

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกสด  
โดยไม่ปรับพีเอช

FACTORS AFFECT PECTIN EXTRACTION PROCESS FROM  
FRESH RIPE SUGAR PALM WITHOUT ADJUSTING pH



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-AI-M-053-274

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสกัดเพกตินจากเนื้อตาลสุกสด  
โดยไม่ปรับพีเอช

FACTORS AFFECT PECTIN EXTRACTION PROCESS FROM  
FRESH RIPE SUGAR PALM WITHOUT ADJUSTING pH



T148021

จรรย์ญา อับดุลสลาม

JARUNYA ABDULSLAM

สาขา.....  
เลขทะเบียน..... 148021  
วันเดือนปี..... 9 ต.ค. 2560

b. 00266563  
i. ....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-AI-M-053-274

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FACTORS AFFECT PECTIN EXTRACTION PROCESS FROM  
FRESH RIPE SUGAR PALM WITHOUT ADJUSTING pH**



**JARUNYA ABDULSLAM**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE  
AGRO-INDUSTRY**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2017**

**KMITL-2017-AI-M-053-274**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2017**

**FACULTY OF AGRO-INDUSTRY**

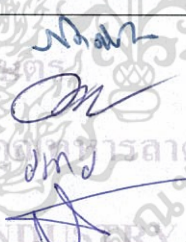
**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกสดโดยไม่ปรับพีเอช  
FACTORS AFFECT PECTIN EXTRACTION PROCESS FROM  
FRESH RIPE SUGAR PALM WITHOUT ADJUSTING pH

ชื่อนักศึกษา นางสาวจริญญา อับดุลสลาม  
รหัสประจำตัว 57608011  
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.กิตติชัย บรรจง  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.กิตติชัย บรรจง ผศ.ดร.พอใจ งามาการ ดร.ระจิตร์ สุวพานิช รศ.ดร.ระติพร มูลสาร	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 13 กรกฎาคม 2560 เวลา 09.30 น. เป็นต้นไป  
สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 24 เดือน 09 พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกสด โดยไม่ปรับพีเอช
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจริญญา อับดุลสลาม
รหัสประจำตัว	57608011
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.กิตติชัย บรรจง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ดำเนินการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการสกัดเพคติน โดยใช้เนื้อตาลสุกเป็นวัตถุดิบ โดยไม่ปรับอุณหภูมิและพีเอชในการสกัด ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อัตราส่วนน้ำ การปรับพีเอช และอุณหภูมิการสกัด โดยตรวจสอบผลที่มีต่อปริมาณผลผลิตและคุณสมบัติของเพคติน พบว่าอัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการสกัดคือ 1:3, 1:5, 1:7, 1:9 และ 1:11 (เนื้อตาลสุก : น้ำ) ให้ผลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.055$ ) และผลของการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอชให้ผลผลิตเพคตินสูงที่สุด ( $25.96 \pm 1.75\%$ ) เมื่อเลือกสภาวะที่ให้ผลผลิตเพคตินสูงที่สุดคือการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช มาศึกษาคุณสมบัติของเพคติน พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม คุณสมบัติของเพคตินคือ ปริมาณความชื้น เถ้า และปริมาณของกรดกาแลคทูโรนิก ให้ผลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ส่วนผลการวิเคราะห์ระดับการเกิดเอสเทอร์พีเคชั่น ค่าสี ความหนืด และความแข็งแรงเจล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) อย่างไรก็ตามเพคตินที่ได้จากลูกตาลสุกทั้ง 2 วิธียังจัดอยู่ในกลุ่มเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ แต่เพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอชให้ค่าสีที่อ่อนกว่า ความหนืด และความแข็งแรงเจลมากกว่า ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเพคตินจากเนื้อลูกตาลสุกสามารถสกัดได้ด้วยน้ำโดยไม่ปรับพีเอชที่อุณหภูมิห้อง โดยมีคุณสมบัติไม่แตกต่างหรือดีกว่าการสกัดเพคตินแบบดั้งเดิม โดยมีข้อดีคือขั้นตอนการสกัดลดลง

<b>Thesis</b>	Factors affect pectin extraction process from fresh ripe sugar palm without adjusting pH
<b>Student</b>	Miss.Jarunya Abdulslam
<b>Student ID.</b>	57608011
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Food Science
<b>Year</b>	2017
<b>Thesis Advisor</b>	Dr.Kittichai Banjong

## ABSTRACT

In this research, pectin was extracted from ripe Palmyra palm pulp which contained low methoxyl pectin. The purposes of this research was to develop pectin extraction method without alteration of the extraction temperature and pH. The effect of water ratio, pH, and temperature on the yield and quality characteristics of pectin were investigated. It was found that the water ratio used in the extraction 1:3, 1:5, 1:7, 1:9 and 1:11 (ripen sugar palm : water) did not significantly affect the yield of pectin ( $P>0.05$ ). The results showed that the extraction condition of unadjusted pH at room temperature gave highest pectin yield ( $25.96 \pm 1.75\%$ ). The pectin from a condition of unadjusted pH at room temperature and the pectin from conventional method were analyzed and then compared. The properties of pectin including moisture content, ash content and galacturonic acid content was non - significantly different ( $P>0.05$ ). The pectin from both methods was categorized as low methoxy pectin even though the result of degree of esterification and methoxyl content showed significant difference ( $P\leq 0.05$ ). The results of viscosity and gel strength showed that pectin from extraction condition of unadjusted pH at room temperature gave better viscosity and gel strength than conventional method. The results suggested that pectin from ripe Palmyra palm can be extracted successfully by water at room temperature.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ในหัวข้อปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกสดโดยไม่ปรับพีเอช สำเร็จลุล่วงได้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.กิตติชัย บรรจง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้ความรู้ ให้คำชี้แนะ และช่วยแก้ไขข้อบกพร่องให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.พอใจ งามากร ดร.ระจิตร์ สุวพานิช และ รศ.ดร.ระติพร มูลสาร ที่ได้ให้เกียรติมาเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำเพิ่มเติมแก้ไขในส่วนที่บกพร่องของงานวิจัยให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณอาจารย์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำในเรื่องต่างๆ และขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ได้ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆ และช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา ครอบครัว และเพื่อนๆ พี่ๆ ในคณะอุตสาหกรรมเกษตรที่คอยให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษา เป็นกำลังใจและช่วยเหลือในการดำเนินงานในด้านต่างๆ ผู้จัดทำมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดีจากทุกท่านที่ได้กล่าวมาและขอขอบพระคุณมาในโอกาสนี้

จรัญญา อับดุลสลาม

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1. ผลตาล.....	4
2.2. เพคติน.....	4
2.3. สมบัติทางเคมีของเพคติน.....	6
2.3.1. การเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง.....	6
2.3.2. การเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ.....	6
2.4. สมบัติทางกายภาพของเพคติน.....	7
2.4.1. สมบัติการละลายของเพคติน.....	7
2.4.2. ความหนืดของเพคติน.....	7
2.5. การสกัดเพคติน.....	8
2.6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	14
3.1. อุปกรณ์และสารเคมี.....	14
3.1.1. วัสดุดิบ.....	14
3.1.2. อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	14
3.1.3. สารเคมี.....	15
3.2. วิธีการดำเนินงาน.....	15
3.2.1. การเตรียมวัสดุดิบ.....	15
3.2.2. ศึกษาอัตราส่วนน้ำที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตเพคติน.....	15
3.2.3. ศึกษาผลของพีเอชและอุณหภูมิในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตเพคติน.....	17
3.2.4. ผลของการสกัดเพคตินที่ได้ปริมาณผลผลิตสูงสุดในหัวข้อ 3.2.3 ต่อคุณสมบัติด้านต่างๆ.....	18
3.2.4.1. การวิเคราะห์คุณสมบัติเพคตินที่สกัดได้.....	19
3.2.5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	21
4.1. ผลของอัตราส่วนน้ำที่มีผลต่อผลิตเพคติน.....	21
4.2. ผลของพีเอชและอุณหภูมิในการสกัดที่มีผลต่อผลิตเพคติน.....	22
4.3. ผลของการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเพคติน.....	24
4.3.1. ปริมาณความชื้นของเพคติน.....	24
4.3.2. ปริมาณเถ้าของเพคติน.....	25
4.3.3. ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (Degree of esterification, DE).....	25
4.3.4. ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกของเพคติน (Galacturonic acid, GA).....	26
4.3.5. ค่าสีของผงเพคตินที่สกัดได้จากลูกตาลสุก.....	27
4.3.6. ความหนืดของเพคติน.....	28
4.3.7. การเกิดเจลของเพคติน.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	34
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	34
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	35
บรรณานุกรม.....	39
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีเตรียมวัตถุขี้บ.....	44
ภาคผนวก ข วิธีการสกัด.....	47
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์คุณสมบัติของเพคติน.....	50
ภาคผนวก ง ภาพผงเพคติน.....	61
ประวัตินักวิจัย.....	64

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สรุปกระบวนการที่ทำการทดลองในหัวข้อ 3.2.3.....	18
4.1 การเปรียบเทียบอัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการสกัดต่อผลผลิตพอลิเมอร์ที่ได้.....	21
4.2 การเปรียบเทียบสภาวะที่ใช้ในการสกัดต่อผลผลิตพอลิเมอร์ที่ได้.....	23
4.3 คุณสมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการสกัดที่ต่างกัน.....	26
4.4 ค่าสีของพอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการสกัดที่ต่างกัน.....	28
4.5 ค่าความหนืดของพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	30
4.6 การขึ้นรูปเจลพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	34
ค1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of Esterification (DE) กับปริมาณเมทอกซิลในพอลิเมอร์.....	54



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของแพคติน.....	5
2.2 กลไกการเกิดเจลระหว่างแพคตินหมู่มะทอกซิลต่ำกับแคลเซียมไอออน.....	6
3.1 แผนภาพวิธีการสกัดแพคตินด้วยน้ำ.....	17
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress ของแพคติน ที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH).....	31
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress ของแพคติน ที่ได้จากการสกัดที่แบบดั้งเดิม.....	31
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress ของแพคตินทางการค้า.....	32
ก 1 แผนภาพการเตรียมเนื้อตาลสุกเพื่อใช้ในการสกัดแพคติน.....	45
ข 1 แผนภาพวิธีการสกัดแพคตินแบบดั้งเดิม.....	49
ค 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดคาแลคทูโรนิกและค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 52 นาโนเมตร.....	56
ค 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแพคตินทางการค้า และค่าแรงที่ทำให้เจลแตก(N).....	59
ง 1 ผงแพคตินจากลูกตาลสุกที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยน้ำโดยไม่ปรับพีเอช ที่อุณหภูมิห้อง.....	62
ง 2 ผงแพคตินจากลูกตาลสุกที่ได้จากกระบวนการสกัด โดยวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม.....	62
ง 3 ผงแพคตินแพคตินทางการค้าชนิดหมู่มะทอกซิลต่ำ.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อภา VIII ขาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เพคตินเป็นสารประกอบโพลีเมอร์ที่พบในพืช จัดเป็นสารประกอบพอลิเมอร์โพลีไฮดรอกซีคาร์บอกซิลิกที่ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล (Nussinovitch, 1997) เพคตินถือได้ว่าเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีความซับซ้อน โครงสร้างส่วนใหญ่เชื่อมต่อกัน ด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิก (-1,4 glycosidic) (Gholamreza และคณะ, 2005) เพคตินมีสมบัติพิเศษคือ เมื่อรวมตัวกับน้ำตาล และกรดในปริมาณที่เหมาะสม จะเกิดเป็นเจลที่อ่อนนุ่ม ทำให้นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ แยม เยลลี่ เป็นสารที่ทำให้ข้นหนืด (thickening agent) เป็น stabilizer ป้องกันการตกตะกอน (sedimentation) ของนมเปรี้ยว (acidified milk) โดยป้องกันการตกตะกอนของโปรตีนเคซีน (casein) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ซึ่งทำให้อิมัลชัน (emulsion) มีความคงตัว โดยลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสของน้ำมันและน้ำ และเป็น prebiotic เป็นอาหารของแบคทีเรียกลุ่ม probiotic ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ร่างกาย เป็นส่วนผสมของ functional food (กิตติพงษ์, 2536) นอกจากอุตสาหกรรมอาหารแล้วยังมีการนำเพคตินไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆอีกมากทั้งทางเภสัชกรรม การแพทย์ เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

ในปัจจุบันมีการนำเข้าเพคตินจากต่างประเทศคิดเป็นมูลค่าจำนวนมาก ทำให้เกิดงานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดเพคตินจากแหล่งต่างๆโดยใช้วัตถุดิบหรือเศษเหลือจากผลผลิตทางการเกษตรภายในประเทศไทยมาสกัดเพคติน (ชวนิภูษ และคณะ, 2548, ณรงค์, 2548, ปาริฉัตร และคณะ, 2550, กนกพร และเจนจิรา, 2552 และ สมฤทัย และอมราวดี, 2552) และได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดเพคตินจากลูกตาลโดยใช้ส่วนต่างๆ (Rungridnimitchai, 2011, สุธิดา, 2552, สุธิดา และพูนศิริ, 2555 และศิวะเทพ, 2557) ทุกส่วนของลูกตาลไม่ว่าจะเป็นเปลือก เนื้อ จาว และเมล็ด มีองค์ประกอบของเพคตินชนิดหมู่เมธิออกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin, LMP) และเพคตินดังกล่าวจะมีปริมาณมากที่สุดใ้นเนื้อตาลสุกประมาณร้อยละ 20 เนื้อตาลสุกจึงเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจสำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสกัดเพคตินสามารถสกัดได้หลายวิธี เช่น การใช้น้ำ การใช้สารละลายบัฟเฟอร์ การสกัดด้วยกรด การสกัดด้วยด่าง และการสกัดด้วยสารอินทรีย์ที่มีความสามารถในการจับประจุบวก (Chelating agents) (Whister และ BeMiller, 1973) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุก โดยใช้น้ำกลั่น เนื่องจากเพคตินมีสมบัติในการละลายน้ำได้ (Water Soluble Fiber) อีกทั้งยังเป็นการประหยัดสารเคมี และลดสารเคมีตกค้างในการสกัดโดยมีสมมติฐานว่าเพคตินจากผลลูกตาลสุกส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเพคตินที่ละลายน้ำได้ อีกทั้งการวิจัยนี้ได้มุ่งเน้น ไปยังการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุก โดยไม่ปรับพีเอช มีงานวิจัยพบว่าเนื้อตาลสุกมีค่าพีเอชประมาณ 3.5 (มนัสนันท์ และคณะ, 2544) เป็นค่าพีเอชที่อยู่ในช่วงกรด จึงได้มีสมมติฐานว่าเนื้อตาลสุกมีสถานะเป็นกรด ปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่มีในระบบจึงน่าจะมีสูง ส่งผลให้เกิดการไฮโดรไลซ์ที่มากขึ้น ทำให้เพคตินที่ไม่ละลายอยู่ในรูปที่ละลายได้จึงอาจไม่จำเป็นต้องปรับพีเอชให้ต่ำลงอีก

