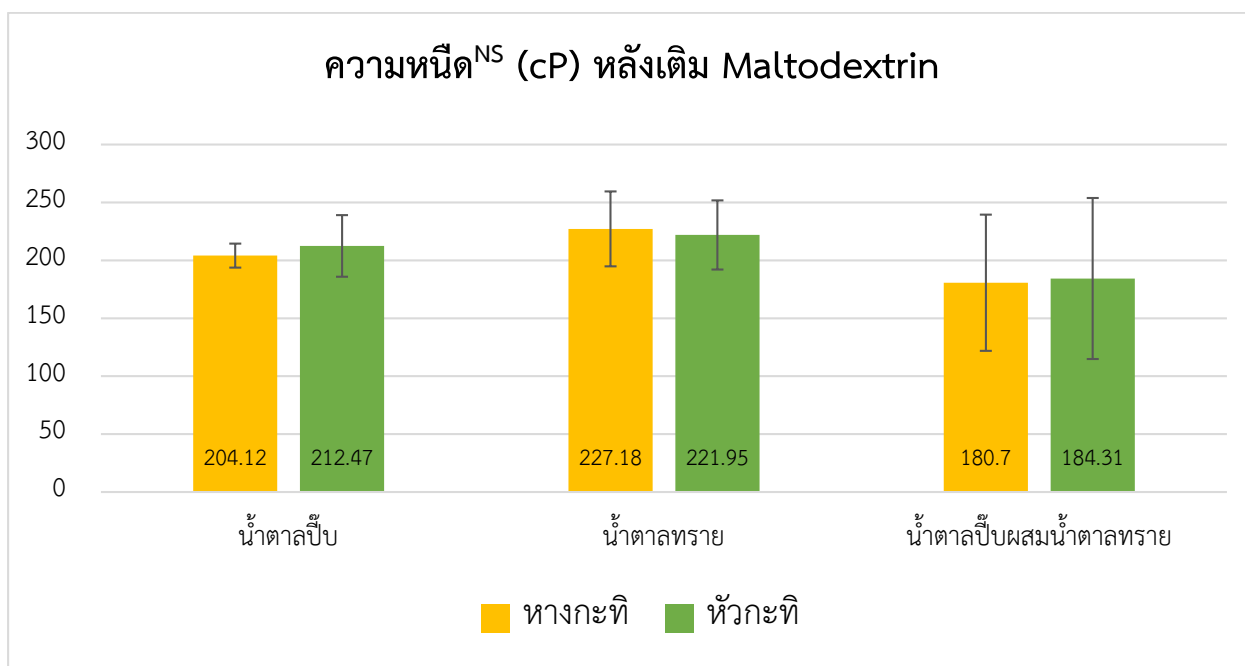


ภาพที่ 4.4 ค่า pH ของสารละลายน้ำกะทีก่อนการผสมมอลโทเดกซ์ทริน

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

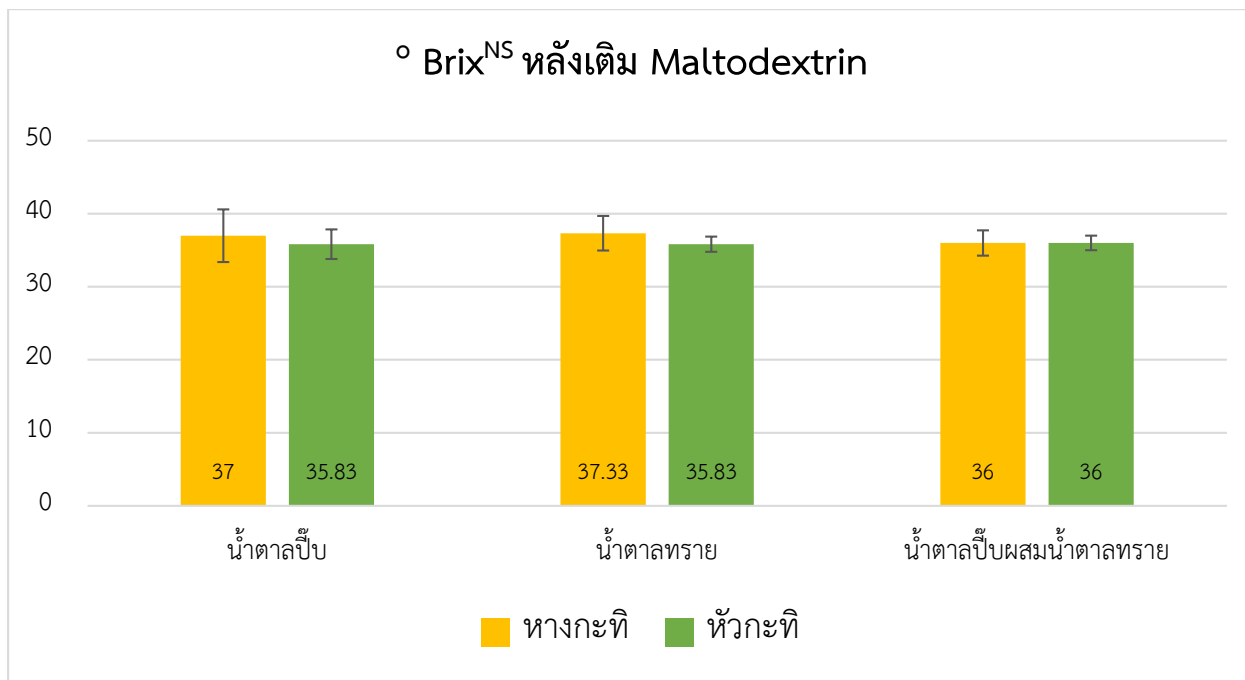
#### 4.2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารละลายน้ำกะทิผสมสารก่อฟิล์ม

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารละลายน้ำกะทิผสมสารก่อฟิล์ม เมื่อพิจารณาค่าความหนืด แสดงดังภาพ 4.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ( $^{\circ}$ Brix) แสดงดังภาพ 4.6 และค่า pH แสดงดังภาพ 4.7 (และแสดงดังตาราง จ.2) พบว่า ค่าความหนืด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และค่า pH ของสารละลายน้ำกะทิผสมสารก่อฟิล์มทั้ง 6 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.05$ )



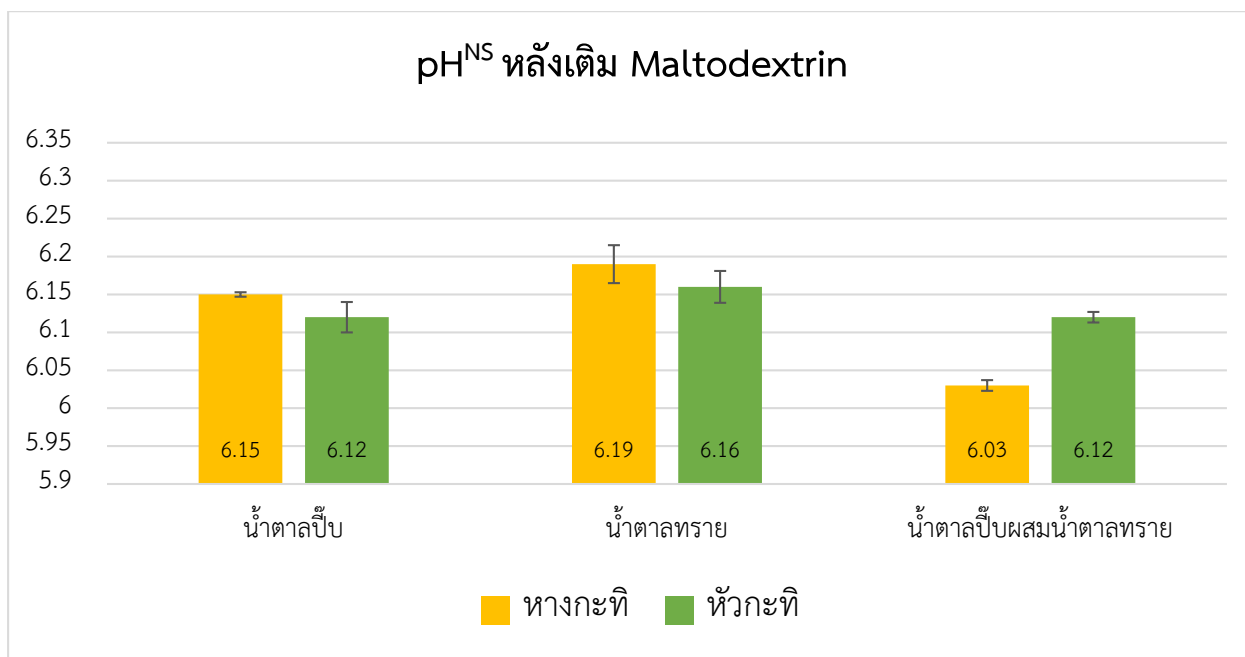
ภาพที่ 4.5 ค่าความหนืดของสารละลายน้ำกะทิหลังการผสมมอลโทเดกซ์ทริน

<sup>NS</sup>หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )



ภาพที่ 4.6 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของสารละลายน้ำกะทิหลังการผสมมอลโทเดกซ์ทริน

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

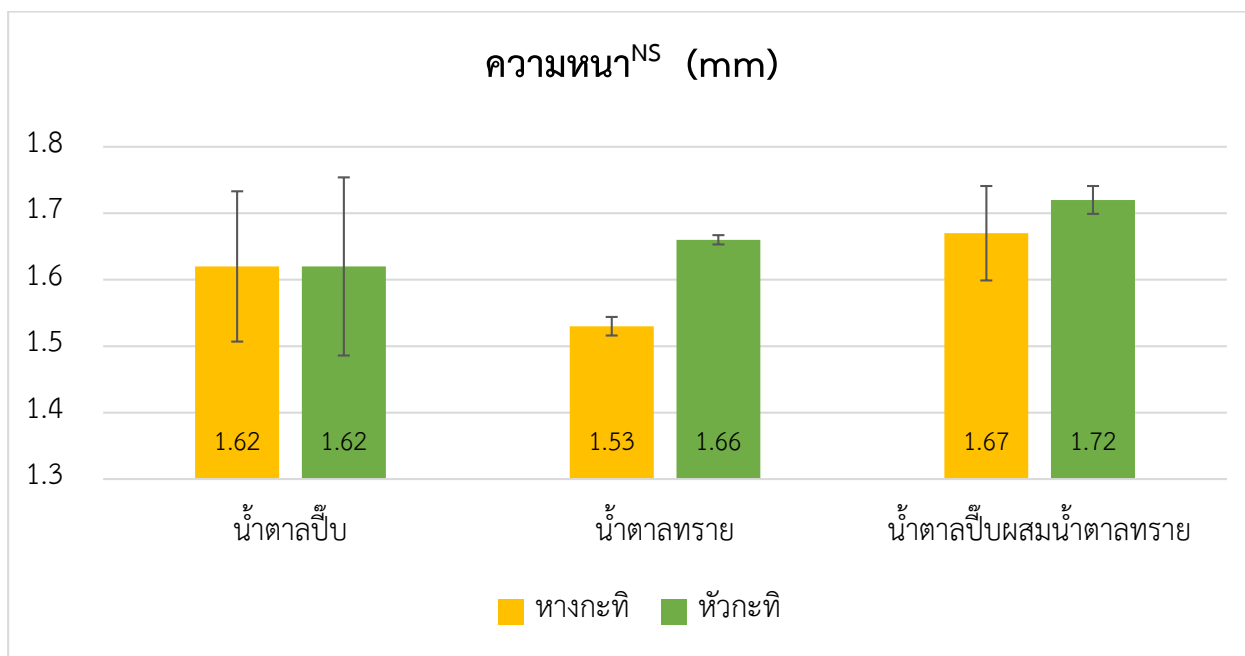


ภาพที่ 4.7 ค่า pH ของสารละลายน้ำกะทิหลังการผสมมอลโทเดกซ์ทริน

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

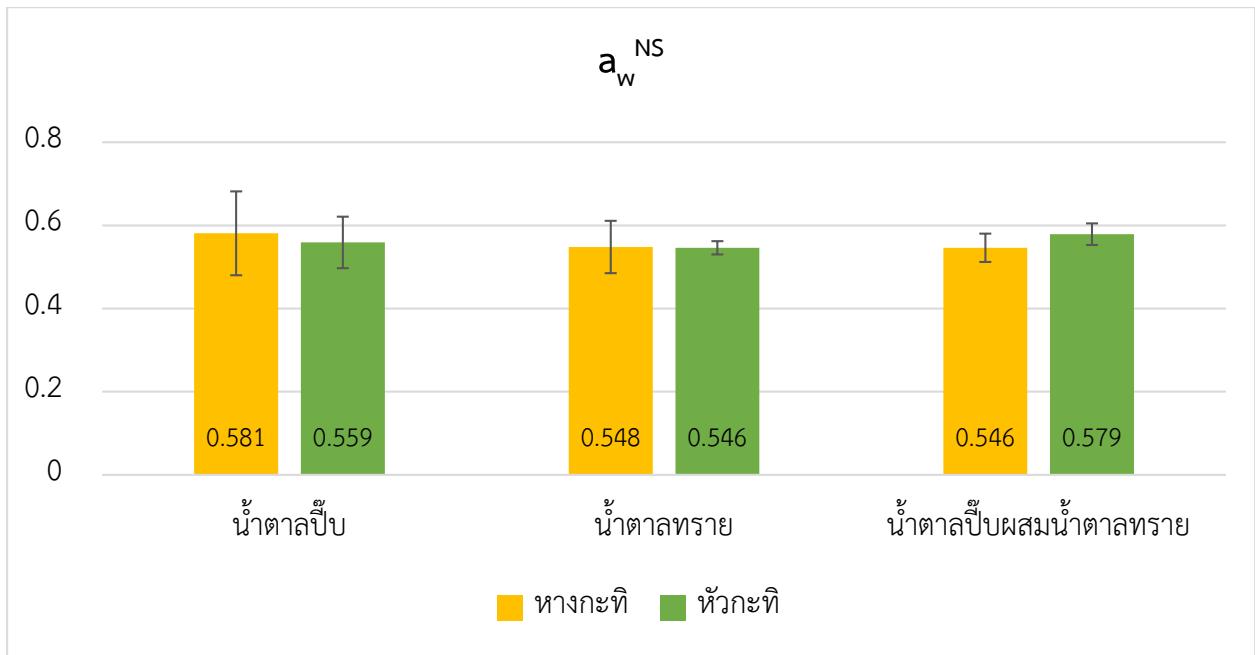
### 4.2.3 สมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ เมื่อพิจารณาค่าความหนา แสดงดังภาพ 4.8 ค่าปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) แสดงดังภาพ 4.9 ค่าความชื้น แสดงดังภาพ 4.10 ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) แสดงดังภาพ 4.11 ค่าการยืดตัว (% Elongation) แสดงดังภาพ 4.12 และค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 1 นาที และ 2 นาที แสดงดังภาพ 4.13 และ 4.14 (และแสดงดังตาราง จ.3) พบว่า ค่าความหนา ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าการยืดตัว ค่าปริมาณน้ำอิสระ ค่าความชื้น และค่าความสามารถในการละลายน้ำ ที่ 1 นาที และ 2 นาที ของฟิล์มน้ำกะทิทั้ง 6 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.05$ ) โดยมีค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่นฟิล์มอยู่ที่ 1.64 มิลลิเมตร



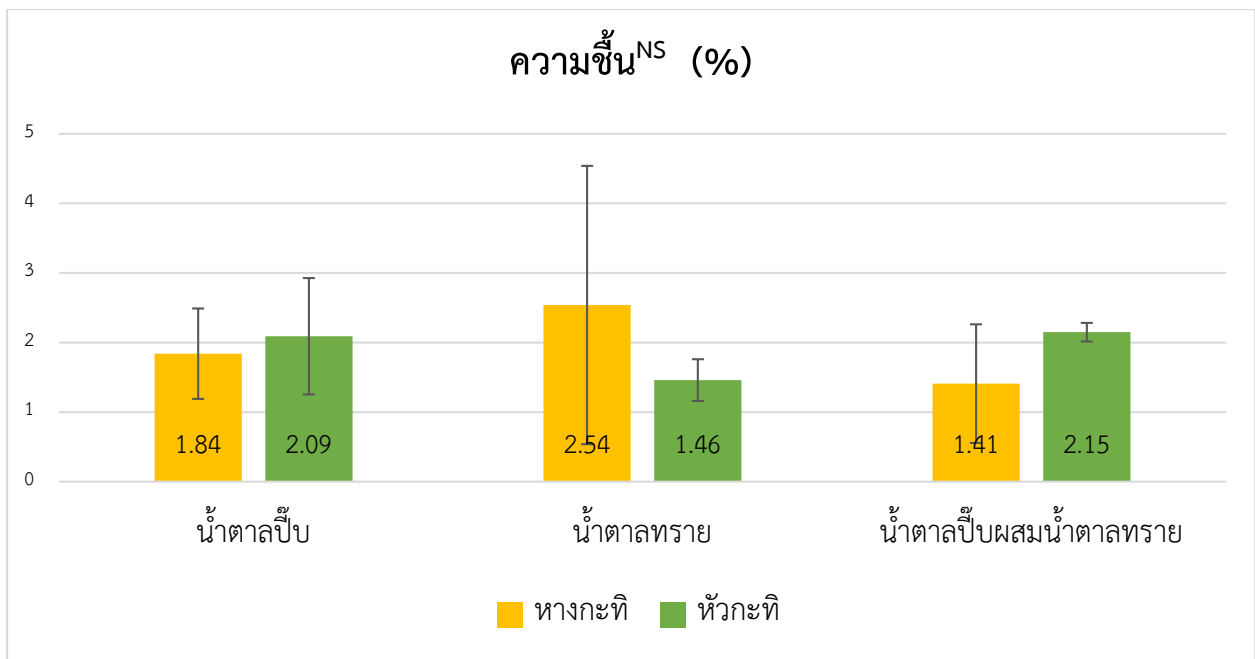
ภาพที่ 4.8 ค่าความหนาของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร

