

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ พฤติกรรมด้านความหนืด และ  
คุณสมบัติด้านการไหลของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลส ที่ได้จากเมล็ดมะขาม  
หวานและเปรี้ยวของประเทศไทย

COMPARISON OF SOME PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES, PASTING  
BEHAVIOR AND RHEOLOGY PROPERTIES OF TAMARIND KERNEL  
POWDER AND JELLOSE FROM SWEET AND SOUR TAMARIND SEED  
VARIETIES OF THAILAND

พรรณวดี จุลภักดิ์  
PUNWADEE JULAPUK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-AI-M-053-339

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ พฤติกรรมด้านความหนืด และ  
คุณสมบัติด้านการไหลของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลส ที่ได้จากเมล็ดมะขาม  
หวานและเปรี้ยวของประเทศไทย

COMPARISON OF SOME PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES, PASTING  
BEHAVIOR AND RHEOLOGY PROPERTIES OF TAMARIND KERNEL  
POWDER AND JELLOSE FROM SWEET AND SOUR TAMARIND SEED  
VARIETIES OF THAILAND

พรรณวดี จุลภักดิ์  
PUNWADEE JULAPUK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร  
คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2562  
KMITL-2019-AI-M-053-339

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ พฤติกรรมด้านความหนืด และ  
คุณสมบัติด้านการไหลของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลส ที่ได้จากเมล็ดมะขาม  
หวานและเปรี้ยวของประเทศไทย

COMPARISON OF SOME PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES, PASTING  
BEHAVIOR AND RHEOLOGY PROPERTIES OF TAMARIND KERNEL  
POWDER AND JELLOSE FROM SWEET AND SOUR TAMARIND SEED  
VARIETIES OF THAILAND

พรรณวดี จุลภักดิ์  
PUNWADEE JULAPUK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร  
คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-AI-M-053-339

COMPARISON OF SOME PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES, PASTING  
BEHAVIOR AND RHEOLOGY PROPERTIES OF TAMARIND KERNEL  
POWDER AND JELLOSE FROM SWEET AND SOUR TAMARIND SEED  
VARIETIES OF THAILAND

PUNWADEE JULAPUK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE  
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

KMITL-2019-AI-M-053-339

COPYRIGHT 2019

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

KMITL-2019-AI-M-053-339

คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ พฤติกรรมด้านความหนืด และคุณสมบัติด้านการไหลของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลสที่ได้จากเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยวของประเทศไทย

COMPARISON OF SOME PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES, PASTING BEHAVIOR AND RHEOLOGY PROPERTIES OF TAMARIND KERNEL POWDER AND JELLOSE FROM SWEET AND SOUR TAMARIND SEED VARIETIES OF THAILAND

ชื่อนักศึกษา

นางสาวพรรณวดี จุลภักดิ์

รหัสประจำตัว

60608009

ปริญญา

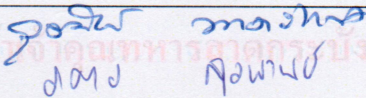
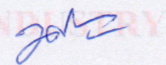
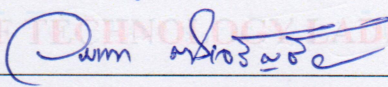
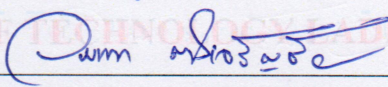
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา	
ดร.ระจิตรา สุวพานิช	
ดร.พงษ์เสวีรัฐ ศรีพรหม	
รศ.ดร.วรรณดา ตั้งเจริญชัย	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 18 กรกฎาคม 2562 เวลา 09.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 303 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิริโรตม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 18 เดือน กค. พ.ศ. 2562

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ พฤติกรรมด้านความหนืด และคุณสมบัติด้านการไหลของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลส ที่ได้จากเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยวของประเทศไทย
นักศึกษา	นางสาวพรรณวดี จุลภักดิ์
รหัสประจำตัว	60608009
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2562
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย นาครักษา

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมด้านความหนืด, คุณสมบัติด้านการไหล และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลส ที่ได้จากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)

โดยจากการศึกษา พบว่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3% ด้วยเครื่องบราเบนเดอร์วิสโคสโอมิเตอร์ ไมโครกราฟ แป้งเมล็ดมะขามหวานมีอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด, ค่าความหนืดสูงสุดและค่า setback แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว เมื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3% ด้วยบรูคฟิลด์วิสโคมิเตอร์ที่อุณหภูมิ  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$  พบว่าแป้งเมล็ดมะขามหวานมีค่าความหนืดปรากฏ ( $2463.67 \pm 105.99$  mPa.s) น้อยกว่าแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว ( $3297.00 \pm 172.50$  mPa.s) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยแป้งเมล็ดมะขามทั้งสองสายพันธุ์ แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian ชนิด pseudoplastic ในด้านคุณสมบัติทางด้านอิมันชัน พบว่าค่า Emulsifying activity (EA) และ Emulsion stability (ES) ของแป้งเมล็ดมะขามทั้งสองสายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และในด้านคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย พบว่าแป้งเมล็ดมะขามหวานมีค่าการดูดซับน้ำน้อยกว่าแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่มีค่าการการละลายมากกว่า

จากการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจลของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษามี 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของเจลโลส และ pH ปัจจัยที่ 1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายเจลโลส มี 3 ระดับดังนี้ 1, 1.5 และ 2% ปัจจัยที่ 2 คือค่า pH มี 3 ระดับดังนี้ 3, 4 และ 5 พบว่าเจลโลสทั้งสองสายพันธุ์ที่ความเข้มข้น 2% ที่ pH 3 ให้ค่าความแข็งแรงเจลมากที่สุด เมื่อศึกษาคุณสมบัติด้านการไหลของเจลโลส ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ พบว่าพฤติกรรมการไหล

ของเจลโลสทั้งสองสายพันธุ์ที่ความเข้มข้น 2% ที่ pH 3 แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian ชนิด pseudoplastic และเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวยังมีค่าความหนืดมากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน และเมื่อศึกษาคุณสมบัติการเป็นวิสโคอิลาสติก พบว่าเจลโลสทั้งสองสายพันธุ์มีค่าโมดูลัสสะสม (G') มากกว่าค่าโมดูลัสสูญเสีย (G'') ซึ่งแสดงถึงสถานะของอิลาสติก (elastic) หรือลักษณะคล้ายของแข็ง (solid-like) ในด้านคุณสมบัติทางด้านอิมันชัน พบว่าค่า Emulsifying activity (EA) และ Emulsion stability (ES) ของเจลโลสทั้งสองสายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และในด้านคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย พบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานมีค่าการดูดซับน้ำและค่าการละลายน้อยกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

<b>Thesis Title</b>	Comparison of some Physicochemical properties, Pasting behavior and Rheology properties of Tamarind Kernel Powder and Jellose from sweet and sour Tamarind seed varieties of Thailand
<b>Student</b>	Miss. Punwadee Julapuk
<b>Student ID.</b>	60608009
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Food Science
<b>Year</b>	2018
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Woatthichai Narkrugsa

## ABSTRACT

This research aims to compare of pasting characteristics, flow behavior and some physicochemical properties of Tamarind kernel powder (TKP) from sweet (Sri Chom Phu variety) and sour (Grà Daan variety) Tamarind seed.

From the study of the pasting characteristics of TKP at 3% concentration, the results showed that sweet TKP had pasting temperature, maximum viscosity and setback were statistical significance at 95% confidence level with sour TKP. When study the flow behavior of TKP at 3% concentration by Brookfield viscometer at  $25\pm 1^\circ\text{C}$  reviewed that sweet TKP showed apparent viscosity ( $2463.67\pm 105.99$  mPa.s) less than sour TKP ( $3297.00\pm 172.50$  mPa.s) with statistical significance at 95% confidence level. Both TKP showed a non-newtonian flow behavior with a pseudoplastic fluid type. In terms of emulsifying properties, it showed that the emulsifying activity (EA) and emulsion stability (ES) of both TKP showed no statistically significant difference at 95% confidence level. Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of sweet TKP had WAI less than sour TKP with statistically significant at 95% confidence level while had more WSI.

Gel characteristics of Jellose from sweet and sour Tamarind seed followed a factorial arrangement in completely randomized design (CRD) with 2 factors of concentration and pH values. 3 levels of concentration of Jellose at 1, 1.5 and 2% were studied. 3 levels of pH at 3, 4 and 5 were included. Both jellose at 2% concentration at pH3 gives the highest gel strength. When study the rheology properties of Jellose with rheometer. Found that the flow behavior of both Jellose at

2% concentration at pH3 showed the flow behavior Non-newtonian pseudoplastic type and sour Jellose has a viscosity greater than sweet Jellose. And when study the viscoelastic properties of Jellose found that both Jellose have a storage modulus ( $G'$ ), more than loss modulus ( $G''$ ) which indicates the state of elastic or the characteristics of solid- like. Emulsifying properties showed that the emulsifying activity (EA) and emulsion stability (ES) of both Jellose showed no statistically significant difference at 95% confidence level. And sweet Jellose had water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) more than sour Jellose with statistical significance at 95% confidence level.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี โดยการประสิทธิ์วิชาจาก รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ช่วยแนะแนวทางในการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วรรณมา ตั้งเจริญชัย ดร.ระจิตร์ สุวพานิช และ ดร.พงษ์เสริฐ ศรีพรหม ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ บริษัท ปีนเพชร จำกัด ที่ได้สนับสนุนวัสดุดิบที่ใช้ในการทดลองตลอดระยะเวลาของการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ขอขอบคุณเพื่อนพี่น้องในคณะทุกคนที่ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจที่ติดต่อกันเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่องทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

พรรณวดี จุลภักดิ์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ .....	V
สารบัญ .....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป .....	X
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ขอบเขตการวิจัย .....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1 มะขาม .....	3
2.2 เมล็ดมะขามและองค์ประกอบของเมล็ดมะขาม .....	3
2.2.1 เมล็ดมะขาม .....	3
2.2.2 องค์ประกอบของเมล็ดมะขาม .....	3
2.3 แป้งเมล็ดมะขาม .....	3
2.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขาม.....	4
2.4 เจลโลส .....	4
2.4.1 โครงสร้างของเจลโลส .....	5
2.4.2 มวลโมเลกุลของเจลโลส .....	7
2.5 คุณสมบัติของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลส .....	7
2.6 ประโยชน์ของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลส .....	8
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	9
บทที่ 3 การออกแบบและขั้นตอนการทดลอง .....	16
3.1 วัตถุประสงค์ .....	16
3.2 เครื่องมือ .....	16
3.3 สถานที่ในการดำเนินงาน .....	16
3.4 วิธีการดำเนินการ .....	17
3.4.1 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดมะขาม .....	17

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.2 ศึกษาคุณสมบัติของแป้งเมล็ดมะขาม .....	17
3.4.2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี .....	17
3.4.2.2 คุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย .....	17
3.4.2.3 การเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืดของแป้งเมล็ดมะขาม .....	18
3.4.2.4 พฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขาม .....	18
3.4.2.5 คุณสมบัติทางด้านอิมัลชัน .....	19
3.4.3 ศึกษาคุณสมบัติของเจลโลส .....	19
3.4.3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี .....	19
3.4.3.2 ตรวจสอบหาขนาดโมเลกุล .....	20
3.4.3.3 คุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย .....	20
3.4.3.4 พฤติกรรมการเกิดเจล .....	20
3.4.3.5 คุณสมบัติด้านการไหลของเจลโลส .....	20
3.4.3.6 คุณสมบัติทางด้านอิมัลชัน .....	20
3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ .....	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	22
4.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมล็ดมะขาม .....	22
4.2 ศึกษาคุณสมบัติของแป้งเมล็ดมะขาม .....	24
4.2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขาม .....	24
4.2.2 ศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย .....	25
4.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขาม .....	26
4.2.4 ศึกษาพฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขาม .....	30
4.2.5 ศึกษาคุณสมบัติทางด้านอิมัลชัน .....	33
4.3 ศึกษาคุณสมบัติของเจลโลส .....	33
4.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเจลโลส .....	33
4.3.2 ตรวจสอบหาขนาดโมเลกุล .....	35
4.3.3 ศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย.....	36
4.3.4 ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจล .....	36
4.3.5 ศึกษาคุณสมบัติด้านการไหลของเจลโลส .....	39
4.3.5.1 ศึกษาพฤติกรรมการไหล .....	39
4.3.5.2 ศึกษาคุณสมบัติการเป็นวิสโคอิลาสติก .....	41

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.6 ศึกษาคุณสมบัติทางด้านอิมัลชัน .....	42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย .....	44
ข้อเสนอแนะ .....	46
บรรณานุกรม .....	47
ภาคผนวก .....	51
ภาคผนวก ก. วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี .....	52
ภาคผนวก ข. วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ.....	58
ประวัติผู้เขียน .....	63

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราส่วนของ repeating unit และ monosaccharides ต่างๆของเจลาติน	6
2.2 เกรดของแป้งเมล็ดมะขามในอุตสาหกรรม	8
4.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดมะขาม	22
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขามหวาน, แป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว และ แป้งเมล็ดมะขามทางการค้า	25
4.3 คุณสมบัติในการดูดซับน้ำ และคุณสมบัติในการละลายของแป้งเมล็ดมะขาม	26
4.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3%	29
4.5 Apparent viscosity ของแป้งเมล็ดมะขาม เปรียบเทียบกับทางการค้า	30
4.6 ค่าความหนืด ค่าดัชนีการไหล (n) และค่า k ของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3%	32
4.7 คุณสมบัติทางด้านอิมันชั้นของแป้งเมล็ดมะขาม	33
4.8 องค์ประกอบทางเคมีของเจลาตินหวาน และเจลาตินเปรี้ยว	34
4.9 ขนาดมวลโมเลกุลของเจลาติน	35
4.10 คุณสมบัติในการดูดซับน้ำ และคุณสมบัติในการละลายของเจลาติน	36
4.11 ผลของพีเอช (pH) และความเข้มข้นของเจลาติน ต่อค่าความแข็งของเจล	38
4.12 คุณสมบัติทางด้านอิมันชั้นของเจลาติน	43

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเจลโลสแบบต่างๆ .....	6
2.2 โครงสร้างทางเคมีของ repeating units ของเจลโลส .....	7
4.1 เมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน).....	22
4.2 แป้งเมล็ดมะขามหวาน และแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว .....	24
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนและความเค้นเฉือนของแป้งเมล็ดมะขาม	31
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏและอัตราเฉือนของแป้งเมล็ดมะขาม	31
4.5 เจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน และเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว .....	33
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏและอัตราเฉือนของเจลโลส .....	40
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของเจลโลส .....	40
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่, ค่าโมดูลัสสะสมและค่าโมดูลัสสูญเสีย และ ค่าPhase angle( $\delta$ ) ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสเมล็ดมะขามเปรี้ยว	42
ข.1 เครื่อง Brabender รุ่น Viscograph E .....	59
ข.2 เครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น DV-III ULTRA .....	60
ข.3 เครื่อง Texture analyzer TA-XT plus .....	61

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะขาม (Tamarind) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tamarindus indica* L. เป็นไม้ยืนต้นตระกูลถั่วที่มีขนาดใหญ่ ปัจจุบันมีปลูกกันมากโดยเฉพาะในเอเชีย เช่น อินเดีย บังคลาเทศ ศรีลังกา ไทย และอินโดนีเซีย รวมไปถึงในทวีปแอฟริกาและอเมริกา (Kumar and Bhattacharya, 2008) ฝักมะขามเป็นแบบผลเดี่ยวแต่มีหลายเมล็ด ส่วนของเมล็ดมะขามเมื่อฝักแก่จะมีสีน้ำตาลเข้มเป็นมันเงา ลักษณะรูปร่างแบนเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร มีเมล็ด 1–10 เมล็ดต่อฝักซึ่งจะขึ้นอยู่กับความยาวของฝักแต่ละสายพันธุ์ (ชูศักดิ์, 2550; Kaur *et al.*, 2011) เมล็ดมะขามเป็นผลพลอยได้ที่ได้จากอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อมะขาม (Marathe *et al.*, 2002)

เมล็ดมะขามประกอบด้วยเปลือก (seed coat) ซึ่งมีสีน้ำตาลแดง 20–30% และเนื้อในเมล็ดที่มีสีขาวนวล 70–80% (Kaur *et al.*, 2011) ในส่วนของเนื้อในเมล็ดมะขามถูกนำมาใช้ในการผลิตแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel polysaccharide: TKP) และ เจลโลส (Jellose) หรือ กัมจากเมล็ดมะขาม (Tamarind seed gum: TSG) (Marathe *et al.*, 2002) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 65.1–72.2%, โปรตีน 17.1–20.1%, ไขมัน 6.0–8.5%, เส้นใยร้อยละ 0.7–4.3% และเถ้า 2.3–3.2% โดยประมาณ (Kumar and Bhattacharya, 2008)

เนื้อในเมล็ดมะขามประกอบไปด้วย ไซโลกลูแคน (Xyloglucan) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ไซโลกลูแคนเป็นเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นกัมที่ได้จากเมล็ดพืชชนิดหนึ่งที่สามารถพบได้ทั่วไปในผนังเซลล์ของพืช (Nishinari *et al.*, 2007) ไซโลกลูแคนสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “เจลโลส” (Jellose) หรือ “พอลิโอส” (Polyose) (Marathe *et al.*, 2002) โดยโครงสร้างของเจลโลสประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายหลัก  $\beta$ -1,4 เชื่อมกับ D-glucan มีสายกิ่งเป็นน้ำตาลไซโลส โดยที่ตำแหน่ง O-6 ของ glucopyranosyl residue ถูกแทนที่ด้วย  $\alpha$ -D-xylopyranose และมีกิ่งของน้ำตาลกาแลคโตสจับกับกิ่งของน้ำตาลไซโลส ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้เป็นโครงสร้างโดยทั่วไปของเจลโลส (York *et al.*, 1990 ; Nisbet *et al.*, 2006; Nishinari *et al.*, 2007)

เจลโลสมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 650,000 (gel permeation chromatography; GPC) หรือ 880,000 g/mol (light scattering) ในเมล็ดพืชบางชนิดมีพอลิเมอร์ของเจลโลสอยู่เช่นเดียวกัน แต่มีเพียงเจลโลสที่สกัดจากเมล็ดมะขามเท่านั้นที่ปัจจุบันใช้ในเชิงทางการค้า (Nishinari *et al.*, 2007) อุตสาหกรรมอาหารในญี่ปุ่นอนุญาตให้ใช้แป้งเมล็ดมะขามและเจลโลส สำหรับใช้เป็น สารให้ความข้นหนืด (thickening), สารให้ความคงตัว (stabilizing) และสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agents) เพื่อใช้ปรับปรุงคุณสมบัติด้านการไหลและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ (Marathe *et al.*, 2002)

จากการสืบค้นพบว่ายังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนทางด้านความหนืด และคุณสมบัติด้านการไหลของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลสที่ได้จากเมล็ดมะขามหวานและเมล็ดมะขามเปรี้ยว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ การเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืด และคุณสมบัติด้านการไหลของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลสที่ได้จากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ พฤติกรรมด้านความหนืด และคุณสมบัติด้านการไหลของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลส ที่ได้จากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) ของประเทศไทย

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ พฤติกรรมด้านความหนืด และคุณสมบัติด้านการไหลของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลส โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดมะขาม

ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาคุณสมบัติของแป้งเมล็ดมะขาม โดยทำวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี, ศึกษาการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมทางด้านความหนืด, พฤติกรรมการไหล , ศึกษาคุณสมบัติด้านอิมัลชัน และศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและการละลายของแป้งเมล็ดมะขาม

ส่วนที่ 3 เป็นการศึกษาคุณสมบัติของเจลโลส โดยทำการตรวจสอบหาขนาดโมเลกุล, วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี, ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจลและคุณสมบัติด้านการไหล ศึกษาคุณสมบัติด้านอิมัลชัน และศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและการละลายของเจลโลส

โดยใช้การทดสอบที (T-test) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย 2 กลุ่ม ที่เป็นอิสระจากกัน