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกด้วยน้ำโดยไม่ปรับพีเอช ได้แก่ อัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการสกัด การปรับพีเอช และอุณหภูมิ
2. เพื่อพัฒนากระบวนการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกโดยไม่ใช้สารเคมี
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเพคตินที่สกัดได้

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุก ได้แก่ อัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการสกัด การปรับพีเอช และอุณหภูมิในการสกัด โดยวัตถุดิบที่ใช้คือ ลูกตาลโตนดสุกจากจังหวัดเพชรบุรี โดยทำการยีลูกตาลสุกกับน้ำ นำมาเติมน้ำกลั่นในอัตราส่วนต่างๆ ควบคุมพีเอชที่ใช้ในการสกัด จากนั้นนำไปสกัดที่อุณหภูมิต่างๆเป็นเวลา 60 นาที ปรับพีเอชใหม่ให้เป็น 7 นำไประเหยเพื่อให้สารมีความเข้มข้นขึ้น จากนั้นเติมแอลกอฮอล์เพื่อตกตะกอนเพคติน ทิ้งไว้ข้ามคืนแล้วจึงนำมากรองเพื่อเอาตะกอนเพคตินที่ได้มาอบแห้ง คำนวณปริมาณผลผลิตเพคตินที่ได้แล้วเลือกปัจจัยการ

สกัดที่ให้ผลผลิตสูงสุคนามาสกัดใหม่ เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดดั้งเดิมคือการปรับพีเอชให้ได้ 2 สกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพื่อนำผลผลิตเพคตินมาวิเคราะห์คุณสมบัติของเพคติน

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้ทราบถึงวิธีการและปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดเพคติน เพื่อให้ได้ผลผลิตในปริมาณที่สูงขึ้น และมีคุณภาพที่ดี
2. เพื่อพัฒนากระบวนการสกัดเพคตินที่ประหยัดพลังงาน และลดสารเคมีในการสกัด
3. เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติต่างๆของเพคตินจากเนื้อตาลสุก ซึ่งสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ผลตาล

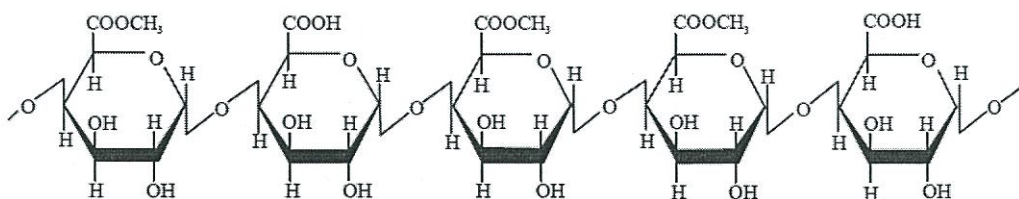
ตาล โตนด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer* Linn. มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Palmyra Palm ตาล โตนดเป็นพืชที่มีดอกแบบไม่สมบูรณ์เพศ มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย ต้นเพศผู้และต้นเพศเมียแยกคนละต้น ผลมีขนาดใหญ่เป็นทะลาย ผลกลมมีขนาด 6-8 นิ้ว ผลอ่อนมีสีเขียวอ่อน ผลแก่มีสีม่วงแก่ ผลสุกเต็มที่มีสีม่วงแก่เกือบดำหรือดำ ผิวเป็นมันภายในผลมีเมล็ดขนาดใหญ่แข็งประมาณ 1-4 เมล็ด ส่วนใหญ่มี 3 เมล็ด มีเปลือกหุ้มเป็นเส้นใยละเอียด เมื่อสุกจะมีสีเหลืองสด ประกอบด้วยแป้งและน้ำตาล โดยทั่วไปชาวบ้านมักนำผลตาลสุกมาบีบน้ำเพื่อทำเป็นขนมตาลและขนมวุ้นลูกตาล ซึ่งเป็นขนมพื้นบ้านของไทย และใช้เป็นสีผสมอาหารในขนมต่างๆ

มีงานวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับการสกัดเพคตินจากตาล โตนดพบว่า เนื้อตาลดิบมีปริมาณเพคตินร้อยละ 13.3 และเนื้อตาลสุกมีปริมาณเพคตินร้อยละ 20.1 โดยน้ำหนักร (Rungrodmitchai, 2011) จาวตาลมีปริมาณเพคตินอยู่ในช่วงร้อยละ 5.24 – 14.68 โดยน้ำหนัก (สุธิดาและพูนศิริ, 2555) และเปลือกตาลดิบมีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 9.62 – 13.65 โดยน้ำหนัก (ศิระเทพ และกิตติชัย, 2557) เพคตินในส่วนต่างๆของตาลโตนดสามารถนำมาสกัดใช้ประโยชน์ได้ พบว่าเพคตินที่สกัดได้จากตาลโตนดนี้เป็นเพคตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin, LMP)

#### 2.2 เพคติน

เพคตินเป็นสารจำพวกพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก และมีโครงสร้างหลักที่ประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิก (D-galacturonic acid) ที่ต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1-4 ไกลโคซิดิก (-1,4 glycosidic) (ภาพที่ 2.1) พบได้ในผลไม้ตระกูลส้ม เช่น ส้มโอ ส้มเขียวหวาน นอกจากนี้ยังพบในพืชชนิดอื่นๆอีกเช่น แอปเปิ้ล หัวบีท มะม่วง ฝรั่ง เป็นต้น เพคตินที่สกัดได้จากเนื้อเยื่อพืชเหล่านี้มีสมบัติในการเกิดเจลได้เมื่อเติมกรดและน้ำตาลในปริมาณที่เหมาะสม (องอาจ, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเพคตินต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1-4 ไกลโคซิดิก (-1,4 glycosidic)

ที่มา : Maazullah และคณะ (2015)

สารประกอบเพคตินแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดตามการละลาย ได้แก่

1. เพคตินที่สามารถละลายน้ำได้ จะมีโครงสร้างเป็นกรดคาแลคทูโรนิกที่มีหมู่เมทอกซิลอยู่ในโครงสร้าง
2. เพคตินที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เป็นเพคตินที่มีหมู่แคลเซียมหรือแมกนีเซียมอยู่ในโครงสร้างของกรดคาแลคทูโรนิก เมื่อนำไปทำปฏิกิริยากับกรดจะสามารถละลายน้ำได้ เนื่องจากไฮโดรเจนจากกรดจะเข้าไปแทนที่แคลเซียมหรือแมกนีเซียม ทำให้เกิดเป็นกรดเพคตินิกที่สามารถละลายน้ำได้ กลายเป็นกรดเพคตินิกที่ละลายน้ำได้เรียกเพคตินชนิดนี้ว่า โปรโตเพคติน
3. เพคตินที่มีสูตรโครงสร้างเป็นกรดคาแลคทูโรนิกที่ไม่มีหมู่เมทอกซิลในโครงสร้าง จะประกอบไปด้วยหน่วยของกรดคาแลคทูโรนิกที่เชื่อมต่อกันอย่างเดียว เพคตินชนิดนี้จะไม่สามารถเกิดเจลได้

เพคตินยังสามารถแบ่งได้ตามปริมาณของการเกิดเมทอกซิลเอสเทอร์ (Methoxyl ester) หรือ degree of esterification (DE) ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดเจลของเพคติน การแสดงปริมาณของเอสเทอร์จะอยู่ในรูปของระดับการเกิดเมทอกซิลเอสเทอร์ (Methoxyl ester) เรียกว่า Degree of methoxylation (DM) โดยแบ่งเพคตินได้เป็น 2 ชนิดคือ 1). เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ DE < 50% (Low methoxyl หรือ LM) DE < 50% เพคตินชนิดนี้จะเกิดเจลได้เมื่อมีไอออนของโลหะมาช่วยในการขึ้นรูปเจล เช่น แคลเซียม ไอออน แมกนีเซียม ไอออน เป็นต้น 2). เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง (High methoxyl หรือ HM) DE > 50% เพคตินชนิดนี้สามารถเกิดเจลได้ในสภาวะที่มีน้ำตาลหรือกรดในปริมาณที่เหมาะสม (Rolin และ Vries, 1990 และองอาจ, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

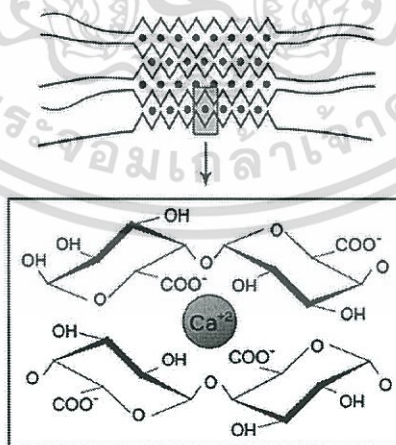
## 2.3 สมบัติทางเคมีของเพคติน

### 2.3.1 การเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง

การเกิดเจลของเพคตินจะต้องมีปริมาณน้ำตาล และกรดที่เหมาะสมเท่านั้น เนื่องจากสายโครงสร้างเพคตินนั้นจะถูกดึงน้ำออก มีผลทำให้เพคตินมีประจุลบ จึงทำให้ลดแรงระหว่างสายโซ่ (chain-chain interaction) ความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมในการเกิดเจลของเพคตินชนิดที่เกิดเจลได้ช้า และเร็ว นั้น คือ 3.2 และ 3.4 ตามลำดับ ที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำ ค่า gel strength จะเพิ่มมากขึ้น และ อุณหภูมิในการเกิดเจลก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย (May, 1997)

### 2.3.2 การเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ

การเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของน้ำตาล ปริมาณของเพคติน ปัจจัยเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเกิดเจล และ ค่า gel strength ที่ต้องการ ในการเตรียมเจลมาตรฐานต้องประกอบด้วยความเป็นกรด-ด่าง 3.0 ปริมาณน้ำตาล 30% โดยให้มีเพคติน 1% และสารประกอบแคลเซียม โดยเพคตินชนิดนี้จะไม่สามารถเกิดเจลได้หากมีปริมาณแคลเซียมไม่เพียงพอ แคลเซียมไอออนจะเข้าไปจับกับหมู่คาร์บอกซิลิกระหว่างโครงสร้างของเพคตินสายหนึ่งกับโครงสร้างเพคตินอีกสายหนึ่ง ทำให้เกิดโครงสร้างที่เรียกว่า egg box model ขึ้น ดังภาพที่ 2.2 แต่ถ้าหากเพิ่มปริมาณของแคลเซียม ค่า gel strength ก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะลดลง อุณหภูมิในการเกิดเจลก็จะเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิปกติ และจุดเดือดจะเพิ่มมากขึ้นตาม gel strength ที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.2 กลไกการเกิดเจลระหว่างเพคตินหมู่เมทอกซิลต่ำกับแคลเซียมไอออน

ที่มา : Emrah และคณะ (2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 สมบัติทางกายภาพของเพคติน

### 2.4.1 สมบัติการละลายของเพคติน

เพคตินเมื่ออยู่ในลักษณะของผงจะละลายได้ยาก มีการจับกันเป็นก้อนได้ง่ายทำให้ละลายได้ช้า เพคตินจะสามารถละลายได้ดีในน้ำอุ่นหรือน้ำที่มีอุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส แล้วต้องทำการผสมด้วยเครื่องผสมเพื่อช่วยในการละลาย การเติมน้ำตาลเข้าไปผสมกับเพคตินจะช่วยให้เพคตินนั้นสามารถละลายได้ดีขึ้น โดยผสมในอัตราส่วนเพคติน 1 ส่วนต่อน้ำตาล 5 ส่วน หรือผสมกับสารละลายอื่นๆ เช่น แอลกอฮอล์เพื่อทำให้เพคตินเปียก ทำการผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง หรือตีประมาณ 1 นาที เพื่อให้เพคตินละลายได้หมด (Rolin และ De Vries, 1990)

### 2.4.2 ความหนืดของเพคติน

ความหนืดของเพคตินนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยดังนี้

- ความเข้มข้นของเพคติน ถ้าสารละลายเพคตินเจือจางจะให้การไหลแบบ Newtonian ค่าความหนืดของของไหลประเภทนี้เนียน จะคงที่ไม่ขึ้นกับอัตราเฉือน ถ้าสารละลายเพคตินมีความเข้มข้นมากกว่า 1% สารละลายเพคตินจะมีคุณสมบัติเป็น Pseudoplastic เมื่อเพิ่มอัตราเฉือน จะทำให้ความหนืดของของไหลลดลง

- ความเป็นกรด-ด่าง ถ้าเพิ่มความเป็นกรดหรือด่าง พบว่าความหนืดของสารละลายเพคตินจะเพิ่มขึ้นด้วย สารละลายที่มีประจุ +1 จะลดความหนืดของสารละลายเพคติน เพราะไปลดแรงดึงดูดระหว่างประจุ

- มวลโมเลกุล เพคตินที่มีมวลโมเลกุลสูง จะทำให้สารละลายมีความหนืดสูงขึ้นด้วย ในทางตรงกันข้ามเมื่อเจือจางสารละลาย และไม่มีแคลเซียม สารละลายจะมีความหนืดลดลง การเตรียมสารละลายเพคตินให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันนั้น สามารถทำได้โดยผสมเพคตินชนิดต่างๆ หรือผสมเพคตินให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (Michel และคณะ, 1982)

- ปริมาณของแคลเซียม เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงไม่ต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล แต่เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล เพคตินที่มีความไวต่อแคลเซียมสูง หากเพิ่มปริมาณแคลเซียมความหนืดของสารละลายเพคตินก็จะสูงขึ้นด้วย

## 2.5 การสกัดเพคติน

นำวัตถุดิบหรือเนื้อเยื่อพืชที่กำจัดสารประกอบต่างๆออกบ้างแล้ว มาสกัดเพคติน โดยวิธีไฮโดรลisisด้วยสารละลายกรดหรือด่าง การใช้สารละลายด่างจะทำให้เกิดปฏิกิริยา deesterification สูงกว่าการใช้สารละลายกรด นอกจากนี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยา  $\beta$ -elimination ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้โมเลกุลของเพคตินถูกทำลาย สายโมเลกุลของเพคตินสั้นลง ดังนั้นจึงนิยมใช้สารละลายกรดเป็นตัวสกัด และกรดที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการสกัดคือกรดไฮโดรคลอริก แต่ก็มีเพคตินบางชนิดในเนื้อเยื่อพืชที่อยู่ในรูป calcium pectate ซึ่งไม่สามารถถูกไฮโดรไลซิสด้วยกรดได้ จึงมีการใช้สารพวก chelating agent เติมลงไปเพื่อช่วยในการสกัดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสารที่เติมไปนั้นจะไปทำให้ calcium pectate สามารถเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ละลายได้มากขึ้น สารที่นิยมใช้เป็น chelating agent ได้แก่ สารพวก polyphosphate และ oxalate หลังจากไฮโดรไลซิสด้วยกรดแล้วจะนำมาแยกส่วนกากออกจากสารละลายเพคติน และตกตะกอนเพคตินโดยใช้เอธิลแอลกอฮอล์ ถ้าใช้เอธิลแอลกอฮอล์เพียงอย่างเดียวในการตกตะกอน จะได้สารอื่นที่ไม่ใช่เพคตินออกมาด้วย เช่น เฮมิเซลลูโลส แต่เมื่อนำเอทิลแอลกอฮอล์ผ่านตะกอนเพคตินซ้ำหลายๆครั้ง จะมีความบริสุทธิ์มากขึ้น คือมีร้อยละของกรดกาแลคทูโรนิกมากขึ้น และในการตกตะกอนสารละลายเพคตินด้วยเอธิลแอลกอฮอล์ที่มีกรดไฮโดรคลอริกอยู่ด้วยสามารถลดปริมาณเถ้าที่ปนออกมาในตะกอนเพคตินได้ (องอาจ, 2553)