<sup>NS</sup>หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )



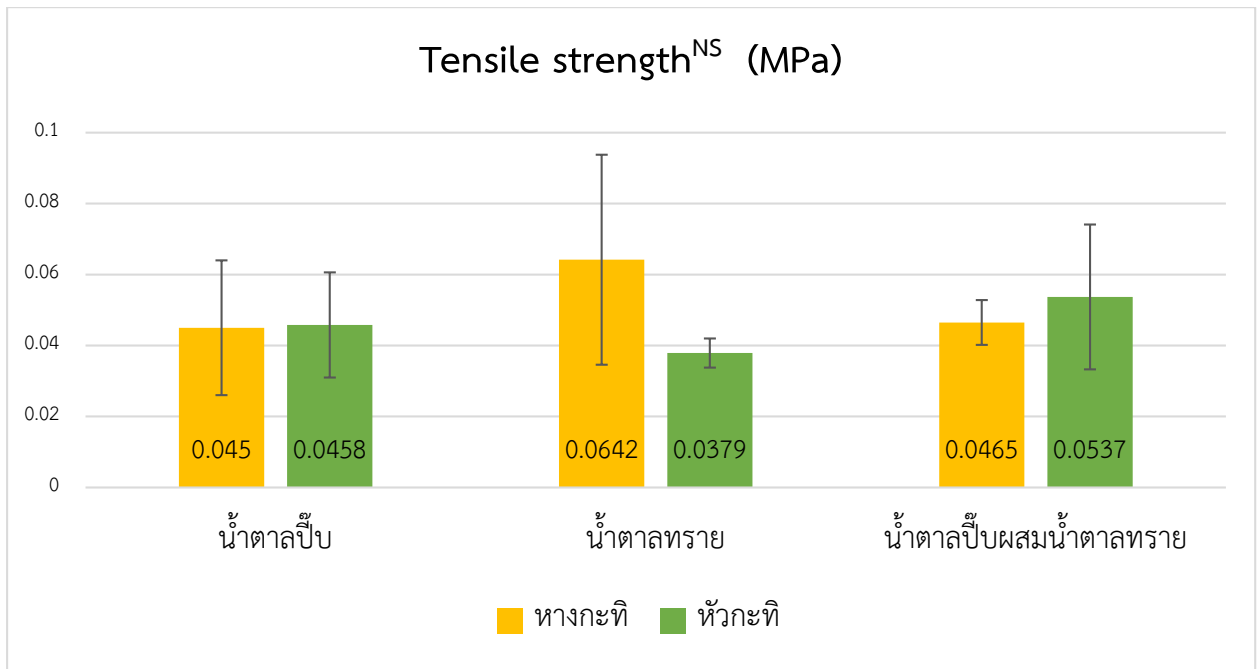
ภาพที่ 4.9 ค่าปริมาณน้ำอิสระของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร

<sup>NS</sup>หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )



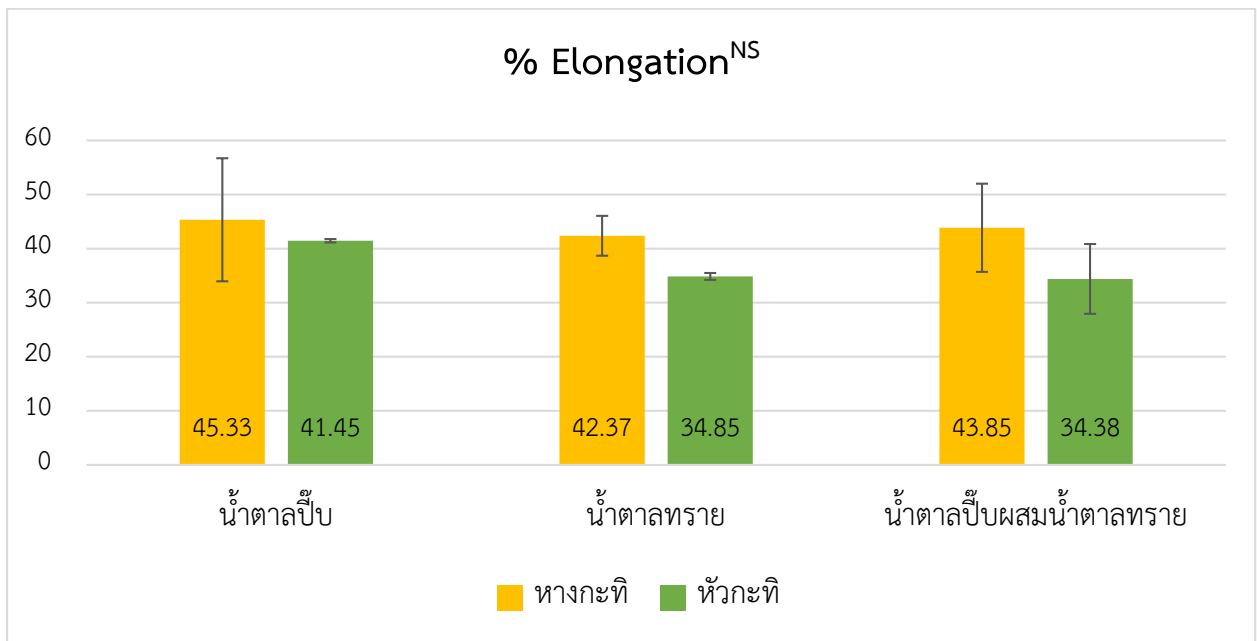
ภาพที่ 4.10 ค่าความชื้นของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร

<sup>NS</sup>หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )



ภาพที่ 4.11 ค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มน้ำกะทื 6 สูตร

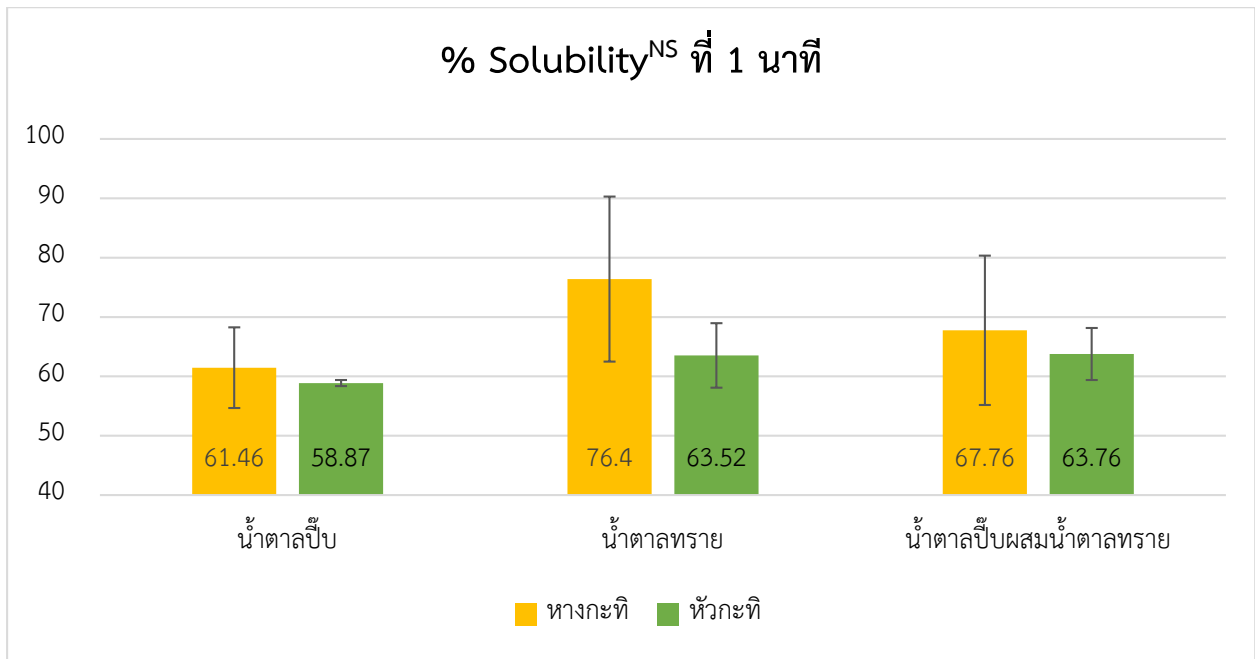
<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )



ภาพที่ 4.12 ค่าการยืดตัวของแผ่นฟิล์มน้ำกะทื 6 สูตร

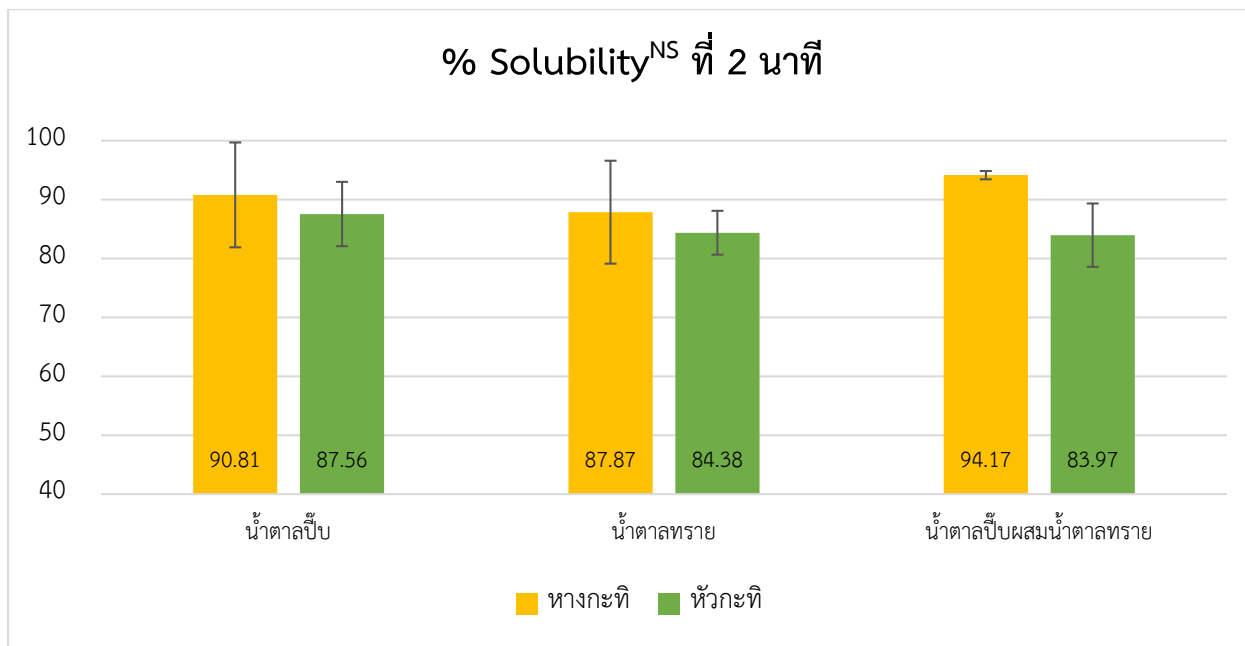
<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 1 นาที และ 2 นาที แสดงดังภาพที่ 4.13 และภาพที่ 4.14 พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) แต่สูตรที่มีหางกะทิเป็นองค์ประกอบ มีแนวโน้มค่าความสามารถในการละลายน้ำสูงกว่าสูตรหัวกะทิ เนื่องจากในหางกะทิมีส่วนปริมาณไขมันน้อยกว่าหัวกะทิ ทำให้ไม่มีไขมันไปขัดขวางการละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม



ภาพที่ 4.13 ค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 1 นาทีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

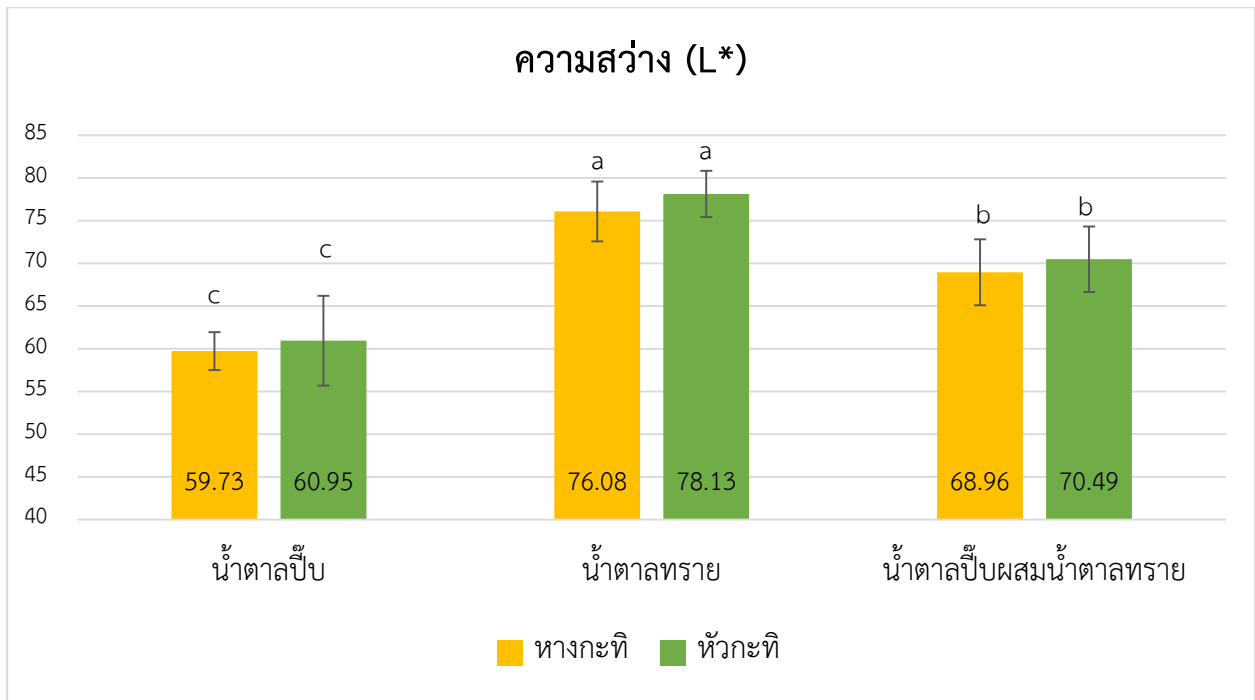


ภาพที่ 4.14 ค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 2 นาทีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