## บทที่ 2

# ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 มะขาม

มะขาม (Tamarind) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tamarindus indica* L. เป็นไม้ยืนต้นตระกูลถั่วที่มีขนาดใหญ่ ปัจจุบันมีปลูกกันมากโดยเฉพาะในเอเชีย เช่น อินเดีย บังคลาเทศ ศรีลังกา ไทย และอินโดนีเซีย รวมทั้งในทวีปแอฟริกา และอเมริกา (Kumar and Bhattacharya, 2008) ในประเทศไทยมีการปลูกมะขามหวานและมะขามเปรี้ยวตามจังหวัดต่างๆ ได้แก่ เพชรบูรณ์ เลย ลำปาง เชียงใหม่ นครราชสีมา และอุบลราชธานี (ชูศักดิ์, 2550) ฝักมะขามเป็นแบบผลเดี่ยวแต่มีหลายเมล็ด ฝักอ่อนมีสีเขียวอมเทา และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อฝักแก่

### 2.2 เมล็ดมะขามและองค์ประกอบของเมล็ดมะขาม

#### 2.2.1 เมล็ดมะขาม

ส่วนของเมล็ดมะขามเมื่อฝักแก่จะมีสีน้ำตาลเข้มเป็นมันเงา ลักษณะรูปร่างแบนเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร มีเมล็ด 1–10 เมล็ดต่อฝักซึ่งจะขึ้นอยู่กับความยาวของฝักแต่ละสายพันธุ์ (ชูศักดิ์, 2550; Kaur *et al.*, 2011) เมล็ดมะขามเป็นผลพลอยได้ที่ได้จากอุตสาหกรรมการแปรรูปเนื้อมะขาม (Marathe *et al.*, 2002) เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากมะขามจะใช้เฉพาะส่วนของเนื้อมะขาม ส่วนของเมล็ดมะขามจะเป็นของเหลือทิ้ง

#### 2.2.2 องค์ประกอบของเมล็ดมะขาม

เมล็ดมะขามประกอบด้วยเปลือก (seed coat) ซึ่งมีสีน้ำตาลแดง 20–30% และเนื้อในเมล็ดที่มีสีขาวนวล 70–80% (Kaur *et al.*, 2011; วรางคณาและคณะ, 2559)

### 2.3 แป้งเมล็ดมะขาม

โดยเนื้อในเมล็ดมะขามถูกนำมาใช้ในการผลิตแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel polysaccharide: TKP, Tamarind seed polysaccharide: TSP, Tamarind kernel flour: TKF, Tamarind kernel powder: TKP) และ เจลโลส (Jellose) หรือ พอลิโอส (Polyose) หรือ กัมจาก

เมล็ดมะขาม (Tamarind seed gum: TSG, Tamarind seed xyloglucan: TSX) (Marathe *et al.*, 2002) เนื้อในเมล็ดมะขามประมาณ 60-65% ประกอบไปด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ ชนิดไซโลกลูแคน (Xyloglucan) เป็นองค์ประกอบหลัก

### 2.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขาม

แป้งเมล็ดมะขามมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 65.1–72.2%, โปรตีน 17.1–20.1%, ไขมัน 6.0–8.5%, เส้นใยร้อยละ 0.7–4.3% และเถ้า 2.3–3.2% โดยประมาณ (Kumar and Bhattacharya, 2008) ซึ่งสอดคล้องกับ Bhattacharya *et al.* (1991) ที่ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อในเมล็ดมะขาม (wet basis) พบว่าประกอบไปด้วย โปรตีน 18.1%, ไขมัน 7.2%, ความชื้น 11.4%, เส้นใย 2.5%, คาร์โบไฮเดรต 58.5% และเถ้า 2.6% Marathe *et al.* (2002) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel polysaccharide) และพอลิโอส (Polyose) พบว่าแป้งเมล็ดมะขามประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 73.68%, โปรตีน 14.38%, ความชื้น 8.67% และเถ้า 3.28% ส่วนพอลิโอส ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 81.90%, โปรตีน 8.05%, ความชื้น 7.80% และเถ้า 2.25% Mirhosseini *et al.* (2012) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel powder) ประกอบไปด้วย โปรตีน 12.7–15.4%, ไขมัน 3–7.5%, เส้นใย 7–8.4%, คาร์โบไฮเดรต 61–72.2% และเถ้า 2.45–3.3% หนึ่งฤทัย (2552) ได้ทำการผลิตแป้งเมล็ดมะขามโดยต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 80°C นาน 60 นาที แล้วทำแห้งด้วยตูบไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 8 นาที จากนั้นมาบด ร่อนผ่านตะแกรง (80 เมช) เป็นแป้งเมล็ดมะขามมีปริมาณผลผลิต 32% เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบเคมี พบว่ามีความชื้น 5.22% มีปริมาณเถ้า 3.25% มีปริมาณเส้นใย 9.65% มีปริมาณโปรตีน 15.76% และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 71.34% และดวงสมร (2556) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel flour) ที่ได้จากวิธีการที่ต่างกัน 2 วิธี โดยนำเมล็ดมะขามที่ผ่านการกำจัดเปลือก > 80% มาต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 45 นาที เมล็ดมะขามจะถูกบด และถูกทำให้แห้งด้วยวิธีที่ 1 ให้ความร้อนในอุโมงค์ไมโครเวฟ (400 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที, TKP1) และวิธีที่ 2 ให้ความร้อนในตูบความร้อนแบบถาด (70°C เป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง, TKP2) พบว่า วิธีที่ 1 แป้งเมล็ดมะขามประกอบไปด้วย โปรตีน 11.35%, ไขมัน 5.47%, ความชื้น 4.93%, เส้นใย 1.95%, คาร์โบไฮเดรต 74.66% และเถ้า 1.37% และ วิธีที่ 2 แป้งเมล็ดมะขามประกอบไปด้วย โปรตีน 14.93%, ไขมัน 3.03%, ความชื้น 6.78%, เส้นใย 1.28%, คาร์โบไฮเดรต 72.33% และเถ้า 1.66%

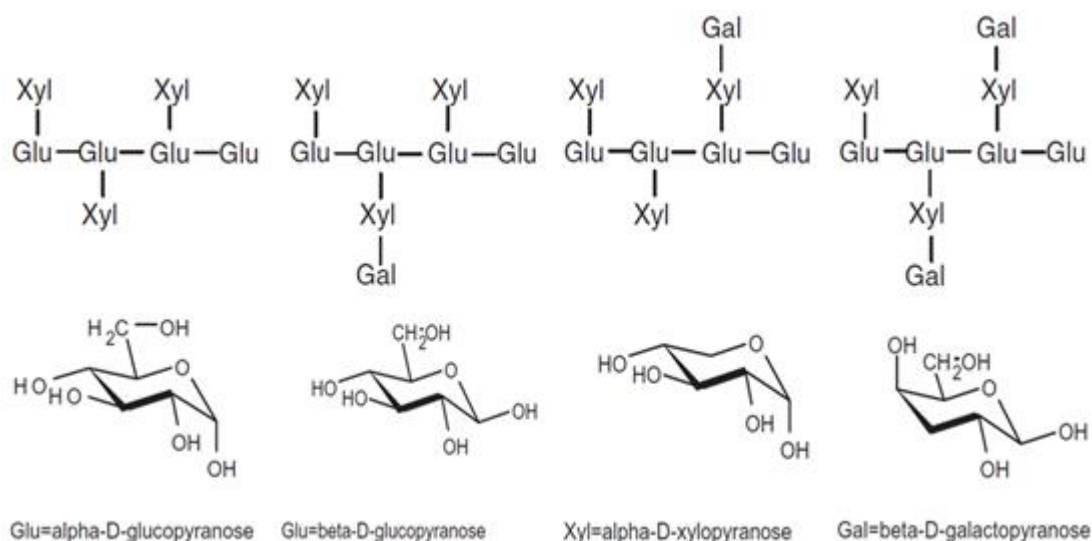
## 2.4 เจลโลส

เจลโลส คือไซโลกลูแคนบริสุทธิ์ โดยเนื้อในเมล็ดมะขามประกอบไปด้วย ไซโลกลูแคน (Xyloglucan) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ไซโลกลูแคนเป็นเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นกัมที่ได้จากเมล็ดพืชชนิดหนึ่งที่สามารถพบได้ทั่วไปในผนังเซลล์ของพืช

(Nisbet *et al.*, 2006; Nishinari *et al.*, 2007) ไฮโดรไลติกแคนสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “เจลโลส” (Jellose) หรือ “พอลิโอส” (Polyose) (Marathe *et al.*, 2002)

2.4.1 โครงสร้างของเจลโลส

โครงสร้างของเจลโลสประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 3 ชนิดคือ น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแล็กโทส ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายหลัก  $\beta$ -1,4 เชื่อมกับ D-glucan โดยมีสายกิ่งเป็นน้ำตาลไซโลส ที่ตำแหน่ง O-6 ของ glucopyranosyl residue ถูกแทนที่ด้วย  $\alpha$ -D-xylapyranose และมีกิ่งของน้ำตาลกาแล็กโทสจับกับกิ่งของน้ำตาลไซโลส (Shirakawa *et al.*, 1998; York *et al.*, 1990; Yamanaka *et al.*, 2000; Marathe *et al.*, 2002; Nisbet *et al.*, 2006) ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้เป็นโครงสร้างโดยทั่วไปของเจลโลส (York *et al.*, 1990; Nishinari *et al.*, 2007)

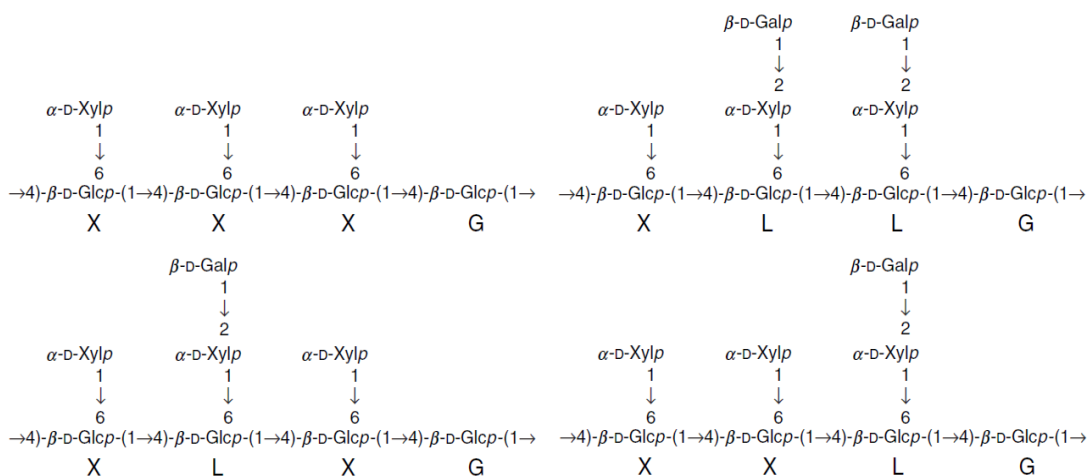


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเจลโลสแบบต่างๆ

ที่มา: Nisbet *et al.*, 2006

ในเมล็ดพืชบางชนิด เช่น มะขาม (Tamarindus), น้อยหน่า (Annona), มะค่าโมง (Afzelia), ไฮเมเนีย (Hymenaea) และดีทาเรียม (Detarium) มีพอลิเมอร์ของเจลโลสอยู่ แต่โดยส่วนใหญ่ที่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย จะเป็นเจลโลสที่สกัดได้จากเมล็ดมะขาม เนื่องจากมีเพียงเจลโลสจากเมล็ดมะขามเท่านั้นที่ปัจจุบันใช้ในเชิงทางการค้า (Nishinari *et al.*, 2007)

เจลโลสจะมีหน่วยซ้ำ (repeating units) 4 แบบหลักๆ ซึ่งมาจากจำนวนและตำแหน่งของกิ่งของน้ำตาลกาแล็กโทส ที่จับกับกิ่งของน้ำตาลไซโลสที่แตกต่างกัน คือ XXXG, XLXG, XXLG, XLLG (โดยที่ X คือน้ำตาลกลูโคสที่มีกิ่งของน้ำตาลไซโลส, G คือน้ำตาลกลูโคส, L คือน้ำตาลกลูโคสที่มีกิ่งของน้ำตาลไซโลสจับกับกิ่งของน้ำตาลกาแล็กโทส) (York *et al.*, 1990 ; Nishinari *et al.*, 2007) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ repeating units ของเจลโลส

ที่มา: Nishinari *et al.*, 2007

เจลโลสที่ได้จากแหล่งต่างๆ ประกอบไปด้วย repeating unit ซ้ำๆกัน แม้ว่าสัดส่วนของส่วนประกอบโพลีแซคคาไรด์ แต่ละส่วนเกือบจะเท่ากัน (Nishinari *et al.*, 2007) ดังที่แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนของ repeating unit และ monosaccharides ต่างๆของเจลโลส

	XXXG	XLXG	XXLG	XLLG	Glc	Xyl	Gal
Tamarind	13.0	39.0	48.0	0.46	0.37	0.17	
Tamarind	15.5	5.7	31.9	46.9	0.47	0.35	0.18
Detarium	7.6	2.3	42.7	47.3	0.48	0.36	0.16
Afzelia	17.6	3.7	49.2	29.5	0.47	0.35	0.18

ที่มา : Nishinari *et al.*, 2007

York *et al.* (1990) ได้ทำการศึกษาารูปแบบของโครงสร้างของเจลโลสที่สัมพันธ์กับสายพันธุ์พืช พบว่ารูปแบบของโครงสร้างขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ตัวอย่างเช่น ผักกาดหอม (*Lactuca sativa*) และแครอท (*Daucus carota*) มี repeating unit เป็นแบบ XXXG ซึ่งเป็นรูปแบบโครงสร้างทั่วไปของเจลโลส อย่างไรก็ตามยังมีสายพันธุ์ที่ผิดปกติ เช่น พริกไทย (*Capsicum annuum*) และมันฝรั่ง (*Lycopersicon esculentum*) ที่มีรูปแบบโครงสร้างผิดปกติคือมี repeating unit เป็นแบบ XXGG รวมทั้งสายพันธุ์ เช่น ผักบุ้งฝรั่ง (*Ipomoea purpurea*), โหระพา (*Ocimum basilicum*) และ ผักกาดน้ำ (*Plantago major*) ที่มีรูปแบบโครงสร้างผิดปกติคือ repeating unit เป็นแบบ XXGGG ซึ่งมีน้ำตาลกลูโคสถึง 5 โมเลกุลในสายโซ่หลัก (ส่วนใหญ่จำนวนของน้ำตาลกลูโคสในสายโซ่หลักของ repeating unit ของเจลโลสจะมีมากที่สุด 4 โมเลกุล)

#### 2.4.2 มวลโมเลกุลของเจลโลส

เจลโลสมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 650,000 (gel permeation chromatography; GPC) หรือ 880,000 g/mol (light scattering) ขึ้นอยู่กับวิธีการทดลอง (Nishinari *et al.*, 2007)

จากงานวิจัยของ Chaiakdanukull and Siroth (2005) ได้ทำการศึกษาการสกัดไซโลกลูแคน โดยนำเอาแป้งเมล็ดมะขามจาก 3 วิธี 1. เมล็ดมะขามที่ผ่านการลอกเปลือกโดยไม่ใช้ความร้อน นำเมล็ดมะขามไปแช่น้ำ 2–3 ชั่วโมง ชัดเอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก แล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dry) ที่อุณหภูมิ 50°ซ นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 มิลลิเมตร 2. ลอกเปลือกเมล็ดมะขามโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150°ซ นาน 15 นาที แล้วบดด้วยเครื่อง pin mill และ 3. ลอกเปลือกเมล็ดมะขามโดยการคั่วที่อุณหภูมิ 200°ซ นาน 2 นาที แล้วบดด้วยเครื่อง pin mill นำแป้งเมล็ดมะขามแต่ละวิธีจำนวน 30 กรัม ไปสกัดเอาไขมันออกด้วยเฮกเซน จากนั้นอบเพื่อระเหยเฮกเซนออก แล้วนำแป้งไปละลายน้ำกลั่นปริมาตร 3 ลิตร นำสารละลายไปต้มที่อุณหภูมิ 80°ซ นาน 30 นาที โดยทำการคนสารละลายตลอดเวลา จากนั้นนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที ตกตะกอนสารละลายด้วยเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 70% ที่อุณหภูมิ 4°ซ โดยทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงอีกครั้งด้วยความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที นำไซโลกลูแคนที่สกัดได้ไปทำแห้ง โดยการ freeze dry แล้วนำไปหาค่าน้ำหนักโมเลกุล ( $M_w$ ) ด้วยเทคนิค light scattering พบว่าไซโลกลูแคนที่สกัดได้จากวิธีที่ 1. มีค่าน้ำหนักโมเลกุล  $3.831 \times 10^6$  กรัม/โมล ส่วนไซโลกลูแคนที่สกัดได้จากวิธีที่ 2. และ 3. มีค่าน้ำหนักโมเลกุล  $3.44 \times 10^6$  และ  $3.304 \times 10^6$  กรัม/โมล ตามลำดับ

#### 2.5 คุณสมบัติของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลส

แป้งเมล็ดมะขามสามารถกระจายตัวในน้ำได้แม้กระทั่งในน้ำเย็น แต่จะเป็นสารละลายได้ก็ต่อเมื่อมีการให้ความร้อนและมีการกวนคน โดยจะมีความหนืดสูงสุดหลังจากต้มเป็นเวลา 20–30 นาที สารละลายของแป้งเมล็ดมะขามแสดงพฤติกรรมการไหลเป็นแบบ Non-newtonian ชนิด pseudoplastic, ทนทานต่อสภาวะที่เป็นกรดต่างได้ดี (Rao and Srivastava, 1973) แป้งเมล็ดมะขามเป็นแหล่งของพอลิแซ็กคาไรด์ที่ทำให้เกิดเจล ที่เรียกว่า “เจลโลส” หรือ “พอลิโอส” และมีคุณสมบัติการขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่ดี (Gliksman, 1986; Marathe *et al.*, 2002) เจลโลสสามารถเกิดเจลได้ในสารละลายที่มีน้ำตาลหรือแอลกอฮอล์ โดยสารละลายเจลโลสที่ความเข้มข้น 3% สามารถเกิดเป็นเจลได้ด้วยการเติมน้ำตาลซูโครส โดยเกิดเป็นเจลเมื่อมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่า 30 °บริกซ์ (สิริการ และ วรางคณา, 2558) ซึ่งเป็นสมบัติและลักษณะที่คล้ายกับเพกตินจากผลไม้ จึงนำมาใช้ในการสร้างเจลที่คล้ายกับเพกติน ในผลิตภัณฑ์ได้ เช่น แยม เยลลี่ มามาเลต (Marathe *et al.*, 2002) แต่สิ่งที่แตกต่างจากเพกตินที่ได้จากผลไม้ คือ เจลที่ได้จากเจลโลสสามารถเป็นเจลในสภาวะที่เป็นกลาง จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่าง ๆ (สิริการ และ วรางคณา, 2558)

ตารางที่ 2.2 เกรดของแป้งเมล็ดมะขามในอุตสาหกรรม

Specification	D.Col-EcoPol-XGD	D.Col-EcoPol-XGDD	D.Col-CMHPTKP
Viscosity (Brooke field Viscometer at 25°C)	2500 Cps	3500 Cps	3500-4000 Cps
Moisture - Max Values	5%	6%	8%
Color	Cream	Light Cream	Cream to Light Brown
Appearance	Free flowing powder	Free flowing powder	Free flowing powder
100 Mesh Passing	98 - 99%	90-99%	98 - 99%
200 Mesh Passing	>90%	>90%	>90%
Solubility (cold water soluble)	Yes	Yes	Yes
A.I.R.(Acid Insoluble Residue)	1.00%	1-2%	1-3%
Ash - Max	<3.00%	<3.00%	<3.00%
pH	6.5-8.0	5.5-7.0	8.5-10
Nature	Anionic	Non-Ionic	Anionic