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pornpen และคณะ (2008) ได้ศึกษาการสกัดเพคตินจากเนื้อตาล โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเพคตินที่ผลิตได้ การสกัดสภาวะที่ได้ปริมาณเพคตินสูงสุดคือ นำเนื้อตาลแช่ในเอธิลแอลกอฮอล์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการสกัดด้วยน้ำในอัตราส่วน น้ำ : ตาล เท่ากับ 1 : 40 ค่าพีเอช 4-8 ใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ได้ปริมาณเพคตินมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้งของเนื้อตาล โดยได้อธิบายไว้ว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อาจนำมาซึ่งการละลายออกมาของเพคตินที่ดี ที่อุณหภูมิต่ำกว่านั้นอาจไม่เพียงพอต่อการทำให้เพคตินละลายออกมา มีการให้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสในการทดลอง พบว่าทำให้ได้ปริมาณเพคตินลดลงเพราะอุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงเกินไปทำให้เพคตินมีการสลายตัว เช่นเดียวกับกับค่าพีเอช ในการทดลองพบว่าทำให้ค่าพีเอชที่ 2 อาจทำให้เพคตินถูกทำลายโครงสร้างด้วยกรดที่รุนแรงเกินไป

สุริดา (2552) ศึกษาการสกัดเพคตินจากจาวตาลและเมล็ดตาลอ่อน โดยใช้วิธีสกัดแตกต่างกัน 3 วิธีคือ สกัดด้วยแอลกอฮอล์ สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก และสกัดด้วยน้ำ พบว่าการสกัดเพคตินจากจาวตาลด้วยน้ำให้ปริมาณเพคตินสูงสุด คือร้อยละ  $12.6524 \pm 3.177$  โดยทำการสกัดด้วยน้ำในอัตราส่วน วัตถุดิบ : น้ำ เท่ากับ 1 : 5 ปรับค่าพีเอชเป็น 4.5 นำไปต้มเดือดอ่อนๆ 20 นาที กรองเอากากออก ทำการสกัดซ้ำ 2 ครั้ง นำสารละลายที่ได้ไปประเหย นำมาตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 75 ล้างผ่านตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์จำนวน 3 ครั้งอบแห้งวันเพคตินที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติของเพคตินพบว่า การสกัดเพคตินด้วยกรดและน้ำให้คุณภาพเพคตินแตกต่างกัน ซึ่งได้อธิบายได้ว่า คุณภาพของเพคตินจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ ความแก่อ่อนของผลไม้ พันธุ์ของผลไม้ วิธีการสกัด และวิธีการตกตะกอน พบว่าการสกัดเพคตินด้วยน้ำให้ปริมาณเพคตินสูงสุด เนื่องจาก ทั้งนี้เพราะเพคตินเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีโครงสร้างที่มีขั้ว สารประกอบที่มีขั้วละลายได้ดีในสารประกอบที่มีขั้วเหมือนกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ น้ำเป็นสารประกอบที่มีขั้วสูงที่สุด จึงละลายเพคตินออกมาได้มากที่สุด

องอาจ (2553) ได้ศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือก เนื้อ และเนื้อในของฝรั่งพันธุ์กลมสาตี พันธุ์เป็นสีทอง และพันธุ์กิมจู นำตัวอย่างที่บดเป็นผงแล้ว 10 กรัม เติมกรดไฮโดรคลอริก 0.05 โมลาร์ ในอัตราส่วนกรด : ผงตัวอย่าง เท่ากับ 12 : 1 สกัดในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการสกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง นำสารละลายไปประเหยในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ให้เหลือปริมาตร 1 ใน 3 ของปริมาตรเดิม นำมาตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง ล้างตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ 3 ครั้ง นำเพคตินไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จากการสกัดพบว่าฝรั่งพันธุ์กิมจูให้ปริมาณเพคตินสูงสุด  $15.55 \pm 1.08 - 19.44 \pm 0.83$  เปอร์เซ็นต์ และพบว่าเพคตินที่ได้จากฝรั่งพันธุ์เป็นสีทองเป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลสูง มีปริมาณเมทอกซิลมากกว่า 8.16 เปอร์เซ็นต์ ส่วนฝรั่งพันธุ์กลมสาตีและพันธุ์กิมจูเป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลต่ำ

Rungrodnimitcachi (2011) ศึกษาการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกและเนื้อตาลอ่อน โดยใช้วิธีที่ไม่โครเวฟพบว่าเนื้อตาลสุกให้ปริมาณเพคตินสูงถึงร้อยละ 20 ที่สภาวะการสกัด ค่าพีเอช 2 ใช้กรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรคลอริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับพีเอช สกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ขณะที่เนื้อตาลอ่อนให้ปริมาณเพคตินร้อยละ 8.1 ที่ค่าพีเอช 3 การสกัดดังกล่าวใช้องุ่นน้ำควบคุมอุณหภูมิในการให้ความร้อน เมื่อใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 800 วัตต์ ค่าพีเอช 2 เป็นเวลา 3 นาที พบว่าให้ปริมาณเพคตินสูงสุดที่ร้อยละ 23.5 จะเห็นได้ว่าเนื้อตาลสุกให้ปริมาณเพคตินมากกว่าเนื้อตาลอ่อนเนื่องมาจากเนื้อตาลสุกสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่าเนื้อตาลอ่อน อาจทำให้เกิดความแตกต่างของเพคตินที่ละลายออกมาได้

พันธุ์เลิศ และคณะ (2554) ศึกษาและพัฒนากระบวนการและหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากใบเครือหมาน้อย ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบ 3 ชนิด ได้แก่ ใบสด ใบที่อบแห้งโดยการตากแดดและใบที่อบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน และได้ทำการศึกษหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยปัจจัยที่ทำการศึกษามี 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ (30 – 90 องศาเซลเซียส) เวลา (30 – 90 นาที) และ พีเอช (2 - 8) จากการทดลองพบว่า การตากแดด และการใช้ตู้อบลมร้อนให้ผลผลิตเพคตินที่สกัดได้สูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และได้หาสภาวะที่เหมาะสม ในการสกัด โดยพิจารณาจากปริมาณและคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้ สภาวะที่ได้ คือ อุณหภูมิอยู่ในช่วง 68 – 75 องศาเซลเซียส และพีเอช อยู่ในช่วง 2.0 – 2.8 ใช้เวลา 42 นาที ซึ่งจะทำให้ได้ผลผลิตเพคตินร้อยละ 35.32-42.21 กรดกาแลกทูโรนิก 67.04-76.83 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 2.62-3.28 และเพคตินที่สกัดได้จะมีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันอยู่ระหว่างร้อยละ 28.00-29.97 การสกัดที่ให้ผลดีในช่วง pH 2 – 2.8 นั้น เนื่องจากในสภาวะกรดค่ามีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนสูง จะกระตุ้นให้เกิดการไฮโดรไลซ์สารประกอบเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ สามารถละลายน้ำออกมาได้

สุริดา และพูนศิริ (2555) ศึกษาสภาวะเหมาะสมในการสกัดเพคตินจากจาวตาลและสมบัติของเพคตินที่สกัดได้ พบว่าสามารถสกัดได้ปริมาณสูงสุดคือร้อยละ 14.25 โดยน้ำหนัก โดยใช้สภาวะ ค่าพีเอช 2 อัตราส่วนระหว่างจาวตาลและน้ำ 1 : 3 ใช้เวลาในการสกัด 40 นาที ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เมื่อนำเพคตินที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ พบว่ามีปริมาณหมู่เมทอกซิลร้อยละ 1.74 จัดเป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลต่ำ มีปริมาณกรดกาแลกทูโรนิกร้อยละ 10.87 และมีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันร้อยละ 27.90 ได้อธิบายไว้ว่าการใช้ค่าพีเอช 2 มีความเป็นกรดทำให้มีความสามารถที่ดีขึ้นในการสกัดเพคตินออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จินานาญ และสมัชญ์ (2555) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากผักและผลไม้ที่คือ แอปเปิ้ล ส้มโอ มะนาว และกล้วย พบว่าเมื่อเปรียบเทียบลักษณะของเพคตินที่ได้ เปลือกส้มโอมีลักษณะที่ดีที่สุด สีขาว และมีร้อยละผลผลิตที่ค่อนข้างสูง ในการสกัดได้ใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ดังนี้ อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกและใช้เวลาในการสกัด 24 ชั่วโมง โดยพบว่าปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด และมีปริมาณผลผลิตของเพคตินสูงสุดเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ได้ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน และมีการศึกษาชนิดของกรดที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดแตกต่างกันคือ กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก และกรดอะซิติก เข้มข้น 1.0 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 24 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีค่าสูงสุดเมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริกปรับสภาพความเป็นกรดในการสกัด และยังได้ศึกษาเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดแตกต่างกัน ดังนี้ คือ 30 60 90 120 และ 140 นาที โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1.0 โมลาร์ ที่อุณหภูมิในการสกัด 80 องศาเซลเซียส โดยพบว่า ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีค่าสูงสุดเมื่อใช้เวลาในการสกัดเท่ากับ 90 นาที เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดมากขึ้น พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณเพคตินที่สกัดได้ ในการใช้อุณหภูมิสูงในการสกัดแล้วพบว่าให้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้สูงเนื่องจากการสกัดที่อุณหภูมิต่ำ การแพร่ของสารละลายกรดที่ใช้ในการสกัดเข้าสู่เนื้อเยื่อพืช และการแพร่ของโมเลกุลเพคตินออกจากเนื้อเยื่อพืช เกิดในอัตราที่ต่ำ จึงทำให้ได้ปริมาณเพคตินน้อย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการสกัดให้สูงขึ้น พบว่าประสิทธิภาพของการสกัดก็สูงขึ้น

วัลภา และกิตติชัย (2557) ศึกษาคุณลักษณะด้านความหนืดของดเพคตินจากเปลือกตาลดิบที่ผ่านการตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ และนำเอทิลแอลกอฮอล์กลับมาใช้ใหม่ โดยชั่งน้ำหนักเปลือกตาล 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชเป็น 2 นำไปสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ล้างผ่านตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 3 ครั้ง อบแห้งเพคตินที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เพคตินที่ได้เป็นชนิดเมทอกซิลต่ำ นำผงเพคตินมาผสมกับโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าความหนืดของเพคตินชนิดเมทอกซิลต่ำขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเพคติน และปริมาณแคลเซียม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นความหนืดก็เพิ่มขึ้น

ศิวะเทพ และกิตติชัย (2557) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบคุณลักษณะของเพคติน และผลผลิตของเพคตินจากเปลือกตาลดิบที่ใช้แอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ในขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตกตะกอน และการล้าง โดยใช้ผงเปลือกตาล 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร ปรับให้ได้พีเอช 2 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.25 โมลาร์ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.25 โมลาร์ นำมาสกัด ด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กรองด้วยผ้าขาวบาง นำสารละลายที่ได้ไปประเหยในระบบสูญญากาศให้เหลือสารละลาย 50 มิลลิลิตร ตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ใน อัตราส่วน 1 : 3 กรองด้วยผ้าขาวบาง ล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่าระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันของเพคตินประมาณ 43 เปอร์เซ็นต์ เป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลต่ำ ปริมาณกรดกาแลกทูโรนิกอยู่ในช่วง 64 – 83 เปอร์เซ็นต์ และผลผลิต เพคตินอยู่ในช่วง 9 – 13 เปอร์เซ็นต์

Sylvie และคณะ (2014) สกัดเพคตินจากตาลสุก โดยเอาตาลมาทำความสะอาด แยกเนื้อออก แล้วเอาเยื่อมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง เก็บในถุงปิดสนิทที่ อุณหภูมิห้อง ก่อนใช้น้ำมาสับแล้วทำให้เป็นผง เติมน้ำในอัตราส่วน ผง : น้ำ เท่ากับ 1 (กรัม) : 25 (มิลลิลิตร) ทำการสกัดโดยไม่ปรับพีเอช (พีเอชทั่วไปประมาณ 5.2 – 5.55) ปรับพีเอช 2.5 หรือ 7 ใช้ กรดไนตริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับกรด-ด่าง ใช้อุณหภูมิในการสกัด 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 30 – 120 นาที กรองให้ได้สารละลายแล้วนำไปปรับพีเอชเป็น 4 นำไปปั่น เหย็งในไอโซโพรพานอล เก็บที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส ซ้ำมกึน นำมาปั่นเหย็งและล้างด้วยไอโซโพรพานอล 3 ครั้ง นำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แล้วจึงนำมาบด พบการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยไม่ปรับพีเอช (5.2-5.5) ได้ปริมาณเพคตินสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ในการเพิ่มอุณหภูมิการสกัดให้สูงเกิน 80 องศาเซลเซียส ความร้อนที่เพิ่มขึ้นอาจไปทำลายเพคตินทำให้ได้ ปริมาณเพคตินออกมาน้อยลง และเช่นเดียวกับการปรับพีเอชให้เป็นกรดต่ำเกินไปจะทำให้กรดไป ทำลายพันธะไอออนิกในโครงสร้างเพคตินทำให้ได้ปริมาณเพคตินออกมาน้อยลงเช่นเดียวกัน