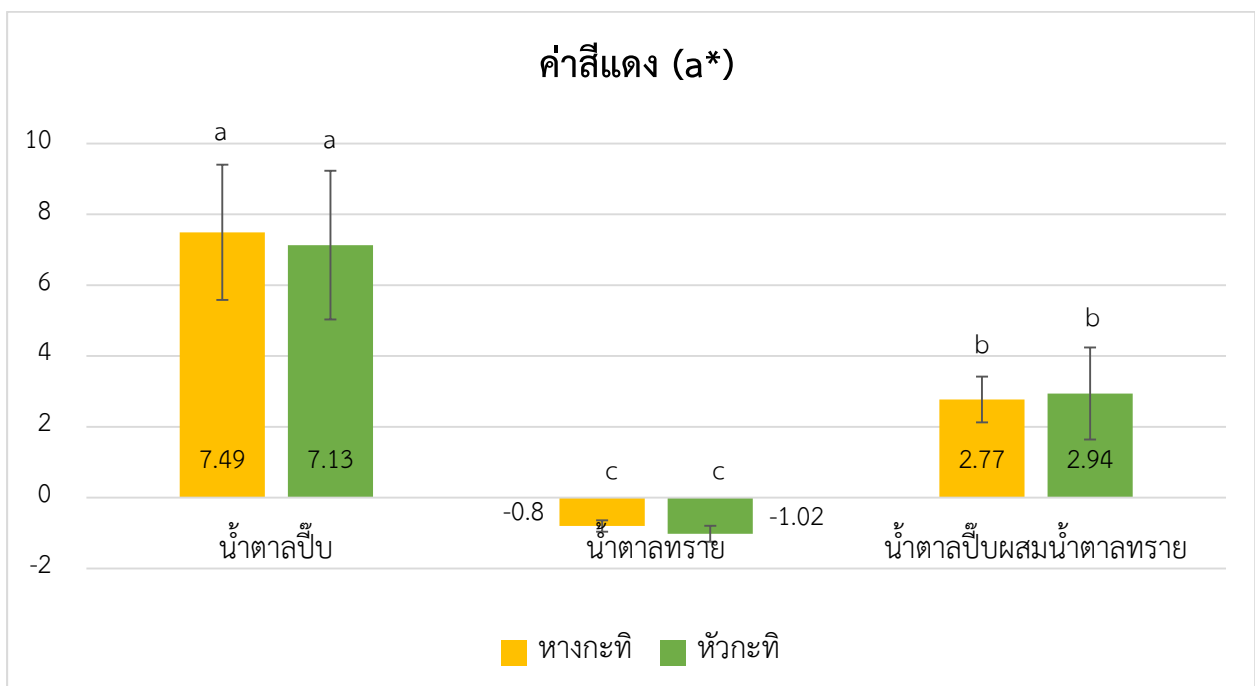
จากการวิเคราะห์ค่าสี พบว่าค่าความสว่าง ( $L^*$ ) แสดงดังภาพที่ 4.15 ค่าสีแดง ( $a^*$ ) แสดงดังภาพที่ 4.16 และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) แสดงดังภาพที่ 4.17 ของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิทั้ง 6 สูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญขึ้นอยู่กับชนิดและสัดส่วนของน้ำตาลที่ใส่ ( $p < 0.05$ ) โดยค่าความสว่างมีแนวโน้มสูงขึ้น ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมีแนวโน้มลดลง เมื่อมีสัดส่วนน้ำตาลทรายสูง และค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลง ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อมีสัดส่วนน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) สูง แสดงให้เห็นว่าชนิดและสัดส่วนของน้ำตาลที่ต่างกัน ส่งผลต่อค่าสีที่เปลี่ยนไป แต่ชนิดของน้ำกะทิไม่ส่งผลต่อค่าสีทั้ง 3 ค่าอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.05$ )





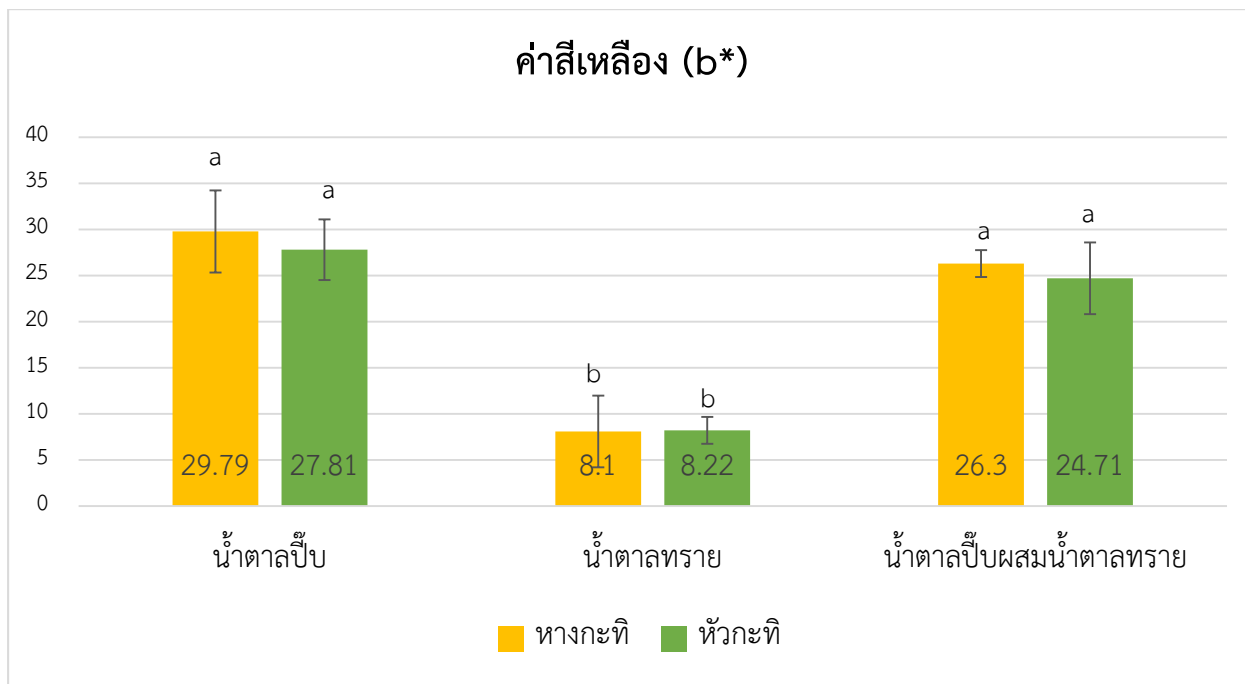
ภาพที่ 4.15 ค่าความสว่างของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร

a,b...ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



ภาพที่ 4.16 ค่าสีแดงของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร

a,b...ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



ภาพที่ 4.17 ค่าสีเหลืองของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ 6 สูตร

a,b...ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

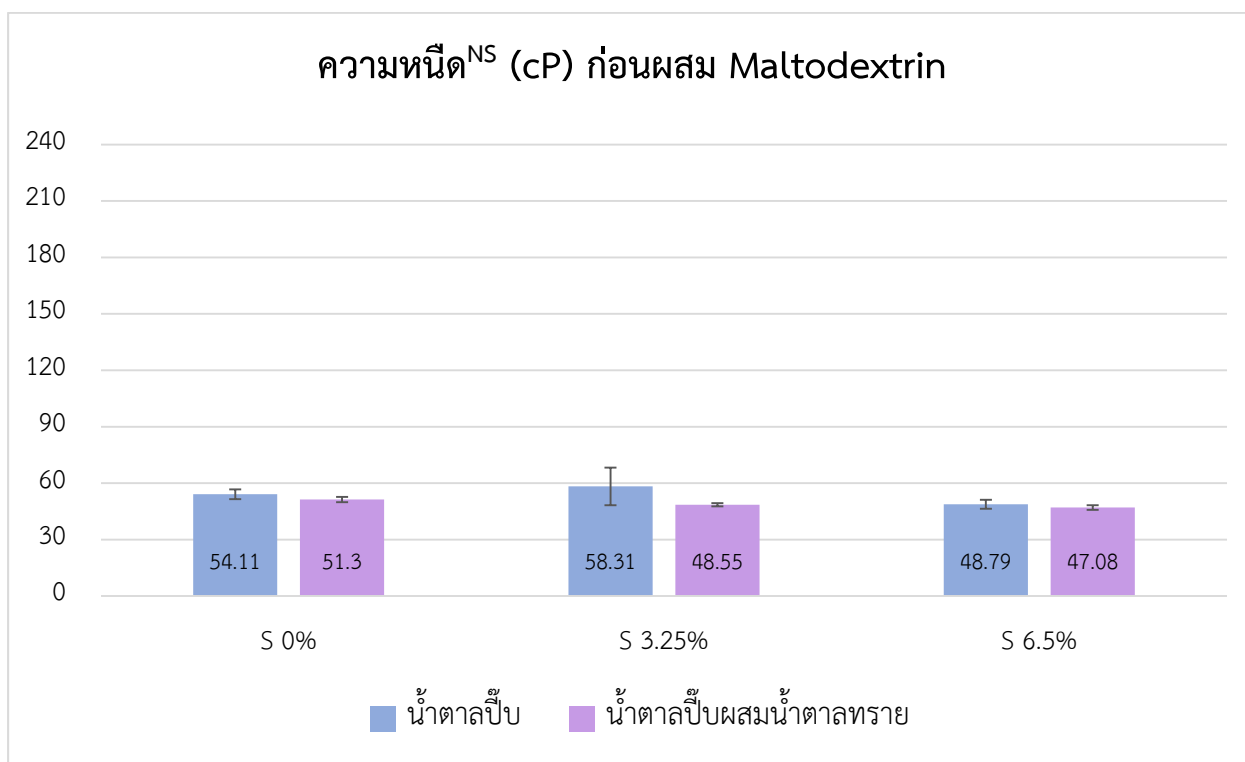
#### 4.3 การพัฒนาสูตรของฟิล์มน้ำกะทิ ด้วยการเติมซอร์บิทอล เพื่อเป็นพลาสติกไซเซอร์และลดปริมาณน้ำตาล

จากสมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิทั้ง 6 สูตรใน 4.2 พบว่าสมบัติส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.05$ ) จึงได้คัดเลือกสูตรที่ใช้หางกะทิร่วมกับน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) และสูตรที่ใช้หางกะทิร่วมกับน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมน้ำตาลทราย (1:1) เพื่อพัฒนาและปรับปรุงสูตรต่อไป เพราะหางกะทิมีสัดส่วนไขมันน้อยกว่าหัวกะทิ และน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ที่มีกลิ่นหอมกว่าน้ำตาลทราย

เพื่อพัฒนาและปรับปรุงสูตรของผลิตภัณฑ์ฟิล์มน้ำกะทิ โดยได้แปรชนิดของน้ำตาล 2 ชนิด ได้แก่ น้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) และน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมน้ำตาลทราย (1:1) และสัดส่วนของพลาสติกไซเซอร์ ซอร์บิทอล 3 สัดส่วน ได้แก่ 0.00% 3.25% และ 6.50% ทำให้สามารถลดปริมาณน้ำตาลด้วยซอร์บิทอล (สารให้ความหวานแทนน้ำตาล) และซอร์บิทอล ยังเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่มีสมบัติช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มในด้านต่าง ๆ ให้ดีขึ้น เนื่องจากพลาสติกไซเซอร์เป็นสารโมเลกุลเล็ก จึงแทรกจับกับพอลิเมอร์ด้วยพันธะ secondary valency ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง (Banker, 1966)

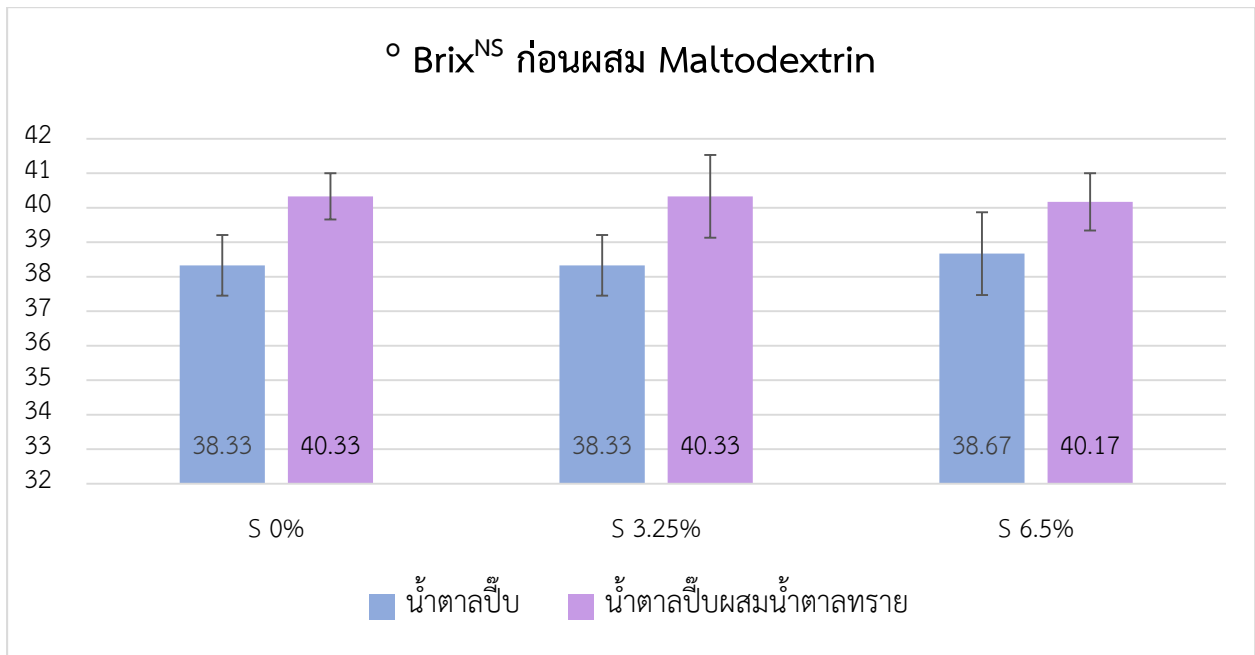
#### 4.3.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำกะทิสูตรปรับปรุง

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงที่ไม่ผสมสารก่อฟิล์ม เมื่อพิจารณาค่าความหนืด แสดงดังภาพ 4.18 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ( $^{\circ}$  Brix) แสดงดังภาพ 4.19 และค่า pH แสดงดังภาพ 4.20 (และแสดงดังตาราง จ.4) พบว่า ค่าความหนืด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และค่า pH ของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงทั้ง 6 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.05$ )



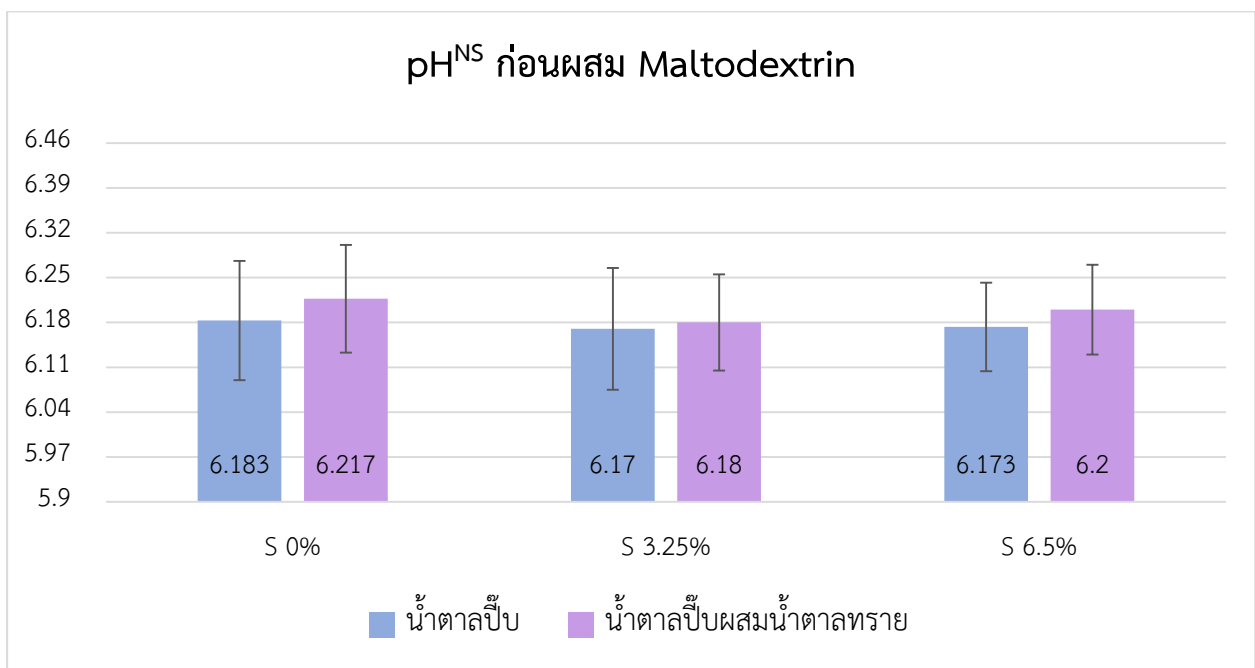
ภาพที่ 4.18 ค่าความหนืดของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงก่อนการผสมมอลโทเดกซ์ทริน

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )



ภาพที่ 4.19 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงก่อนการผสมมอลโทเดกซ์ทริน