ที่มา : <http://www.chemtotal.com/oldsite/tamarind-gum.html>

## 2.6 ประโยชน์ของแป้งเมล็ดมะขามและเจลาติน

สามารถนำแป้งเมล็ดมะขามซึ่งมีราคาถูก ประมาณกิโลละ 20-30 บาท มาใช้ผลิตเป็นเจลาติน ซึ่งมีราคาสูงถึงกิโลละ 5000-1200 บาท (ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์) ได้ ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารในญี่ปุ่นอนุญาตให้ใช้แป้งเมล็ดมะขามและเจลาติน สำหรับใช้เป็น สารเพิ่มความข้นหนืด (thickening), สารให้ความคงตัว (stabilizing) และสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agents) เพื่อใช้ปรับปรุงคุณสมบัติด้านการไหลและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ เช่น ไอศกรีม มายองเนส น้ำสลัด (Marathe *et al.*, 2002) นอกจากนี้มีการนำแป้งเมล็ดมะขามและเจลาตินมาใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น สามารถใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ โดยนำแป้งเมล็ดมะขามเติมในน้ำเยื่อกระดาษเพื่อใช้เป็น wet-end additive (Glicksman, 1986) และยังสามารถนำเจลาตินไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เพื่อความงาม โดยที่ไซโคลลูแคนในเจลาตินมีฤทธิ์ในการผสมเซลล์และสามารถผสมผลได้ (ภักศิริ และไมตรี, 2554)

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืด (Pasting characteristic)

Chaiakdanukull and Sriroth (2005) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืดของแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel powder) ด้วยเครื่อง Brabender visco amylograph โดยใช้แป้งเมล็ดมะขามจาก 3 วิธี 1. เมล็ดมะขามที่ผ่านการลอกเปลือกโดยไม่ใช้ความร้อน นำเมล็ดมะขามไปแช่น้ำ 2-3 ชั่วโมง ชัดเอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก แล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dry) ที่อุณหภูมิ 50°ซ นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 มิลลิเมตร 2. ลอกเปลือกเมล็ดมะขามโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150°ซ นาน 15 นาที แล้วบดด้วยเครื่อง pin mill และ 3. ลอกเปลือกเมล็ดมะขามโดยการคั่วที่อุณหภูมิ 200°ซ นาน 2 นาที แล้วบดด้วยเครื่อง pin mill พบว่า การเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืดของสารละลายแป้ง 3% (w/w ,dry basis) ในวิธีที่ 1 มีค่า maximum และ final viscosity มากกว่าวิธีที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

Kaur *et al.* (2011) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืดของแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel powder) ที่มี Xanthan, Carboxymethylcellulose (CMC) และ Locust bean gum เปรียบเทียบกับแป้งข้าว และแป้งมันฝรั่ง ผลของการเติมกัม (xanthan, carboxymethylcellulose and locust bean gum) ที่ระดับต่างๆ ต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งเมล็ดมะขาม แป้งข้าว และแป้งมันฝรั่ง โดยใช้ Rapid Visco-Analyzer (RVA) พบว่าแป้งเมล็ดมะขาม (TKP) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จากแป้งข้าวและแป้งมันฝรั่ง โดยมีปริมาณโปรตีน เถ้า และไขมันสูงที่สุด ผลการวิเคราะห์ RVA พบว่าสมบัติด้านความหนืดของผสมแป้ง/กัม ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของกัม ค่า Peak, breakdown และ final viscosity จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกัมในของผสมแป้ง/กัมเพิ่มขึ้น แต่จะมีผลต่อแป้งข้าวและแป้งมันฝรั่งมากกว่าแป้งเมล็ดมะขามซึ่งแสดงค่าความหนืดต่ำกว่าค่าความหนืดของกัมทั้งหมด และผลของการเพิ่มระดับของกัม พบว่ามีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเติม locust bean gum รองมาคือ xanthan และสุดท้ายคือ carboxymethylcellulose

ดวงสมร (2556) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืดของแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel powder) ที่ได้จากวิธีการที่ต่างกัน 2 วิธี โดยนำเมล็ดมะขามที่ผ่านการกำจัดเปลือก >80% มาต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 45 นาที เมล็ดมะขามจะถูกบด และถูกทำให้แห้งด้วยวิธีที่ 1 ให้ความร้อนในอุโมงค์ไมโครเวฟ (400 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที, TKP1) และวิธีที่ 2 ให้ความร้อนในตู้อบลมร้อนแบบถาด (70°ซ เป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง, TKP2) จากการศึกษาพฤติกรรมด้านความหนืดของสารละลายแป้ง 6% (w/w ,dry basis) โดยใช้เครื่อง Brabender visco amylograph พบว่า TKP1 มีค่าอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด, peak viscosity, breakdown และ setback เท่ากับ 48.3°ซ,  $1,865.67 \pm 55.90$  BU,  $250.00 \pm 116.09$  BU และ  $1,503.67 \pm 38.94$  BU ตามลำดับ ส่วน TKP2 มีค่าเท่ากับ 22.3°ซ,  $1,677.33 \pm 87.64$  BU,  $178.33 \pm 119.27$  BU และ  $1,478.67 \pm 98.66$  BU ตามลำดับ แป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากการทดลองมีอุณหภูมิในการเกิดเจลที่ต่ำกว่าอาจเนื่องมาจากการใช้

ความร้อนในการต้มและการทำแห้งเมล็ดมะขาม ความร้อนจะทำให้ภายในเมล็ดมะขามบางส่วนเกิดการพรีเลาติไนซ์ขึ้น โดยไปทำลายโครงสร้างภายในบางส่วน นอกจากนี้ยังพบว่าผง แป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากการทดลองสามารถคงความหนืดไว้ได้ในขณะที่มีการกวนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูง และมีความหนืดสูงขึ้นเมื่อเกิดรีโทรเกรเดชัน

หนึ่งฤทัย (2552) ทำการศึกษาอิทธิพลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่อคุณสมบัติของแป้งเมล็ดมะขาม โดยต้มเมล็ดมะขามในน้ำที่อุณหภูมิ 80°C นาน 60 นาที นำไปอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟด้วยกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 8 นาที จากนั้นเอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก บดและร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 6% พบว่า แป้งเมล็ดมะขามมีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดที่ 30.6°C, peak viscosity เท่ากับ  $2,272.3 \pm 232.4$  BU, breakdown เท่ากับ  $404 \pm 77.6$  BU และ setback เท่ากับ  $1,488.3 \pm 36.7$  BU

สินีนาง (2557) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความหนืดในระหว่างการทำความร้อนของแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind seed powder) นำแป้งเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันเปรียบเทียบกับแป้งเมล็ดมะขามที่กำจัดไขมัน ที่มีความเข้มข้น 4% โดยใช้เครื่อง Brabender visco amylograph พบว่าแป้งเมล็ดมะขามมีอุณหภูมิเริ่มการเกิดเจลาติไนซ์ (pasting temperature) อยู่ในช่วง 51–53 °C และแป้งเมล็ดมะขามที่กำจัดไขมันมีค่า peak viscosity, breakdown, consistency และ setback เท่ากับ  $724.00 \pm 46.66$ ,  $151.50 \pm 19.09$ ,  $742.00 \pm 15.55$  และ  $663.50 \pm 7.77$  ตามลำดับ ส่วนแป้งเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันมีค่าเท่ากับ  $959.50 \pm 3.53$ ,  $184.50 \pm 21.92$ ,  $891.50 \pm 9.19$  และ  $786.50 \pm 16.26$  ตามลำดับ แป้งเมล็ดมะขามที่กำจัดไขมันมีค่า viscosity parameters ทั้งหมดมากกว่าแป้งเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งยืนยันการถูกแทรกแซงจากส่วนประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตต่อคุณสมบัติของแป้ง

### 2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาพฤติกรรมการไหล (Flow Behavior)

Somsiri (1997) ได้ศึกษาการสกัดเจลโลสจากเมล็ดมะขาม โดยนำแป้งเมล็ดมะขามไปกำจัดไขมัน สกัดโดยใช้สัดส่วนแป้งเมล็ดมะขามต่อน้ำ 1:40 (น้ำหนัก/ปริมาตร) โดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงแยกตะกอน จากนั้นทำการแยกเจลโลสโดยตกตะกอนด้วยเอทานอล 95% 1-1.5 เท่าตัว กรองเก็บตะกอนด้วยผ้ากรองแล้วนำไปอบที่ 60°C จากการศึกษาคุณสมบัติด้านการไหล โดยผลของความเข้มข้นที่ 0.5–3.0% ที่อุณหภูมิ 25–30°C และ 85–90°C พบว่าที่อุณหภูมิ 25–30°C เจลโลสแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian ชนิด pseudoplastic เมื่อมีความเข้มข้นตั้งแต่ 2% ขึ้นไป เช่นเดียวกันกับที่อุณหภูมิ 85–90°C เจลโลสแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian ชนิด pseudoplastic เมื่อมีความเข้มข้นตั้งแต่ 1.5% ขึ้นไป และเจลโลสที่สกัดที่อุณหภูมิ 25–30°C และเจลโลสที่สกัดที่ 85–90°C มีค่า apparent viscosity ของสารละลายที่ความเข้มข้น 3% อยู่ในช่วงหรือสูงกว่า 0.7538–0.7662 Pa.s และ 1.5150–1.7570 ตามลำดับ

Chaiakdanukull and Sriroth (2005) ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel powder) ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer วัดที่อุณหภูมิ  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$  โดยใช้แป้งเมล็ดมะขามจาก 3 วิธี 1. เมล็ดมะขามที่ผ่านการลอกเปลือกโดยไม่ใช้ความร้อน นำเมล็ดมะขามไปแช่น้ำ 2–3 ชั่วโมง ชัดเอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก แล้วทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (tray dry) ที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 มิลลิเมตร 2. ลอกเปลือกเมล็ดมะขามโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $150^{\circ}\text{C}$  นาน 15 นาที แล้วบดด้วยเครื่อง pin mill และ 3. ลอกเปลือกเมล็ดมะขามโดยการคั่วที่อุณหภูมิ  $200^{\circ}\text{C}$  นาน 2 นาที แล้วบดด้วยเครื่อง pin mill พบว่าพฤติกรรมด้านการไหลของสารละลายแป้งเมล็ดมะขาม 3% (w/w dry basis) จากสมการ power law แป้งเมล็ดมะขามวิธีที่ 1. มีค่า  $k$  ( $8.19 \pm 0.19$ ) มากกว่า แป้งเมล็ดมะขามวิธีที่ 2 ( $6.66 \pm 0.86$ ) และ 3. ( $5.61 \pm 0.38$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ค่า flow behavior index ( $n$ ) น้อยกว่า และสารละลายแป้งเมล็ดมะขามทั้งสามวิธีแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian ชนิด pseudoplastic

Temsiripong *et al.* (2006) ทำการศึกษาอิทธิพลของไซโลกลูแคน (xyloglucan) ต่อการเจลลิตไนซ์ และการคืนตัวของสตาร์ชในแป้งมันสำปะหลัง พบว่าความหนืดของของผสม TS/XG จะเพิ่มขึ้นทันทีหลังจากการเจลลิตไนซ์เมื่อมีปริมาณ XG เพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 3.5% การเจลลิตไนซ์ของ TS อย่างเดียวแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic ที่อัตราเฉือนต่ำ และแบบ dilatant ที่อัตราเฉือนสูง ในขณะที่ของผสมที่มี XG แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic และค่าสเปกตรัมของของผสม TS ที่มี XG มีลักษณะเป็น liquid-like มากกว่าที่มี TS เพียงอย่างเดียว ในระหว่างการเก็บรักษา TS พบว่า XG ช่วยให้ของผสมมีความคงทนต่อแรงเฉือน การเพิ่มขึ้นของ dynamic moduli ในระหว่างการเก็บรักษาที่  $5^{\circ}\text{C}$  ถูกยับยั้งด้วยการมีอยู่ของ XG ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการทดแทน XG ไปบางส่วนทำให้เกิด continuous liquid phase ในของผสมเพื่อให้มีความคงตัวทางกลที่ดีขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา

หนึ่งฤทัย (2552) ทำการศึกษาอิทธิพลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่อคุณสมบัติของแป้งเมล็ดมะขาม โดยต้มเมล็ดมะขามในน้ำที่อุณหภูมิ  $80^{\circ}\text{C}$  นาน 60 นาที นำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนด้วยกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 8 นาที เอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก บดและร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช จากการศึกษาพฤติกรรมด้านการไหลของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3% พบว่าแป้งเมล็ดมะขามมีค่า flow behavior index ( $n$ ) เท่ากับ 0.88 ซึ่งแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian ชนิด pseudoplastic โดย มีค่าความหนืดปรากฏ เท่ากับ  $1336.00 \pm 159.01$  cps

ดวงสมร (2556) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel flour) ที่ได้จากวิธีการที่ต่างกัน 2 วิธี โดยนำเมล็ดมะขามที่ผ่านการกำจัดเปลือก > 80% มาต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 45 นาที เมล็ดมะขามจะถูกบด และถูกทำให้แห้งด้วยวิธีที่ 1 ให้ความร้อนในอุโมงค์ไมโครเวฟ (400 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที, TKP1) และวิธีที่ 2 ให้ความร้อนในตู้อบลมร้อนแบบถาด ( $70^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง, TKP2) จากการศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารละลายแป้ง

3% (w/w ,dry basis) โดยใช้เครื่อง Brookfield viscometer พบว่า TKP1 และ TKP2 แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic ค่า consistency coefficient (k) ของ TKP1 สูงกว่า TKP2 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) ในขณะที่ค่า flow behavior index (n) ของ TKP1 และ TKP2 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ ) โดยค่า flow behavior index (n) ของ TKP1 เท่ากับ  $0.95\pm 0.01$  และ TKP2 เท่ากับ  $0.93\pm 0.01$  ที่ความเร็วรอบเดียวกัน พบว่าค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity) และค่าความเค้นเฉือน (shear stress) ของ TKP1 มีค่ามากกว่า TKP2 และที่ %torque เข้าใกล้ 100 สารละลายแป้ง 3% (w/w ,dry basis) แสดงค่าความหนืดปรากฏของ TKP1 เท่ากับ  $2698.33\pm 4.04$  csp และ TKP2 เท่ากับ  $2634.00\pm 3.00$  csp ในขณะที่ค่าความเค้นเฉือนของ TKP1 เท่ากับ  $39.23\pm 0.06$  N/m<sup>2</sup> และ TKP2 เท่ากับ  $38.33\pm 0.12$  N/m<sup>2</sup>

2.7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย (Water absorption index; WAI and Water solubility index; WSI)

หนึ่งฤทัย (2552) ที่ทำการศึกษาอิทธิพลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่อคุณสมบัติของแป้งเมล็ดมะขาม โดยต้มเมล็ดมะขามในน้ำที่อุณหภูมิ 80°C นาน 60 นาที นำไปอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟด้วยกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 8 นาที เอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก บดและร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช จากการตรวจสอบคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลายของแป้งเมล็ดมะขาม พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำของแป้งเมล็ดมะขามที่แสดงเป็น น้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการละลายเม็ดแป้งด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 30°C มีค่าการดูดซับน้ำ  $308.2\pm 41.75\%$  และความสามารถในการละลายน้ำของแป้งเมล็ดมะขามซึ่งแสดงเป็นน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิ 30°C มีค่าการละลาย  $5.7\pm 0.56\%$

Eiamsaard and Narkrugs (2012) ได้ทำการศึกษาคูสมบัติในการดูดซับน้ำ (WAI) และคุณสมบัติในการละลาย (WSI) ของแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel flour) ที่ได้จากวิธีการที่ต่างกัน 2 วิธี โดยนำเมล็ดมะขามที่ผ่านการกำจัดเปลือก >80% มาต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 45 นาที เมล็ดมะขามจะถูกลบ และถูกทำให้แห้งด้วยวิธีที่ 1 ให้ความร้อนในอุโมงค์ไมโครเวฟ (400 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที, TKF1) และวิธีที่ 2 ให้ความร้อนในตู้อบความร้อนแบบถาด (70°C เป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง, TKF2) พบว่า TKF1 มีค่า WAI และ WSI เท่ากับ  $83.77\pm 0.57\%$  และ  $10.12\pm 0.30\%$  ตามลำดับ มากกว่า TKF2 ซึ่งมีค่า WAI และ WSI เท่ากับ  $72.68\pm 1.35\%$  และ  $4.64\pm 0.07\%$  ตามลำดับ เนื่องจากอุโมงค์ไมโครเวฟให้ความร้อนมากกว่าตู้อบความร้อนแบบถาด และ TKF1 มีความชื้นน้อยกว่า TKF2 ซึ่งอุณหภูมิที่สูงเป็นผลให้พันธะไฮโดรเจนในเม็ดแป้งถูกทำลายทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถเข้าไปรวมตัวกับเม็ดแป้ง เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำได้มากขึ้นและพองตัวจนไม่สามารถคืนกลับ (reversible) ได้ ซึ่งการคืนกลับไม่ได้ของการพองตัวเป็นส่วนหนึ่งของการละลายของโมเลกุลแป้งที่เรียกว่าการเจลาติไนซ์

#### 2.7.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของการเกิดเจล (Gel behavior)

Shirakawa *et al.* (1998) ได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติของไซโลกลูแคนโดยใช้เอนไซม์ พบว่าการก่อเจลเกิดขึ้นได้โดยการขจัดกาแล็กโทส 35% ออกจากไซโลกลูแคนของเมล็ดมะขามโดยใช้ fungal  $\beta$ -galactosidase ที่ได้จาก *Aspergillus oryzae* เจลที่ได้มีคุณสมบัติเฉพาะในการฟอร์มเป็นเจล มีความแข็งแรงของเจลที่อุณหภูมิสูง ตีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนการขจัดกาแล็กโทสจากไซโลกลูแคนเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนเฟสระหว่างของเหลว (sol) และเจล (gel) สามารถเปลี่ยนกลับได้ ไซโลกลูแคนที่มีการขจัดกาแล็กโทสออก มี 2 จุดการเปลี่ยนเฟส sol-gel คือ เมื่ออยู่ในอุณหภูมิต่ำ (sol เปลี่ยนเป็น gel) และเมื่ออยู่ในอุณหภูมิสูง (gel เปลี่ยนเป็น sol) ตัวอย่างเช่น ในไซโลกลูแคนที่มีอัตราส่วนการขจัดกาแล็กโทสเท่ากับ 35% ของเหลว (sol) กลายเป็นเจล (gel) ในการให้ความร้อนที่ 40°C และเปลี่ยนกลับเป็นของเหลว (sol) อีกครั้งที่ 80°C Shirakawa และคณะเชื่อว่าการก่อเจลเกิดจากความสัมพันธ์ของสายโซ่หลักโดยการยึดเกาะกับน้ำ

Yamanaka *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษาการเกิดเจลของแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind seed polysaccharide) ในสารละลายเอทานอล โดยละลายผงเมล็ดมะขามในสารละลายเอทานอล 15% ที่อุณหภูมิ 80°C พบว่าเจลที่ได้สามารถฟอร์มตัวเป็นเจลได้ที่อุณหภูมิต่ำ การเกิดเจลจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 47°C เมื่อให้ความร้อนกับระบบที่มีผงเมล็ดมะขามในสารละลายเอทานอล 15%