Kharidah และคณะ (2014) ศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกแก้วมังกร โดยทำการสกัดจาก ส่วนต่างๆของเปลือกแก้วมังกร พบว่าการสกัดเพคตินจากเปลือกชั้นใน โดยใช้อัตราส่วน เปลือก : กรด ซิตริก เท่ากับ 1 : 4 (w/v) สกัดที่อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 67 นาที ค่าพีเอช 2.03 ได้ ปริมาณเพคตินสูงที่สุดคือร้อยละ 26.38 โดยน้ำหนักแห้ง มีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันร้อยละ 67.74 เป็นเพคตินชนิดเมทอกซิลสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่ (Pompen และคณะ, 2008, องอาจ, 2553, Rungrodnimitcahi, 2011, พันธุ์เลิศ และคณะ, 2554, สุธิตา และพูนศิริ, 2555, ชินานาฎ และสมัชญ์, 2555, วัลภา และกิตติชัย, 2557, ศิวะเทพ และกิตติชัย, 2557, Sylvie และคณะ, 2014 และ Kharidah และคณะ, 2014) นั้นจะทำการสกัดเพคตินที่อุณหภูมิสูงอยู่ในช่วงประมาณ 80 องศาเซลเซียส และใช้ค่าพีเอชอยู่ในช่วงประมาณ 2-4 โดยการสกัดทั่วไปจะนำวัตถุดิบมาอบแห้งก่อนนำมาสกัดเพื่อเป็นการรักษาวัตถุดิบให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้นหรือจะเป็นการสกัดโดยสกัดจากพวกเปลือกของผลไม้ ซึ่งเพคตินส่วนมากจะอยู่ในรูปโพรโทเพคตินซึ่งไม่ละลายน้ำ จึงมีการใช้อุณหภูมิสูงและพีเอชต่ำเพื่อช่วยในการไฮโดรไลซ์เพคตินที่ไม่ละลายน้ำให้ละลายออกมาได้ดีขึ้น ส่วนในงานวิจัยนี้เสนอวิธีการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกสดโดยไม่ผ่านกระบวนการอบแห้งวัตถุดิบก่อน โดยมีสมมติฐานว่าตาลสุกเป็นผลไม้สุกซึ่งมีเอนไซม์เพคตินเนสช่วยเปลี่ยนโพรโทเพคตินที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นเพคตินในรูปที่ละลายน้ำออกมาได้ จึงวางแผนการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยในการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกสด ได้แก่ อัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการสกัดที่ต่างกัน การปรับพีเอชและการไม่ปรับพีเอช การสกัดที่อุณหภูมิห้องและการสกัดที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากมีการรายงาน (Pompen และคณะ, 2008 และ Sylvie และคณะ, 2014) ว่าการใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปหรือการปรับค่าพีเอชให้ต่ำเกินไปนั้นอาจทำให้โครงสร้างของเพคตินเกิดการสลายตัวหรือโครงสร้างถูกทำลายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.3.1 วัตถุดิบ

ลูกตาลโตนดสุก (Ripen sugar palm) จากจังหวัดเพชรบุรี ทำการเก็บไว้ที่ตู้แช่แข็ง จนกว่าจะนำไปใช้การทดลอง

##### 3.3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.2.1	ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)	Memmert (UM 400), Germany
3.1.2.2	เตาเผา (Muffle furnace)	Nabertherm (LT 40), Germany
3.1.2.3	เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง	Ohaus (ARC 120), USA
3.1.2.4	เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง	MettlerToledo(MS2045/01), Switzerland
3.1.2.5	เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer	Shimadzu (UV-1601), Japan
3.1.2.6	อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)	Memmert (WNB 7-45), Germany
3.1.2.7	เครื่องวัด pH	Mettler Toledo, Switzerland
3.1.2.8	เครื่องวัดสี	Miolta (CR 400), Japan
3.1.2.9	เครื่องวัดความหนืด	Bookfield (DV-III), USA
3.1.2.10	เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส	Texture Analyzer (TA.HD plus), England
3.1.2.11	ครูซิเบิล	
3.1.2.12	โถสำหรับดูดความชื้น (Desiccator)	
3.1.2.13	Micropipettes และ Tips	
3.1.2.14	Hot plate stirrer	
3.1.2.15	เครื่องแก้ว	
3.1.2.16	เครื่องครีว	
3.1.2.17	ผ้าขาวบาง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 สารเคมี

- 3.1.3.1 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- 3.1.3.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 3.1.3.3 น้ำกลั่น (H<sub>2</sub>O)
- 3.1.3.4 น้ำกลั่นปราศจากคาร์บอน
- 3.1.3.5 เอทิลแอลกอฮอล์ 95 % (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)
- 3.1.3.6 คาร์บาซอล (C<sub>12</sub>H<sub>9</sub>N)
- 3.1.3.7 ฟีนอล์ฟทาเลอิน (C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>)
- 3.1.3.8 กรดกาแลคทูโนนิก (C<sub>6</sub>H<sub>7</sub>O<sub>7</sub>·H<sub>2</sub>O)
- 3.1.3.9 กรดซัลฟิวริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- 3.1.3.10 แคลเซียมออกไซด์ (CaO)

## 3.2 วิธีการดำเนินงาน

### 3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้คือลูกตาลสุก ลักษณะผลมีสีม่วงแก่เกือบดำหรือดำ ผิวเป็นมันภายในผลมีเมล็ดขนาดใหญ่แข็งประมาณ 3-4 เมล็ด เมื่อดอกเปลือกตาลออกภายในจะเป็นเส้นใยตาลสุกจะมีสีเหลืองสด นำลูกตาลมาล้างทำความสะอาดเปลือกด้านนอก ทำการลอกเปลือกตาลออกและยีตาลกับน้ำ โดยอัตราส่วนตาลต่อน้ำในการยี 1:0.5 นำเนื้อตาลและน้ำที่ยีได้กรองผ่านผ้าขาวบาง เพื่อแยกเอาเส้นใยออก จากนั้นนำตาลที่ยีได้เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรักษาคุณภาพของวัตถุดิบก่อนนำมาสกัดในขั้นตอนถัดไป

วัตถุดิบตาลที่ยีได้นำมาหาความชื้น และน้ำหนักแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน ตามวิธีวิเคราะห์ (AOAC, 2000)

### 3.2.2 ศึกษาอัตราส่วนน้ำที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตเพคติน

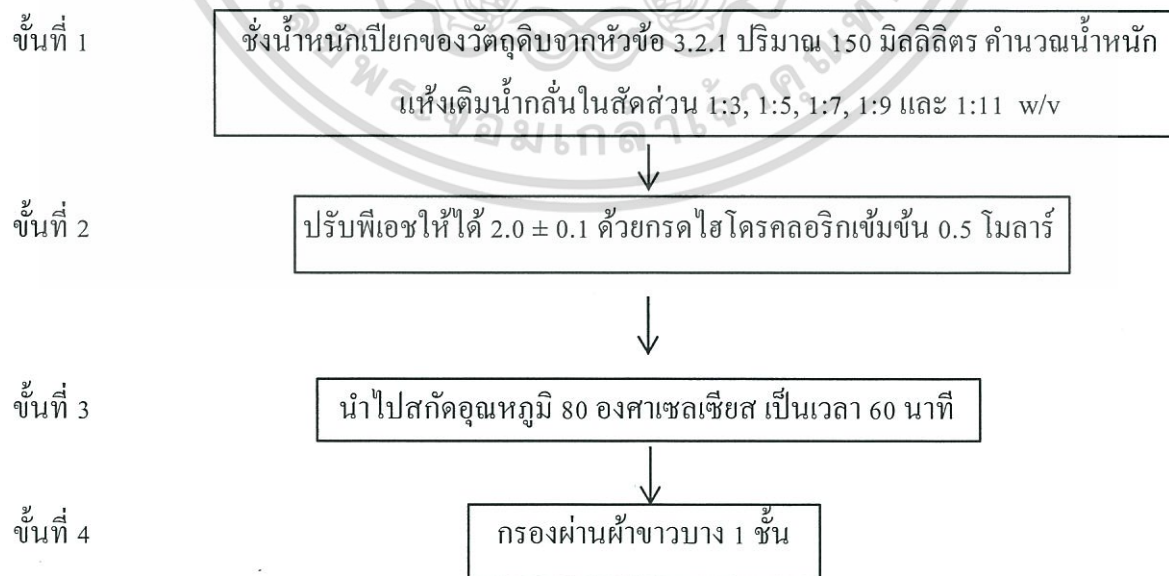
วิธีการสกัดเพคตินในขั้นตอนนี้ได้ดัดแปลงมาจาก (ณัฐนรี และพรธษา, 2558, สุธิตา, 2552, Sylvie และคณะ, 2014 และ Rungrodnimitchai, 2011) โดยนำวัตถุดิบตาลที่ยีได้มา 150 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนักเพื่อนำมาคำนวณเป็นน้ำหนักแห้งวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

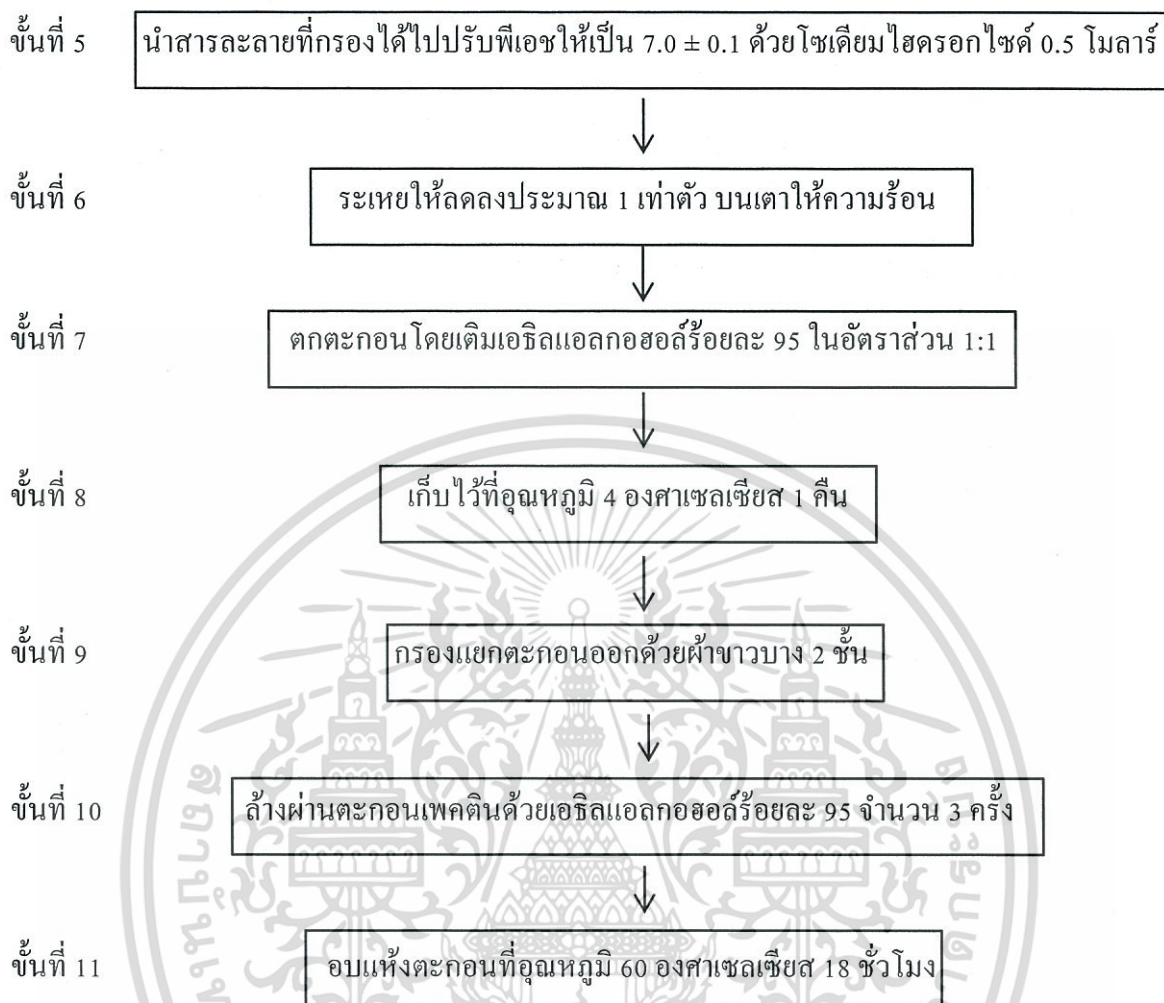
ทำการศึกษ้อัตราส่วนน้ำกลั่นที่ใช้ในการสกัด โดยคำนวณจากน้ำหนักแห้งของเนื้อตาล (Dry Matter) ในอัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำ 1:3, 1:5, 1:7, 1:9 และ 1:11 โดยปริมาตร ตั้งสมมุติฐานว่า อัตราส่วนของน้ำที่มากขึ้นจะมีส่วนช่วยในการละลายของเพคติน ทำการโดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิม ปรับพีเอชให้ได้  $2.0 \pm 0.1$  ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ นำไปสกัดในสภาวะควบคุม อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เมื่อครบเวลานำมากรองด้วยผ้าขาวบาง 1 ชั้น นำสารละลายที่กรองได้ไปปรับพีเอชให้ได้  $7.0 \pm 0.1$  แล้วนำไประเหยบนเตาให้ความร้อนเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง ให้สารละลายลดเหลือประมาณ 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปตกตะกอนโดยเติมเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ในอัตราส่วนสารละลายต่อเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 1:1 โดยปริมาตร คนผสมให้เข้ากันจากนั้นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้การตกตะกอนสมบูรณ์ กรองแยกเอาตะกอนเพคตินด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น ล้างตะกอนเพคตินที่ได้ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 จำนวน 3 ครั้ง นำตะกอนเพคตินที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักที่ได้เพื่อคำนวณปริมาณผลผลิต (ร้อยละผงเพคติน Dry Matter ของวัตถุดิบ)

นำปริมาณเพคตินที่ได้จากการสกัดด้วยอัตราส่วนน้ำที่แตกต่างกัน มาคำนวณหาปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield) โดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณผลผลิตเพคตินที่ได้ (Yield)} = \frac{\text{น้ำหนักเพคตินจากเนื้อตาลสุกที่ผลิตได้}}{\text{น้ำหนักแห้งวัตถุดิบ}} \times 100$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 แผนภาพวิธีการสกัดเพคตินด้วยน้ำ

### 3.2.3 ศึกษาผลของการปรับพีเอชและอุณหภูมิในการสกัดที่มีผลต่อผลผลิตเพคติน

วิธีการสกัดเพคตินในขั้นตอนนี้ได้ดัดแปลงมาจาก (ฉันทนรี และพรธชา, 2558, สุธิดา, 2552, Sylvie และคณะ, 2014 และ Rungrodnimitchai, 2011) โดยนำวัตถุดิบตาลที่ยีได้มา 150 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนักเพื่อนำมาคำนวณเป็นน้ำหนักแห้งวัตถุดิบ ทำการสกัดตามแผนภาพที่ 3.1 วิธีการสกัดเพคตินด้วยน้ำในหัวข้อ 3.2.2 โดยใช้อัตราส่วนน้ำที่เลือกได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.2.2

ศึกษาผลของพีเอชและอุณหภูมิในการสกัดเพคติน เพื่อให้ได้ผลผลิตสูง โดยศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่

1. การปรับพีเอชที่ทำการศึกษา คือ การปรับพีเอชให้ได้  $2.0 \pm 0.1$  ด้วยกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.5 โมลาร์ และการไม่ปรับพีเอช

2. อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด ทำการศึกษา 2 ระดับ คือ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 27 องศาเซลเซียส)

นำปริมาณเพคตินที่ได้จากการสกัด มาคำนวณหาปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yield) โดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณผลผลิตเพคตินที่ได้ (Yield)} = \frac{\text{น้ำหนักเพคตินจากเนื้อตาลูกที่ผลิตได้}}{\text{น้ำหนักแห้งวัตถุดิบ}} \times 100$$