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

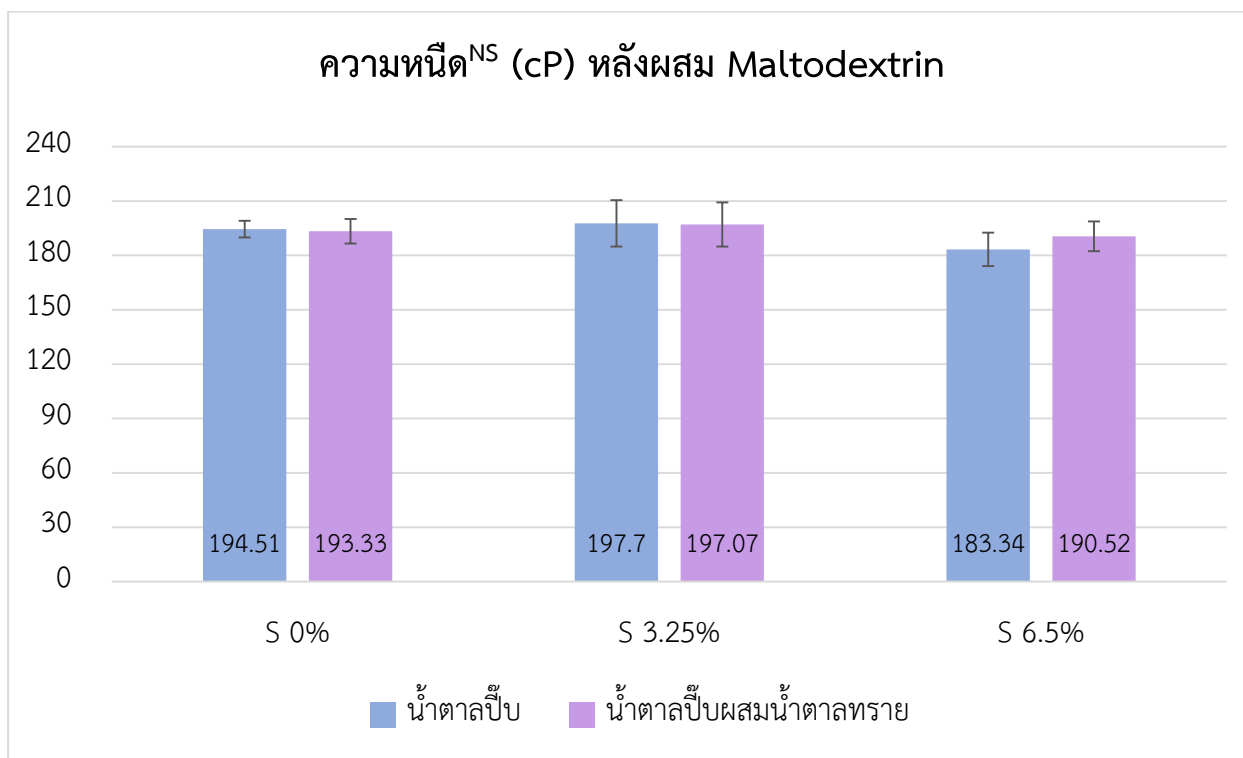


ภาพที่ 4.20 ค่า pH ของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงก่อนการผสมมอลโทเดกซ์ทริน

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

#### 4.3.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำกะทิสูตรปรับปรุงผสมสารก่อฟิล์ม

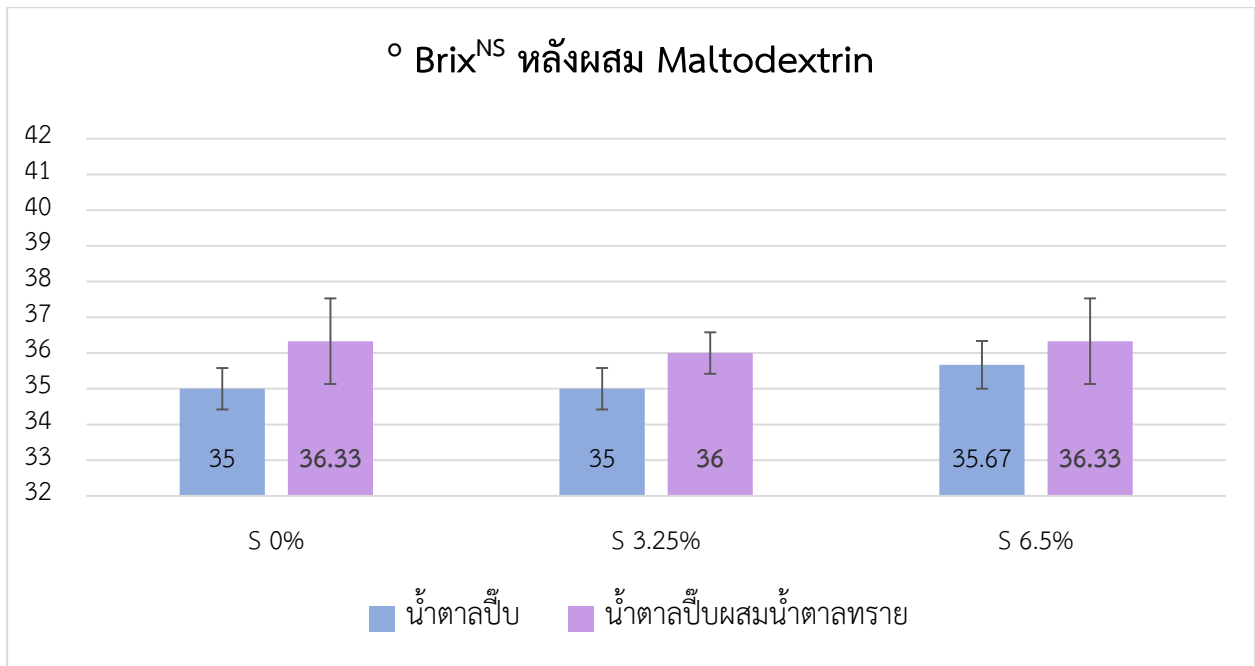
จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงผสมสารก่อฟิล์ม เมื่อพิจารณาค่าความหนืด แสดงดังภาพ 4.21 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ( $^{\circ}$  Brix) แสดงดังภาพ 4.22 และค่า pH แสดงดังภาพ 4.23 (และแสดงดังตาราง จ.5) พบว่า ค่าความหนืด ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และค่า pH ของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงผสมสารก่อฟิล์มทั้ง 6 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.05$ )



ภาพที่ 4.21 ค่าความหนืดของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงหลังการผสมมอลโทเดกซ์ทริน

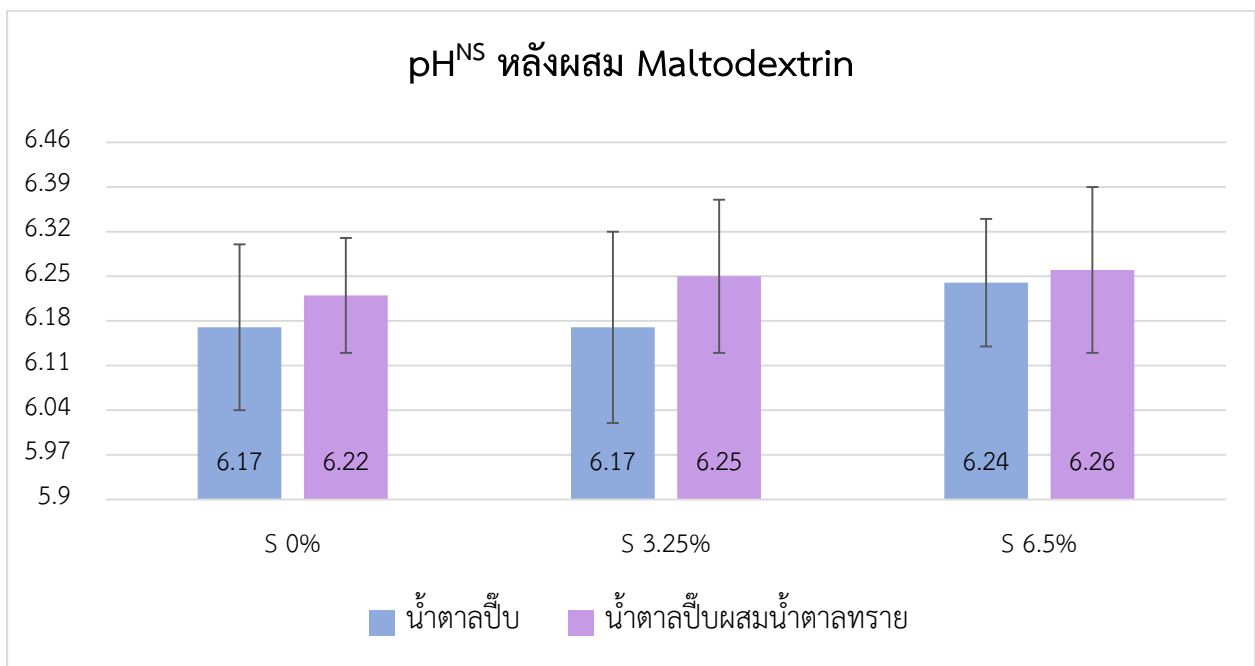
<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

จากปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงหลังผสมมอลโทเดกซ์ทริน แสดงดังภาพที่ 4.22 พบว่าแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุงทั้ง 6 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) แต่สูตรน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมน้ำตาลทราย มีแนวโน้มค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้สูงกว่าสูตรน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) เนื่องจากน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) มีองค์ประกอบของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยกว่าน้ำตาลทราย และมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ของแข็งที่ละลายน้ำได้อยู่มากกว่า



ภาพที่ 4.22 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงหลังการผสมมอลโทเดกซ์ทริน

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

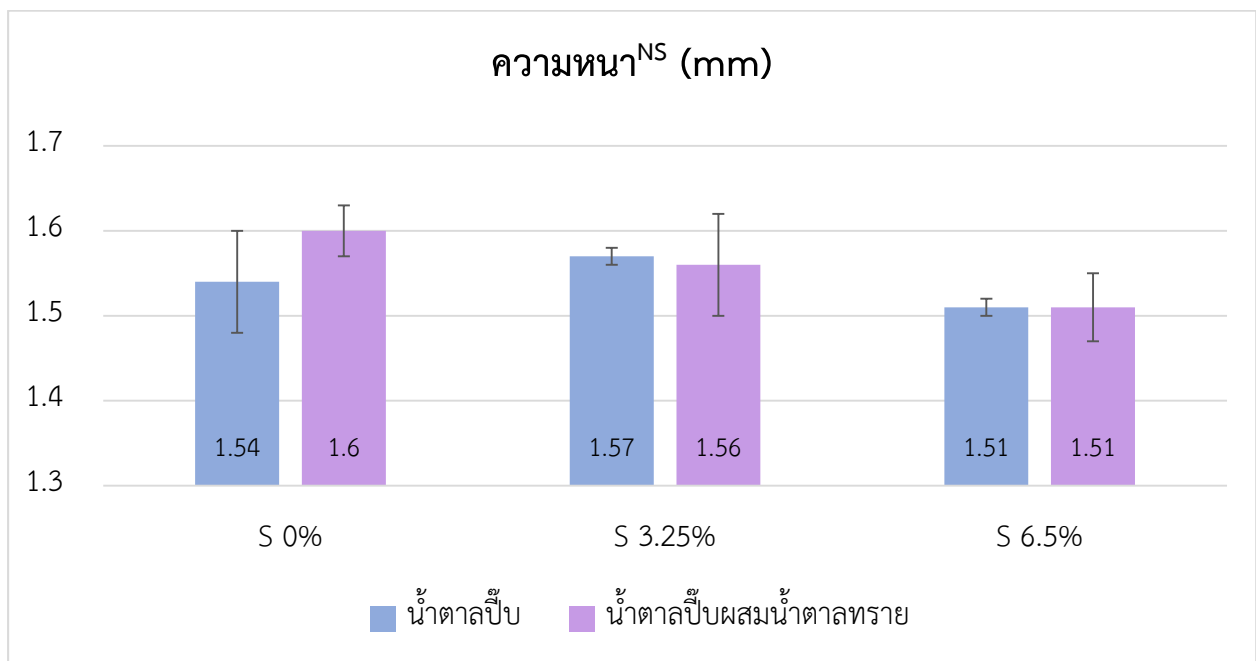


ภาพที่ 4.23 ค่า pH ของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงหลังการผสมมอลโทเดกซ์ทริน

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

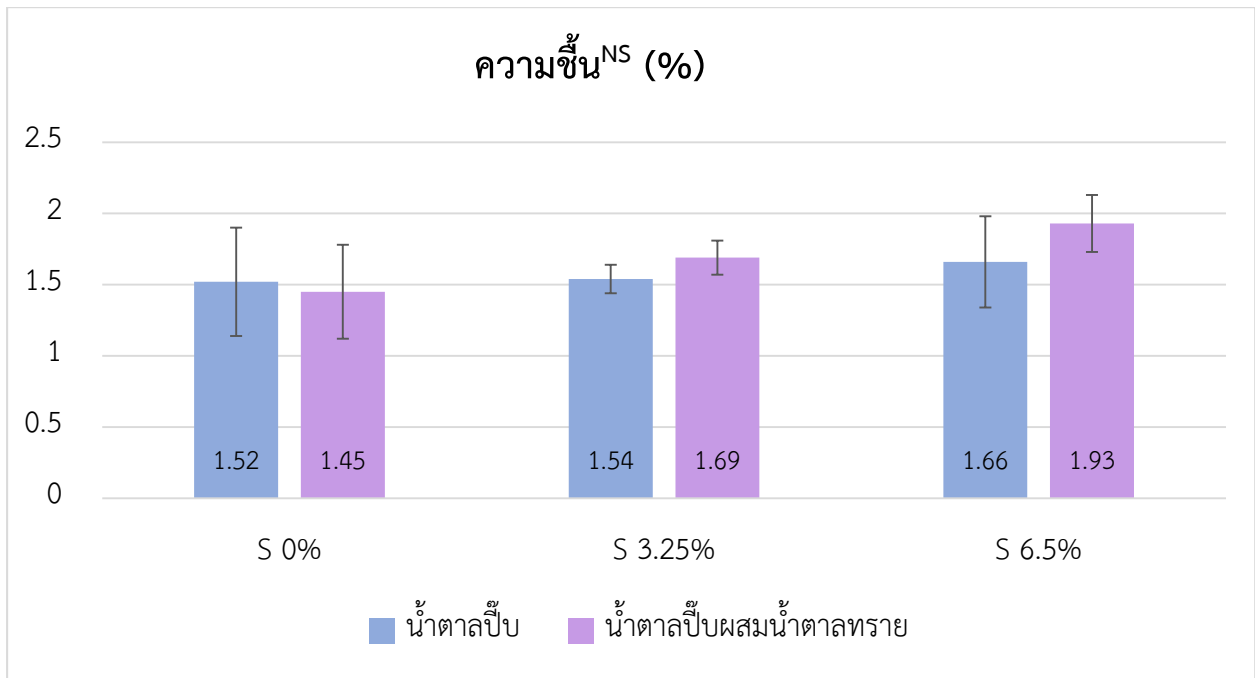
#### 4.3.3 สมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง เมื่อพิจารณา ค่าความหนา แสดงดังภาพ 4.24 ค่าความชื้น แสดงดังภาพ 4.25 ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) แสดงดังภาพ 4.26 ค่าการยืดตัว (% Elongation) แสดงดังภาพ 4.27 และค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 1 นาที แสดงดังภาพ 4.30 (และแสดงดังตาราง จ.6) พบว่า ความหนา ค่าความชื้น ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าการยืดตัว และค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 1 นาที ของฟิล์ม น้ำกะทิทั้ง 6 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.05$ ) โดยมีค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่นฟิล์มอยู่ที่ 1.55 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.24 ค่าความหนาของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร

<sup>NS</sup>หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

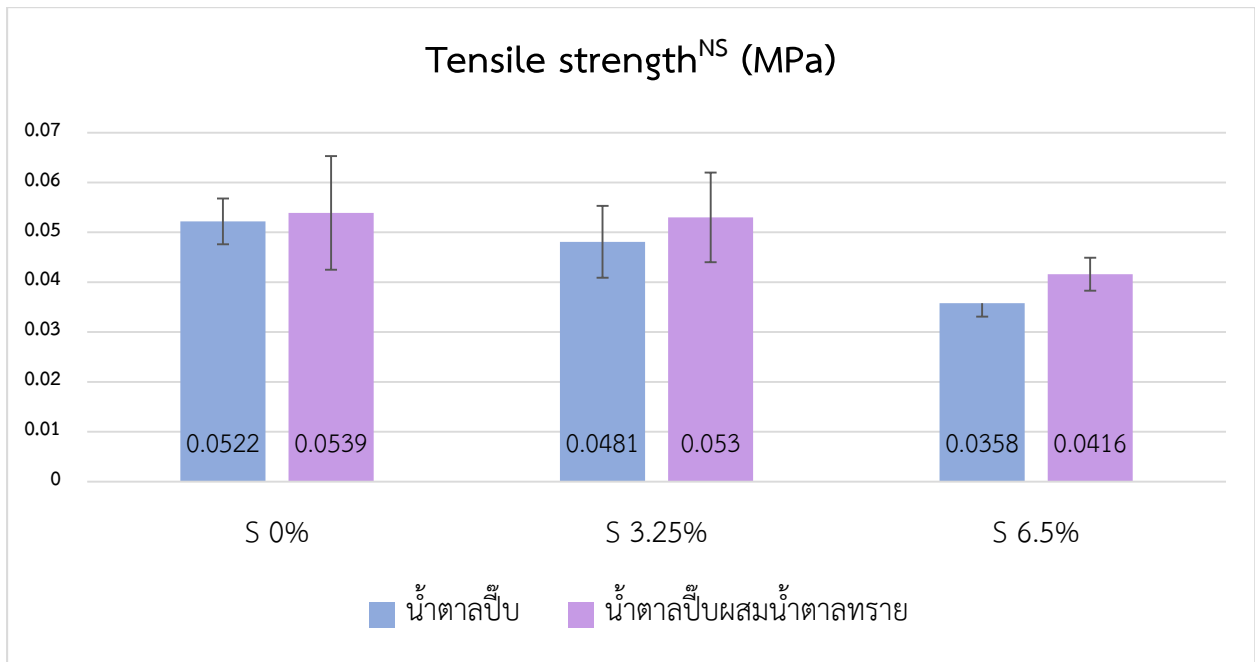


ภาพที่ 4.25 ค่าความชื้นของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

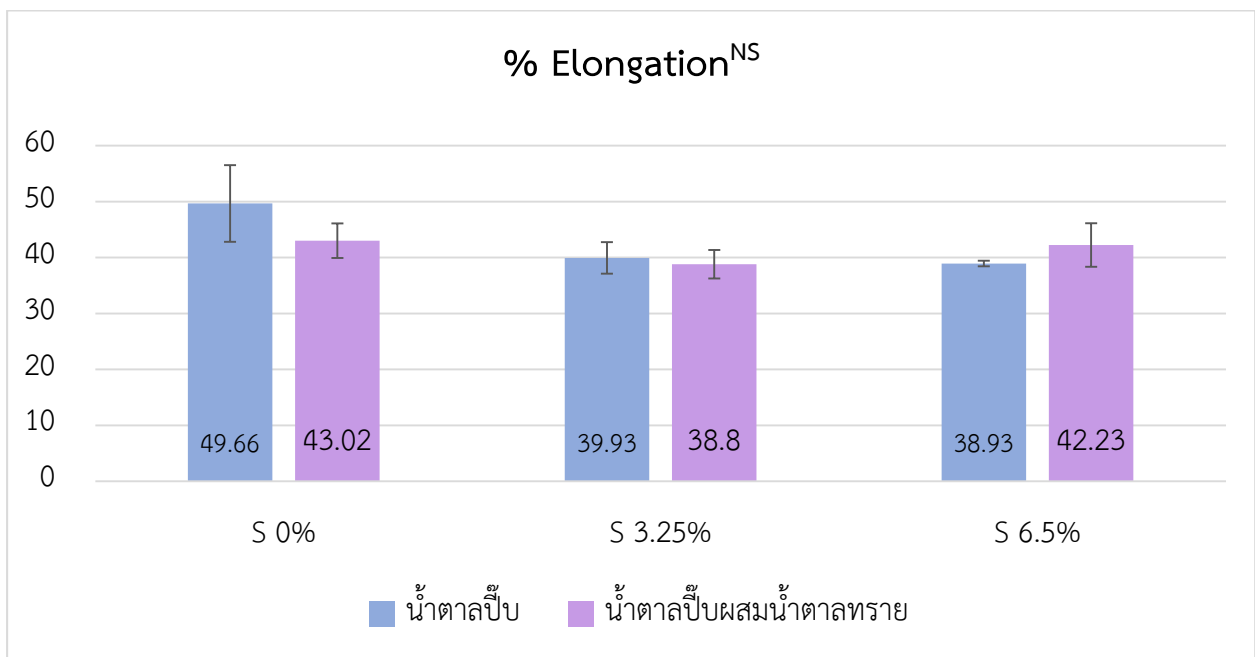
จากค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง แสดงดังภาพที่ 4.26 พบว่าแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุงทั้ง 6 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) แต่สูตรที่มีสัดส่วนซอร์บิทอลสูง ค่าความต้านทานแรงดึงจะมีแนวโน้มต่ำลง เนื่องจากซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไฮเซออร์ มีความสามารถในการขัดขวางการเกิดพันธะกันของพอลิเมอร์ในการขึ้นรูปฟิล์ม (Rahmawati et al., 2019) ทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มต่ำลง ค่าความต้านทานแรงดึงจึงต่ำกว่าสูตรที่มีสัดส่วนของซอร์บิทอลต่ำ





ภาพที่ 4.26 ค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร

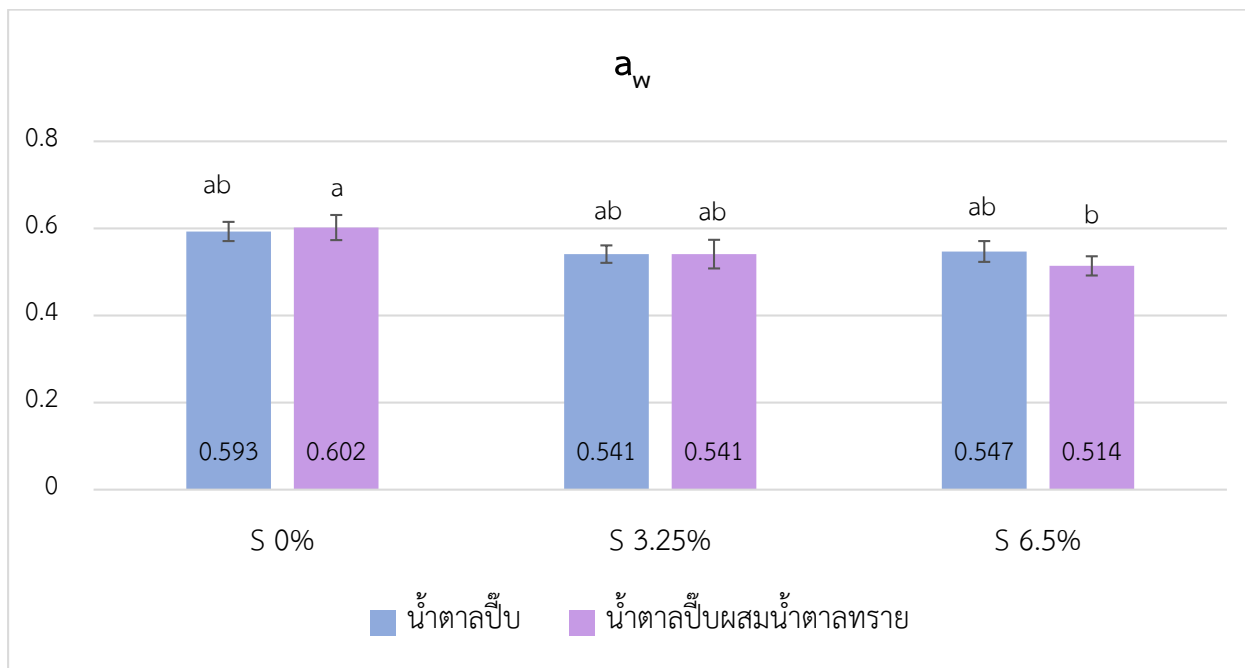
<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )



ภาพที่ 4.27 ค่าการยืดตัวของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

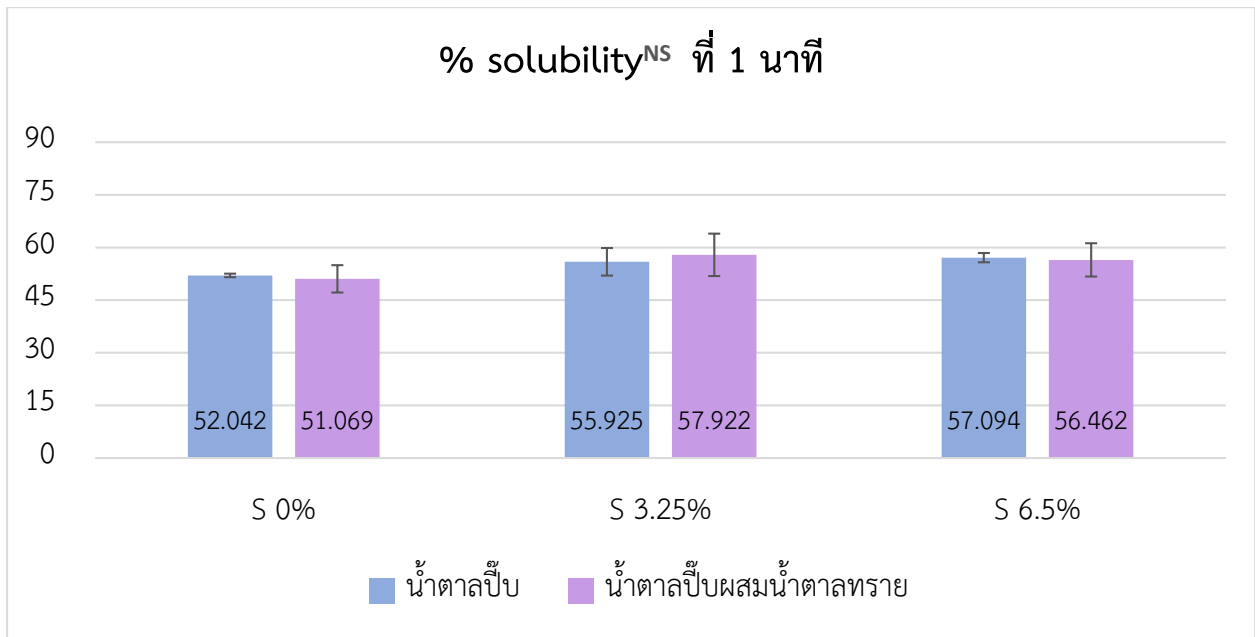
จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) แสดงดังภาพที่ 4.28 พบว่าปริมาณน้ำอิสระของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) โดยปริมาณน้ำอิสระของสูตรน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมน้ำตาลทราย (1:1) ผสมซอร์บิทอล 6.50% มีปริมาณต่ำสุด เนื่องจากซอร์บิทอล มีสมบัติจับตัวกับน้ำได้ดี (Krochta, 2002) ทำให้มีค่าปริมาณน้ำอิสระลดลง



ภาพที่ 4.28 ค่าปริมาณน้ำอิสระของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร

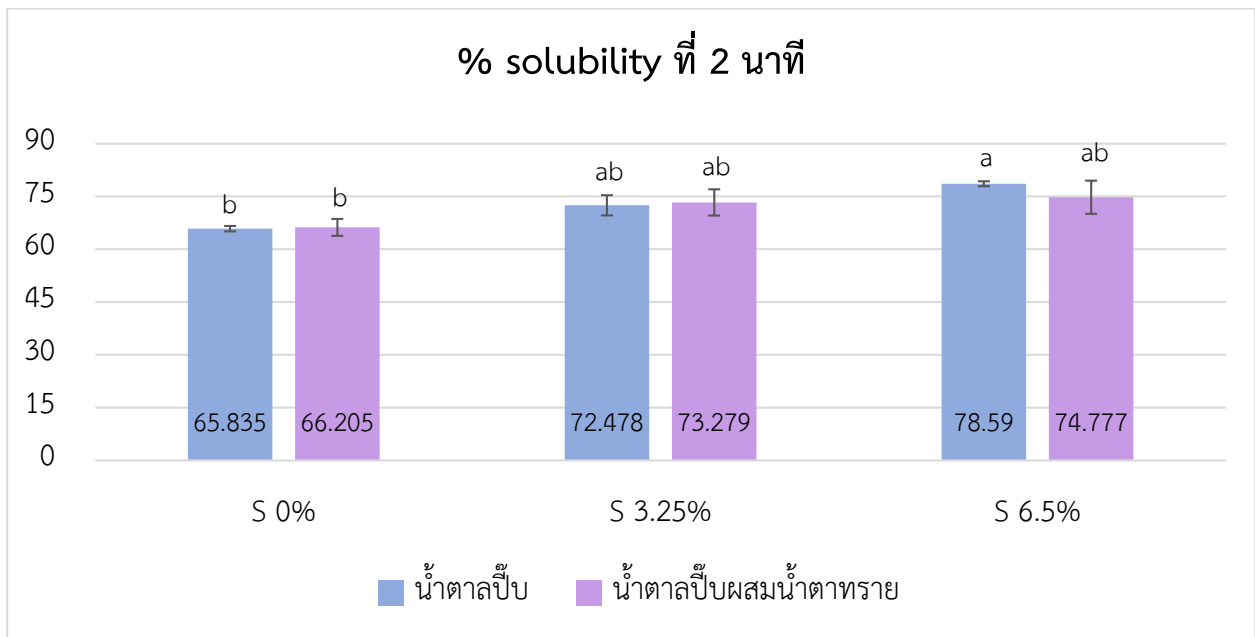
<sup>a,b</sup>...ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 2 นาที แสดงดังภาพที่ 4.30 พบว่าค่าความสามารถในการละลายน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีสัดส่วนของซอร์บิทอลสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากซอร์บิทอลมีความสามารถในการปรับปรุงสมบัติการละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม เนื่องจากเป็นพอลิออลที่มีคุณสมบัติการละลายน้ำได้ดี เป็น hydrophilic plasticizers (Krochta, 2002)



ภาพที่ 4.29 ค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 1 นาทีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร

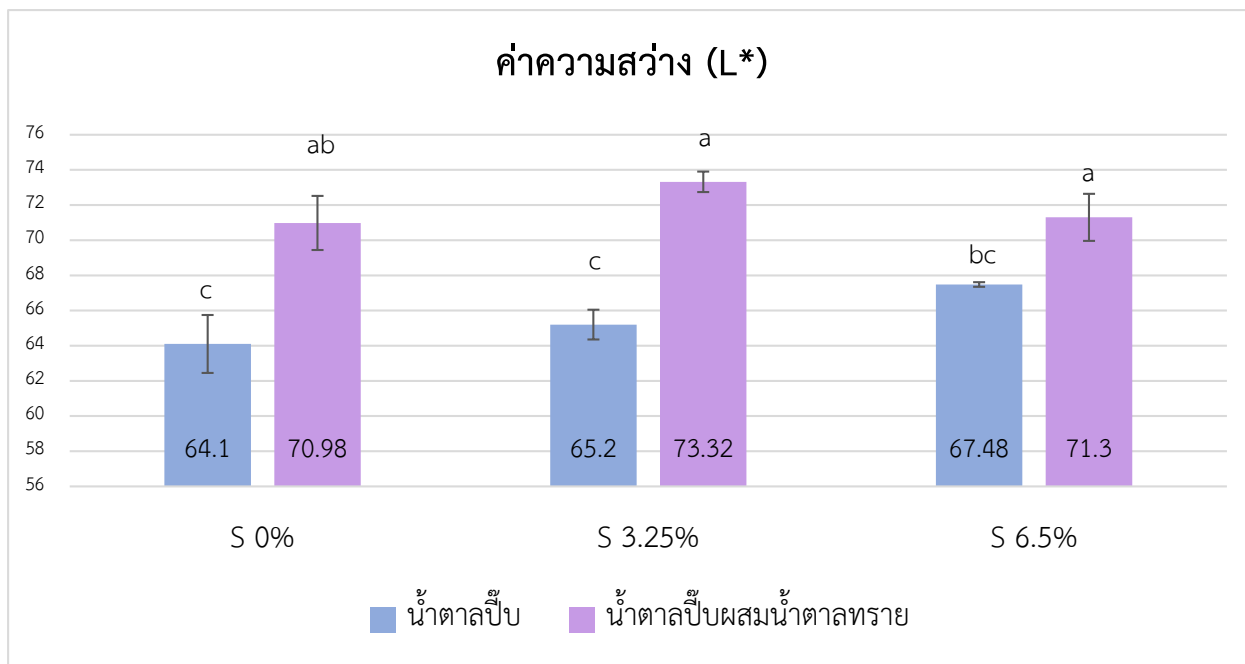
<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )



ภาพที่ 4.30 ค่าความสามารถในการละลายน้ำที่ 2 นาทีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร

<sup>a,b</sup> ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

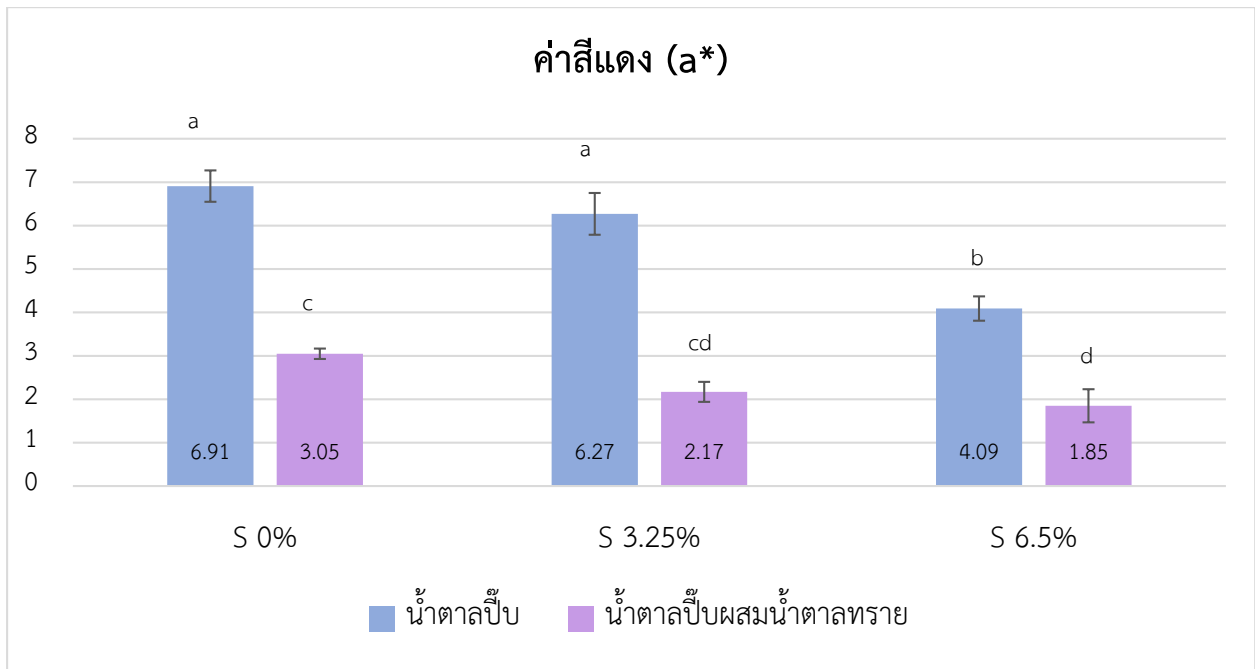
จากการวิเคราะห์ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) แสดงดังภาพที่ 4.31 พบว่าค่าความสว่างมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อมีสัดส่วนน้ำตาลทรายสูงขึ้น และค่าความสว่างมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อมีสัดส่วนน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าชนิดและสัดส่วนของน้ำตาลที่ต่างกัน ส่งผลต่อค่าความสว่างที่เปลี่ยนไป