Marathe *et al.* (2002) ได้ศึกษาพฤติกรรมของการเกิดเจลของพอลิโอส (Polyose) จากแป้งเมล็ดมะขาม โดยการแยกพอลิโอสออกจากแป้งเมล็ดมะขาม นำแป้งเมล็ดมะขาม 50 กรัม (ที่ผ่านการกำจัดไขมันด้วยเฮกเซน) มาผสมกับน้ำ 500 มิลลิลิตร เติมของผสมให้เป็น 2000 มิลลิลิตรในน้ำเดือดที่มีกรดซิตริก จากนั้นให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที และวางทิ้งไว้ข้ามคืน ค่อยๆรินส่วนที่เป็นของเหลวที่ลอยเหนือตะกอนลงในแอลกอฮอล์ 90% ในอัตราส่วนของสารละลายต่อแอลกอฮอล์ 1: 2 เพื่อให้ได้เส้นใย ซึ่งเส้นใยจะถูกกรองผ่านผ้าขาวบาง เส้นใยที่ได้จะถูกอบแห้ง บดให้ผ่าน 100 เมช ได้เป็นพอลิโอส นำผงพอลิโอสมาผสมกับเพกตินที่อัตราส่วน เพกติน:พอลิโอส คือ 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100 จากนั้นละลายในสารละลายน้ำตาลให้ได้สารละลายน้ำตาลเข้มข้น 65°บริกซ์ ที่ pH = 3 และความเข้มข้นต่างๆกัน (1–3.5%) พบว่าการใช้เพกตินเพียงอย่างเดียวจะทำให้เจลมีความแข็งแรงดี ขณะที่อัตราส่วนเพกติน:พอลิโอสที่ 80:20 และ 60:40 เจลจะมีความแข็งแรงที่ความเข้มข้น 1.5% และ 2% ตามลำดับ ส่วน 40:60, 20:80 และ 0:100 เจลจะเซตตัวดีที่ความเข้มข้น 2% หากความเข้มข้นสูงกว่า 2% เยลลี่ที่ได้จะแข็งและเคี้ยวยาก การใช้พอลิโอสที่ความเข้มข้น 2% สามารถทดแทนเพกตินความเข้มข้น 1% ในการผลิตเยลลี่ได้

Nisbet *et al.* (2006) ได้ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการเกิดเจลของไซโลกลูแคน (Xyloglucan) โดยนำไซโลกลูแคนที่มีอัตราส่วนการกำจัดกาแล็กโทส 48% จากการตัดแปลงเอนไซม์ มาทำให้บริสุทธิ์โดยละลายไซโลกลูแคน 1% (โดยน้ำหนัก) ในน้ำปราศจากไอออน (deionized water) หรือ สารละลาย PBS ด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก (magnetic stirrer) ที่อุณหภูมิระหว่าง 0–5°C นำสารละลายที่ได้มาตกตะกอนในเอทานอล 60% ที่อุณหภูมิห้องและล้างเอทานอล

60% ด้วยอะซิโตน โดยผ่านแผ่นกรองและขจัดความดันที่มีเครื่องดูดสูญญากาศ ตะกอนจะถูกทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาสองวันในเตาอบสูญญากาศ (vacuum oven) นำโซลโกลูแคนบริสุทธิ์ที่ได้มาละลายในน้ำปราศจากไอออนที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0% (โดยน้ำหนัก) และกวนในอ่างน้ำแข็งจนกระทั่งละลายหมด เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 0–5°C จากโครงสร้างระดับจุลภาคพบว่าที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 3% (โดยน้ำหนัก) ไม่สามารถสร้างเจลที่แข็งแรงได้ที่อุณหภูมิ 37°C โดยไม่คำนึงถึงชนิดของสารละลาย และการเกิดเจลของโซลโกลูแคนเกิดขึ้นใน 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก (ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น) ขึ้นกับการฟอร์มตัวของโครงสร้างแมมเบรนขนาดใหญ่ในเจล การฟอร์มตัวของโครงสร้างแมมเบรนจะเร็วขึ้นเมื่อได้รับไอออนในสารละลาย PBS ขั้นตอนที่สองเกี่ยวข้องกับกรวมกันของแมมเบรนเข้าสู่เครือข่าย 3 มิติ (3 dimensional network) ที่แข็งแรงมาก

สินีนาฏ (2557) ได้ศึกษาผลของ pH และความเข้มข้นของเจลโลสต่อพฤติกรรมการเกิดเจล โดยนำเจลโลสที่ความเข้มข้น 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5% ในสารละลายน้ำตาล 50% ไปต้มเป็นเวลา 20–30 นาที ให้ได้ความเข้มข้น 50 °บริกซ์ ปรับ pH ให้ได้ 3, 4, 5 และ 6 ด้วยกรดซิตริก เทตัวอย่างลงในปิกร์ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ตั้งไว้เซตตัว 24 ชั่วโมง นำเจลที่ได้ไปวัดความแข็งแรงของเจล ด้วยเครื่อง Texture Analyzer พบว่า pH และระดับความเข้มข้นของเจลโลส มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงเจลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเจลโลสจาก 1.0% ไปจนถึง 3.5% ค่าความแข็งแรงเจลมีค่าสูงขึ้นในทุกๆ pH ที่ทำการทดลอง และเมื่อ pH สูงขึ้นที่ระดับความเข้มข้นเจลโลสเท่ากันค่าความแข็งแรงเจลมีค่าลดลงตามลำดับ

สิริกร และ วรารคณา (2558) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของกัมเมล็ดมะขาม โดยเตรียมสารละลายกัมเมล็ดมะขามภายใต้สภาวะต่างๆ ตามปัจจัยที่ศึกษา 4 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายกัม 1–5% โดยน้ำหนัก, ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายกัม คือ pH 3 และ pH ธรรมชาติของกัมเมล็ดมะขาม (pH 6.5–7), ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ คือ ร้อยละ 30, 40, 50 และ 60 โดยน้ำหนัก (°บริกซ์) และความเข้มข้นของ NaCl คือ 0.5, 1 และ 2% โดยน้ำหนัก ในแต่ละปัจจัยนำสารละลายกัมมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 10–90°C จากนั้นทิ้งสารละลายกัมที่เตรียมไว้ให้เย็น แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4–8°C นาน 12 ชั่วโมง ก่อนนำมาวัดสมบัติทางวิทยากระแสของเจล พบว่าสารละลายกัมเมล็ดมะขามมีคุณลักษณะของความเป็นของเหลว (liquid-like characteristics) มากกว่าความเป็นของแข็ง (solid-like characteristics) ( $G'' > G'$ ) มีค่า  $G''$  และ  $G'$  เพิ่มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นกัมเพิ่มขึ้น (1–5% โดยน้ำหนัก) สารละลายกัม (3% และ 5%) ที่มีการปรับ pH เท่ากับ 3 และที่ pH ธรรมชาติ (pH 6.5–7) ยังคงมีค่า  $G'' > G'$  การเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (30, 40, 50 และ 60 °บริกซ์) โดยการเติมน้ำตาลซูโครส พบว่าสารละลายกัมมีค่า  $G'' > G'$  และมีค่า  $G'$  มากขึ้นเมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นและสามารถเกิดเป็นเจลได้เมื่อมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่า 30 °บริกซ์

### 2.7.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคุณสมบัติด้านการไหล (Rheological properties)

Pongsawatmanit *et al.* (2006) ได้ศึกษาอิทธิพลของกัมเมล็ดมะขาม (Tamarind seed xyloglucan) ต่อคุณสมบัติทางด้านการไหลและความคงตัวของแป้งมันสำปะหลัง โดยนำกัมเมล็ดมะขาม (XG) และแป้งมันสำปะหลัง (TS) มาผสมกับน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้นของผสม 5% ในอัตราส่วน TS/XG = 10/0, 9/1, 8/2, 7/3 และ 6/4 ให้ความร้อนที่ 95 °ซ เป็นเวลา 30 นาที และลดอุณหภูมิลงที่ 40°ซ ด้วยอ่างน้ำเย็น ตัวอย่างจะถูกปั่นเหวี่ยงที่ 190 g เป็นเวลา 2 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์ พบว่าสเปกตรัมของของผสม TS/XG 5% มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของเจล (gel behavior) ไปเป็นสารละลายเข้มข้น และมีค่า loss tangent ( $\tan \delta$ ) สูงขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ XG จากการวิเคราะห์ Rapid visco-analysis profiles ของของผสม TS/XG 5% ที่อัตราส่วนการผสมที่ต่างกัน ชี้ให้เห็นค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณ XG จากการวัดตัวอย่างที่ 25°ซ พบว่าค่าความหนืดของของผสม TS/XG ที่เกิดการเจลาติไนซ์มีค่าสูงกว่า TS ในขณะที่เส้นโค้งแสดงการไหล (flow curves) ของ TS และ TS/XG แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning (pseudoplastic) และค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ที่ 50 s<sup>-1</sup> ของ TS และ TS/XG ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ขณะที่พลังงานกระตุ้นของสารผสม TS/XG ต่ำกว่า TS เพียงอย่างเดียว ชี้ให้เห็นว่า XG ช่วยเพิ่มความคงตัวของแป้งมันสำปะหลังของผสม TS/XG และความหนืดของ TS มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงกว่าเมื่อเทียบกับของผสมของ TS/XG

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### 3.1 วัตถุดิบ

เมล็ดมะขาม, แป้งเมล็ดมะขาม (ไม่เกิน 80 เมช) และเจลโลส (ไม่เกิน 80 เมช) จากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัทปิ่นเพชรจำกัด จังหวัดเพชรบูรณ์

#### 3.2 เครื่องมือ

3.2.1 เครื่อง Brabender viscograph E	(Brabender OHG, Germany)
3.2.2 เครื่อง Brookfield viscometer DV-III	(Brookfield Engineering Laboratories, USA)
3.2.3 เครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ (Homogenizer)	(IKA, Germany)
3.2.4 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)	(Thermo Legend mach 1.6R , Thermo Fisher Scientific, Germany)
3.2.5 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)	(Hettich Universal 320, Andreas Hettich GmbH & Co.KG, Germany)
3.2.6 เครื่อง Texture analyser TA. XT plus	(Stable Micro system, England)
3.2.7 เครื่องวัดพีเอช	(Mettler Toledo, USA)
3.2.8 เครื่องรีโอมิเตอร์ (Rheometer)	(MCR 102, Anton Paar GmbH, Austria)
3.2.9 เครื่อง GPC	(2414 RI detector, Waters, USA)

#### 3.3 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 3.4 วิธีการดำเนินการ

#### 3.4.1 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดมะขาม

นำเมล็ดมะขามมา วัดความกว้าง, ความยาว และความหนา ด้วยเครื่อง Vernier caliper analog type, หาค่าน้ำหนักเมล็ดมะขาม/1000 เมล็ด และค่าความหนาแน่น (bulk density)

#### 3.4.2 ศึกษาคุณสมบัติของแป้งเมล็ดมะขาม

##### 3.4.2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำตัวอย่างแป้งเมล็ดมะขาม มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ความชื้น (moisture) โปรตีน (crude protein) ไขมัน (fat) เส้นใยอาหาร (crude fiber) เถ้า (ash) คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ตามวิธี AOAC method (2000)

3.4.2.2 ศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย (Water absorption index; WAI and Water solubility index; WSI) (ดัดแปลงจาก Narkrugs, 1996)

เตรียมตัวอย่างแป้งเมล็ดมะขาม โดยนำแต่ละตัวอย่างมาชั่งประมาณ 2.5 กรัม (dry basis) ( $W_0$ ) ผสมกับน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ในหลอดหมุนเหวี่ยงและปิดฝาให้สนิท นำไปแช่ใน water bath ที่มีอุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำของผสมมาชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ ) แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Hettich Universal 320) ที่ความเร็วรอบ 8000 rpm เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนที่เป็นของเหลวออกแล้วชั่งน้ำหนักส่วนที่เป็นของผสมในหลอดหมุนเหวี่ยง ( $W_2$ ) นำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{Water absorption index} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_0} \quad (2.1)$$

นำส่วนที่เป็นของเหลว 10 มิลลิลิตร ที่ได้จากการแยกในหลอดหมุนเหวี่ยงใส่ลงใน aluminum can ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ใน aluminum can ( $W_3$ ) นำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าความสามารถในการละลายน้ำ ซึ่งแสดงเป็น % น้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{Water solubility index (\%)} = \frac{W_3}{W_0} \times 100 \quad (2.2)$$

หมายเหตุ  $W_0$  = น้ำหนักของแป้งเริ่มต้น  
 $W_1$  = น้ำหนักของของผสม  
 $W_2$  = น้ำหนักของของแข็งที่เหลืออยู่ในหลอดหมุนเหวี่ยง  
 $W_3$  = น้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ใน aluminum can

3.4.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืดของแป้งเมล็ดมะขาม (Pasting characteristic)

นำตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของแป้ง 3% (dry basis) มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมทางด้านความหนืดของน้ำแป้ง ด้วยเครื่องวัดความหนืดของน้ำแป้ง (Brabender viscograph E) ตามวิธีการของ Chaisakdanukull and Sriroth, (2005) โดยนำตัวอย่างแป้งเมล็ดมะขามมาละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร น้ำแป้งจะถูกให้ความร้อนที่ 25°C โดยใช้อัตราเร็ว 1.5°C/นาที จนถึง 95°C และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 50°C โดยใช้อัตราเร็ว 1.5°C/นาที โดยมีความเร็วรอบของการหมุน paddle เท่ากับ 160 รอบ/นาที บันทึกค่า Gelatinization temperature, Peak viscosity, Breakdown (Peak viscosity– Start of cooling period), และ Setback (End of cooling period– Start of cooling period)

3.4.2.4 ศึกษาพฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขาม (Flow Behavior) (ดัดแปลงจาก Chaisakdanukull and Sriroth, 2005)

เตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของแป้ง 3% (dry basis) โดยนำแป้งมะขามมาละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิมากกว่า 85°C คงไว้ที่อุณหภูมิช่วงนี้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (คนตัวอย่างเรื่อยๆ ด้วยแท่งแก้ว) จากนั้นทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างจะถูกวัดที่อุณหภูมิ 25±1°C ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer DV – III) โดยใช้หัววัดเบอร์ 34 นำตัวอย่างใส่ลงใน sample cup และรอให้ตัวอย่างปรับสมดุล 20 นาที จากนั้นให้อัตราเฉือน (shear rate) ตั้งแต่ 0.5– 8.0 rpm ภายในเวลา 3 นาที และคงไว้ที่อัตราเฉือนนี้เป็นเวลา 5 นาที แล้วลดอัตราเฉือนลงจาก 8.0–0.5 rpm ภายในเวลา 3 นาที บันทึกค่า ความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ความเค้นเฉือน (Shear stress, N/m<sup>2</sup>) และอัตราเฉือน (Shear rate, 1/sec) จาก power law model ตามสมการ

$$T = ky^n \quad (2.3)$$

สามารถคำนวณหาค่า  $n$  = ดัชนีการไหล (flow behavior) และ  $k$  = consistency index (Pa.s) โดยวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นจาก  $\log T = \log k + n \log y$  โดย  $T$  = shear rate และ  $y$  = shear stress

3.4.2.5 ศึกษาคุณสมบัติทางด้านอิมัลชัน (Emulsifying properties) (ดัดแปลงจาก Yasumatsu *et al.*, 1972)

Emulsifying activity (EA) เป็นค่าที่สามารถบอกได้ว่าเกิดเป็น emulsion ได้ดีหรือไม่ โดยเตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของแป้งเมล็ดมะขาม 3% (dry basis) นำแป้งมะขามาละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำแต่ละตัวอย่างมาให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิมากกว่า 85°C คงไว้ที่อุณหภูมิช่วงนี้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง(คนตัวอย่างเรื่อยๆด้วยแท่งแก้ว) ทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง เติมน้ำมันถั่วเหลือง 100 มิลลิลิตรลงในแต่ละตัวอย่าง แล้วทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ (Homogenizer) ที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm เป็นเวลา 1 นาที แบ่งของผสมใส่ใน centrifugal tubes นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Thermo Legend mach 1.6R) ที่ 1300 g เป็นเวลา 5 นาที ค่า Emulsifying activity สามารถคำนวณได้จาก

$$EA = \frac{\text{ความสูงของ emulsified layer}}{\text{ความสูงทั้งหมด}} \times 100\% \quad (2.4)$$

Emulsion stability (ES) เป็นค่าที่บอกได้ว่าหากเกิดเป็น emulsion แล้วจะมีความเสถียรหรือไม่ โดยเตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของแป้งเมล็ดมะขาม 3% (dry basis) นำแป้งมะขามาละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำแต่ละตัวอย่างมาให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิมากกว่า 85°C คงไว้ที่อุณหภูมิช่วงนี้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง(คนตัวอย่างเรื่อยๆด้วยแท่งแก้ว) จากนั้นเติมน้ำมันถั่วเหลือง 100 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิห้องแบ่งของผสมใส่ใน centrifugal tubes นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Thermo Legend mach 1.6R) ที่ 1300 g เป็นเวลา 5 นาที ค่า Emulsion stability สามารถคำนวณได้จาก

$$ES = \frac{\text{ความสูงของ emulsified layer}}{\text{ความสูงทั้งหมด}} \times 100\% \quad (2.5)$$

### 3.4.3 ศึกษาคุณสมบัติของเจลโลส

#### 3.4.3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำตัวอย่างเจลโลส มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ความชื้น (moisture) โปรตีน (crude protein) ไขมัน (fat) เส้นใยอาหาร (crude fiber) เถ้า (ash) คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ตามวิธี AOAC method (2000)

### 3.4.3.2 ตรวจสอบหาขนาดโมเลกุล

นำตัวอย่างเจลโลส มาหาน้ำหนักโมเลกุลโดยใช้เทคนิค Gel permeation chromatography โดยใช้ น้ำ deionization (DI) เป็นตัวทำละลาย และใช้สาร Polyethylene เป็นสารละลายมาตรฐาน ปรับอัตราการไหลเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตร/นาที และควบคุมอุณหภูมิที่ 40°C

3.4.3.3 ศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย (Water absorption index; WAI and Water solubility index; WSI) (ดัดแปลงจาก Narkrugsa, 1996)

นำตัวอย่างเจลโลสมาศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลายตามวิธีข้อ 3.4.2.2

3.4.3.4 ศึกษาพฤติกรรมเกิดการเกิดเจล (Gel characteristic) (ดัดแปลงจาก Marathe, 2002)

เตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นเจลโลส 1, 1.5 และ 2% (dry basis) โดยนำเจลโลสมาละลายในสารละลายน้ำตาล 50 % ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 85°C เป็นเวลา 30 นาที (คนตัวอย่างเรื่อยๆด้วยแท่งแก้ว) ให้ได้ความเข้มข้นเป็น 50 °บริกซ์ ปรับ pH ของตัวอย่างด้วยกรดซิตริก เป็น pH 3, 4 และ 5 ตั้งทิ้งไว้ให้เซตตัว นำเจลที่ได้มาวัดค่าความแข็งแรงเจลด้วยเครื่อง Texture analyser โดยใช้หัววัด P/0.5R กดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทาง 15 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 2 มม/วินาที จนทั่มทะลุเนื้อเจล

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD เก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลองในแต่ละสิ่งทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย จากนั้นวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละสิ่งทดลอง โดยใช้วิธีของ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยกำหนดปัจจัยในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเจลโลส 1, 1.5 และ 2% ที่ pH 3, 4 และ 5

### 3.4.3.5 ศึกษาคุณสมบัติด้านการไหลของเจลโลส (Rheology properties)

นำเจลโลสที่มีความเข้มข้นเจลโลส 2% (dry basis) มาศึกษาคุณสมบัติด้านการไหลด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ (Rheometer) (MCR 102, Anton Paar GmbH, ประเทศออสเตรีย) เพื่อดูพฤติกรรมการไหล และความเป็นวิสโคอิลาสติก (liquid-like หรือ solid-like) ของเจลโลส โดยนำเจลโลสมาละลายในสารละลายน้ำตาล 50% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 85°C เป็นเวลา 30 นาที (คนตัวอย่างเรื่อยๆด้วยแท่งแก้ว) ให้ได้ความเข้มข้นเป็น 50 °บริกซ์ ปรับ pH ของตัวอย่างเป็น pH = 3 ด้วยกรดซิตริก ตัวอย่างจะถูกวัดที่อุณหภูมิ 25±1°C

3.4.3.6 ศึกษาคุณสมบัติทางด้านอิมัลชัน (Emulsifying properties) (ดัดแปลงจาก Yasumatsu *et al.*, 1972)

นำตัวอย่างเจลโลส โดยเตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นเจลโลส 2% (dry basis) โดยนำเจลโลสมาละลายในสารละลายน้ำตาล 50% ปริมาตร 100 มิลลิลิตรมาศึกษาคุณสมบัติทางด้านอิมัลชัน ตามวิธีข้อ 3.4.2.5