ตารางที่ 3.1 สรุปกระบวนการที่ทำการทดลองในหัวข้อ 3.2.3

Temperature	pH
RT	Non adjust pH
RT	pH 2
80°C	Non adjust pH
80°C	pH 2

หมายเหตุ : RT คือ การสกัดที่อุณหภูมิห้อง

80°C คือ การสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

Non adjust pH คือ การสกัดโดยไม่ปรับพีเอช

pH 2 คือ การสกัดด้วยการปรับพีเอชด้วยกรดไฮโดรคลอริกโดยปรับพีเอชให้ได้

$2.0 \pm 0.1$

### 3.2.4 ผลของการสกัดเพคตินที่ได้ปริมาณผลผลิตสูงสุดในหัวข้อ 3.2.3 ต่อคุณสมบัติด้านต่างๆ

วิธีการสกัดเพคตินในขั้นตอนนี้ได้ดัดแปลงมาจาก (ณัฐนรี และพรธยา, 2558, สุริดา, 2552, Sylvie และคณะ, 2014 และ Rungrodnimitchai, 2011) โดยนำวัตถุดิบตาลที่ยีได้มา 150 มิลลิลิตร เพื่อนำมาคำนวณเป็นน้ำหนักแห้งวัตถุดิบ ทำการสกัดตามวิธีเดียวกับหัวข้อ 3.2.3 โดยเลือกปัจจัยพีเอช และอุณหภูมิที่ให้ผลผลิตเพคตินสูงที่สุด นำมาสกัดเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่างๆเปรียบเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการสกัดแบบดั้งเดิม การสกัดแบบดั้งเดิมคือการปรับพีเอชให้ได้  $2.0 \pm 0.1$  และใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในการสกัด

### 3.2.4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติเพคตินที่สกัดได้

3.2.4.1.1. วิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (Moisture content) ตามวิธี (AOAC, 2000)

3.2.4.1.2. วิเคราะห์ปริมาณเถ้าของเพคติน (Ash) ตามวิธี (AOAC, 2000)

3.2.4.1.3. วิเคราะห์ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชั่น (DE) ตามวิธี (Rangana, 1997)

3.2.4.1.4. หาปริมาณเมทอกซิล (Methoxyl content) (เทียบกับตารางภาคผนวก ค 1)

3.2.4.1.5. หาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก ตามวิธี (Rangana, 1997)

3.2.4.1.6. ตรวจสอบค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta Chroma meter

3.2.4.1.7. การวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด Brookfield (วัดภา และ กิตติชัย, 2557)

นำเพคตินที่สกัดได้มาวัดความหนืด โดยเตรียมสารละลายเพคตินที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1, 3, 6, และ 9 ละลายผงเพคตินในน้ำกลั่น นำสารละลายเพคตินความเข้มข้นต่างๆ ที่เตรียมไว้ไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer โดยใช้หัววัดเบอร์ 31 บันทึกค่าความหนืดหน่วยเป็น เซนติพอยส์ (Centipoise, cPs) แต่ละตัวอย่างทำการวัด 3 ครั้ง

3.2.4.1.8. การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analysis (วัดภา และ กิตติชัย, 2557)

วิเคราะห์ความแข็งแรงของเจล โดยเตรียมสารละลายเพคตินที่สกัดได้ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1, 2 และ 3 นำมาละลายในน้ำกลั่น ปั่นด้วย Hand Blender จนเพคตินละลายเป็นเนื้อเดียวกัน การเตรียมสารละลายแคลเซียมออกไซด์ 2 มิลลิลิตร ปั่นให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิ 4°C ทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analysis ใช้หัววัดทรงกระบอก (Cylinders) P0.5R กดลงบนตัวอย่าง 8 มิลลิเมตร กำหนดจุดอ้างอิงที่กำหนด คือ ที่จุดสัมผัสระหว่างหัววัดกับตัวอย่างให้เป็นระยะที่ 0 วัดค่าความแข็งแรงของเจล 3 จุดของแต่ละซ้ำ อ่านค่าที่บันทึกได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิเวศน์(N) ทำเช่นเดียวกันกับเพศดินทางการค้าเพื่อสร้างกราฟมาตรฐานเปรียบเทียบความเข้มข้นกับเพศดินจากการสกัด 2 ทั้งกระบวนการ

### 3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

หัวข้อ 3.2.2 วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) มี 1 ปัจจัย คืออัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการสกัด 5 ระดับ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย New Duncan's Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

หัวข้อ 3.2.3 วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomized Complete Block Design มี 2 ปัจจัย คืออุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 2 ระดับ และเวลาที่ใช้ในการสกัดเพศดิน 2 ระดับ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย New Duncan's Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

หัวข้อ 3.2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเพศดินจาก 2 กระบวนการผลิต ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลสถิติและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ผลของอัตราส่วนน้ำที่มีผลต่อปริมาณผลิตเพคติน

จากการสกัดเพคตินโดยทำการ ปรับพีเอชให้ได้  $2.0 \pm 0.1$  ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ทำการศึกษาอัตราส่วนน้ำกลั่นที่ใช้ในการสกัด โดยคำนวณจากน้ำหนักแห้งของเนื้อตาล (Dry Matter) ในอัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำ 1:3, 1:5, 1:7, 1:9 และ 1:11 โดยปริมาตร แล้วทำการสกัดเพคตินตามแผนภาพวิธีการสกัดเพคตินด้วยน้ำ (ภาพที่ 3.1) พบว่าการสกัดเพคตินด้วยน้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 5 อัตราส่วน ได้ปริมาณผลผลิตเพคตินเท่ากับ 17.88, 17.62, 17.99, 17.32 และ 16.30 %W/W ตามลำดับ ให้ผลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ดังตารางที่ 4.1 ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วน 1:3 เพื่อใช้สกัดในหัวข้อการศึกษาถัดไป เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุด แต่ให้ผลผลิตไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราส่วนน้ำที่เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการประหยัดเวลาและพลังงานในระหว่างขั้นตอนการระเหยได้

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบอัตราส่วนน้ำที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณผลผลิตเพคตินที่ได้

Ratio water	Yield (%) <sup>ns</sup>
1:3	17.88 ± 3.56
1:5	17.62 ± 2.02
1:7	17.99 ± 4.81
1:9	17.32 ± 3.36
1:11	16.03 ± 5.81

หมายเหตุ : <sup>ns</sup> ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ )

## 4.2 ผลของพีเอชและอุณหภูมิในการสกัดที่มีผลต่อผลผลิตเพคติน

นำอัตราส่วนน้ำที่เลือกได้จากในหัวข้อที่ 4.1 มาใช้ในการสกัดเพคติน โดยศึกษาผลของพีเอชและอุณหภูมิในการสกัดเพคติน ได้แก่ การสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT- Non adjust pH) การสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยปรับพีเอชให้ได้  $2.0 \pm 0.1$  (RT - pH 2) การสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสโดยไม่ปรับพีเอช ( $80^{\circ}\text{C}$ ) และการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสโดยปรับพีเอชให้ได้  $2.0 \pm 0.1$  ( $80^{\circ}\text{C}$  - pH 2) จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องพบว่า การสกัดโดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชนั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ได้ปริมาณผลผลิตเพคตินเท่ากับ 25.96 % และ 19.57 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการที่เนื้อตาลสุกผสมน้ำก่อนปรับพีเอชมีค่าพีเอชอยู่ในช่วงกรด โดยมีค่าเฉลี่ย  $4.35 \pm 0.44$  ทำให้การปรับพีเอชให้ลดลงในระหว่างกระบวนการสกัดเพคตินไม่ทำให้ผลผลิตของเพคตินที่ได้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ Kulkarni และคณะ (2010) ทำการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรส โดยใช้พีเอช 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 ในการสกัด ได้ปริมาณผลผลิตเพคตินเท่ากับ 7.48 10.03 14.80 และ 8.86% ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพีเอชลดต่ำกว่า 2 ผลผลิตที่ได้ไม่เพิ่มขึ้น โดยอธิบายว่าพีเอชที่ลดลงอาจทำให้เกิดการย่อยสลายเพคตินบางส่วนไป โดยปกติความร้อนร่วมกับฤทธิ์ของกรดจะทำให้องค์ประกอบภายในผนังเซลล์ละลายออกมา ซึ่งเกิดจากการแตกหักของพันธะไฮโดรเจน (Massiot และคณะ, 1988) แต่การใช้พีเอชต่ำลงเกินไปหรือการเพิ่มอุณหภูมิสูงเกินไปทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่แข็งแกร่งกว่า เช่น พันธะโควาเลนต์ ทำให้มีการย่อยสลายที่สูงขึ้น (Voragen และคณะ, 1995) โครงสร้างของเพคตินประกอบด้วยพันธะไกลโคซิดิกซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์ การใช้พีเอชต่ำหรืออุณหภูมิสูงจึงอาจทำลายโครงสร้างของเพคตินได้ ในการสกัดเพคตินโดยทั่วไปนิยมทำแห้งวัตถุดิบก่อนนำมาสกัดจึงต้องใช้พีเอชต่ำในการสกัดเพื่อช่วยให้เพคตินละลายออกมาได้ดีขึ้น ที่พีเอชต่ำความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนที่มีปริมาณมากในตัวทำละลาย จะไปกระตุ้นการไฮโดรไลซิสของโพรโทเพคตินซึ่งเป็นเพคตินที่ไม่ละลายน้ำให้ละลายออกมา แต่ในงานวิจัยนี้เป็นการสกัดเพคตินจากลูกตาลสุกที่เตรียมตัวอย่างสดซึ่งมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยประมาณ 90% ลูกตาลที่ใช้เป็นผลไม้สุกในระหว่างการสุกเอนไซม์กลุ่มเพคตินเนสจะเปลี่ยนโพรโทเพคตินให้เป็นเพคตินที่ละลายน้ำได้ สภาวะเหมาะสมที่เอนไซม์เพคตินเนสจะสามารถทำงานได้ดีนั้นอยู่ในช่วง pH ประมาณ 4.5 เนื้อตาลสุกที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี pH เฉลี่ยอยู่ที่ 4.35 ซึ่งใกล้เคียงกับช่วงที่เอนไซม์เพคตินเนสทำงานได้ดี จึงสันนิษฐานว่าน่าจะทำให้เพคตินที่อยู่ในเนื้อตาลสุกสามารถละลายออกมาได้ดี ดังนั้นการใช้พีเอชต่ำในการสกัดในกรณีนี้จึงไม่ช่วยเพิ่มผลผลิตของเพคติน

การสกัดเพคตินที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าการสกัดโดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบการสกัดที่อุณหภูมิต่างกัน

พบว่า การสกัดที่อุณหภูมิห้องให้ผลผลิตเพคตินมากกว่าการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สถานะการสกัดที่เหมาะสมเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพของพีชว่าจะยอมให้ตัวทำละลายสามารถซึมผ่านได้ดีเพียงใด (Sylvie และคณะ, 2014) การใช้อุณหภูมิสูงในการสกัดจะช่วยให้เกิดการแพร่ดีขึ้น สารสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น ในงานวิจัยนี้วัตถุดิบที่ใช้มีปริมาณน้ำมากและเพคตินในวัตถุดิบอยู่ในรูปเพคตินที่ละลายน้ำได้อยู่แล้ว การเพิ่มอุณหภูมิสกัดแม้จะทำให้เกิดการละลายดีขึ้น แต่ความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการแตกหักของพันธะโควาเลนต์ และอาจเกิดการย่อยสลายโครงสร้างของเพคตินที่มีอยู่แล้วได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pawadee และคณะ (2014) ซึ่งสกัดเพคตินจากส้มโอที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นน้ำหนักโมเลกุลที่ได้ลดลง อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงเกินไปอาจส่งเสริมการสลายตัวของเพคติน

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบสถานะการสกัดที่มีผลต่อผลผลิตของเพคตินที่ได้ ดังตารางที่ 4.2 จึงได้เลือกการสกัดที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ปรับพีเอช ซึ่งให้ค่าผลผลิตเพคตินสูงที่สุด เท่ากับ 25.96 %W/W ให้เป็นสถานะที่เหมาะสมต่อการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุก และใช้ในการศึกษาคุณสมบัติของเพคตินที่ได้หัวข้อต่อไป

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบสถานะที่ใช้ในการสกัดต่อผลผลิตเพคตินที่ได้

Condition	Yield (%)
RT - Non adjust pH	25.96 <sup>a</sup> ± 1.75
RT - pH 2	19.57 <sup>b</sup> ± 5.71
80 °C - Non adjust pH	13.14 <sup>c</sup> ± 2.16
80 °C - pH 2	16.72 <sup>bc</sup> ± 3.74

หมายเหตุ :<sup>a,b,c...</sup> หมายถึง ตัวอักษรกำกับต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

RT - Non adjust pH คือ เพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ปรับพีเอช

RT - pH 2 คือ เพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิห้องด้วยกรดไฮโดรคลอริก โดยปรับพีเอช

ให้ได้  $2.0 \pm 0.1$

80 °C - Non adjust คือ เพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสโดยไม่ปรับพีเอช  
 80 °C – pH 2 คือ เพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสด้วยกรดไฮโดรคลอริก  
 โดยปรับพีเอชให้ได้  $2.0 \pm 0.1$

### 4.3 ผลของการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเพคติน

จากการทดลองในหัวข้อ 4.2 พบว่าการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) ให้ผลผลิตเพคตินมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) มาวิเคราะห์คุณสมบัติของเพคตินเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม (ภาคผนวก ข) และเปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้า

#### 4.3.1 ปริมาณความชื้นของเพคติน

จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) และการสกัดโดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิม เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่า มีปริมาณความชื้นที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 5.15 และ 4.89 % w/b ตามลำดับ ส่วนเพคตินทางการค้ามีปริมาณความชื้นเท่ากับ 8.84 % w/b ดังตารางที่ 4.3 เพคตินที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 กระบวนการ มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าเพคตินทางการค้า เพคตินจากการสกัดทั้ง 2 กระบวนการมีระยะเวลาในการเก็บรักษาก่อนนำมาวิเคราะห์ที่สั้นกว่า เพคตินที่มีความชื้นต่ำสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเพคตินที่เกิดจากเอนไซม์เพคตินเนส (Muhamadzadeh และคณะ, 2010) ซึ่งปริมาณความชื้นของเพคตินที่ได้จากการสกัดได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุริดา และพูนศิริ (2555) สกัดเพคตินจากจาวตาลมีปริมาณความชื้น 12.13 % w/b และศิวัเทพ และกิตติชัย (2557) สกัดเพคตินจากเปลือกตาลดิบพบปริมาณความชื้นเพคตินอยู่ในช่วง 10.39– 10.49 % w/b เพคตินโดยทั่วไปมีความชื้นประมาณ 10% w/b อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นอาจไม่ขึ้นอยู่กับกระบวนการสกัดโดยตรงแต่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิระยะเวลาในการอบแห้งเพคติน และการเก็บรักษาเป็นสำคัญ ดังนั้นปริมาณความชื้นจึงสามารถควบคุมได้ในระหว่างกระบวนการอบแห้งและการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 ปริมาณเถ้าของเพคติน

จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) และการสกัดโดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิม เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่า มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ปริมาณเถ้าเท่ากับ 9.50 และ 9.52 % w/b ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3 ส่วนเพคตินทางการค้ามีปริมาณเถ้าเท่ากับ 3.43 % w/b ซึ่งมีปริมาณเถ้าที่น้อยกว่าการสกัดทั้ง 2 กระบวนการ ดังตารางที่ 4.3 ปริมาณเถ้าบ่งบอกถึงแร่ธาตุที่เจือปนอยู่ในเพคติน ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าหายาก ปริมาณเถ้าที่ได้จากเพคตินที่สกัดมีค่าสูงกว่าเพคตินทางการค้า อาจเนื่องมาจากมีการเจือปนของสารอื่นที่ไม่ถูกเผาไหม้หรือเผาไหม้ไม่หมดทำให้ได้ปริมาณเถ้าที่สูง อย่างไรก็ตามเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณเถ้าไม่เกินค่ามาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการอาหาร และยาที่กำหนดไว้ มาตรฐานที่สำนักงานคณะกรรมการอาหาร และยา กำหนดไว้ไม่เกิน 10% เพคตินส่วนใหญ่ที่สกัดด้วยวิธีทั่วไปมีปริมาณเถ้าไม่เกิน 10 % เช่นกัน (ชวนิภูษั และคณะ, 2548, ฌรงค์, 2548, สุริดา และพูนศิริ, 2552 และ ศิวะเทพ และกิตติชัย, 2557)

#### 4.3.3 ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (Degree of esterification, DE)

การวัดระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์เพคตินโดยทั่วไป ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันอาจรายงานได้เป็นร้อยละของจำนวนหมู่คาร์บอกซิลที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ หรือ ร้อยละของจำนวนหมู่เมทอกซิลทั้งหมดของเพคติน โดยเพคตินสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ 1) เพคตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl, LM) 2) เพคตินชนิดหมู่เมทอกซิลสูง (High methoxyl, HM) เพคตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ (LMP) จะมี %DE ต่ำกว่า 50% ส่วนใหญ่จะมี DE 20 – 50 % (May, 1997) เพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) และการสกัดโดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิม เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่า ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) มีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันเท่ากับ 33.33 และ 43.39 % ตามลำดับ และเมื่อเทียบเป็นปริมาณเมทอกซิลพบว่ามีค่าเท่ากับ 5.43 และ 7.70 % ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3 อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าทั้ง 2 กระบวนการจะมีความแตกต่างทางสถิติ แต่เพคตินที่สกัดได้จากเนื้อตาลูกทั้ง 2 กระบวนการมีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันน้อยกว่า 50 % หรือปริมาณเมทอกซิลน้อยกว่า 8.16 % จึงจัดอยู่ในกลุ่มของเพคตินหมู่เมทอกซิลต่ำ (Morris และคณะ, 1981) สอดคล้องกับผลการวิจัยของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rungrodnimitchai (2011) ซึ่งสกัดเพคตินจากเนื้อตาลดิบได้เพคตินชนิดที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันอยู่ในช่วง 29.3 – 41.1% สุริศา และพูนศิริ (2555) สกัดเพคตินจากจาวตาลได้ เพคตินที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน 27.90% และ ฉัฐนรี และพรรษา (2558) สกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกได้เพคตินที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันอยู่ในช่วง 40.04 - 42.13% จัดเป็นเพคตินประเภทที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ เช่นเดียวกัน

#### 4.3.4 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกของเพคติน (Galacturonic acid, GA)

เพคตินที่สกัดได้จะมีความบริสุทธิ์ขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดกาแลคทูโรนิก ซึ่งหาได้จากการนำเพคตินไปทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก เพื่อให้ไฮโดรเจนไอออน (H<sup>+</sup>) เข้าไปแทนที่หมู่เมทิลกับไอออนโลหะ ทำให้ได้กรดกาแลคทูโรนิกที่มีแต่หมู่คาร์บอกซิลเป็นองค์ประกอบทั้งหมด นำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายคาร์บาซอลจะได้ สารละลายสีม่วง จากนั้นทำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อหาปริมาณของกรดกาแลคทูโรนิกในเพคติน (Kim และคณะ, 2000) เพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) และเพคตินที่สกัดได้จากวิธีสกัดแบบดั้งเดิมพบว่า ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) โดยมีค่าเท่ากับ 55.08 และ 57.46 % w/w ตามลำดับ ขณะที่เพคตินทางการค้ามีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก 80.79 % เนื่องจากเพคตินทางการค้าเป็นเพคตินที่มีความบริสุทธิ์กว่า อย่างไรก็ตามเพคตินที่ได้จากการสกัดอยู่ในข้อกำหนดมาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ที่กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 35 %

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของเพคตินที่ได้จากกระบวนการสกัดที่ต่างกัน

Property of pectin	Condition		Commercial pectin
	RT - Non adjust pH	Conventional method	
Moisture <sup>ns</sup>	5.15 ± 0.19	4.89 ± 0.86	8.84 ± 0.37
Ash <sup>ns</sup>	9.50 ± 0.87	9.52 ± 0.31	3.43 ± 0.01
DE	33.33 <sup>a</sup> ± 0.80	43.39 <sup>b</sup> ± 0.92	29.10 ± 1.57
Methoxyl	5.43 <sup>a</sup> ± 0.20	7.07 <sup>b</sup> ± 0.15	4.74 ± 0.26
GA <sup>ns</sup>	55.08 ± 3.03	57.46 ± 2.15	80.79 ± 3.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : <sup>a,b...</sup> หมายถึง ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

RT - Non adjust pH หมายถึง เพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช

Conventional method หมายถึง เพคตินจากวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม

Commercial pectin หมายถึง เพคตินทางการค้า

#### 4.3.5 ค่าสีของผงเพคตินที่สกัดได้จากเนื้อตาลูก

ผงเพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) และการสกัดโดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิม เมื่อเปรียบเทียบกันพบว่า ค่าสีต่างๆของผงเพคตินจากทั้ง 2 กระบวนการสกัดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) แต่ค่ายังอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน จากค่า  $L^*$  ที่ได้คือ  $55.97 \pm 0.59$  และ  $50.56 \pm 1.25$  ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าผงเพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) มีค่า  $L^*$  สูงกว่าผงเพคตินจากวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม ผงเพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) จะมีสีที่สว่างหรืออ่อนกว่าผงเพคตินจากวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม เช่นเดียวกับค่า Hue angle ซึ่งคือค่าของเฉดสีที่แสดงว่าค่ามุม(องศา) โดย  $0^\circ =$  สีแดง  $90^\circ =$  สีเหลือง  $180^\circ =$  สีเขียว และ  $270^\circ =$  สีนํ้าเงิน ค่าของผงเพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) และการสกัดโดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิมที่ได้คือ 58.41 และ 54.66 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าค่าจากผงเพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) มีค่าเข้าใกล้  $90^\circ$  หรือ สีเหลืองมากกว่า และในส่วนของค่า Chroma ซึ่งบ่งบอกความเข้มของสีนั้น ค่าของผงเพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) และการสกัดโดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิมที่ได้คือ 25.87 และ 20.92 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าผงเพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) ให้สีที่เข้มกว่า ดังนั้นผงเพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) จะให้ผงเพคตินที่มีสีเหลืองสว่างอมส้มเข้ม ส่วนผงเพคตินจากการสกัดโดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิมจะให้สีเหลืองอมส้มที่คล้ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าสีของเพคตินที่ได้จากกระบวนการสกัดที่ต่างกัน

Color of pectin	Condition		Commercial pectin
	RT - Non adjust pH	Conventional method	
L*	55.97 <sup>a</sup> ± 0.59	50.56 <sup>b</sup> ± 1.25	84.03 ± 0.52
a*	13.55 <sup>a</sup> ± 0.19	12.10 <sup>b</sup> ± 0.16	6.40 ± 0.07
b*	22.04 <sup>a</sup> ± 0.32	17.07 <sup>b</sup> ± 0.28	11.61 ± 0.40
Hue angle	58.41 <sup>a</sup> ± 0.61	54.66 <sup>b</sup> ± 0.38	61.12 ± 0.64
Chroma	25.87 <sup>a</sup> ± 0.25	20.92 <sup>b</sup> ± 0.29	13.26 ± 0.38

หมายเหตุ : a,b... หมายถึง ตัวอักษรกำกับต่างกัน ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

RT - Non adjust pH หมายถึง เพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ปรับพีเอช

Conventional method หมายถึง เพคตินจากวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม

Commercial pectin หมายถึง เพคตินทางการค้า

#### 4.3.6 ความหนืดของเพคติน

เพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) และจากการสกัดโดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิม นำมาวัดความหนืดโดยใช้ความเข้มข้นระดับต่างๆคือ 1, 3, 6 และ 9 % เมื่อนำเพคตินจากทั้ง 2 กระบวนการสกัดมาเปรียบเทียบกับพบว่า ความหนืดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) มีความหนืดมากกว่าเพคตินที่ใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิม โดยการสกัดแบบดั้งเดิมจะใช้อุณหภูมิที่สูงในการสกัดตั้งวิธีการสกัดแผนภาพภาคผนวก ข1 การใช้อุณหภูมิต่ำในการสกัดอาจส่งผลต่อความหนืดของเพคติน ซึ่งมีงานวิจัยของ Kurita และคณะ (2008) สกัดเพคตินจากเปลือกส้ม โดยใช้กรดซิตริก พบว่าการสกัดเพคตินที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ความหนืดของเพคตินลดลง

ความเข้มข้นของเพคตินมีผลต่อความหนืด เพคตินจากกระบวนการสกัดทั้ง 2 กระบวนการนั้นเมื่อความเข้มข้นของเพคตินเพิ่มขึ้นจะให้ความหนืดมากขึ้น โดยเพคตินจากการสกัดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) ที่ความเข้มข้น 1, 3, 6 และ 9 % มีค่าความหนืดเท่ากับ 1.45, 2.60 5.56 และ 11.83 cPs ตามลำดับ ส่วนเพคตินจากการสกัดโดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิมที่ความเข้มข้น 1 3 6 และ 9 % มีค่าความหนืดเท่ากับ 1.43, 1.95, 3.26 และ 7.21 cPs ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guojun และ Chang (1997) สกัดเพคตินจากดอกทานตะวันเมื่อนำมาวัดความหนืดโดยใช้ความเข้มข้น 0.33, 0.67 และ 1 % พบว่าพบว่าความเข้มข้นของเพคตินมีผลต่อความหนืด เมื่อความเข้มข้นของเพคตินเพิ่มขึ้นความหนืดก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้าที่ความเข้มข้น 0.1, 0.3, 0.6 และ 0.9 % ซึ่งทำให้มีค่าความหนืดอยู่ในระดับเดียวกับผลการทดสอบของเพคตินที่สกัดได้ โดยมีค่าความหนืดเท่ากับ 1.94, 3.35, 6.48 และ 10.57 cPs ดังตารางที่ 4.5 เมื่อให้ค่าความหนืดที่ได้ใกล้เคียงกับเพคตินที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 กระบวนการ จะเห็นว่าเพคตินจากกระบวนการสกัดต้องใช้ความเข้มข้นมากกว่าประมาณ 10 เท่า จึงจะให้ค่าความหนืดใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้า ดังนั้นในด้านการนำไปใช้เพื่อเพิ่มความหนืดในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพคตินจากการสกัดทั้ง 2 กระบวนการสามารถนำไปใช้ได้ โดยต้องใช้ปริมาณเพคตินจากสกัดเพิ่มประมาณ 10 เท่าถ้าเทียบกับการใช้เพคตินทางการค้า

จากการวัดความหนืดของเพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) และจากการสกัดโดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิม เมื่อนำค่าที่ได้มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress พบว่าเพคตินที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 กระบวนการ มีพฤติกรรมการไหลแบบ non-Newtonian มีลักษณะการไหลแบบ Pseudoplastic หรือ Shear thinning ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 สารละลายเพคตินที่มีความเข้มข้นมากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์จะมีคุณสมบัติเป็น Pseudoplastic solution (Takahiro และคณะ, 2001) ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress ของของเหลวชนิดนี้ไม่เป็นเส้นตรง ค่าความหนืดจะลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น เกิดจากเมื่ออัตราการเคลื่อนไหวจากภายนอกเพิ่มขึ้นมากกว่าอัตราการก่อตัวของพันธะที่เชื่อมกันระหว่างโมเลกุลเพคติน ความหนาแน่นพันธะที่เชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายลดลงความหนืดจึงลดลง (Morris และคณะ, 1981) ความหนืดลดลงด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นของแรงเฉือนแสดงให้เห็นถึงความอ่อนแอของจุดเชื่อมต่อ (junction zones) ระหว่างเครือข่ายโครงสร้างของโมเลกุลเพคติน (Gan และคณะ, 2010) ผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sylvie และคณะ (2014) สกัดเพคตินจากลูกตาลที่ทำกรอบแห้ง แล้วนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทาง Rheology พบว่าเพคตินจากลูกตาลมีพฤติกรรมการไหลแบบ Shear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

thinning และ Pawadee และคณะ (2014) สกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอ ได้ศึกษาคุณสมบัติทาง Rheology พบว่า ที่ความเข้มข้นเพคตินต่ำกว่า 0.4 % มีพฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian แต่เมื่อความเข้มข้นของเพคตินเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ชัดที่ความเข้มข้น 1 และ 2% พบว่าเพคตินมีพฤติกรรมการไหลแบบ Shear thinning และเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress ของเพคตินทางการค้าก็บ่งบอกถึงพฤติกรรมการไหลแบบ Shear thinning เช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 ค่าความหนืดของเพคตินที่ความเข้มข้นต่างๆ

Concentration of pectin (%)	Viscosity (cPs)		Commercial pectin
	RT - Non adjust pH	Conventional method	
0.1	-	-	1.94 ± 0.19
0.3	-	-	3.35 ± 0.16
0.6	-	-	6.48 ± 0.08
0.9	-	-	10.57 ± 0.86
1.0	1.45 <sup>a</sup> ± 0.05	1.43 <sup>a</sup> ± 0.03	-
3.0	2.60 <sup>a</sup> ± 0.15	1.95 <sup>b</sup> ± 0.10	-
6.0	5.56 <sup>a</sup> ± 0.29	3.26 <sup>b</sup> ± 0.45	-
9.0	11.83 <sup>a</sup> ± 0.25	7.21 <sup>b</sup> ± 1.31	-