ภาพที่ 4.31 ค่าความสว่างของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร

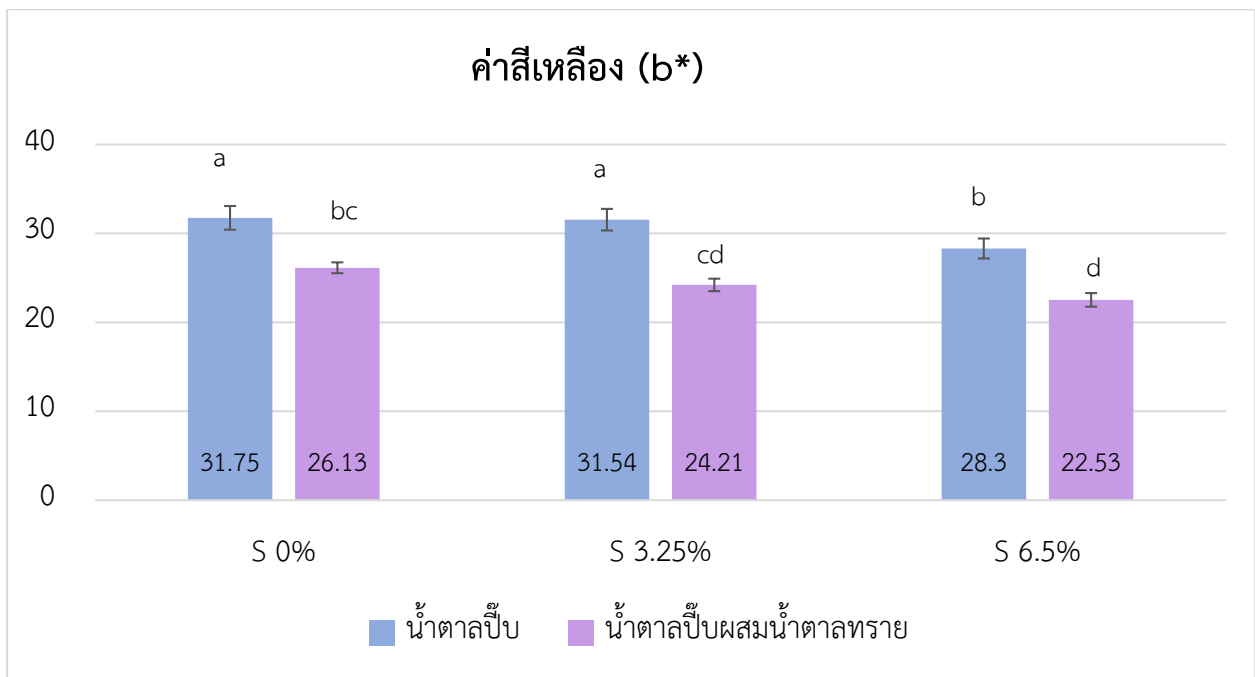
a,b... ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการวิเคราะห์ค่าความสีแดง ( $a^*$ ) แสดงดังภาพที่ 4.32 และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) แสดงดังภาพที่ 4.33 พบว่าค่าสีแดง และค่าสีเหลือง มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อสัดส่วนของซอร์บิทอลสูงขึ้น และค่าสีแดง และค่าสีเหลือง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อมีชนิดและสัดส่วนของน้ำตาลที่แตกต่างกัน เนื่องจากสูตรที่มีส่วนผสมของน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ที่มีสีออกน้ำตาล ทำให้มีค่าสีแดง และค่าสีเหลืองสูงกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของน้ำตาลทรายที่มีสีขาว



ภาพที่ 4.32 ค่าสีแดงของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร

a,b...ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



ภาพที่ 4.33 ค่าสีเหลืองของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง 6 สูตร

a,b...ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแท่งกราฟ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4.4 การทดสอบความยอมรับ และทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุงทั้ง 6 สูตรใน 4.3 พบว่าอิทธิพลของชนิดน้ำตาลไม่ส่งผลต่อสมบัติส่วนใหญ่ของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ จึงได้คัดเลือกแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุงมา 2 สูตร เพื่อทำการทดสอบความยอมรับทางประสาทสัมผัสของ ได้แก่ สูตรน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) และสูตรน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมซอร์บิทอล 6.50% ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 26 คน ประเมินความชอบคุณลักษณะแผ่นฟิล์มก่อนการละลาย แสดงดังตารางที่ 4.1 ความชอบต่อการละลาย แสดงดังตารางที่ 4.2 และความชอบแผ่นฟิล์มน้ำกะทิล้างละลายน้ำ แสดงดังตารางที่ 4.3 โดยใช้วิธี 7-point hedonic scale และทดสอบความคิดเห็นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ด้วยสเกล 5 จุด แสดงดังตารางที่ 4.4

จากผลการประเมินความชอบคุณลักษณะแผ่นฟิล์มน้ำกะทีก่อนการละลาย ด้านลักษณะปรากฏ สี ความเหนอะหนะ และความมัน แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าแผ่นฟิล์มน้ำกะทิทั้ง 2 สูตร มีคะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

ตาราง 4.1 คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มน้ำกะทีก่อนการละลาย

ความชอบต่อคุณลักษณะ	สูตรแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ	
	น้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว)	น้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมซอร์บิทอล 6.50%
ลักษณะปรากฏ <sup>NS</sup>	5.65 ±1.13 <sup>a</sup>	5.58 ±1.24 <sup>b</sup>
สี <sup>NS</sup>	5.15 ±1.43	5.65 ±0.98
ความเหนอะหนะ <sup>NS</sup>	4.85 ±1.29	4.12 ±1.53
ความมัน <sup>NS</sup>	4.58 ±1.58	4.12 ±1.31

<sup>NS</sup>หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

จากผลการประเมินความชอบต่อการละลายแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ ด้านการฉีกขาด และการละลาย แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าแผ่นฟิล์มน้ำกะทิทั้ง 2 สูตร มีคะแนนความชอบการฉีกขาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) ในด้านการละลาย แผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมซอร์บิทอล 6.50% มีคะแนนความชอบสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบซอร์บิทอล ที่มีสมบัติช่วยให้แผ่นฟิล์มมีความสามารถในการละลายน้ำกลับได้ดี

ตาราง 4.2 คะแนนความชอบในด้านการละลายของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ

ความชอบต่อคุณลักษณะ	สูตรแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ	
	น้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว)	น้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมซอร์บิทอล 6.50%
การฉีกขาด <sup>NS</sup>	4.54 ±1.61	4.50 ±1.27
การละลาย	2.54 ±1.40 <sup>b</sup>	3.81 ±1.55 <sup>a</sup>

<sup>a,b</sup>...ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

<sup>NS</sup>หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

จากผลการประเมินความชอบคุณลักษณะแผ่นฟิล์มน้ำกะทิหลังละลายน้ำ ด้านสี กลิ่น รสชาติ ความหนืด และความชอบโดยรวม แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) มีคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความหนืด และความชอบโดยรวม สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากองค์ประกอบซอร์บิทอลที่มาแทนที่น้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ในสูตรน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมซอร์บิทอล 6.50% ส่งผลให้กลิ่นรสหอมของน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ที่เป็นจุดเด่นในขนมไทยลดลง ส่งผลให้ผู้ทดสอบมีความชอบในสูตรน้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) สูงกว่า

ตาราง 4.3 คะแนนความชอบในด้านคุณลักษณะน้ำกะทิสำหรับขนมไทยที่ละลายได้จากแผ่น

ความชอบต่อคุณลักษณะ	สูตรแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ	
	น้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว)	น้ำตาลปีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมซอร์บิทอล 6.50%
สี	5.38 ±1.55 <sup>a</sup>	4.46 ±1.21 <sup>b</sup>
กลิ่น	5.65 ±0.80 <sup>a</sup>	4.88 ±1.53 <sup>b</sup>
รสชาติ	5.23 ±1.11 <sup>a</sup>	4.19 ±1.30 <sup>b</sup>
ความหนืด	5.08 ±1.16 <sup>a</sup>	4.31 ±1.41 <sup>b</sup>
ความชอบโดยรวม	5.42 ±0.81 <sup>a</sup>	4.65 ±1.06 <sup>b</sup>

<sup>a,b</sup>...ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากผลการทดสอบความคิดเห็นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ในด้านความน่าสนใจ ด้วยสเกล 5 จุด และความยอมรับ แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่มีความสนใจผลิตภัณฑ์ และยอมรับในผลิตภัณฑ์ เพราะเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่น่าสนใจ แต่ผู้ทดสอบบางส่วนยังคงไม่ยอมรับ เนื่องจากการละลายน้ำกลับช้า และรสชาติไม่เข้มข้นเท่าน้ำกะทิทั่วไป

ตาราง 4.4 คะแนนความคิดเห็นในด้านความน่าสนใจของผลิตภัณฑ์ และการยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ของผู้ทดสอบ

	คะแนนความคิดเห็น	ร้อยละจำนวนผู้ทดสอบ
ความน่าสนใจ	4.19 ±0.57	-
ความยอมรับ	-	77



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การเลือกและหาสัดส่วนสารก่อฟิล์มเพื่อพัฒนาฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย โดยใช้มอลโทเด็กซ์ทริน เป็นสารก่อฟิล์มผสมแทนแทนกัม โดยผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง พบว่า สามารถขึ้นรูปแผ่นฟิล์มได้ และฟิล์มมีความแข็งแรง ไม่เปราะแตกง่าย มีความยืดหยุ่น สามารถลอกออกจาก ภาตได้ง่าย และมีความสามารถในการละลายน้ำกลับ จึงได้เลือกใช้สัดส่วนสารก่อฟิล์มผสมนี้ มาพัฒนาสูตร สำหรับแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทยต่อไป

จากการพัฒนาสูตรสำหรับแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย โดยการศึกษาผลของชนิดน้ำกะทิ ชนิดน้ำตาล และสัดส่วนน้ำตาลของฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย โดยได้แปรชนิดของน้ำกะทิ 2 ชนิด ได้แก่ หางกะทิ และ หัวกะทิ และแปรชนิดของน้ำตาล 2 ชนิด เป็น 3 สัดส่วน ได้แก่ น้ำตาลปี๊บ (น้ำตาลมะพร้าว) น้ำตาลทราย และน้ำตาลปี๊บ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมน้ำตาลทราย (1:1) พบว่า สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ มีค่าสีที่ แตกต่างกันตามชนิด และสัดส่วนของน้ำตาลที่แตกต่างกัน โดยสูตรที่ใช้ น้ำตาลปี๊บ (น้ำตาลมะพร้าว) จะมีโทน สีน้ำตาลที่ชัดเจน แต่ค่าสมบัติด้านอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \geq 0.05$ ) จึงได้พิจารณาเลือก สูตร 2 สูตร ได้แก่ สูตรที่ใช้หางกะทิร่วมกับน้ำตาลปี๊บ (น้ำตาลมะพร้าว) และสูตรที่ใช้หางกะทิร่วมกับน้ำตาล ปี๊บ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมน้ำตาลทราย (1:1) เพราะหางกะทิมีสัดส่วนไขมันน้อยกว่าหัวกะทิ และน้ำตาลปี๊บ (น้ำตาลมะพร้าว) มีกลิ่นหอมกว่าน้ำตาลทราย เพื่อนำมาปรับปรุงสูตรแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทยต่อไป

จากการปรับปรุงสูตรแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย โดยการเติมพลาสติกไซเซอร์เพื่อการลดปริมาณ น้ำตาล และปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์ม โดยได้แปรชนิดของน้ำตาล 2 ชนิดที่คัดเลือกไว้ ได้แก่ น้ำตาลปี๊บ (น้ำตาลมะพร้าว) และน้ำตาลปี๊บ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมน้ำตาลทราย (1:1) และแปรสัดส่วนของ พลาสติกไซเซอร์ ซอร์บิทอล 3 สัดส่วน ได้แก่ 0.00% 3.25% และ 6.50% พบว่า ฟิล์มมีลักษณะปรากฏที่ดีขึ้น สูตรที่มีซอร์บิทอล จะมีความสามารถในการละลายน้ำสูงขึ้น และจะมีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำลง

จากการทดสอบความยอมรับ และทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มน้ำกะทิสำหรับ ขนมไทย โดยเลือกแผ่นฟิล์มน้ำกะทิสูตรน้ำตาลปี๊บ (น้ำตาลมะพร้าว) และสูตรน้ำตาลปี๊บ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสม ซอร์บิทอล 6.50% พบว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่ชอบแผ่นฟิล์มน้ำกะทิหลังละลายน้ำสูตรน้ำตาลปี๊บมากกว่า แต่ชอบ การละลายของสูตรน้ำตาลปี๊บ (น้ำตาลมะพร้าว) ผสมซอร์บิทอล 6.50% มากกว่า และผู้ทดสอบส่วนใหญ่สนใจ และยอมรับผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มน้ำกะทิ

**ข้อเสนอแนะ**

- ในการพัฒนาฟิล์มน้ำกะทิสำหรับคนไทยในขั้นต่อไป จะมีการพัฒนาประสิทธิภาพการละลายน้ำให้สามารถละลายน้ำได้ง่ายขึ้น หรือสามารถละลายได้ในน้ำอุณหภูมิห้อง
- มีการพัฒนารูปแบบฟิล์มน้ำกะทิ ให้มีตัวขนมไทยต่าง ๆ ที่มีความเหมาะสมและเป็นที่ยอมรับ บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์เดียวกัน เพื่อเพิ่มความสะดวกในการรับประทาน
- ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์แผ่นฟิล์มน้ำกะทิสำหรับคนไทยเพิ่มเติม

## เอกสารอ้างอิง

- กรรณมา ธนารุ่งโรจน์ และ วรภา คงเป็นสุข. ผลของสารก่อฟิล์มผสมและปริมาณเกลือต่อสมบัติทางเคมี  
กายภาพของแผ่นปรุงรสที่มีส่วนผสมเป็นน้ำปลา น้ำมะขามเปียก และน้ำตาล. ผลงานทางวิชาการ.  
การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยากำแพงแสน ครั้งที่ 16. ณ อาคารศูนย์  
เรียนรวม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม. 3-4 ธันวาคม 2562.  
กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2016). การใช้ความร้อนการฆ่าเชื้อในอาหาร. ค้นเมื่อ 19 พฤษภาคม 2564.  
เข้าถึงได้ <https://bsc.dip.go.th/th/category/production2/qs-heatinfoods>.
- เทพกัญญา หาญศีลวัต. (2558). ผลของน้ำตาลและอุณหภูมิต่อสมบัติทางกายภาพน้ำกะทิ.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 80-81.
- นิธิยา รัตนาปนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2559. Maltodextrin. ค้นเมื่อ 9 เมษายน 2563. เข้าถึงได้  
จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1914/maltodextrin>.
- นิธิยา รัตนาปนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2559. น้ำตาลปี๊บ. ค้นเมื่อ 11 กันยายน 2563. เข้าถึงได้  
จาก: [www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3294/น้ำตาลปี๊บ](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3294/น้ำตาลปี๊บ).
- นิธิยา รัตนาปนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2559. Invert sugar. ค้นเมื่อ 19 พฤษภาคม 2564.  
เข้าถึงได้ [http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0910/  
invert-sugar-น้ำตาลอินเวิร์ต](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0910/invert-sugar-น้ำตาลอินเวิร์ต).
- นิธิยา รัตนาปนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2559. Coconut milk/ น้ำกะทิ. ค้นเมื่อ  
11 กันยายน 2563, จาก [www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3066/  
coconut-milk-น้ำกะทิ](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3066/coconut-milk-น้ำกะทิ).
- นุชนาฏ กิจวรเมธา, อีรนนท์ เจนจรัสสกุล และ วรภา คงเป็นสุข. (2561). สมบัติของฟิล์มปรุงรสละลายเร็วฐาน  
มอลโทเดกซ์ทรินที่มีน้ำมะขามเปียกและมะนาว และแซนแทนกัมเป็นองค์ประกอบ. บทความฉบับ  
สมบูรณ์ในรายงานการประชุมวิชาการ. ในการประชุมวิชาการและการประกวดนวัตกรรมแห่งชาติ  
ครั้งที่ 2. ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติดิเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่. 17-18 พฤษภาคม 2561.  
มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่.
- บริษัท อัมพลฟู๊ดส์ โพรเซสซิง จำกัด. (2558). กระบวนการผลิตกะทิ. ค้นเมื่อ 5 มกราคม 2564. เข้าถึงได้จาก:  
[http://www.researchsystem.siam.edu/images/coop/Improvement\\_of\\_process\\_verification\\_for\\_production\\_/06\\_ch4.pdf](http://www.researchsystem.siam.edu/images/coop/Improvement_of_process_verification_for_production_/06_ch4.pdf).
- มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. (2535). ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้. วารสารอาหาร. 22: 1-6
- รัตนา จินดาพรรณ และ วิไลลักษณ์ ไฝเพชร. (2549). อิทธิพลของพลาสติกไซเซอร์ต่อการต้านแรงดึง  
การซึมผ่านของน้ำมัน และความสามารถในการละลายของฟิล์มโปรตีนถั่วเขียว. วารสารเทคโนโลยี  
การอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 2: 36-44.