#### 3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

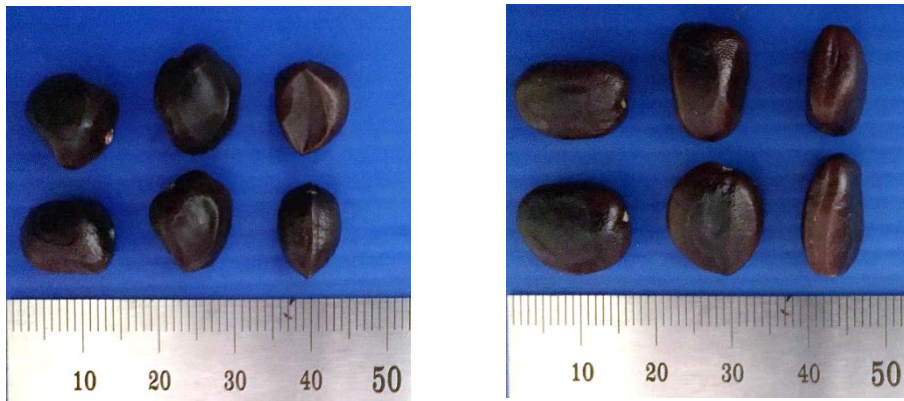
นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS โดยใช้การทดสอบที (T-test) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มที่เป็นอิสระจากกันที่ระความเชื่อมั่น 95%

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดมะขาม

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดมะขาม พบว่าเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมพู) ส่วนใหญ่จะมีเมล็ดขนาดเล็ก เป็นทรงรี ส่วนเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) เมล็ดมีขนาดใหญ่ และแบนกว่า เมล็ดมะขามหวานมีขนาดเฉลี่ย ยาว, กว้าง, หนา เท่ากับ  $10.91 \pm 0.85$  มิลลิเมตร,  $8.86 \pm 1.10$  มิลลิเมตร และ  $8.37 \pm 0.55$  มิลลิเมตร ตามลำดับ มีน้ำหนัก/1000เมล็ดเฉลี่ย และค่า Bulk density เท่ากับ  $531.28 \pm 0.91$  กรัม และ  $0.8154 \pm 0.0005$   $\text{g/cm}^3$  ตามลำดับ ขณะที่เมล็ดมะขามเปรี้ยวมีขนาดเฉลี่ยยาว, กว้าง, หนา เท่ากับ  $12.90 \pm 1.39$  มิลลิเมตร,  $10.16 \pm 1.16$  มิลลิเมตร และ  $6.92 \pm 0.62$  มิลลิเมตร ตามลำดับ มีน้ำหนัก/1000เมล็ดเฉลี่ย และค่า Bulk density เท่ากับ  $674.9 \pm 0.47$  กรัม และ  $0.8192 \pm 0.0006$   $\text{g/cm}^3$  ตามลำดับ ดังที่แสดงในตาราง 4.1 จะเห็นได้ว่าผลของขนาด, น้ำหนักต่อ 1000 เมล็ด และค่า Bulk density ของเมล็ดมะขามหวานและเมล็ดมะขามเปรี้ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทำให้ส่งผลในขั้นตอนการรับซื้อวัตถุดิบ



รูปที่ 4.1 เมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมพู) (ด้านซ้าย) และเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) (ด้านขวา)

**ตารางที่ 4.1** ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดมะขาม

	*ยาว(mm)	*กว้าง(mm)	*หนา(mm)	**น้ำหนัก/1000เมล็ด	**Bulk density(g/cm <sup>3</sup> )
เมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	10.91 ± 0.85 <sup>a</sup>	8.86 ± 1.10 <sup>a</sup>	8.37 ± 0.55 <sup>a</sup>	531.28 ± 0.91 <sup>a</sup>	0.8154 ± 0.0005 <sup>a</sup>
เมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)	12.90 ± 1.39 <sup>b</sup>	10.16 ± 1.16 <sup>b</sup>	6.92 ± 0.62 <sup>b</sup>	674.95 ± 0.47 <sup>b</sup>	0.8192 ± 0.0006 <sup>b</sup>

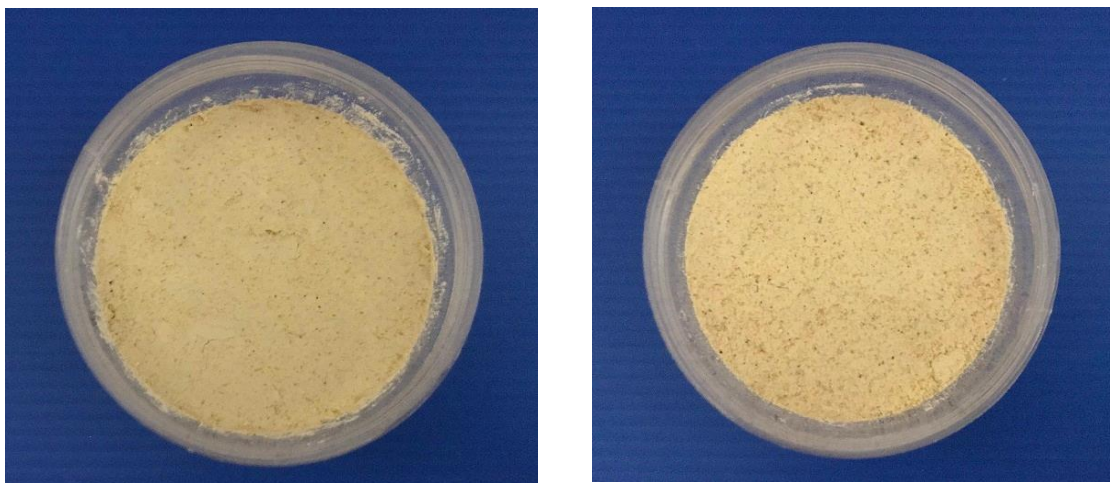
หมายเหตุ : 1. <sup>abc</sup>...หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวดังเดียว เมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. \* ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 30 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. \*\* ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

## 4.2 ศึกษาคุณสมบัติของแป้งเมล็ดมะขาม

### 4.2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขาม



รูปที่ 4.2 แป้งเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) (ด้านซ้าย) และแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) (ด้านขวา)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าแป้งเมล็ดมะขามหวาน มีความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต  $4.69 \pm 0.04\%$ ,  $16.43 \pm 0.66\%$ ,  $3.43 \pm 0.27\%$ ,  $2.35 \pm 0.02\%$ ,  $2.32 \pm 0.16\%$  และ  $70.79 \pm 0.51\%$  ตามลำดับ ส่วนแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว มีความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต  $5.60 \pm 0.13\%$ ,  $16.23 \pm 0.11\%$ ,  $2.66 \pm 0.11\%$ ,  $2.33 \pm 0.02\%$ ,  $2.30 \pm 0.07\%$  และ  $70.86 \pm 0.18\%$  ตามลำดับ ดังที่แสดงในตาราง 4.2 ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับ Marathe *et al.* (2002), หนึ่งฤทัย (2552) โดยผลการทดลองของ Marathe *et al.* (2002) พบว่าแป้งเมล็ดมะขาม มีความชื้น 8.67% มีปริมาณเถ้า 3.28% มีปริมาณโปรตีน 14.38% และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 73.68% ผลการทดลองของหนึ่งฤทัย (2552) ได้ทำการผลิตแป้งเมล็ดมะขามโดยต้มในน้ำที่อุณหภูมิ  $80^{\circ}\text{C}$  นาน 60 นาที แล้วทำแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 8 นาที จากนั้นมาบด ร่อนผ่านตะแกรง (80 เมช) พบว่ามีความชื้น 5.22% มีปริมาณเถ้า 3.25% มีปริมาณเส้นใยอาหาร 9.65% มีปริมาณโปรตีน 15.76% และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 71.34%

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขามหวานกับแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว พบว่าแป้งเมล็ดมะขามหวานและแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวมี ความชื้น และไขมัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งไขมันที่มีอยู่ในแป้งโดยปกติแล้วมีทั้งอยู่ที่พื้นผิวของเม็ดสตาร์ช และกระจายทั่วไปภายในเม็ดสตาร์ช โดยเชื่อมพันธะกับคาร์โบไฮเดรตอย่างหลวม ๆ

ซึ่งไขมันในแป้งอาจจะมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง โดยจะไปลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของแป้ง (ผาณิต, 2549)

และเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งเมล็ดมะขามทางการค้าพบว่าแป้งเมล็ดมะขามมีคุณภาพใกล้เคียงกับแป้งเมล็ดมะขามทางการค้าของบริษัท Altrafine Gums จากประเทศอินเดีย

**ตารางที่ 4.2** องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขามหวาน, แป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว และแป้งเมล็ดมะขามทางการค้า

พารามิเตอร์ (%)	แป้งเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	แป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)	TKP ทางการค้า* (โดย Altrafine Gums)
ความชื้น	4.69 ± 0.04 <sup>a</sup>	5.60 ± 0.13 <sup>b</sup>	ไม่เกิน 12
โปรตีน	16.43 ± 0.66 <sup>a</sup>	16.23 ± 0.11 <sup>a</sup>	ไม่เกิน 20
ไขมัน	3.43 ± 0.27 <sup>a</sup>	2.66 ± 0.11 <sup>b</sup>	ไม่เกิน 6
เถ้า	2.35 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.33 ± 0.02 <sup>a</sup>	ไม่เกิน 3
เส้นใยอาหาร	2.32 ± 0.16 <sup>a</sup>	2.30 ± 0.07 <sup>a</sup>	ไม่เกิน 2
คาร์โบไฮเดรต	70.79 ± 0.51 <sup>a</sup>	70.86 ± 0.18 <sup>a</sup>	ไม่น้อยกว่า 59

หมายเหตุ : 1. <sup>abc</sup>... หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวนอนเดียวกัน เมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

\*ที่มา: [www.altrafine.com/tamarind-kernel-powder-technical-specification.html](http://www.altrafine.com/tamarind-kernel-powder-technical-specification.html)

4.2.2 ศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย (Water absorption index; WAI and Water solubility index; WSI)

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (WAI) และการละลายน้ำ (WSI) ของแป้งเมล็ดมะขามหวานและแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว พบว่าแป้งเมล็ดมะขามหวานและแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าการดูดซับน้ำโดยแสดงเป็น น้ำหนักของแป้งเมล็ดมะขามที่เพิ่มขึ้นเมื่อละลายแป้งเมล็ดมะขามด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 30°C เท่ากับ 857.96±2.10% และ 892.02±3.03% ตามลำดับ และจากการตรวจสอบความสามารถในการละลายน้ำของแป้งเมล็ดมะขาม คิดเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิ 30°C พบว่าแป้งเมล็ดมะขามหวานและแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าการละลายน้ำ เท่ากับ 6.55±0.05% และ 5.60±0.22% ตามลำดับ แม้ว่าแป้งเมล็ดมะขามจะไม่ละลายน้ำในขณะที่อยู่ในน้ำเย็น แต่จะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (Leach *et al.*, 1959) ซึ่งจะเห็นว่าแป้งเมล็ดมะขามสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าการละลายน้ำ เนื่องจากองค์ประกอบที่อยู่ในแป้งเมล็ด

มะขาม โดยเฉพาะเส้นใยอาหารซึ่งมีสมบัติสามารถดูดซึมน้ำได้ดี จึงทำให้แป้งเมล็ดมะขามมีค่าการดูดซึมน้ำสูง

จากงานวิจัยของหนึ่งฤทัย (2552) ที่ทำการศึกษาอิทธิพลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่อคุณสมบัติของแป้งเมล็ดมะขาม โดยต้มเมล็ดมะขามในน้ำที่อุณหภูมิ 80°C นาน 60 นาที นำไปอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟด้วยกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 8 นาที เอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก บดและร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช จากการตรวจสอบความสารถในการดูดซึมน้ำของแป้งเมล็ดมะขาม พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำ  $308.2 \pm 41.75\%$  และมีค่าการละลาย  $5.7 \pm 0.56\%$  ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง ค่าการดูดซึมน้ำจากการทดลองมีค่ามากกว่าอาจเนื่องมาจากกระบวนการเตรียมแป้งที่ต่างกัน

โดยแป้งเมล็ดมะขามหวานมีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่าแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวอย่างน้อยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่มีค่าการการละลายมากกว่า ค่าการดูดซึมน้ำและการละลายน้ำของแป้งเมล็ดมะขามอาจจะยังดูไม่ชัด เนื่องจากมีส่วนของสตาร์ชรวมอยู่ด้วย ซึ่งหากเป็นเจลโลสจะเห็นค่าการดูดซึมน้ำและการละลายน้ำได้ชัดกว่า ดังจะกล่าวถึงในเรื่องคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำและคุณสมบัติในการละลายของเจลโลสต่อไป

#### ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติในการดูดซึมน้ำ (WAI) และคุณสมบัติในการละลาย (WSI) ของแป้งเมล็ดมะขาม

	การดูดซึมน้ำ (WAI)	การละลาย (WSI) (%)
แป้งเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	$857.96 \pm 2.10^a$	$6.55 \pm 0.05^a$
แป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)	$892.02 \pm 3.03^b$	$5.60 \pm 0.22^b$

หมายเหตุ : 1. <sup>abc</sup>...หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งเดียวกัน เมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 2 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### 4.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขาม (Pasting characteristic)

นำแป้งเมล็ดมะขามหวานและแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่มีความเข้มข้น 3% มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามในระหว่างการทำให้ร้อน ผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะไมโลกราฟ จนถึงขั้นการทำให้เย็น โดยติดตามผลระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ซึ่งมีหน่วยความหนืดเป็น Brabender Unit (BU) แสดงความหนืดที่จุดต่างๆ ดังตารางที่ 4.4



จากการทดลองพบว่าแป้งเมล็ดมะขามหวานและแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวจะไม่ค่อยละลายน้ำ เนื่องจากแป้งเมล็ดมะขาม เป็นโมเลกุลที่มีการเชื่อมต่อกันด้วยน้ำตาลกลูโคส, ไซโลส และกาแลคโตส โดยโครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายหลัก  $\beta$ -1,4 เชื่อมกับ D-glucan โดยมีสายกิ่งเป็นน้ำตาลไซโลส ที่ตำแหน่ง O-6 ของ glucopyranosyl residue ถูกแทนที่ด้วย  $\alpha$ -D-xylapyranose และมีกิ่งของน้ำตาลกาแลคโตสจับกับกิ่งของน้ำตาลไซโลส (Shirakawa *et al.*, 1998; York *et al.*, 1990; Yamanaka *et al.*, 2000; Marathe *et al.*, 2002; Nisbet *et al.*, 2006) ซึ่งทำให้มีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นจำนวนมากและยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน จะต้องมีการให้ความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิช่วง 60–66°C เพื่อให้ความร้อนทำให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างแป้งเมล็ดมะขามแตกออกสามารถจับกับน้ำ (ดูดซึมน้ำได้มากขึ้น) เกิดการพองตัว แป้งเมล็ดมะขามหวานและแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวสามารถคงความหนืดไว้ได้ในขณะที่มีการกวนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูง และมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเกิดการคืนตัวของแป้ง (Retrogradation) เนื่องจากเกิดการจับตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนของโครงสร้างแป้งเมล็ดมะขาม (ทำให้สูญเสียโมเลกุลน้ำที่เข้ามาจับ) เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหแบบสามมิติ ที่มีช่องว่างจากการจับตัวกันของสายพอลิเมอร์ทำให้น้ำสามารถแทรกเข้าไปอยู่ มีผลให้สามารถอุ้มน้ำได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีกครั้ง

**ตารางที่ 4.4** การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3 % (dry basis)

	Pasting Temperature (C°)	ความหนืด (BU)		
		Peak viscosity	Break down	Setback
แป้งเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	60.03 ± 0.31 <sup>a</sup>	104.67 ± 1.53 <sup>a</sup>	0	239.00 ± 2.00 <sup>a</sup>
แป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)	66.96 ± 0.64 <sup>b</sup>	88.00 ± 1.73 <sup>b</sup>	0	218.00 ± 4.58 <sup>b</sup>

หมายเหตุ : 1. <sup>abc</sup>...หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งเดียวกัน เมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### 4.2.4 ศึกษาพฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขาม (Flow Behavior)

เมื่อนำแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3% มาศึกษาพฤติกรรมการไหลด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน (Brookfield viscometer DV III) โดยนำค่าอัตราเฉือน (shear rate) และความเค้นเฉือน (Shear stress) ที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์สมการถดถอยเชิงยกกำลังซึ่งอยู่ในรูปของ Power Law Model จากรูปที่ 4.3 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของแป้งเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยว กราฟที่มีความชันมากแสดงให้เห็นว่าสารละลายมีความหนืดสูง จากรูปจะเห็นว่าแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีความชันของกราฟมากกว่าแสดงว่ามีความหนืดมากกว่าแป้งเมล็ดมะขามหวาน โดยแป้งเมล็ดมะขามหวานมีค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity)  $2463.67 \pm 105.99$  mPa.s และแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าความหนืดปรากฏ  $3297.00 \pm 172.50$  mPa.s ซึ่งค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับสารละลายแป้งเมล็ดมะขามทางการค้าของบริษัท Altrafine Gums ที่ความเข้มข้น 3% มีค่าความหนืด 2800 mPa.s และ บริษัท Chemtotal ที่จัดอยู่ในเกรด D.Col-EcoPol-XGD ซึ่งมีค่าความหนืด 2500 mPa.s และเกรด D.Col-EcoPol-XGDD ซึ่งมีค่าความหนืด 3500 mPa.s

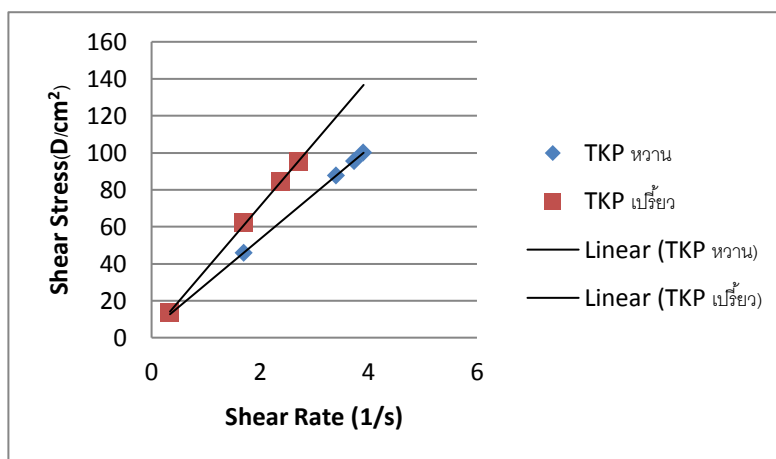
#### ตารางที่ 4.5 Apparent viscosity ของแป้งเมล็ดมะขาม เปรียบเทียบกับทางการค้า

	Apparent viscosity (mPa.s)
แป้งเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	$2463.67 \pm 105.99$
แป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)	$3297.00 \pm 172.50$
Tamarind Kernel Powder*	2800
D.Col-EcoPol-XGD**	2500
D.Col-EcoPol-XGDD**	3500
D.Col-CMHPTKP**	3500-4000

หมายเหตุ : \* แป้งเมล็ดมะขามจากบริษัท Altrafine gums

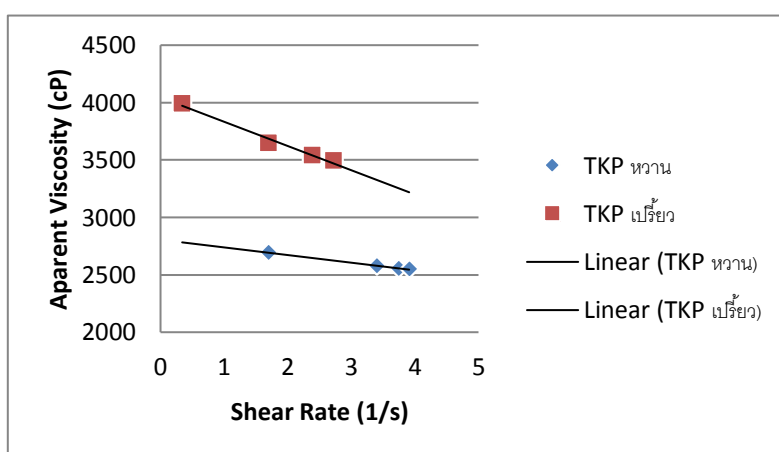
\*\* แป้งเมล็ดมะขามจากบริษัท Chemtotal

และมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Eiamsaard และ Narkruga (2012) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel flour) ที่ได้จากวิธีการที่ต่างกัน 2 วิธี โดยนำเมล็ดมะขามที่ผ่านการกำจัดเปลือกมากกว่า 80% มาต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 45 นาที เมล็ดมะขามจะถูกบด และถูกทำให้แห้งด้วยวิธีที่ 1 ให้ความร้อนในอุโมงค์ไมโครเวฟ (400 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที, TKF1) และวิธีที่ 2 ให้ความร้อนในตู้อบความร้อนแบบถาด (70°C เป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง, TKF2) พบว่าแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3% มีค่าความหนืดปรากฏของ TKF1 เท่ากับ  $2698.33 \pm 4.04$  csp และ TKF2 เท่ากับ  $2634.00 \pm 3.00$  csp