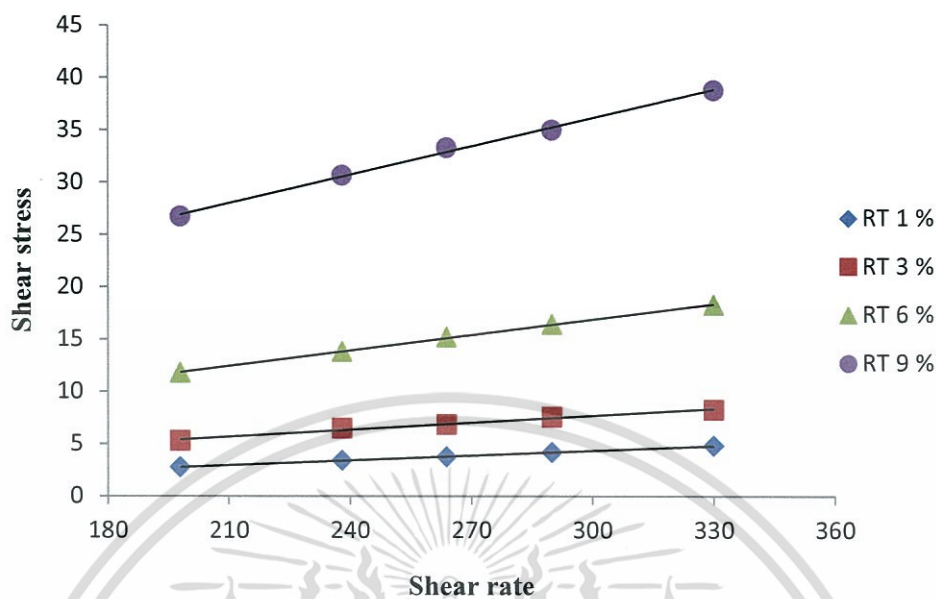
หมายเหตุ : <sup>a,b...</sup> หมายถึง ตัวอักษรกำกับต่างกัน ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

RT - Non adjust pH หมายถึง เพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช

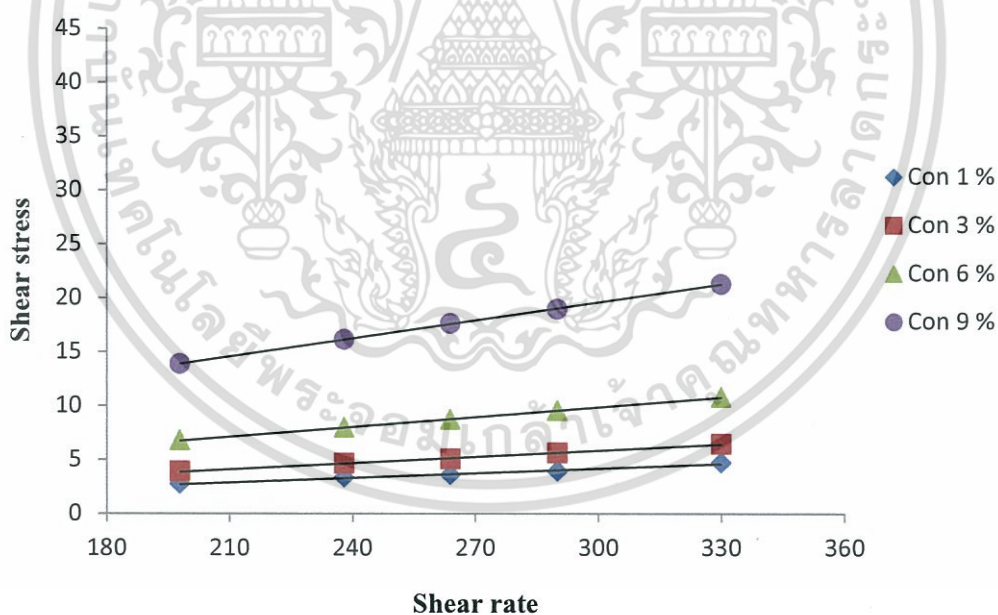
Conventional method หมายถึง เพคตินจากวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม

Commercial pectin หมายถึง เพคตินทางการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

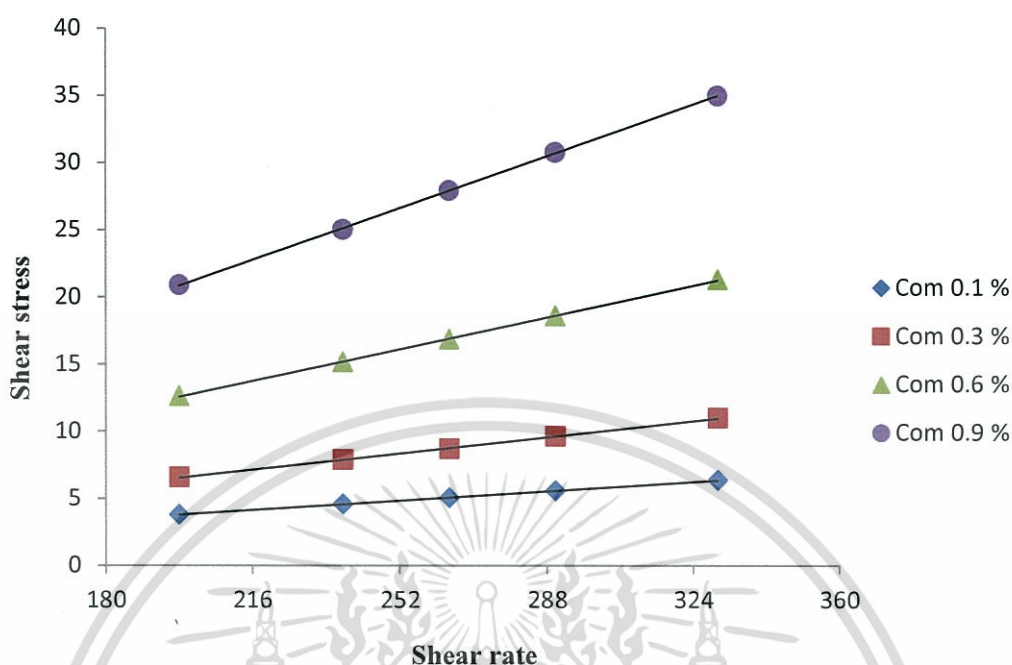


ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress ของเพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH)



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress ของเพคตินที่ได้จากการสกัดที่แบบดั้งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear rate และ Shear stress ของเพคตินทางการค้า

#### 4.3.7 การเกิดเจลของเพคติน



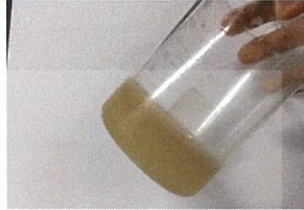


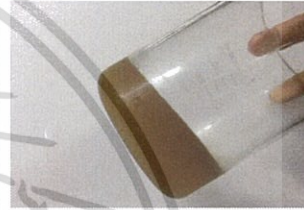
จากการวัดระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (Degree of esterification, DE) ของเพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) และจากการสกัดโดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิม มีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน เท่ากับ 33.33 และ 43.39 % ซึ่งเป็นเพคตินหมู่เมทอกซิลต่ำ มีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันน้อยกว่า 50% เพคตินชนิดนี้จะเกิดเจลได้เมื่อมีไอออนของโลหะมาช่วยในการขึ้นรูปเจล เช่น แคลเซียมไอออน แมกนีเซียมไอออน เป็นต้น (Rolin และ Vries, 1990 และองอาจ, 2553) ในงานวิจัยนี้สามารถขึ้นรูปเจลเพคตินจากกระบวนการสกัดทั้ง 2 กระบวนการ โดยใช้ความเข้มข้นเพคติน 3 % ผสมกับแคลเซียมออกไซด์ (6.67 % w/v) 2 มิลลิลิตร ดังตารางที่ 4.6 โครงสร้างเจลเพคตินเกิดขึ้นจากแคลเซียมไอออนเข้าไปจับกับหมู่คาร์บอกซิลิกระหว่างกลุ่มของเพคตินทำให้เกิดโครงสร้างที่เรียกว่า egg box ขึ้นมา (Axelos & Thibault, 1991) เมื่อนำเจลที่ได้ไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัส นำไปวัดลักษณะเนื้อสัมผัสเจล พบว่าค่าความแข็งแรงเจลเพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) มีค่าเท่ากับ 0.30 N และเพคตินจากการสกัดโดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิมมีค่าเท่ากับ 0.21 N เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันความแข็งแรงเจลทั้ง 2 กระบวนการสกัดมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ถ้าความแข็งแรงของเจลมีค่าเท่ากับเพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) จะใช้ปริมาณความเข้มข้นในการขึ้นรูปเจลด้อยกว่า และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้า พบว่าต้องใช้เพคตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) เพิ่มขึ้น 9.52 เท่าของเพคตินทางการค้า จึงจะได้ความแข็งแรงเจลใกล้เคียงกัน ส่วนเพคตินจากการสกัดโดยใช้วิธีการสกัดแบบดั้งเดิมต้องใช้ความเข้มข้นเพคตินเพิ่มขึ้น 11.41 เท่าของเพคตินทางการค้า (วิธีการคำนวณดังภาคผนวก ก หัวข้อ 9) จึงจะได้ความแข็งแรงเจลใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ บุษยมาศ และปัทมา (2558) ทำการศึกษาอิทธิพลของเกลือแคลเซียมต่อค่าความแข็งแรงเจลของวุ้นตาล โดยใช้แคลเซียม 3 ชนิด คือ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต แคลเซียมแลคเตท และแคลเซียมคลอไรด์ กับน้ำคั้นจากเนื้อตาลสุก พบว่าน้ำคั้นจากเนื้อตาลสุกไม่เกิดเป็นเจลกับแคลเซียมทั้ง 3 ชนิด แต่สามารถเกิดเจลเมื่อใช้สารละลายแคลเซียมออกไซด์ (อัตราส่วนของแคลเซียมออกไซด์ต่อน้ำคั้น เท่ากับ (6.67 % w/v) ที่ความเข้มข้นแคลเซียมออกไซด์ 2 และ 4 มิลลิลิตร ให้ค่าความแข็งแรงเจลดีที่สุด จุดเชื่อมต่อ (junction zones) ในโครงสร้างเจลของเพคตินชนิดหมู่มะทอกซิลต่ำเป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างแคลเซียม ไอออนและกลุ่มคาร์บอกซิลิกของเพคติน (Axelos และ Thibault, 1991) และเนื่องจากเพคตินหมู่มะทอกซิลต่ำไม่จำเป็นต้องใช้น้ำตาลในการขึ้นรูปเจลทำให้มีการนำเพคตินดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในอาหารแคลลอรี่ต่ำและอาหารเพื่อสุขภาพ (May, 1990) ดังนั้นเพคตินที่ได้จากการสกัดทั้ง 2 กระบวนการสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้เกิดเจลได้ โดยใช้ความเข้มข้นของเพคตินที่ใส่ลงไป ในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นประมาณ 9-11 เท่าเมื่อเทียบกับการใช้เพคตินทางการค้า และผลิตภัณฑ์นั้นต้องมีการเติมแคลเซียมที่เพียงพอต่อการขึ้นรูปเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การขึ้นรูปเจลเพคตินที่ความเข้มข้นต่างๆ

Condition	Concentration of pectin		
	1%	2%	3%
RT - Non adjust pH			
Conventional method			

หมายเหตุ : RT - Non adjust pH หมายถึง เพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช

Conventional method หมายถึง เพคตินจากวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 จากการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกด้วยน้ำ โดยทำการสกัดด้วยน้ำในอัตราส่วนที่ต่างกันอย่าง 5 อัตราส่วน ได้แก่ 1:3, 1:5, 1:7, 1:9 และ 1:11 โดยปริมาตร (อัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำ) พบว่าอัตราส่วนน้ำไม่มี ผลต่อผลผลิตเพคตินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนที่ใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุด คือ 1:3 w/v เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนการสกัดและประหยัดพลังงาน จากนั้นนำอัตราส่วนน้ำที่เลือกได้มาทำ การสกัดในขั้นตอนต่อไป คือการสกัดเพคตินด้วยพีเอชและอุณหภูมิที่ต่างกันอย่าง แยกออกได้เป็น 4 สถานะการ สกัดคือ การที่สกัดอุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) การสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยปรับพีเอชให้ได้  $2.0 \pm 0.1$  (RT - pH 2) การสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสโดยไม่ปรับพีเอช ( $80^\circ\text{C}$ ) และการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสโดยปรับพีเอชให้ได้  $2.0 \pm 0.1$  ( $80^\circ\text{C}$  - pH 2) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 4 สถานะ การสกัดเพคตินที่ อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) ให้ผลผลิตเพคตินสูงที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เมื่อ เปรียบเทียบที่อุณหภูมิการสกัดที่ต่างกัน พบว่าการสกัดที่อุณหภูมิห้องให้ผลผลิตเพคตินที่มากกว่าการสกัดที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงทำการเลือก การสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) เนื่องจากให้ผลผลิต เพคตินมากที่สุดมาวิเคราะห์คุณสมบัติเพคตินเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม

5.1.2 จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของเพคตินของการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม พบว่า มีปริมาณความชื้น เท่ากับ 5.15 และ 4.89 % w/b ตามลำดับ ปริมาณเถ้าเท่ากับ 9.50 และ 9.52 % w/b ตามลำดับ มีปริมาณกรด กาแลคทูโรนิก 55.08 และ 57.46 % w/w ตามลำดับ ซึ่งคุณสมบัติที่กล่าวมาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ( $P > 0.05$ ) ทั้ง 2 กระบวนการสกัดมีปริมาณเถ้า และกรดกาแลคทูโรนิก อยู่ในมาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (Degree of esterification, DE) มีค่าเท่ากับ 33.33 และ 43.39 % ตามลำดับ ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) แต่ยังคงอยู่ในกลุ่ม ของเพคตินหมู่มะทอกซิลต่ำมีระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันน้อยกว่า 50% (Morris และ คณะ, 1981) ค่าสีต่างๆของเพคตินที่วัดได้พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ผงเพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) จะให้เจดสีเหลืองอมส้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อ่อนกว่า ค่าความหนืดของเพคตินเมื่อความเข้มข้นของเพคตินมากขึ้นพบว่าเพคตินจากระบวนการสกัดทั้ง 2 กระบวนการมีความหนืดความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) มีความหนืดมากกว่า แต่เพคตินจากทั้ง 2 กระบวนการสกัด มีพฤติกรรมการไหลเหมือนกันคือแบบ Shear thinning และเมื่อเปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้าพบว่าต้องใช้เพคตินจากการสกัดเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่า จึงจะให้ความหนืดใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้า และพบว่าเพคตินจากการสกัด ทั้ง 2 กระบวนการสามารถขึ้นรูปเจล ได้ที่ความเข้มข้นเพคติน 3% โดยเติมแคลเซียมออกไซด์ (6.67 % w/v) 2 มิลลิลิตร เพคตินจากทั้ง 2 กระบวนการให้ค่าความแข็งแรงเจลความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) เพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) ให้เจลที่แข็งแรงกว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้าพบว่าต้องใช้ความเข้มข้นเพคตินจากการสกัดเพิ่มขึ้นประมาณ 9-11 เท่า จึงจะให้ค่าความแข็งแรงเจลใกล้เคียงกัน