- วรรณภา ชันธชัย. (2555). การพัฒนาฟิล์มและสารเคลือบรับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้ามาประยุกต์ใช้ใน  
ทอพีผลไม้. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. 9.
- ศิโยน กรพิบูลย์พงษ์ และ วรรณภา คงเป็นสุข. (2563). ผลของชนิดกรด น้ำตาล และสารก่อฟิล์มต่อสมบัติ  
ของฟิล์มปรุงรส. บทความฉบับสมบูรณ์ในรายงานการประชุมวิชาการ. ในการประชุมวิชาการครั้งที่ 4  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา. การประชุมผ่านระบบออนไลน์ 28 สิงหาคม 2563.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี.
- สยามเคมี.คอม. น้ำตาลและน้ำตาลทราย. ค้นเมื่อ 11 กันยายน 2563, จาก [siamchemi.com/น้ำตาล](http://siamchemi.com/น้ำตาล).
- สายตะวัน เลี้ยวสุด, ดุษฎี อุตรภาพ, และ จุรีรัตน์ พุดตาลเล็ก. (2551). ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการ  
เตรียมเจลต่อสมบัติฟิล์มแป้งพุทธรักษาгинได้ขึ้นรูปโดยวิธี solvent casting. วารสารวิจัยและพัฒนา  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 31(4): 733-749.
- หนูเดือน สาระบุตร,กรรณิการ์ ห้วยแสน, พนอจิต นิตสุข, และ อนันต์ พันธุ์พิบูลย์. (2557). สมบัติทางกายภาพ  
และการยอมรับของผู้บริโภคต่อขนมพายูฝ้ายเติมผงสีมะนาวโห่ที่มีมอลโทเด็กซ์ทรินต่างกัน.  
วารสารวิชาการและวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. ฉบับพิเศษ: 399-405.

- Banker, G.S. (1966). Film coating theory and practice. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 55: 81-89.
- Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*. 15(3): 237-248.
- Bueno, N. C., and Petri, D. F. S. (2014). Xanthan hydrogel films: Molecular conformation, Charge density and protein carriers. *Carbohydrate Polymers*. 101: 897-904.
- Cilurzo, F., Cupone, I. E., Mighetti, P., Selmin, F., and Montanan, L. (2008). Fast dissolving films made of Maltodextrins. *European Journal of Phamaceutics and Biopharmaceutics*. 70(3): 895-900.
- de Taffin, G. (1998). Coconut. *The tropical agriculturalist*.
- Dzija, M.R., Barkalow, D.G., Chapdelanine, A.H., and Zyck, D.J. (2003). Edible film formulation Containing maltodextrin. *Unites States Patent*. US 6,656,493 B2.
- Fedor, W. S. (1960). Sorbitol. *Industrial and Engineering Chemistry*. 282-286.
- Gennadios, A., and Weller, C.L. (1990). Edible films and coatings from wheat and corn proteins. *Journal of Food Technology*. 44: 63-69.
- Guilbert, S., Gontard, N., and Gorris, L. G. (1996). Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. *LWT-foodscience and technology*. 29(1-2): 10-17.
- Han, J. H. (2005). New technologies in food packaging: Overview, *Innovations in Food Packaging*. (3-11). Amsterdam: Elsevier Academic Press.
- Kester, J. J., and Fennema, O. (1986). Edible films and coatings: a review. *Food technology (USA)*
- Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., and McClements, D.J. (2004). Stability and rheology of corn oil-in-water emulsions containing maltodextrin. *Food Research International*. 37: 851-859.
- Krochta, J.M., Baldwin, E.A. and Nisperos-Carriedo, M.O. (1994). Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. *New York:Technomic Publishing*.
- Krochta, J.M., Baldwin and Mulder-Johnston, C.D. (1997). Edible Films solve problems. *Food Technology*, 51(2): 60-74.
- Krochta, J.M. (2002). Protein as raw materials for films and coatings: definitions, current status, and opportunities. *Protein-based films and coatings*. (pp. 1-41). CRC Press.
- Ielpi, L, Couso, R.O., and Dankert, M.A. (1983). Xanthan gum biosynthesis acetylation occurs at the prenyl-phospho-sugar stage. *International Journal of Biochemistry*. 6: 323-333

- Loret, C., Meunier, V., Frith, W.J., and Fryer, P.J. (2004). Rheological characterization of the gelation behaviour of maltodextrin aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers*. 57: 153-163.
- Mandala, I., and Bayas, E. (2004). Xanthan effect on swelling. Solubility and viscosity of wheat starch dispersions. *Food Hydrocolloids*. 18(2): 191-201.
- Melo, C.P., Grossmann, M.V., Yamashita, F., Youssef, E.Y., Dall'Antonia, L.H., and Mali, S. (2011). Effect of manufacturing process and xanthan gum addition on the properties of cassava starch films. *Journal of Polymers and the Environment*. 19(3): 739.
- Moreno, J., Lopez, M.J., Vargas-Garcia, C., and Vazquez, R. (1998). Use of agricultural wastes for xanthan gum production by *Xanthomonas campestris*. *Journal of Industrial Microbiology Biotechnology*. 21: 242-246
- Pacheco M.S., Barbieri D., da Sliva C.F., and de Moraes M.A. (2021). A review on orally disintegrating films (ODFs) made from natural polymers such as pullulan, Maltodextrin, starch, and others. *International Journal of Biological Macromolecules*. 178: 504-513.
- Pinches, A., and Pallent, L. J. (1986). Rate and yield relationships in the production of xanthan gum by batch fermentation using complex and chemically defined growth media. *Biotechnology and Bioengineering*. 18: 1484-1496.
- Purnomo, J. (1992). Sugar components of coconut sugar in Indonesia. *ASEAN Food Journal*. 7:200-201
- Rahmawati M., Arief M. and Satyantini. (2019). The effect of sorbitol addition on the characteristic of carrageenan edible film. The 1<sup>st</sup> International Conference on Fisheries and Marine Science. *Earth and Environmental Science*. 236. 1
- Saha, D., and Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food. *Journal of Food Science and Technology*. 47(6): 587-597.
- Sandford, P.A., Pittsley, J.E., Knutson, C.A., Watson, P.R., Cadmus, M.C., and Jeanes, A. (1977). Variation in *Xanthomonas campestris* NRRL B-1459: Characterization of Xanthan Products of Differing Pyruvic Acid Content. *Extracellular Microbial Polysaccharides*. 45: 192-210.
- Seow, C.C. and Gwee, C.N. (1997). "Coconut Milk: Chemistry and Technology", *International Journal of Food Science and Technology*, Vol. 32: 189-201.

- Shojaee-Aliabadi, S., Hosseinei, H., Mohammadifar, M. A., Mohammadi, A., Ghasemlou, M., Ojagh, S. M., Hosseini, S. M., and Khaksar, R. (2013). Characterization of antioxidant-antimicrobial **K**-carrageenan films containing *Satureja hortensis* essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*. 52: 116-124.
- Sorthorvit, R., Olsen, C.W., Mchugh, T. H., and Krochta, J.M. (2003). Formation conditions, water-vapor permeability, and solubility of compression-molded whey protein films. *Journal of Food Science*. 68: 1985-1989.
- Tangsuphoom, N. and Coupland, J.N. (2008). "Effect of pH and Ionic Strength on the Physicochemical Properties of Coconut Milk Emulsions", *Journal of Food Science*, Vol. 73, No. 6, pp. E274-E280.
- Tangsuphoom, N. and Coupland, J.N. (2009). "Effect of Thermal Treatments on the Properties of Coconut Milk Emulsions Prepared with Surface Active Stabilizers", *Food Hydrocolloids*, Vol. 23, No. 7, pp. 1792-1800.
- Veiga-Santos, P., Oliveira, L.M., Cereda, M.P. and Scamparini, A.R.P. (2007). Sucrose and inverted sugar as plasticizer. Effect on cassava starch-gelatin film mechanical properties, hydrophilicity and water activity. *Food Chemistry*. 103: 255-262.
- Windholz, M. S., Budvari S., Stroumts L. Y. and Fertig, M. N. (1976). *The Merck Index*. Ninth. Edition Merck & Co., Inc., Rahway, New York.
- Zhang, Y. and Han, J. H. (2006). Plasticization of pea starch films with monosaccharides and polyols. *Journal of Food Science*. 167.

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ระยะเวลาการทำแห้งของฟิล์มน้ำกะทิ

ก.1 การวิเคราะห์การทำแห้งของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ

ตารางที่ ก.1 : ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (ความชื้น) ของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิในระหว่างการอบ

ช่วงเวลา (ชม.)	น้ำหนักของฟิล์ม				ค่าเฉลี่ย
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	
0	121.55	122.21	121.36	124.55	122.42
1	103.59	106.67	99.17	109.4	104.71
2	88.34	94.14	87.29	94.30	91.02
3	81.35	84.28	79.11	85.14	82.47
4	76.74	78.47	74.14	79.00	77.09
5	74.32	75.20	71.97	75.54	74.26
6	72.14	72.42	70.25	73.10	71.98
7	71.04	71.14	69.20	71.73	70.78
8	70.37	70.42	68.55	70.87	70.05
9	67.18	67.07	65.75	66.82	66.71
10	64.95	66.34	64.73	65.99	65.50
11	63.85	64.82	63.52	64.95	64.29
12	63.82	64.77	63.09	64.50	63.98
13	63.80	64.76	63.09	64.14	63.95
14	63.80	64.76	63.09	64.14	63.95



## ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของน้ำกะทิ

### ข.1 วิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Hand refractometer

#### วิธีการทดลอง

1. หยดน้ำกะทิลงบนที่แผ่นใสสาร
2. ส่องเครื่องมือกับแสง เพื่ออ่านค่าจากสเกล โดยอ่านจากเส้นระหว่างพื้นที่สีฟ้าและสีขาว

### ข.2 วิเคราะห์ค่า pH

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. บีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร
2. เครื่อง pH meter
3. สารละลายบัฟเฟอร์ pH 7
4. สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.1

#### วิธีการทดลอง

1. ก่อนการใช้งาน จะต้องทำการปรับเทียบมาตรฐาน (calibration) โดยการปรับเทียบกับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน 2 ค่า คือ pH 4 และ 7
2. ล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำกลั่น (distilled water) และซับด้วยกระดาษทิชชูให้แห้ง
3. จุ่มอิเล็กโทรดลงในน้ำกะทิ อ่านค่าที่ได้
4. ทำการทดลอง 3 ครั้ง

### ข.3 วิเคราะห์ค่าความหนืด ด้วยเครื่อง rotational rheometer (Brookfield Engineering Laboratories, USA)

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ปีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เครื่อง rotational rheometer (Brookfield Engineering Laboratories, USA)
3. หัววัดเบอร์ R2

#### วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดเครื่อง rotational rheometer พร้อมประกอบหัววัดเข้ากับเครื่องวัดความหนืด
2. เตรียมตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาณ 300 มิลลิลิตรในปีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างวางประกอบเข้ากับเครื่องวัดความหนืดโดยระดับของตัวอย่างต้องห่างขีดเครื่องหมายที่แสดง อยู่บนหัววัด
4. ใส่หมายเลขหัววัดและใส่ความเร็วรอบ 100 แล้วเริ่มวิเคราะห์
5. สังเกตที่ %Torque ต้องใกล้เคียง 100% แต่ไม่ต่ำกว่า 85%
6. บันทึกค่าที่ได้ทำการวัดตัวอย่าง 3 ซ้ำแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

## ภาคผนวก ค วิธีวิเคราะห์สมบัติของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ

### ค.1 วิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระของตัวอย่าง ( $a_w$ )

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง aqua lab (Decagon Devices, Inc., USA)
2. ถ้วยสำหรับวัด  $a_w$

#### วิธีการวิเคราะห์

1. นำแผ่นฟิล์มตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาด  $2 \times 2$  ตารางเซนติเมตร ใส่ในถ้วยสำหรับวัด  $a_w$  ให้มีความสูงประมาณ 2 ใน 3 ของถ้วย
2. ใส่ถ้วยสำหรับวัด  $a_w$  ที่บรรจุตัวอย่างแล้ว ในเครื่อง aqua lab รอจนเครื่องได้ค่า  $a_w$  คงที่
3. บันทึกค่าที่ได้ ทำการวัดตัวอย่าง 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

### ค.2 วิเคราะห์ค่าความชื้นของตัวอย่าง

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดปริมาณความชื้น (Moisture Analyzer)

#### วิธีการวิเคราะห์

1. ตัดตัวอย่างแผ่นฟิล์มเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด  $5 \times 5$  ตารางเซนติเมตร
2. นำตัวอย่างใส่เครื่องวัดปริมาณความชื้น
3. รอจนเครื่องขึ้นหน้าจอแสดงสีฟ้า บันทึกค่าที่ได้

### ค.3 วิเคราะห์ค่าความหนาของตัวอย่าง

#### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง micrometer (Mitutoyo Corp., Japan)

#### วิธีการวิเคราะห์

1. ตัดตัวอย่างแผ่นฟิล์มเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด  $5 \times 5$  ตารางเซนติเมตร
2. วัดความหนาของแผ่นฟิล์มด้วย micrometer (Mitutoyo Corp., Japan) โดยทำการสุ่มวัดความหนาของฟิล์ม 10 ตำแหน่งรอบ ๆ แผ่นฟิล์ม

#### ค.4 วิเคราะห์สมบัติเชิงกลของตัวอย่าง

##### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่อง Texture analyzer (TA-XT Icon, Stable Micro Systems Texture Analytcae, UK)

##### วิธีการวิเคราะห์

2. ตัดตัวอย่างแผ่นฟิล์มขนาด 2 x 10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 5 ชิ้น
3. วัดความหนาของแผ่นฟิล์มด้วย micrometer (Mitutoyo Corp., Japan) โดยทำการสุ่มวัดความหนาของฟิล์ม 10 ตำแหน่งรอบ ๆ แผ่นฟิล์ม
4. เข้าไปที่ T.A Setting เลือก Library เพื่อกำหนดรูปแบบการวัด โดยเลือก Return to start
5. ตั้งค่าเครื่อง texture analyzer โดยกำหนดค่าดังนี้
  - 4.1 Pre-Test Speed: 0.5 min/sec
  - 4.2 Test Mode: Tension
  - 4.3 Probe Selection: A-TG
5. เข้าไปที่ T.A Run a Test เขียนรายละเอียดตัวอย่าง และเลือก Drive ที่ต้องการบันทึก
6. เริ่มทดสอบ โดยให้เครื่องดึงตัวอย่างจนกระทั่งฟิล์มขาดออกจากกัน
7. บันทึกค่าที่ได้ ทำการวัดตัวอย่าง 3 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย
8. การคำนวณค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) จากสมการ ร้อยละการยืดตัว

## ค.5 วิเคราะห์ค่าการละลายน้ำของตัวอย่าง (Solubility) ดัดแปลงจากวิธีของ Shojaee et al. (2013)

### อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ปีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร
2. เครื่องกวนสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อน (Hot plate)
3. กระดาษกรอง
4. ถ้วยอะลูมิเนียม
5. ถาดอะลูมิเนียม
6. นาฬิกาจับเวลา

### วิธีการวิเคราะห์

1. ตัดตัวอย่างแผ่นฟิล์มขนาด  $2 \times 10$  ตารางเซนติเมตร ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นที่แน่นอน (ประมาณ 5 กรัม) ( $W_0$ )
2. นำแผ่นฟิล์มที่ได้มาแช่ในถ้วยที่บรรจุน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 25 มิลลิลิตร พร้อมคนละลายตัวอย่าง
3. จับเวลาตัวอย่าง 1 และ 2 นาทีตามลำดับ กรองจนเหลือส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ( $W_f$ ) ใส่ไว้ในถ้วยอะลูมิเนียม
4. นำตัวอย่างที่ได้ในถ้วยอะลูมิเนียมมาทำให้แห้งอีกครั้ง โดยอบที่อุณหภูมิ  $100 \pm 5$  องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
5. ชั่งน้ำหนัก และนำไปอบต่ออีก 1 ชั่วโมง จนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่
6. การคำนวณค่าการละลายน้ำ (%)