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของแป้งเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)

จากรูปที่ 4.4 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของแป้งเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยว จากกราฟจะเห็นว่า สารละลายแป้งเมล็ดมะขามหวานและแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว เมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้นค่าความหนืดจะลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian ชนิด pseudoplastic ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chaisakdanugull และ Siroth (2005) ที่พบว่าพฤติกรรมด้านการไหลของสารละลายแป้งเมล็ดมะขาม 3% (w/w dry basis) แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian ชนิด pseudoplastic



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของแป้งเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)

โดยจากสมการ power law ได้อธิบายค่า  $n$  และ ค่า  $k$  ของของเหลวไว้ว่า ค่า  $n$  ขึ้นอยู่กับลักษณะของของเหลว ถ้าหาก  $n=1$  แสดงว่าของเหลวมีพฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian แต่ถ้า  $n \neq 1$  แสดงว่าของเหลวมีพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian ซึ่งหาก  $n < 1$  จะเป็นชนิด pseudoplastic (เมื่อ shear rate เพิ่มขึ้นค่าความหนืดจะลดลง) และหาก  $n > 1$  จะเป็นชนิด dilatant (เมื่อ shear rate เพิ่มขึ้นค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้น)

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีการไหล (flow behavior index) ( $n$ ) ของสารละลายแป้งเมล็ดมะขามหวานและแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ความเข้มข้น 3% มีค่า  $0.92 \pm 0.00$  และ  $0.94 \pm 0.01$  ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian ชนิด pseudoplastic ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ หนึ่งฤทัย (2552) ที่ทำการศึกษาอิทธิพลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่อคุณสมบัติของแป้งเมล็ดมะขาม พบว่าแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3% มีค่า flow behavior index ( $n$ ) เท่ากับ 0.88 ซึ่งแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian ชนิด pseudoplastic โดยมีค่าความหนืดปรากฏ เท่ากับ  $1336.00 \pm 159.01$  cps และ Eiamsaard และ Narkrugs (2012) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากวิธีการที่ต่างกัน 2 วิธี วิธีที่ 1 ให้ความร้อนในอุโมงค์ไมโครเวฟ (400 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที) และวิธีที่ 2 ให้ความร้อนในตู้อบความร้อนแบบถาด ( $70^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง) พบว่าแป้งเมล็ดมะขามทั้ง 2 วิธีที่ความเข้มข้น 3% แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic โดยมีค่า  $n$  ของวิธีที่ 1 เท่ากับ  $0.95 \pm 0.01$  และวิธีที่ 2 เท่ากับ  $0.93 \pm 0.01$

ค่าตัวแปรจากสมการ power law ได้แก่ ค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity), consistency coefficient ( $k$ ) และ flow behavior index ( $n$ ) ของแป้งเมล็ดมะขามหวานและแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

**ตารางที่ 4.6** ค่าความหนืด (Apparent viscosity) ค่าดัชนีการไหล ( $n$ ) และค่า  $k$  ของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3 % (dry basis) โดยศึกษาค่า % Torque > 90%

	Apparent viscosity (mPa.s)	ค่า $n$	ค่า $k$
แป้งเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	$2463.67 \pm 105.99^a$	$0.92 \pm 0.00^a$	$3.43 \pm 0.02^a$
แป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)	$3297.00 \pm 172.50^b$	$0.94 \pm 0.01^b$	$3.54 \pm 0.02^b$

หมายเหตุ : 1. <sup>abc</sup>...หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งเดียวกัน เมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### 4.2.5 ศึกษาคุณสมบัติทางด้านอิมัลชัน (Emulsifying properties)

จากตารางที่ 4.7 แสดงค่า Emulsifying activity (EA) และ Emulsion stability (ES) ของแป้งเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยว พบว่า ค่า EA และ ES ของแป้งเมล็ดมะขามหวานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $85.06 \pm 0.76$  และ  $88.44 \pm 0.82$  ตามลำดับ ส่วนแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $84.50 \pm 0.80$  และ  $87.41 \pm 0.74$  ตามลำดับ ซึ่งแป้งเมล็ดมะขามหวานและแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติทางด้านอิมัลชันของแป้งเมล็ดมะขาม

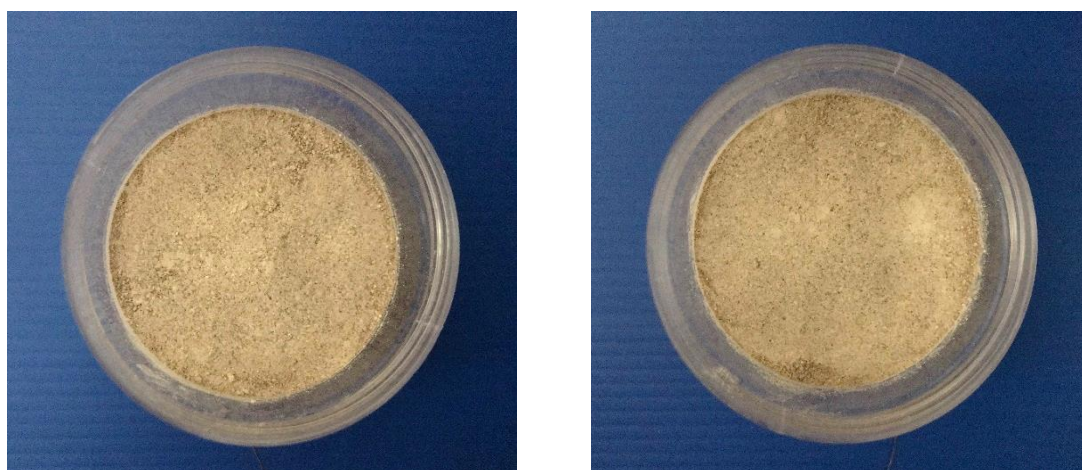
	Emulsifying activity (%)	Emulsion stability (%)
แป้งเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	$85.06 \pm 0.76^a$	$88.44 \pm 0.82^a$
แป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)	$84.50 \pm 0.80^a$	$87.41 \pm 0.74^a$

หมายเหตุ : 1. <sup>abc</sup>...หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งเดียวกัน เมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

### 4.3 ศึกษาคุณสมบัติของเจลโลส

#### 4.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเจลโลส



รูปที่ 4.5 เจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) (ด้านซ้าย) และเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) (ด้านขวา)

จากตารางที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน กับเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว พบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่า ไขมัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน มีความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต  $5.23 \pm 0.04\%$ ,  $15.68 \pm 0.37\%$ ,  $1.24 \pm 0.17\%$ ,  $2.66 \pm 0.03\%$ ,  $3.52 \pm 0.05\%$  และ  $71.68 \pm 0.66\%$  ตามลำดับ ส่วนเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว มีความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต  $5.19 \pm 0.06\%$ ,  $15.57 \pm 0.52\%$ ,  $1.41 \pm 0.14\%$ ,  $2.64 \pm 0.02\%$ ,  $3.49 \pm 0.06\%$  และ  $71.71 \pm 0.75\%$  ตามลำดับ

ซึ่งค่าที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับ Marathe *et al.* (2002) ที่ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของพอลิโอส (Polyose) พบว่าพอลิโอส ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 81.90%, โปรตีน 8.05%, ความชื้น 7.80% และเถ้า 2.25% พบว่าเจลโลสที่ใช้ในการทดลอง มีโปรตีนสูงกว่า อาจเนื่องมาจากขั้นตอนวิธีการผลิตเจลโลสที่ต่างกันทำให้สามารถดึงโปรตีนออกได้ต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดมะขาม เจลโลสมีโปรตีน, ไขมัน ลดลง ในขณะที่ เถ้า, เส้นใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าการผลิตเจลโลสจากแป้งเมล็ดมะขามยังไม่สามารถดึงโปรตีนและไขมันออกไปได้

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบทางเคมีของเจลโลสหวาน และเจลโลสเปรี้ยว

พารามิเตอร์ (%)	เจลโลสหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	เจลโลสเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)
ความชื้น	$5.23 \pm 0.04^a$	$5.19 \pm 0.06^a$
โปรตีน	$15.68 \pm 0.37^a$	$15.57 \pm 0.52^a$
ไขมัน	$1.24 \pm 0.17^a$	$1.41 \pm 0.14^b$
เถ้า	$2.66 \pm 0.03^a$	$2.64 \pm 0.02^a$
เส้นใยอาหาร	$3.52 \pm 0.05^a$	$3.49 \pm 0.06^a$
คาร์โบไฮเดรต	$71.68 \pm 0.66^a$	$71.71 \pm 0.75^a$

หมายเหตุ : 1. <sup>abc</sup>...หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวนอนเดียวกัน เมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.3.2 ตรวจสอบหาขนาดโมเลกุล

ในการตรวจสอบหาน้ำหนักโมเลกุลของเจลโลส โดยใช้เทคนิค Gel permeation chromatography จากตารางที่ 4.9 แสดงขนาดโมเลกุลของเจลโลส พบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ที่  $3.49 \times 10^5$  Daltons (34.95%),  $4.02 \times 10^5$  Daltons (48.79%) และ  $10.39 \times 10^5$  Daltons (16.26%) ขณะที่เจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ที่  $3.84 \times 10^5$  Daltons (15.77%),  $4.03 \times 10^5$  Daltons (70.46%) และ  $9.95 \times 10^5$  Daltons (13.77%) โดยเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีขนาดโมเลกุลโดยส่วนใหญ่อยู่ที่  $4.03 \times 10^5$  Daltons ประมาณ 70% มากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานซึ่งมีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง  $3.49 \times 10^5$  Daltons ประมาณ 35% ถึงในช่วง  $4.02 \times 10^5$  Daltons ประมาณ 49% เจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีขนาดโมเลกุลขนาดใหญ่มากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน

ซึ่งจากงานวิจัยของ Chaiakdanukull and Sriroth (2005) ได้ทำการศึกษาการสกัดไซโลกลูแคน โดยนำเอาแป้งเมล็ดมะขามจาก 3 วิธี 1. โดยไม่ใช้ความร้อน 2. ลอกเปลือกเมล็ดมะขาม โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C นาน 15 นาที และ 3. ลอกเปลือกเมล็ดมะขามโดยการคั่วที่อุณหภูมิ 200°C นาน 2 นาที นำแป้งเมล็ดมะขามแต่ละวิธีมาสกัดเป็นไซโลกลูแคน จากนั้นนำไซโลกลูแคนที่สกัดได้ไปทำแห้ง โดยการ freeze dry แล้วหาค่าน้ำหนักโมเลกุล ( $M_w$ ) ด้วยเทคนิค light scattering พบว่าไซโลกลูแคนที่สกัดได้มีค่าน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง  $3.304\text{--}3.831 \times 10^6$  กรัม/โมล เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองพบว่าขนาดโมเลกุลของเจลโลสที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่า อาจเกิดจากความแตกต่างของแหล่งตัวอย่าง, ขั้นตอนการสกัดเจลโลส และวิธีที่ใช้ในการทดลอง

**ตารางที่ 4.9** ขนาดมวลโมเลกุลของเจลโลส

	ขนาดมวลโมเลกุล (Daltons)		
	$< 4 \times 10^5$	$4 \times 10^5$	$> 4 \times 10^5$
เจลโลสหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	$\sim 3.49 \times 10^5$ (34.95%)	$\sim 4.02 \times 10^5$ (48.79%)	$\sim 10.39 \times 10^5$ (16.26%)
เจลโลสเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)	$\sim 3.84 \times 10^5$ (15.77%)	$\sim 4.03 \times 10^5$ (70.46%)	$9.95 \times 10^5$ (13.77%)

#### 4.3.3 ศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย (Water absorption index; WAI and Water solubility index; WSI)

เจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานมีค่าการดูดซับน้ำและค่าการละลายมากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตารางที่ 4.10 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (WAI) และการละลายน้ำ (WSI) ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว พบว่าเมื่อละลายเจลโลสด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 30°C เจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าการดูดซับน้ำ  $465.45 \pm 0.18$  และ  $398.81 \pm 7.01$  เท่าของน้ำหนักเจลโลส ตามลำดับ และจากการตรวจสอบความสามารถในการละลายน้ำของเจลโลส คิดเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิ 30°C เจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าการละลายน้ำ  $5.62 \pm 0.62$  และ  $4.81 \pm 0.57\%$  ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับขนาดโมเลกุลของเจลโลส โดยเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานมีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง  $3.49-4.02 \times 10^5$  Daltons มากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวซึ่งมีขนาดโมเลกุลส่วนใหญ่อยู่ที่  $4.03 \times 10^5$  Daltons ทำให้เจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานสามารถดูดซับน้ำและละลายน้ำได้มากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว

**ตารางที่ 4.10** คุณสมบัติในการดูดซับน้ำ (WAI) และคุณสมบัติในการละลาย (WSI) ของเจลโลส

	การดูดซับน้ำ (WAI)	การละลาย (WSI) (%)
เจลโลสหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	$475.02 \pm 9.91^a$	$5.62 \pm 0.62^a$
เจลโลสเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)	$398.81 \pm 7.01^b$	$4.81 \pm 0.57^b$

หมายเหตุ : 1. <sup>abc</sup>...หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งเดียวกัน เมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 2 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### 4.3.4 ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจล (Gel characterictic)

จากการศึกษาระดับความเข้มข้นของเจลโลส และค่า pH ต่อพฤติกรรมการเกิดเจล จากตารางที่ 4.11 แสดงผลของค่าพีเอช (pH) และความเข้มข้นของเจลโลสต่อค่าความแข็งของเจล พบว่าค่า pH และความเข้มข้นมีผลต่อค่าความแข็งของเจลที่ได้ เมื่อ pH เพิ่มขึ้นที่ระดับความเข้มข้นของเจลโลสเท่ากัน มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ความเข้มข้นของเจลโลสที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นจะเพิ่มความแข็งแรงของเจล ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชส่งผลให้เจลอ่อนตัวและความแข็งแรงของเจลลดลง

จากตารางพบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าความแข็งแรงของเจลมากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ความเข้มข้น 2% ที่ pH 3 ให้ค่าความแข็งแรงเจลมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Marathe (2002) ที่ศึกษาผลของ pH และความเข้มข้นของเจลโลสต่อค่าความแข็งแรงเจล เมื่อความเข้มข้นของเจลโลสเท่ากันที่ระดับ pH ต่างกัน พบว่าที่ pH 3 ให้ค่าความแข็งแรงเจลมากที่สุด และจากงานวิจัยของสินินาฏ (2557) ได้ศึกษาผลของ pH และความเข้มข้นของเจลโลสต่อพฤติกรรมการเกิดเจล พบว่า pH และระดับความเข้มข้นของเจลโลส มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงเจลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเจลโลสจาก 1.0% ไปจนถึง 3.5% ค่าความแข็งแรงเจลมีค่าสูงขึ้นในทุกๆ pH ที่ทำการทดลอง และเมื่อ pH สูงขึ้นที่ระดับความเข้มข้นเจลโลสเท่ากันค่าความแข็งแรงเจลมีค่าลดลงตามลำดับ

**ตารางที่ 4.11** ผลของพีเอช (pH) และความเข้มข้นของเจลโลส ต่อค่าความแข็งของเจล (Gel strength)

pH	Gel strength (g) ของเจลโลสที่ความเข้มข้นต่างๆ (%)					
	<sup>1</sup> เจลโลสหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)			<sup>2</sup> เจลโลสเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)		
	1	1.5	2	1	1.5	2
3	<sup>A</sup> 18.23 ± 0.88 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 29.33 ± 0.96 <sup>b</sup>	<sup>A</sup> 55.59 ± 1.45 <sup>c</sup>	<sup>A</sup> 20.85 ± 1.60 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 30.32 ± 5.79 <sup>b</sup>	<sup>A</sup> 62.28 ± 1.60 <sup>c</sup>
4	<sup>B</sup> 15.36 ± 0.95 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 18.56 ± 1.73 <sup>b</sup>	<sup>B</sup> 43.68 ± 1.11 <sup>c</sup>	<sup>B</sup> 16.75 ± 0.49 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 21.07 ± 0.83 <sup>b</sup>	<sup>B</sup> 46.00 ± 2.44 <sup>c</sup>
5	<sup>C</sup> 5.93 ± 0.43 <sup>a</sup>	<sup>C</sup> 12.87 ± 2.25 <sup>b</sup>	<sup>C</sup> 27.45 ± 2.11 <sup>c</sup>	<sup>C</sup> 7.71 ± 1.13 <sup>a</sup>	<sup>C</sup> 15.42 ± 0.58 <sup>b</sup>	<sup>C</sup> 23.08 ± 2.51 <sup>c</sup>

หมายเหตุ : 1. <sup>abc</sup>... หมายถึง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างค่าความเข้มข้นที่ต่างกัน ตัวอักษรที่กำกับในแนวนอนเดียวกันเมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. <sup>ABC</sup>... หมายถึง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างค่าพีเอชที่ต่างกัน ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งเดียวกันเมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. <sup>123</sup>... หมายถึง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสายพันธุ์ที่ต่างกัน ตัวอักษรที่กำกับในแนวนอนเดียวกันเมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

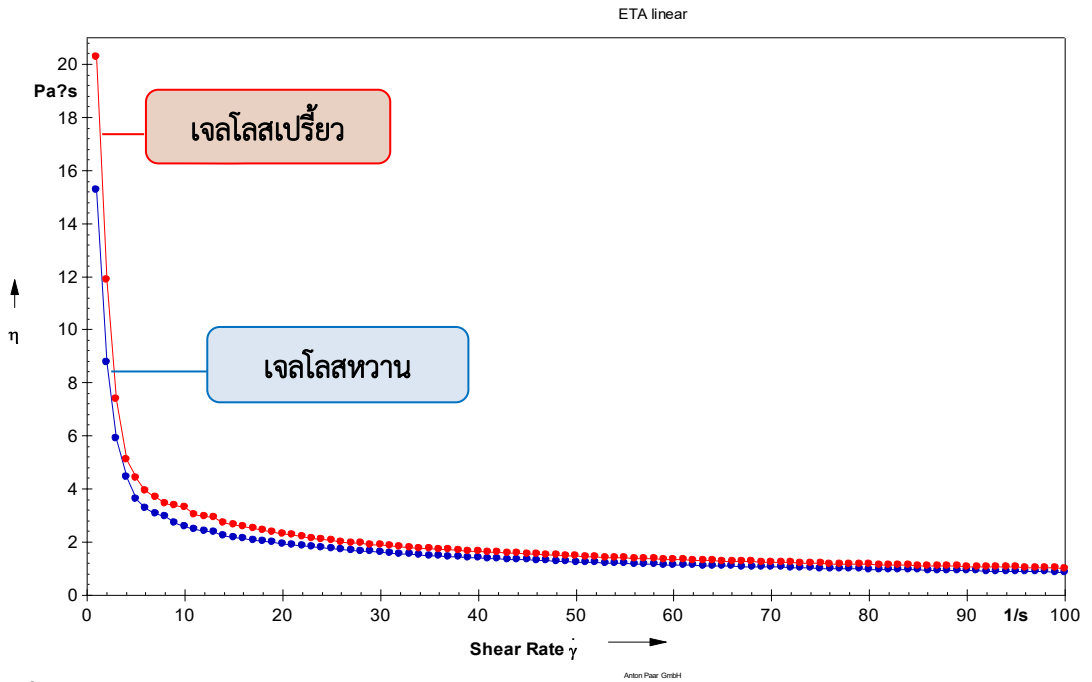
#### 4.3.5 ศึกษาคุณสมบัติด้านการไหลของเจลโลส (Rheology properties)

นำเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ความเข้มข้น 2% ที่ pH3 มาศึกษาคุณสมบัติด้านการไหลด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ (Rheometer)

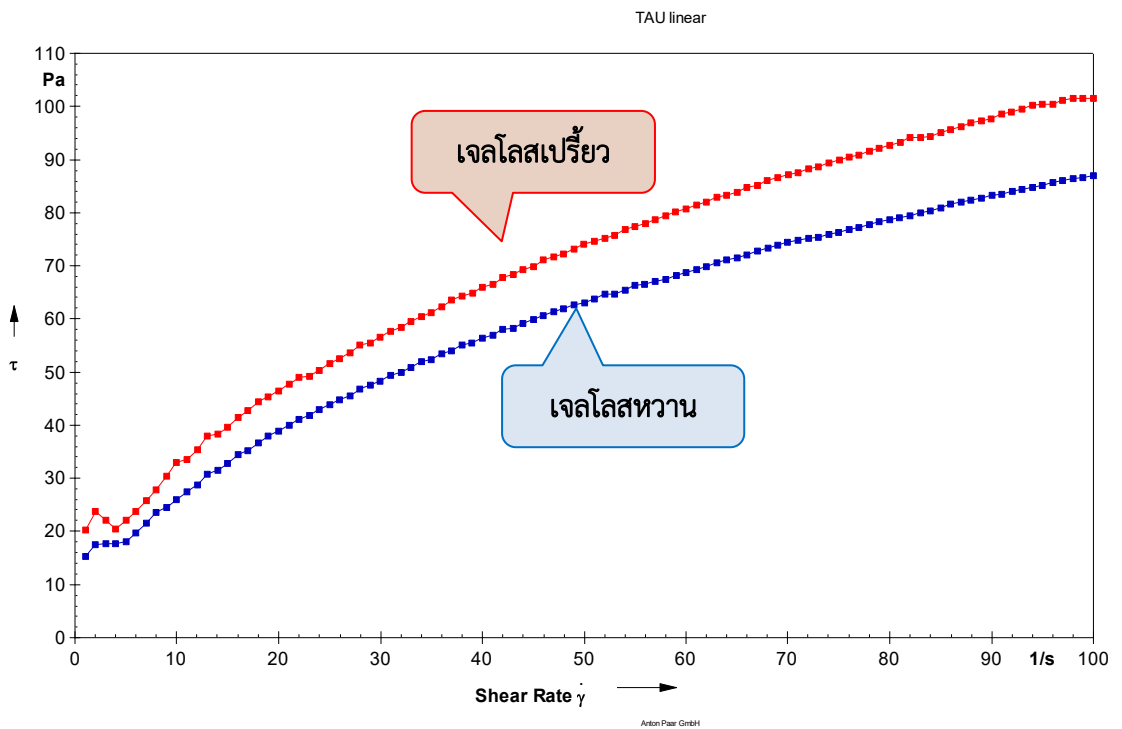
##### 4.3.5.1 ศึกษาพฤติกรรมผลการไหล

จากรูปที่ 4.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏและอัตราเฉือนพบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว แสดงพฤติกรรมผลการไหลแบบ Non-newtonian ชนิด pseudoplastic เนื่องจากกราฟแสดงให้เห็นค่าความหนืดลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น และจากรูปที่ 4.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนพบว่า เจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าความเค้นเฉือนมากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานที่อัตราเฉือนเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าความหนืดมากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน โดยเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่า Apparent viscosity เท่ากับ 0.869 Pa.s และ 1.02 Pa.s ตามลำดับ

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Somsiri (1997) ที่ได้สกัดเจลโลสโดยใช้สัดส่วนของแป้งเมล็ดมะขาม : น้ำ 1 : 40 (น้ำหนัก/ปริมาตร) โดยสกัดที่อุณหภูมิ 25-30°C และ 85-90°C ใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงแยกตะกอน จากนั้นทำการแยกเจลโลสโดยตกตะกอนด้วย 95% ethanol 1-1.5 เท่าตัว กรองเก็บตะกอนด้วยผ้าแล้วนำไปอบที่ 60°C เจลโลสที่สกัดที่อุณหภูมิ 25-30°C และเจลโลสที่สกัดที่ 85-90°C มีค่า Apparent viscosity ของสารละลายที่ความเข้มข้น 3% อยู่ในช่วง หรือสูงกว่า 0.7538-0.7662 Pa.s และ 1.5150-1.7570 ตามลำดับ และเจลโลสที่สกัดที่อุณหภูมิ 25-30°C เข้มข้นตั้งแต่ 2% ขึ้นไปแสดงให้เห็นพฤติกรรมผลการไหลแบบ Non-newtonian ชนิด pseudoplastic เช่นเดียวกันกับเจลโลสที่สกัดที่ 85-90°C ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1.5% ขึ้นไป



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)

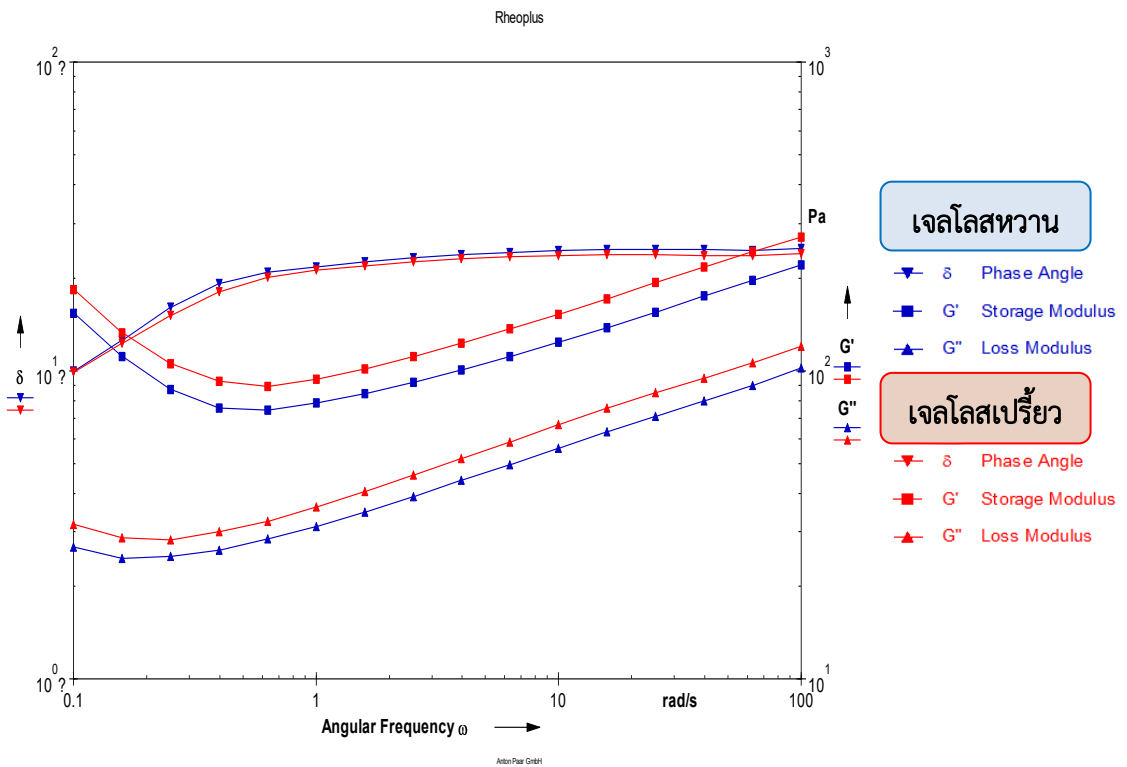


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (shear stress) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)

#### 4.3.5.2 ศึกษาคุณสมบัติการเป็นวิสโคอีลาสติก

การศึกษา oscillatory โดยวัด ค่าโมดูลัสสะสม (storage modulus ;  $G'$ ) และ ค่าโมดูลัสสูญเสีย (loss modulus ;  $G''$ ) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความถี่ oscillatory เชิงมุม (angular frequency) โดยปกติสารละลายจำพวกโพลีแซคคาไรด์และเจลจะแสดงลักษณะเป็นค่าโมดูลัสสะสม ( $G'$ ) และ ค่าโมดูลัสสูญเสีย ( $G''$ ) เพื่อประเมินคุณสมบัติของวิสโคอีลาสติก โดยทั่วไปหาก  $G' < G''$  แสดงว่าสารละลายมีสมบัติการไหลหนืด (viscous properties) ของสาร บ่งบอกถึงคุณลักษณะคล้ายของเหลว (liquid-like) และหาก  $G' > G''$  แสดงว่าสารละลายมีสมบัติการเป็นอีลาสติก (elastic properties) บ่งบอกถึงคุณลักษณะคล้ายของแข็ง (solid-like) (Busato *et al.*, 2009; Huimin *et al.*, 2019)

จากรูปที่ 4.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่, ค่าโมดูลัสสะสมและค่าโมดูลัสสูญเสีย และค่า Phase angle ( $\delta$ ) ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ความเข้มข้น 2% ที่ pH3 โดยจากการทดลองพบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานมีค่าโมดูลัสสะสม (storage modulus ;  $G'$ ) และมีค่าโมดูลัสสูญเสีย (loss modulus ;  $G''$ ) เท่ากับ 153 (Pa) และ 26.8 (Pa) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่มีค่าเท่ากับ 182 (Pa) และ 31.8 (Pa) ตามลำดับ ที่ความถี่เดียวกัน (Angular Frequency = 0.1 rad/s) เมื่อค่าโมดูลัสสะสมมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสสูญเสีย ( $G' > G''$ ) จะแสดงถึงสถานะของอีลาสติก (elastic) หรือลักษณะคล้ายของแข็ง (solid like) ดังนั้นจึงสามารถบ่งบอกถึงสถานะได้ว่าสารละลายของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีลักษณะคล้ายของแข็ง (solid-like) โดยสารละลายของเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีลักษณะคล้ายของแข็ง มากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่, ค่าโมดูลัสสะสมและค่าโมดูลัสสูญเสีย และค่า Phase angle ( $\delta$ ) ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)

#### 4.3.6 ศึกษาคุณสมบัติทางด้านอิมัลชัน (Emulsifying properties)

จากตารางที่ 4.12 แสดงค่า Emulsifying activity (EA) และ Emulsion stability (ES) ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว พบว่า ค่า EA และ ES ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $94.87 \pm 0.44$  และ  $98.71 \pm 0.44\%$  ตามลำดับ ส่วนเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $93.58 \pm 0.89$  และ  $97.94 \pm 0.44\%$  ตามลำดับ ซึ่งเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

**ตารางที่ 4.12** คุณสมบัติทางด้านอิมันชันของเจลโลส

	Emulsifying activity (%)	Emulsion stability (%)
เจลโลสหวาน (พินธุ์ศรีชมภู)	94.87 ± 0.44 <sup>a</sup>	98.71 ± 0.44 <sup>a</sup>
เจลโลสเปรี้ยว (พินธุ์กระดาน)	93.58 ± 0.89 <sup>a</sup>	97.94 ± 0.44 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1. <sup>abc</sup>...หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งเดียวกัน เมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ พฤติกรรมด้านความหนืด และคุณสมบัติด้านการไหลของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลส ที่ได้จากเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยว พบว่าเมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะไมโลกราฟ แป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ความเข้มข้น 3% มีความเหมาะสมในการใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดได้ดีกว่าแป้งเมล็ดมะขามหวานที่ความเข้มข้น 3% เนื่องจากมีความคงทนต่อการกวนที่อุณหภูมิสูงและมีการคืนตัวของแป้งต่ำกว่า ซึ่งการคืนตัวต่ำเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ต้องการในสารให้ความข้นหนืดเนื่องจากแป้งที่จะใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหารที่คืนต้องจับกับน้ำได้ดีและไม่ทำให้เกิดการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้เมื่อศึกษาพฤติกรรมด้านความหนืดของแป้งเมล็ดมะขาม พบว่าแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ความเข้มข้น 3% มีความหนืดมากกว่าแป้งเมล็ดมะขามหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แป้งเมล็ดทั้งสองมีค่า flow behavior index (n) เท่ากับ  $0.92 \pm 0.00$  และ  $0.94 \pm 0.01$  ตามลำดับซึ่งแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ Non-newtonian ชนิด pseudoplastic ในด้านคุณสมบัติทางด้านอิมันชัน พบว่าค่า Emulsifying activity (EA) และ Emulsion stability (ES) ของแป้งเมล็ดมะขามหวานและแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และในด้านคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย พบว่าแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าการดูดซับน้ำมากกว่าแป้งเมล็ดมะขามหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่มีค่าการการละลายน้อยกว่า

และจากการตรวจสอบหาขนาดมวโมเลกุลของเจลโลสพบว่า เจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีขนาดมวโมเลกุลใหญ่ มากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน ส่งผลให้เมื่อศึกษาพฤติกรรมเกิดการเกิดเจลพบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าความแข็งแรงของเจลมากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ที่ความเข้มข้นของเจลโลสและค่า pH เท่ากัน และพบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ความเข้มข้น 2% ที่ pH3 ให้ความแข็งแรงเจลมากที่สุด การเพิ่มความเข้มข้นจะเพิ่มความแข็งแรงของเจล ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชส่งผลให้เจลอ่อนตัวและความแข็งแรงของเจลลดลง และจากการศึกษาคุณสมบัติด้านการไหลของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ความ

เข้มข้น 2% ที่ pH3 ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ พบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ Non-newtonian ชนิด pseudoplastic เจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีความหนืดมากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน และพบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจล โลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว มีค่าโมดูลัสสะสม (G') มากกว่าค่าโมดูลัสสูญเสีย (G'') ซึ่งแสดงถึงสถานะของอีลาสติกหรือลักษณะคล้ายของแข็ง ในด้านคุณสมบัติทางด้านอิมันชัน พบว่าค่า Emulsifying activity (EA) และ Emulsion stability (ES) ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ขณะที่ด้านคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย พบว่า เจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าการดูดซับน้ำและค่าการการละลายมากกว่าแป้งเมล็ดมะขามหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ดังนั้นจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านต่างๆของแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลส พบว่าแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลสที่ได้จากเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลสที่ได้จากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) โดยหากจะผลิตแป้งเมล็ดมะขามและเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานสายพันธุ์ศรีชมภูและเมล็ดมะขามเปรี้ยวสายพันธุ์กระดาน จะต้องมีการผลิตแยกสายพันธุ์กัน แป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดได้ดีกว่าแป้งเมล็ดมะขามหวาน และเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวสามารถนำไปใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดเจลได้ดีกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน

## ข้อเสนอแนะ

ปัจจุบันแป้งเมล็ดมะขามมีราคาอยู่ที่กิโลกรัมละ 20–30 บาท ส่วนเจลาติน หรือ ไฮโดรอกซีเซลลูโลส มีราคาอยู่ที่ 5000–12,000 บาท (ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์) หากประเทศไทยสามารถผลิตแป้งเมล็ดมะขามและเจลาติน และนำไปใช้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรมก็จะสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับเมล็ดมะขามที่เป็นเพียงของเหลือทิ้งจากกระบวนการรูปผลิตภัณฑ์มะขามได้

เนื่องจากตอนนี้ประเทศไทยยังคงต้องนำเข้าเพกตินจากต่างประเทศ เช่น อังกฤษ อเมริกา เป็นต้น เพื่อมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ (ชวณิชกุล และคณะ, 2548) ในราคาที่สูงโดยราคาเพกตินจะขึ้นอยู่กับแหล่งวัตถุดิบ และเกรดของเพกติน โดยเพกตินเกรดอุตสาหกรรมมีราคา กิโลกรัมละประมาณ 3,800 บาท ส่วนเกรดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและใช้ในทางยามีราคาตั้งแต่กิโลกรัมละ 6,000-10,000 บาท

จากผลการทดลองพบว่า แป้งเมล็ดมะขามและเจลาตินมีความหนืดค่อนข้างสูง หากมีการนำไปใช้ควรใช้ในปริมาณน้อยหรือที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปใช้ โดยแป้งเมล็ดมะขามเหมาะใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความหนืดสูง โดยสามารถทำหน้าที่เป็น Thickening agent ในผลิตภัณฑ์พวกซูป และซอสต่างๆ หรืออาจใช้เป็นสารให้ความคงตัว หรือ Emulsifier ในผลิตภัณฑ์เช่น แยม ไอศกรีม น้ำสลัด มายองเนส บะหมี่หรือผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เป็นต้น (Marathe et al., 2002; Nishinari et al., 2000) ส่วนในเจลาติน เหมาะใช้เป็น Gelling agents ในผลิตภัณฑ์ได้ เช่น แยม เยลลี่ มามาเลด (Marathe et al., 2002) เนื่องจากมีสมบัติและลักษณะที่คล้ายกับเพกตินจากผลไม้ แต่สิ่งที่แตกต่างจากเพกตินที่ได้จากผลไม้ คือ เจลาตินที่ได้จากเจลาตินสามารถเป็นเจลในสภาวะที่เป็นกลางได้

## บรรณานุกรม

กสิภูมิ ทวนคง, ดุษฎี อดุตภาพ, สันทณีย์ ปัญจจอนนท, วิไล รังสาดทอง และจรรีรัตน์ พุดตาลเล็ก.

2557. “การศึกษาพฤติกรรมความหนืดของแป้งพุทธรักษาและแป้งพุทธรักษาตัดแปรเพื่อใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 37 ฉบับที่ 1 มกราคม - มีนาคม 2557. หน้า 61-76

ชูศักดิ์ สัจจงพงษ์. 2550. มะขาม พืชสร้างอนาคต. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์มติชน.  
ชวณิภูมย์ สิทธิดิถีกรัตน์, พิลานี ไวถนอมสัจย์, จิราพร เชื้ออยู่ และปริศนา สิริอาษา. 2548. “การผลิตเพคตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลือง” สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาคศิริ สินไชยกิจ และไมตรี สุทธจิตต์. 2554. “คุณสมบัติชีวเคมีและการประยุกต์ใช้ของเมล็ดมะขาม.” วารสารนเรศวรพะเยา. ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2554. หน้า 5-16.

ผาณิต รุจิรพิสิฐ. 2549. “องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งฟลาวัวร์ และสตาร์ชจากแห้วจีน (*Eleocharis dulcis* Trin.)”. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

วารางคณา สมพงษ์, ภาสกร ธีระศิลป์วิสุกุล และคณิน ศรีสาสิกุลรัตน์. 2559. “การสกัดกัมเมล็ดมะขาม(*Tamarindus indica* L.) ด้วยไมโครเวฟและการใช้ในผลิตภัณฑ์แยมสตอร์วเบอร์รี่”. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 24 ฉบับที่ 2 เมษายน - มิถุนายน 2559. หน้า 288-298

สินีนานู สุขะวัลลิ. 2557. “สมบัติของเจลโอสจากผงเมล็ดมะขามต่อพฤติกรรมการเกิดเจล”.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

สิริการ หนูสิงห์ และวารางคณา สมพงษ์. 2558. “ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของกัมเมล็ดมะขาม (*Tamarindus indica* L.)”. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53

หนึ่งฤทัย รงค์ทอง. 2552. “อิทธิพลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพของแป้งเมล็ดมะขามและไซโลกลูแคน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

ดวงสมร เอี่ยมสอาด. 2556. “กระบวนการลอกเปลือกและทาแห้งผงแบ่งเนื้อในเมล็ดมะขามและลักษณะทางรีโอโลยี.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

Altrafine gum. 2014. TAMARIND KERNEL POWDER. [Online]. Available:

<http://www.altrafine.com/tamarind-kernel-powder-technical-specification.html>.

AOAC. 2000. Official Method 925.10. Solids (Total) and Moisture in Flour. Cereal Food.

Bertelli, M. N. and Marsaioli, A. Jr. 2005. “Evaluation of Short Cut Pasta Dehydration Assisted by Microwaves As Compared to the Conventional Drying Process.”

Journal of Food Engineering. 68: 175–183.

Bhattacharya, S., Bal, S. and Mukherjee, R.K. 1991. “Some Physical and Engineering

Properties of Tamarind (*Tamarindus indica*) Seed.” Journal of Food Engineering.

18 (1993): 77–89.

Busato, A. P., Reicher, F., Domingues, R. and Silveira, J. L. M. 2009. “Rheological

properties of thermally xyloglucan gel from the seed of *Hymenaea courbaril*”.

Materials Science and Engineering. C 29: 410–414.

Chaisakdanukull, C. and Sriroth, K. 2005. “Characterization of oligosaccharides from

tamarind seed kernel powder.” Proceeding of the 2005 IFT Annual Meeting, New Orleans, USA.

Chemtotal Pty Ltd. 2019. Industrial grade Tamarind Gum Powder and Tamarind

Derivatives. [Online]. Available: <http://www.chemtotal.com/oldsite/tamarind-gum.html>.

Eiamsaard, D. and Narkrugsa, W. 2012. “Rheological Properties of Tamarind Kernel

Flour Drying with Two Different Methods.” Proceeding of International Conference on Food and Applied Bioscience 2012, Chiang Mai, Thailand.

Glicksman, M. (1986). Food hydrocolloids. Boca Raton, FL: CRC Press, pp. 191-202.

Huimin, S., Hui, Z., Yanjun, T., Zibo, S., Phoency, F. H. L. and Lianzhong, A. 2019.

“Composition and Rheological Properties of Polysaccharide Extracted from Tamarind (*Tamarindus indica* L.) Seed”. Molecules 24 (2019): 1–13.

- Kumar, C.S. and Bhattacharya, S. 2008. "Tamarind Seed: Properties, Processing and Utilization." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 48: 1–20.
- Kaur, P., Sandhu, K.S. and Kaur, J. 2011. "Pasting properties of Tamarind (*Tamarindus indica*) kernel powder in the presence of Xanthan, Carboxymethyl cellulose and Locust bean gum in comparison to Rice and Potato flour." *Journal of Food Science and Technology*. 69: 251–255.
- Marathe, R.M., Annapure, U.S., Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R. 2002. "Gelling behavior of polyose from tamarind kernel polysaccharide." *Food Hydrocolloids* 16: 423–426.
- Mirhosseini, H. and Amid, B.T. 2012. A review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum exudates and seed gums. *Food Research International*. 46: 387–398.
- Narkruga, W. 1996. "Change in some Physiochemical Properties of Tapioca and Glutinous rice Starches After Microwave Heating." *Kasertsart Journal (Nat.Sci.)*. 30: 532–538.
- Nisbet, D.R., Crompton, K.E., Hamilton, S.D., Shirakawa, S., Prankerd, R.J., Finkelstein, D.I., Horne, M.K. and Forsythe, J.S. 2006. "Morphology and gelation of thermosensitive xyloglucan hydrogel." *Biophysical Chemistry*. 121 (2006): 14–20.
- Nishinari, K., Takemasa, M., Zhang, H. and Takahashi, R. 2007. "Storage plant polysaccharides: Xyloglucan, galactomannans, glucomannans." In Kamerling, J.P. et al. (eds), *Comprehensive Glycoscience*. Elsevier, Amsterdam. pp 614–652.
- Pongsawatmanit, R., Tamsiripong, T., Ikeda, S. and Nishinari, K. 2006. "Influence of tamarind seed xyloglucan on rheological properties and thermal stability on tapioca starch." *Journal of Food Engineering*. 77: 41–50.
- Rao, P. S., Srivastava, H. C. 1972. "Industrial gums: polysaccharides and their derivatives". In R.L. Whistler, *Industrial gums* (2<sup>nd</sup> ed). Academic Press, New York. pp 370–411.
- Shirakawa, M., Yamotoya, K. and Nishinari, K. 1997. "Tailoring of xyloglucan properties using an enzyme." *Food Hydrocolloids*. 12 (1998): 25–28.

- Somsiri, A. 1997. "Pilot scale production of tamarind seed polysaccharide." Faculty of graduate studies mahidol university.
- Temsiripong, T., Pongsawatmanit, R., Ikeda, S. and Nishinari, K. 2005. "Influence of xyloglucan on gelatinization and retrogradation of tapioca starch." *Food Hydrocolloids*. 19: 1054–1063.
- Yasumatsu, K., Sawada, K., Moritaka, S., Misaki, M., Toda, J., Wada, T. and Ishii, K. 1972. "Whipping and Emulsifying Properties of Soybean Products." *Agricultural and Biological Chemistry*. 36 (5): 719–727.
- Yamanaka, S., Yuguchi, Y., Urakawa, H., Kajiwara, K., Shirakawa, M. and Yamatoya, K. 1999. Galation of tamarind seed polysaccharide xyloglucan in the presence of ethanol." *Food Hydrocolloids*. 14(2000): 125–128.
- York, W.S., Vanhalbeek, H., Darvill, A.G. and Albersheim, P. 1990. *Carbohydrate Research*. 200: 9–31.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี

## 1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

### อุปกรณ์

- 1) ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven)
- 2) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 3) อลูมิเนียม แคน (Aluminium can)
- 4) โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 5) ที่คีบ (Tong)

### วิธีการวิเคราะห์

1) อบถั่วอัลูมิเนียมในตู้อบที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3$  °ซ จนน้ำหนักคงที่ทำให้เย็นใน desiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2) ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ลงในถั่วอัลูมิเนียมที่อบแห้ง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

3) นำถั่วอัลูมิเนียมที่บรรจุตัวอย่างเข้าอบที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3$  °ซ โดยเปิดฝาถั่วอัลูมิเนียมไว้เป็นเวลานาน 2-3 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ นำเอามาใส่ใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4) นำไปชั่งน้ำหนักอบซ้ำครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักคงที่ซึ่งค่าที่ได้จะแตกต่างกันไม่เกิน 2 มิลลิกรัม จดน้ำหนักที่น้อยที่สุดของถั่วอัลูมิเนียมและน้ำหนักตัวอย่างหลังจากอบแห้งแล้ว

5) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}} \times 100$$

## 2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

### สารเคมี

- 1) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น
- 2) สารละลายกรดบอริกเข้มข้น 2%
- 3) สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 นอร์มอล
- 4) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 15 และร้อยละ 40
- 5) ตัวเร่ง (Catalyst) (เตรียมจาก 1:10 ของ  $\text{CuSO}_4 : \text{K}_2\text{SO}_4$ )
- 6) สารละลายอินดิเคเตอร์ 0.2% Methyl red 2 หยด และ 0.1% Methylene blue 2 หยด

## อุปกรณ์

- 1) เครื่องย่อย (Digestion apparatus)
- 2) เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Distillation apparatus)
- 3) ขวดย่อยโพรติน (Kjeldahl flask) พร้อม Rack
- 4) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 5) กระบอกลูกสูบ (Cylinder)
- 6) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร
- 7) ขาตั้ง (Stand) และบิวเรต (burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร

## วิธีการวิเคราะห์

1) ชั่งตัวอย่าง 2-3 กรัม เติมตัวเร่ง 10 กรัม เพื่อเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อย กรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร ใส่ boiling chip 3 ลูก ในหลอดย่อยโพรติน

2) นำหลอดย่อยโพรตินใส่ใน Rack ไปประกอบเข้ากับเครื่องย่อยโพรติน ปิดฝาหลอดย่อยด้วย Exhaust system เปิดสวิตช์ชุดจับไอกรด แล้วจึงเปิดสวิตช์เครื่องย่อยโพรติน ตั้งอุณหภูมิที่ 120 °ซ และค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 380 °ซ ย่อยจนได้สารละลายสีเขียวใส แล้วยก Rack ขึ้นพักไว้บน Stand ทิ้งให้เย็นโดยปล่อยให้ชุดจับไอกรดดูดควันจนหมด

3) เตรียมกรดบอริกในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร จำนวน 50 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ แล้วนำไปวางในเครื่องกลั่นโพรติน โดยให้ปลายท่อของเครื่องจุ่มอยู่ในกรดบอริก เพื่อให้กรดบอริกเป็นตัวจับแอมโมเนีย

4) นำหลอดตัวอย่างที่ย่อยเสร็จแล้วมาต่อเข้ากับเครื่องกลั่นโพรติน โดยการทำงานของเครื่องจะมีการเติมน้ำกลั่น แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 40 รอจนกลั่นเสร็จ

5) นำขวดรูปชมพู่ที่ได้จากการกลั่นไปไตเตรทด้วยกรดกรดไฮโดรคลอริก จนสารละลายเปลี่ยนไปเป็นสีม่วงอ่อนหรือชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

6) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์โพรตินจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์โพรติน} = \frac{0.014 \times N.HCl \times (mL.HCl - mL.HCl \text{ blank}) \times 6.25 \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

### 3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

#### สารเคมี

- 1) ปีโตรเลียมอีเทอร์

#### อุปกรณ์

- 1) เครื่องสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus)
- 2) อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน ประกอบด้วย
  - 2.1) ถ้วยสกัด (Extraction cup) พร้อม Rack
  - 2.2) ที่คีบถ้วยสกัด (Extraction cup holder)
  - 2.3) ทิมเบิล (Thimble)
  - 2.4) ตัวล็อกทิมเบิล (Thimble holder)
  - 2.5) เครื่องควบคุมความร้อน
  - 2.6) เครื่องปั๊มลม
  - 2.7) เครื่องทำความเย็น (Cooling tower)
- 3) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 4) กระดาษกรอง
- 5) เม็ดกันเดือด (Boiling chip)
- 6) ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้
- 7) โถดูดความชื้น (Desiccator)

#### วิธีการวิเคราะห์

- 1) นำตัวอย่างมาไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3$  °ซ นาน 1-2 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง ใน desiccator
- 2) นำบีกเกอร์ไขมันมาอบที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3$  °ซ นาน 1-2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
- 3) ชั่งตัวอย่างจากข้อ 1 ประมาณ 1-2 กรัม (โดยทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ห่อด้วยกระดาษกรอง ใส่ลงในทิมเบิล (Thimble)
- 4) นำทิมเบิลที่มีตัวอย่างอยู่ในบีกเกอร์ไขมัน จากนั้นเติมปีโตรเลียมอีเทอร์ ประมาณ 150 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ไขมัน นำบีกเกอร์มาต่อกับเครื่องสกัดไขมัน ทำการสกัดตามโปรแกรมของเครื่อง โดยใช้อุณหภูมิในการสกัดที่อุณหภูมิ  $150$  °ซ ประมาณ 2-3 ชั่วโมง

5) นำบีกเกอร์ไขมันมาให้ความร้อนบน Hotplate ที่อุณหภูมิ 85 °ซ เพื่อให้ปิโตรเลียมอีเทอร์ระเหย

6) อบบีกเกอร์ไขมันที่อุณหภูมิ 105 °ซ เพื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ที่หลงเหลืออยู่ออก ทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ไขมัน บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

7) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไขมันจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{(\text{น้ำหนักบีกเกอร์} + \text{น้ำหนักไขมัน}) - \text{น้ำหนักบีกเกอร์}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

#### 4. การวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (AOAC, 2000)

##### สารเคมี

- 1) สารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.25% (w/v)
- 2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25% (w/v)

##### วิธีการวิเคราะห์

- 1) ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนัก 1–2 กรัม ( $W_0$ ) ใส่ลงใน crucible แก้ว
- 2) เลื่อนคันโยกด้านหน้า column ไปที่ตำแหน่ง Closed
- 3) นำ crucible ใส่เข้าไปในเครื่อง แล้วล็อก crucible
- 4) เติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.25% ที่อุ่นไว้ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร แล้วเติม Antifoam (n-Octanol) 2–3 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟอง ให้ความร้อนจนเดือด
- 5) เมื่อเดือดให้ลดความร้อนลง ต้มเป็นเวลา 30 นาที
- 6) กรองโดยเลื่อนคันโยกมาที่ตำแหน่ง vacuum ถ้ากรองไม่ลงให้เลื่อนไปที่ pressure เพื่อใช้ความดันช่วย
- 7) ล้างด้วยน้ำร้อนประมาณ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง
- 8) เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25% ที่อุ่นไว้ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร แล้วเติม Antifoam (n-Octanol) 2–3 หยด เพื่อป้องกันการเกิดฟอง ให้ความร้อนจนเดือด
- 9) เมื่อเดือดให้ลดความร้อนลง ต้มเป็นเวลา 30 นาที
- 10) กรองโดยเลื่อนคันโยกมาที่ตำแหน่ง vacuum ถ้ากรองไม่ลงให้เลื่อนไปที่ pressure เพื่อใช้ความดันช่วย
- 11) ล้างด้วยน้ำร้อนประมาณ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 มิลลิลิตร กรองจนแห้ง

- 12) เติม Acetone ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงไปแล้วแช่ไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อกำจัดน้ำออก
- 13) แล้วกรองด้วย vacuum จนแห้ง
- 14) นำ crucible ออกมา จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3$  °ซ นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำ crucible ออกมาทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ )
- 15) นำ crucible ไปเผาที่อุณหภูมิ 525 °ซ นาน 3 ชั่วโมง แล้วปิดเตาเผาให้ค่อยๆ เย็นลงช้าๆ
- 16) เมื่อเตาเผามีอุณหภูมิต่ำกว่า 200 °ซ นำ crucible ออกมาใส่ desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ )
- 17) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เยื่อใยจากสูตร  
เปอร์เซ็นต์เถ้า =  $\frac{(W_2 - W_1)}{W_0} \times 100$

## 5. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

### อุปกรณ์

- 1) Crucible
- 2) โถดูดความชื้น (Desiccator)

### วิธีการวิเคราะห์

- 1) อบ crucible ที่อุณหภูมิประมาณ  $130 \pm 3$  °ซ จนน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นใน desiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
- 2) นำตัวอย่างประมาณ 1–2 กรัม ชั่งใส่ Crucible ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้วนำไปเผาด้วย Hotplate ไฟอ่อนๆ จนหมดควัน
- 3) นำไปเผาในเตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 550 °ซ จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
- 4) นำออกมาใส่ใน desiccator ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
- 5) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้าจากสูตร  
เปอร์เซ็นต์เถ้า =  $\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเถ้าหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (โดยน้ำหนักแห้ง)}} \times 100$

## 6. การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

$$\text{เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรต} = 100 - (\% \text{ความชื้น} + \% \text{โปรตีน} + \% \text{ไขมัน} + \% \text{เยื่อใย} + \% \text{เถ้า})$$

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

## 1. คุณสมบัติของของผสมเมื่อได้รับความร้อนขณะที่มีการกวนและการคนจากเครื่องบราเบนเดอร์วิสโคอะไมโลกราฟ (Brabender Viscoamylograph)

### การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างแป้งเมล็ดมะขาม 3% ผสมกับน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

### วิธีการวิเคราะห์

นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Brabender รุ่น Viscograph E แสดงดังรูปที่ ข1 ใช้ Measuring range 700 cmg โดยกำหนดให้อุณหภูมิเริ่มต้นคือ 30 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้นในอัตรา 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึง 95 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 30 นาที แล้วจึงลดอุณหภูมิลงในอัตราเดียวกัน จนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ นาน 10 นาที บันทึกเป็นค่า Pasting temperature และ Maximum viscosity หรือ Peak viscosity (PV) นอกจากนี้ยังมีค่า Breakdown (PV-Start of cooling period), และ Setback (End of final holding period-PV) ซึ่งแสดงดังรูปที่ ข2



รูปที่ ข.1 เครื่อง Brabender รุ่น Viscograph E

## 2. ตรวจสอบสมบัติทางรีโอโลยี (Rheological properties)

### การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของแป้ง 3% (dry basis) โดยนำแป้งมะขามมาละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิมากกว่า 85°C คงไว้ที่อุณหภูมิช่วงนี้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง(คนตัวอย่างเรื่อยๆด้วยแท่งแก้ว) จากนั้นทำให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำ

### วิธีการวิเคราะห์

ตัวอย่างจะถูกวัดที่อุณหภูมิ  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer DV-III, ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยใช้ small sample adapter หัววัดเบอร์ 34 นำตัวอย่างใส่ลงใน sample cup และรอให้ตัวอย่างปรับสมดุล 20 นาที จากนั้นให้อัตราเฉือน (shear rate) ตั้งแต่ 0.5–8.0 rpm ภายในเวลา 3 นาที และคงไว้ที่อัตราเฉือนนี้เป็นเวลา 5 นาที แล้วลดอัตราเฉือนลงจาก 8.0–0.5 rpm ภายในเวลา 3 นาที โดยเลือกความเร็วรอบในการวัดโดยพิจารณาจากค่าทอร์ก (Torque) ที่มากกว่า 90 บันทึกค่า ความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ความเค้นเฉือน (Shear stress,  $\text{N/m}^2$ ) และอัตราเฉือน (Shear rate,  $1/\text{sec}$ )



รูปที่ ข.2 เครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น DV-III ULTRA

### 3. วิเคราะห์ความแข็งแรงของเจล (Gel Strength)

#### การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นเจลโลส 1%, 1.5% และ 2% (dry basis) โดยนำเจลโลสมาละลายในสารละลายน้ำตาล 50 % ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 85°C เป็นเวลา 30 นาที (คนตัวอย่างเรื่อยๆด้วยแท่งแก้ว) ให้ความเข้มข้นเป็น 50°บริกซ์ ปรับ pH ของตัวอย่างด้วยกรดซิตริก เป็น pH 3, 4 และ 5 ตั้งทิ้งไว้ให้เซตตัว นำเจลที่ได้มาวัดค่าความแข็งแรงเจลด้วยเครื่อง Texture analyser โดยใช้หัววัด P/0.5R กดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทาง 15 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 2 มม/วินาที จนทิ่มทะลุเนื้อเจล

#### วิธีการวัดความแข็งแรงเจล

นำเจลที่ได้มาวัดค่าความแข็งแรงเจลด้วยเครื่อง Texture analyser TA-XT plus โดยใช้หัววัด P/0.5R กดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทาง 15 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 2 มม/วินาที จนทิ่มทะลุเนื้อเจล โดยเครื่องจะบันทึกกราฟเป็นระยะทางตั้งแต่เริ่มทิ่มจนเกิดค่าแรงสูงสุด แสดงดังรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.3 เครื่อง Texture analyser TA-XT plus

#### 4. คุณสมบัติในการดูดซับน้ำและความสามารถในการละลาย (Water absorption index; WAI and Water solubility index; WSI) (Narkrugsa, 1996)

##### วิธีการวิเคราะห์

- 1) เตรียมตัวอย่างแป้งเมล็ดมะขาม โดยนำแต่ละตัวอย่างมาชั่งประมาณ 2.5 กรัม (dry basis) ( $W_0$ ) ผสมกับน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ในหลอดหมุนเหวี่ยงและปิดฝาให้สนิท
- 2) นำไปแช่ใน water bath ที่มีอุณหภูมิ 30°ซ เป็นเวลา 30 นาที
- 3) นำของผสมมาชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ ) แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8000 rpm เป็นเวลา 10 นาที
- 4) เทส่วนที่เป็นของเหลวออกแล้วชั่งน้ำหนักส่วนที่เป็นของผสมในหลอดหมุนเหวี่ยง ( $W_2$ ) คำนวณค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ

$$\text{สูตรที่ใช้ในการคำนวณ Water absorption index} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_0} \times 100$$

- 5) นำส่วนที่เป็นของเหลว 10 มิลลิลิตร ที่ได้จากการแยกในหลอดหมุนเหวี่ยงใส่ลงใน aluminum can ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบที่อุณหภูมิ 130°ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 6) ชั่งน้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ใน aluminum can ( $W_3$ ) นำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าความสามารถในการละลายน้ำ ซึ่งแสดงเป็น % น้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้

$$\text{สูตรที่ใช้ในการคำนวณ Water solubility index (\%)} = (W_3 \div W_0) \times 100$$

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวพรรณวดี จุลภักดิ์
วัน เดือน ปีเกิด	5 พฤศจิกายน 2537 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2559
ประสบการณ์การทำงาน	นักศึกษาฝึกงาน บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)