## ภาคผนวก ง. ตารางทดสอบประเมินผลทางประสาทสัมผัส

**คำชี้แจงการประเมิน :** ผู้ประเมินจะได้ตัวอย่างฟิล์มน้ำกะทิคนละ 2 ตัวอย่าง และน้ำสำหรับการละลาย ปริมาณ 25 มิลลิลิตร 2 ถัง ทดสอบทีละ 1 ตัวอย่าง

### วิธีการทดสอบ

1. กรอกชื่อ-สกุลและวันที่ทำการทดสอบใน google form
2. เริ่มการทดสอบทีละตัวอย่าง **ประเมินส่วนที่ 1** ลักษณะปรากฏของฟิล์มน้ำกะทิ
3. **ประเมินส่วนที่ 2** การละลายของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ ผู้ทดสอบจะต้องฉีกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ก่อนเอาไปผสมกับน้ำ 25 มิลลิลิตรที่ผ่านการทำให้ร้อนให้อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส คนจนแผ่นฟิล์มละลายหมด
4. **ประเมินส่วนที่ 3** น้ำกะทิหลังการละลาย
5. **ประเมินส่วนที่ 4** ความคิดเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์
6. ทำการประเมินซ้ำตามขั้นตอนสำหรับอีกตัวอย่างหนึ่ง

## แบบประเมินทางประสาทสัมผัส

ชื่อ - นามสกุลผู้ทำการประเมิน

วันที่ทำการประเมิน

## ส่วนที่ 1 ลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ

คุณลักษณะ	ระดับความพอใจ						
	ไม่ชอบมาก (1)	ไม่ชอบปาน กลาง (2)	ไม่ชอบ เล็กน้อย (3)	เฉย ๆ (4)	ชอบ เล็กน้อย (5)	ชอบ ปานกลาง (6)	ชอบมาก (7)
ลักษณะปรากฏของ แผ่นฟิล์มน้ำกะทิ							
สีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ							
ความรู้สึกเหนอะหนะหลัง การสัมผัสแผ่นฟิล์ม น้ำกะทิ							
ความมันของแผ่นฟิล์ม น้ำกะทิ							

## ส่วนที่ 2 การละลายของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ

คุณลักษณะ	ระดับความพอใจ						
	ไม่ชอบมาก (1)	ไม่ชอบปาน กลาง (2)	ไม่ชอบ เล็กน้อย (3)	เฉย ๆ (4)	ชอบ เล็กน้อย (5)	ชอบ ปานกลาง (6)	ชอบมาก (7)
การฉีกแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ							
การละลายแผ่นฟิล์ม น้ำกะทิ							

## ส่วนที่ 3 ลักษณะทางประสาทสัมผัสน้ำกะทิหลังละลายแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ

คุณลักษณะ	ระดับความพอใจ						
	ไม่ชอบมาก (1)	ไม่ชอบปาน กลาง (2)	ไม่ชอบ เล็กน้อย (3)	เฉย ๆ (4)	ชอบ เล็กน้อย (5)	ชอบ ปานกลาง (6)	ชอบมาก (7)
สี							
กลิ่น							
รสชาติ							
ความข้นหนืด							
ความชอบโดยรวม							

ส่วนที่ 4 ความคิดเห็นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

ความน่าสนใจของผลิตภัณฑ์

- 1. ไม่น่าสนใจเลย
- 2.
- 3.
- 4.
- 5. น่าสนใจมาก

ความยอมรับต่อผลิตภัณฑ์

- ยอมรับ
- ไม่ยอมรับ

การนำไปประยุกต์ใช้

ข้อเสนอแนะอื่น ๆ



ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านต่าง ๆ ของสารละลายฟิล์มน้ำกะทิและแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ

ตารางที่ จ.1: ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารละลายน้ำกะทิที่ไม่ผสมสารก่อฟิล์ม

	สารละลายน้ำกะทิที่ไม่ผสมสารก่อฟิล์ม					
	ทางกะทิ			หัวกะทิ		
	น้ำตาลปีบ	น้ำตาลทราย	น้ำตาลปีบผสม น้ำตาลทราย (1:1)	น้ำตาลปีบ	น้ำตาลทราย	น้ำตาลปีบผสม น้ำตาลทราย (1:1)
ความหนืด <sup>NS</sup> (cP)	84.22 ±28.66	78.27 ±29.82	52.18 ±17.03	81.13 ±19.50	83.30 ±40.01	78.03 ±15.33
°Brix <sup>NS</sup>	43.00 ±5.568	42.67 ±3.786	43.00 ±4.359	43.33 ±2.082	40.33 ±2.082	44.00 ±2.646
pH <sup>NS</sup>	6.15 ±0.080	6.19 ±0.133	6.03 ±0.112	6.07 ±0.055	6.16 ±0.059	6.02 ±0.040

<sup>a,b</sup>...ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

<sup>NS</sup>หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

ตารางที่ จ.2: ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารละลายน้ำกะทิที่ผสมสารก่อฟิล์ม

	สารละลายน้ำกะทิที่ผสมสารก่อฟิล์ม					
	ทางกะทิ			หัวกะทิ		
	น้ำตาลปีบ	น้ำตาลทราย	น้ำตาลปีบผสม น้ำตาลทราย (1:1)	น้ำตาลปีบ	น้ำตาลทราย	น้ำตาลปีบผสม น้ำตาลทราย (1:1)
ความหนืด <sup>NS</sup> (cP)	204.12 ±10.330	227.18 ±32.388	180.70 ±58.757	212.47 ±26.571	221.95 ±29.803	184.31 ±69.509
°Brix <sup>NS</sup>	37.00 ±3.606	37.33 ±2.363	36.00 ±1.732	35.83 ±2.021	35.83 ±1.041	36.00 ±1.000
pH <sup>NS</sup>	6.15 ±0.003	6.15 ±0.025	6.17 ±0.007	6.12 ±0.020	6.16 ±0.021	6.12 ±0.007

<sup>a,b</sup>...ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

<sup>NS</sup>หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

ตารางที่ จ.3: ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแผ่นฟิล์มน้ำกะทิ

	ฟิล์มน้ำกะทิสำหรับขนมไทย					
	หางกะทิ			หัวกะทิ		
	น้ำตาลปีบ	น้ำตาลทราย	น้ำตาลปีบผสม น้ำตาลทราย (1:1)	น้ำตาลปีบ	น้ำตาลทราย	น้ำตาลปีบผสม น้ำตาลทราย (1:1)
ความหนา <sup>NS</sup> (mm)	1.62 ±0.113	1.53 ±0.014	1.67 ±0.071	1.62 ±0.134	1.66 ±0.007	1.72 ±0.021
$a_w$ <sup>NS</sup>	0.581 ±0.101	0.548 ±0.063	0.546 ±0.034	0.559 ±0.062	0.546 ±0.016	0.579 ±0.026
ความชื้น <sup>NS</sup> (%)	1.84 ±0.649	2.54 ±2.00	1.41±0.853	2.09 ±0.836	1.46 ±0.300	2.15 ±0.133
Tensile strength <sup>NS</sup> (MPa)	0.0450 ±0.0190	0.0642 ±0.0296	0.0465 ±0.0063	0.0458 ±0.0148	0.0379 ±0.0041	0.0537 ±0.0204
%Elongation <sup>NS</sup>	45.53 ±11.37	42.37 ±3.672	43.85 ±8.162	41.45 ±0.3067	34.85 ±0.6483	34.38 ±6.453
%Solubility <sup>NS</sup> 1 นาที	61.46 ±6.802	76.40 ±13.90	67.76 ±12.59	58.87 ±0.5091	63.52 ±5.438	63.76 ±4.384
%Solubility <sup>NS</sup> 2 นาที	90.81 ±8.902	87.87 ±8.733	94.17 ±0.7000	87.56 ±5.466	84.38 ±3.726	83.97 ±5.381
ความสว่าง (L*)	59.73 ±2.220 <sup>a</sup>	76.08 ±3.510 <sup>b</sup>	68.96 ±3.865 <sup>c</sup>	60.95 ±5.256 <sup>a</sup>	78.13 ±2.713 <sup>b</sup>	70.49 ±3.831 <sup>c</sup>
ค่าสีแดง (a*)	7.49 ±1.91 <sup>a</sup>	-0.80 ±0.16 <sup>b</sup>	2.77 ±0.647 <sup>c</sup>	7.13 ±2.10 <sup>a</sup>	-1.02 ±0.225 <sup>b</sup>	2.94 ±1.30 <sup>c</sup>
ค่าสีเหลือง (b*)	29.79 ±4.452 <sup>a</sup>	8.10 ±1.19 <sup>b</sup>	26.30 ±1.702 <sup>a</sup>	27.81 ±3.288 <sup>a</sup>	8.22 ±1.46 <sup>b</sup>	24.71 ±3.891 <sup>a</sup>

<sup>a,b,c</sup> ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

**ตารางที่ จ.4:** ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงที่ไม่ผสมสารก่อฟิล์ม

	สารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงที่ไม่ผสมสารก่อฟิล์ม					
	น้ำตาลปีบ			น้ำตาลปีบผสมน้ำตาลทราย (1:1)		
	S 0%	S 3.25%	S 6.50%	S 0%	S 3.25%	S 6.50%
ความหนืด <sup>NS</sup> (cP)	54.11 ±2.60	58.31 ±10.00	48.79 ±2.36	51.30 ±1.42	48.55 ±0.87	47.08 ±1.24
°Brix <sup>NS</sup>	38.33 ±0.88	38.33 ±0.88	38.67 ±1.20	40.33 ±0.67	40.33 ±1.20	40.17 ±0.83
pH <sup>NS</sup>	6.183 ±0.093	6.170 ±0.095	6.173 ±0.069	6.217 ±0.084	6.180 ±0.075	6.200 ±0.070

a,b...ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

<sup>NS</sup>หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

**ตารางที่ จ.5:** ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงผสมสารก่อฟิล์ม

	สารละลายน้ำกะทิสูตรปรับปรุงที่ผสมสารก่อฟิล์ม					
	น้ำตาลปีบ			น้ำตาลปีบผสมน้ำตาลทราย (1:1)		
	S 0%	S 3.25%	S 6.50%	S 0%	S 3.25%	S 6.50%
ความหนืด <sup>NS</sup> (cP)	194.51 ± 4.56	197.70 ± 12.81	183.34 ± 9.22	193.33 ± 6.74	197.07 ± 12.16	190.52 ± 8.21
°Brix <sup>NS</sup>	35.00 ± 0.58	35.00 ± 0.58	35.67 ± 0.67	36.33 ± 1.20	36.00 ± 0.58	36.33 ± 1.20
pH <sup>NS</sup>	6.17 ± 0.13	6.17 ± 0.15	6.24 ± 0.10	6.22 ± 0.09	6.25 ± 0.12	6.26 ± 0.13

a,b...ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

<sup>NS</sup>หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

ตารางที่ จ.6: ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุง

	ฟิล์มน้ำกะทิสูตรปรับปรุงสำหรับขนมไทย					
	น้ำตาลปีบ			น้ำตาลปีบผสมน้ำตาลทราย (1:1)		
	S 0%	S 3.25%	S 6.50%	S 0%	S 3.25%	S 6.50%
ความหนา <sup>NS</sup> (mm)	1.54 ±0.06	1.57 ±0.01	1.51 ±0.01	1.60 ±0.03	1.56 ±0.06	1.51 ±0.04
a <sub>w</sub>	0.593 ±0.022 <sup>ab</sup>	0.541 ±0.020 <sup>ab</sup>	0.547 ±0.024 <sup>ab</sup>	0.602 ±0.029 <sup>a</sup>	0.541 ±0.033 <sup>ab</sup>	0.514 ±0.022 <sup>b</sup>
ความชื้น <sup>NS</sup> (%)	1.52 ±0.38	1.54 ±0.10	1.66 ±0.32	1.45 ±0.33	1.69 ±0.12	1.93 ±0.20
Tensile strength <sup>NS</sup> (MPa)	0.0522 ±0.0046	0.0481 ±0.0072	0.0358 ±0.0027	0.0539 ±0.0114	0.0530 ±0.0090	0.0416 ±0.0033
%Elongation <sup>NS</sup>	49.66 ±6.86	39.59 ±2.82	38.93 ±0.50	43.02 ±3.09	38.80 ±2.54	42.23 ±3.89
%Solubility <sup>NS</sup> 1 นาที	52.042 ±0.510	55.925 ±3.917	57.094 ±1.331	51.069 ±3.898	57.922 ±6.045	56.462 ±4.745
%Solubility 2 นาที	65.835 ±0.780 <sup>a</sup>	72.478 ±2.869 <sup>ab</sup>	78.590 ±0.705 <sup>b</sup>	66.205 ±2.411 <sup>a</sup>	73.279 ±3.716 <sup>ab</sup>	74.777 ±4.713 <sup>ab</sup>
ความสว่าง (L*)	64.10 ±1.65 <sup>a</sup>	65.20 ±0.85 <sup>a</sup>	67.48 ±0.13 <sup>ab</sup>	70.98 ±1.54 <sup>bc</sup>	73.32 ±0.58 <sup>c</sup>	71.30 ±1.34 <sup>bc</sup>
ค่าสีแดง (a*)	6.91 ±0.36 <sup>a</sup>	6.27 ±0.48 <sup>a</sup>	4.09 ±0.28 <sup>b</sup>	3.05 ±0.12 <sup>c</sup>	2.17 ±0.23 <sup>cd</sup>	1.85 ±0.38 <sup>d</sup>
ค่าสีเหลือง (b*)	31.75 ±1.34 <sup>a</sup>	31.54 ±1.21 <sup>a</sup>	28.30 ±1.12 <sup>b</sup>	26.13 ±0.61 <sup>bc</sup>	24.21 ±0.71 <sup>cd</sup>	22.53 ±0.76 <sup>d</sup>

<sup>a,b,c</sup> ตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแถวเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≥0.05)

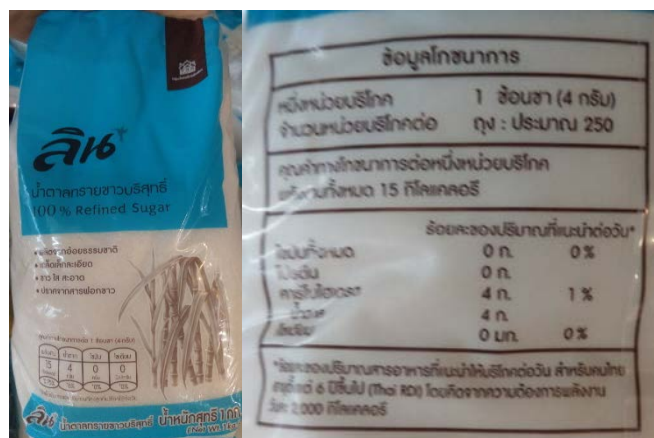
ภาคผนวก ฉ ผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่ใช้เป็นวัตถุดิบ



ภาพที่ ฉ.1 ฉลากผลิตภัณฑ์น้ำกะทิสำเร็จรูป ตรา ชาวเกาะ บริษัท อ่าพลฟู้ดส์ โพรเซสซิง จำกัด



ภาพที่ ฉ.2 ฉลากผลิตภัณฑ์น้ำกะทิสำเร็จรูป สูตรหัวกะทิ ตรา ชาวเกาะ บริษัท อ่าพลฟู้ดส์ โพรเซสซิง จำกัด



ภาพที่ ฉ.3 ฉลากผลิตภัณฑ์น้ำตาลทราย ตรา ลิน กลุ่มบริษัทน้ำตาลไทยรุ่งเรือง



ภาพที่ ฉ.4 ฉลากผลิตภัณฑ์น้ำตาลบีบ (น้ำตาลมะพร้าว) ตรา มิตรผล บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายกฤษณ์ วิจิตรานนท์
ตำแหน่ง	หัวหน้าโครงการ
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2563
โทรศัพท์	081-813-3429
Email	tatar.micro@gmail.com



**ประวัติผู้วิจัย**

<b>ชื่อ-สกุล</b>	นางสาวณัฐธนิชา ฉ่ำจิตรชื่น
<b>ตำแหน่ง</b>	ผู้ร่วมวิจัย
<b>วุฒิการศึกษา</b>	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.)
<b>ภาควิชา</b>	เทคโนโลยีทางอาหาร
<b>คณะ</b>	วิทยาศาสตร์
<b>มหาวิทยาลัย</b>	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
<b>ปีที่สำเร็จการศึกษา</b>	2563
<b>โทรศัพท์</b>	095-415-5994
<b>Email</b>	dn.donutnuttanicha@gmail.com