5.1.3 จากการวิจัยนี้สรุปได้ว่าสามารถสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกด้วยน้ำ โดยไม่ปรับพีเอชในการสกัดที่อุณหภูมิห้องได้ เพราะเมื่อผลไม้มสุกเอนไซม์เพคตินเนสจะไฮโดรไลซ์โปรตีนเพคตินที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นเพคตินที่ละลายน้ำได้ (นิธิยา, 2545) และอุณหภูมิไม่มีผลต่อผลผลิตเพคตินที่สกัดได้จากเนื้อตาลสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์แบบดั้งเดิมที่มีการปรับพีเอชให้ได้  $2.0 \pm 0.1$  ด้วยกรดไฮโดรคลอริก และใช้อุณหภูมิในการสกัด 80 องศาเซลเซียส พบว่าคุณสมบัติเพคตินส่วนใหญ่ที่สกัดจากเพคตินจากการสกัดที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ปรับพีเอช (RT - Non adjust pH) ให้ผลไม่แตกต่างหรือดีกว่าเพคตินจากการสกัดแบบดั้งเดิม จึงสามารถเลือกใช้การสกัดเพคตินด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ปรับพีเอช เป็นการลดพลังงาน สารเคมี และค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการสกัด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกด้วยน้ำ โดยไม่ปรับพีเอชที่อุณหภูมิห้องเป็นวิธีการสกัดที่รวดเร็วและสะดวกมากยิ่งขึ้น เนื่องจากมีการลดขั้นตอนในการปรับกรด ลดพลังงานในการใช้อุณหภูมิสูงในการสกัด ทั้งยังให้ผลผลิตเพคตินในปริมาณที่มากกว่าการสกัดแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ รวมถึงให้คุณสมบัติบางประการที่ดีกว่า เช่น ความหนืด การขึ้นรูปเจล จึงมีความเหมาะสมในการใช้เป็นสภาวะในการสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุก โดยให้ผลผลิตเพคตินสูงสุดอยู่ที่ 25.96 % แต่ยังมีในบางขั้นตอนที่ยังต้องใช้สารเคมีในการสกัด เช่น การปรับพีเอชให้ได้  $7.0 \pm 0.1$  ก่อนการตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงอาจมีการทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปว่าถ้าไม่ปรับพีเอชในขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ผลผลิตเพคตินเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ทั้งนี้เพื่อต้องการให้เป็นการที่ใช้สารเคมีในการสกัดน้อยที่สุด และเพื่อให้วิธีที่ได้ง่ายต่อการนำไปสกัดในตัวเอง เนื่องจากผลผลิตเพคตินจากเนื้อตาลสุกที่ได้ยังไม่มากพอที่จะนำเนื้อตาลสุกไปใช้ทดแทนวัตถุดิบที่สกัดเพคตินในระดับอุตสาหกรรม

5.2.2 ในงานวิจัยนี้เป็นการสกัดเพคตินจากลูกตาลสุกที่เตรียมตัวอย่างสดซึ่งมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยมากอยู่มีปริมาณน้ำที่เพคตินจะละลายออกมาอยู่แล้ว อีกทั้งยังเป็นผลไม้สุกที่มีเอนไซม์เพคตินเนสช่วยย่อยเพคตินที่ไม่ละลายน้ำให้สามารถละลายออกมาได้ และวัตถุดิบที่ใช้งานวิจัยนี้ทำการยีสต์แล้วนำมาสกัดเพคตินเลย ไม่ได้ผ่านกระบวนการอบแห้งวัตถุดิบก่อนเหมือนงานวิจัยอื่น วิธีสกัดที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ปรับพีเอชนั้นอาจเป็นวิธีที่เหมาะสมกับวัตถุดิบที่มีความสุก มีความชื้นสูง และไม่ผ่านกระบวนการอบแห้งก่อนสกัด การนำสภาวะที่แนะนำในงานวิจัยนี้ไปใช้ควรพิจารณาเกี่ยวกับวัตถุดิบที่จะทำการสกัดด้วย

5.2.3 จากงานวิจัยพบว่าเอนไซม์เพคตินเนสเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้การสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกไม่จำเป็นต้องใช้การปรับพีเอชหรืออุณหภูมิสูงในการสกัด เพราะเพคตินอยู่ในรูปที่ละลายน้ำออกมาอยู่แล้ว จึงมีความน่าสนใจเกี่ยวกับการทำงานของเอนไซม์เพคตินเนส ควรมีการศึกษาศึกษาต่อเกี่ยวกับความเกี่ยวข้องของการสกัดเพคตินกับการทำงานของเอนไซม์เพคตินเนส

5.2.4 จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของเพคติน พบว่าปริมาณเถ้าที่วิเคราะห์ได้ของเพคตินจากการสกัดทั้ง 2 กระบวนการมีปริมาณสูงกว่าเพคตินทางการค้าอยู่มาก ซึ่งควรมีการศึกษาต่อเกี่ยวกับองค์ประกอบแร่ธาตุที่อยู่ในเพคตินว่าเพคตินที่ได้ปริมาณเถ้าสูงนั้นเกิดจากสารอื่นที่เจือปนทำให้เผาไหม้ไม่หมด หรือมาจากแร่ธาตุที่อยู่ในองค์ประกอบเพคตินเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบสุกที่ทำการยีสต์ อาจทำให้มีแร่ธาตุอื่นๆเป็นองค์ประกอบอยู่มากกว่าเพคตินทางการค้า

5.2.5 จากผลการวิเคราะห์ค่าสีของเพคตินที่ได้จากการสกัด พบว่าเพคตินจากเนื้อตาลสุกจะให้สีในโทนเหลืองอมส้มซึ่งเมื่อเทียบกับเพคตินทางการค้าจะเห็นได้ชัดว่าเพคตินทางการค้าจะให้สีเหลืองสว่างไปทางขาวทำให้เมื่อนำไปใช้สีที่ได้จะไม่ค่อยรบกวนผลิตภัณฑ์มากนัก แต่สีของเพคตินจากการสกัดอาจไปรบกวนในผลิตภัณฑ์มากกว่า จึงควรมีการกำจัดสีก่อนกระบวนการสกัดหรือในระหว่างกระบวนการสกัดเพื่อเป็นการลดสีของผงเพคตินที่ได้ออกมา สีเหลืองของเนื้อตาลสุกนั้นมาจากสารพวกแคโรทีนอยด์อาจนำมาทำการสกัดแคโรทีนอยด์ออกก่อน เช่น ทำการล้างผ่านตะกอนด้วยเอธิลแอลกอฮอล์หลายครั้ง ทำการแช่เนื้อตาลสุกในเฮกเซน เป็นต้น เพราะแคโรทีนอยด์เป็นสารประเภทไขมันจะสามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่ไม่ขี้ว ทั้งนี้ควรมีการศึกษาต่อไปเกี่ยวกับวิธีที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีออกจากเพคตินโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติหรือปริมาณเพคตินที่ได้มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.6 จากการวิเคราะห์คุณสมบัติเพคตินด้านความหนืดของเพคตินพบว่าเพคตินจากการสกัด ทั้ง 2 กระบวนการสามารถใช้เป็นสารให้ความหนืดได้ เมื่อใช้ความเข้มข้นเพคตินมากขึ้นจะให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่การนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ต้องใช้ในปริมาณความเข้มข้นที่มากขึ้นประมาณ 10 เท่า จึงจะให้ความหนืดใกล้เคียงกับการใช้เพคตินทางการค้า

5.2.7 เพคตินจากการสกัดทั้ง 2 กระบวนการสามารถขึ้นรูปเจลได้เมื่อใช้ความเข้มข้น 3 % ผสมกับแคลเซียมออกไซด์ (6.67 % w/v) 2 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นคุณสมบัติการเกิดเจลของเพคตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ เนื่องจากการขึ้นรูปดังกล่าวไม่จำเป็นต้องใช้น้ำตาลเป็นส่วนประกอบจึงสามารถนำเพคตินที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้กับอาหารเพื่อสุขภาพหรืออาหารที่ต้องการแคลอรีต่ำได้ แต่ต้องใช้เพคตินจากการสกัดในปริมาณที่เพิ่มขึ้นประมาณ 9-11 เท่าเมื่อเทียบกับการใช้เพคตินทางการค้า นอกจากนี้เพคตินจากเนื้อตาลสุกที่ทำการยีสต์เมื่อเติมแคลเซียมออกไซด์ลงไปก็สามารถขึ้นรูปเจลเป็นวุ้นตาลพร้อมรับประทานได้เช่นเดียวกัน แต่จากงานวิจัยมีการสกัดเพคตินออกมาแล้วนำมาอบแห้งเพื่อเป็นการเก็บรักษาเพื่อนำไปใช้งานต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

กนกพร สังขรัทษ์ และเจนจิรา โตะแบ. 2552. “เพคตินจากเศษผักกาดขาวและการประยุกต์ใช้”. หน้า 233-234. ใน. การประชุมวิชาการและแสดงผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 19. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ.

กิตติพงษ์ ห่วงรัทษ์. 2536. ผักและผลไม้. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชวณิชู สัทธิตถิ์ ภัคตน์พิลาณี ไวกนอมสตัย จิราพร เชื้อกุล และปริศนา สิริอาษา. 2548. “การผลิตเพคตินจากเปลือกและกากส้มเหลืองทิ้ง”. หน้า 469-480. ใน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชินานาฏ สัทธิตถิ์ภัคตน์ และสมัชชัญ ทวีเกษมสมบัติ. 2555. “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากวัสดุทางการเกษตร”. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

ณัฐนรี ไยเทศ และพรธมา เศษบุบผา. 2558. “การสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกด้วยน้ำโดยไม่ปรับพีเอช”. ปัญหาพิเศษหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ณรงค์ ศิริรัมย์. 2548. “การสกัดและสมบัติของเพคตินจากกากฝรั่งพันธุ์กลมสาเลี”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บุษยมาศ นันธิวิสุทธี และ ปัทมา แซ่ซึ้ง. 2558. “ปริมาณและชนิดของเกลือแคลเซียมและแคลเซียมออกไซด์ต่อ การเกิดเจลของน้ำตาลตาลสุกและการพัฒนาผลิตภัณฑ์วุ้นตาล”. ปัญหาพิเศษหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปาริฉัตร หยวกแฝง, นฤมล เพ็อกขาว และ อรนาถ สุนทรวัฒน์. 2550. “การหา degree of methyl esterification ของเพคตินจากเปลือกแก้วมังกร”. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 38:5 (พิเศษ) : 55-58

พันธุ์เลิศ พรหมสาขา ณ สกลนคร อนุวัตร แจ้งชัด และกมลวรรณ แจ้งชัด. 2554. “การพัฒนากระบวนการผลิตเพคตินจากใบเครือหมาน้อย”. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พวงทอง ใจสันดี, จิตรา กลิ่นหอม และอัจฉรา เทียมภักดี. (2541). การทดสอบการใช้เพกทินที่สกัดได้จากเปลือกเสาวรสในการผลิตแยม. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิริยา รัตนานพนธ์. 2545. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ

มนัสนันท์ บุญทราพงษ์, กมลวรรณ แจ่มชัด อนุวัตร แจ่มชัด และ วิชัย หฤทัยธนาสันดี. 2544.

“การศึกษาคุณภาพของเนื้อตาลสุกและขนมตาลที่ผลิตจากเนื้อตาลสุกผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรเซชัน”. หน้า 425-433. ใน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัชฎาพร ราชชุมพล และ อธิชา รัตนพิทยาภรณ์. 2557. “การสกัดและศึกษาคุณสมบัติของเพกตินจากเปลือกทุเรียน”. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.

วัลภา ยาประโคน และ กิตติชัย บรรจง. 2557. “คุณลักษณะด้านความหนืดของเพกตินที่สกัดจากเปลือกตาลดิบ”. หน้า 334-339. ใน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิวะเทพ เรืองพรหม และกิตติชัย บรรจง. 2557. “การเปรียบเทียบคุณลักษณะและผลผลิตของเพกตินจากเปลือกตาลดิบที่ใช้แอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนเอซิลแอลกอฮอล์ 95% ในขั้นตอนการตกตะกอน และการล้าง”. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 32(1) : 50-58.

สมฤทัย จิตภักดีสินินทร์ และอมรราวดี จางวาง. 2552. “เปกตินจากมะนาวต่อความอ้วน”. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 12(3) : 181-191.

สุธิดา ทองคำ. 2552. “การสกัดเพกตินจากจาวตาลและเมล็ดตาลอ่อน”. วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. 8(1) : 45-51.

สุธิดา ทองคำ และ พูนศิริ ทิพย์เนตร. 2555. “การสกัดเพกตินจากจาวตาล”. วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. 9(1) : 3-11.

องอาจ เด็ดดวง. 2553. “การเปรียบเทียบเพกตินสกัดจากฝรั่งสามชนิดกับเพกตินมาตรฐาน”. สารนิพนธ์ กศ.ม. (เคมี). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

Axelos, M. A. V., and Thibault, J. F. 1991. The chemistry of low-methoxyl pectin gelation. **The chemistry and technology of pectin.** 109-118.

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemists.** 17th Volume I. Gaithersburg, MD, USA, Official Method 978.08.

Emrah Kirtil, Mecit H. Oztop, Arpassorn Sirijariyawat, Panita Ngamchuachit, Diane M. Barrett b, and Michael J. McCarthy. (2014). “Effect of pectin methyl esterase (PME) and CaCl<sub>2</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- infusion on the cell integrity of fresh-cut and frozen-thawed mangoes: An NMR relaxometry study". **Food Research International**. 66 : 409-416.
- Gan, C.-Y., Abdul Manaf, N. H., and Latiff, A. A. 2010. "Physico-chemical properties of alcohol precipitate pectin-like polysaccharides from *Parkia speciosa* pod". **Food Hydrocolloids**. 24(5) : 471-478.
- Gholamreza, M., J. Jamaliana. and F. Asgar. 2005. "A comparative study on functional properties of beet and citrus pectins in food systems". **Food Hydrocolloids**. 731-738.
- Guojun, Li, and K. C. Chang. 1997. "Viscosity and gelling characteristics of sunflower pectin as affected by chemical and physical factors". **Journal of agricultural and food chemistry** 45(12) : 4785-4789.
- Kharidah Muhammad, Nur Izalin Mohd. Zahari, Sri Puvanesvari Gannasin, Noranizan Mohd. Adzahan and Jamilah Bakar. 2014. "High methoxyl pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel". **Food Hydrocolloids**. 2014:1-9.
- Kim, D. H., Kim, D. G., Lee, D. Y., Kim, K. E. and Kim, C. W. (2000). "Physicochemical characterization of pectin extracted from cheju mandarin (*Citrus unshiu*) peels with citric acid". **Food Science and Biotechnology**. 9(2) : 95-98.
- Kulkarni, S. G.; and Vijayanand, P. 2010. "Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa L.*)". **LWT-Food Science and Technology**. 43(7) : 1026-1031.
- Kurita Osamu, Takayuki Fujiwara and Eiji Yamazaki. (2008). "Characterization of the pectin extracted from citrus peel in the presence of citric acid". **Carbohydrate polymers**. 74(3) : 725-730.
- Massiot, P., Rouau, X. and Thibault, J. F. 1988. "Isolation and characterisation of the cell-wall fibres of carrot". **Carbohydrate research**. 172(2) : 217-227.
- May, C. D. 1990. "Industrial pectins: sources, production and applications". **Carbohydrate polymers**. 12(1) : 79-99.
- May, C.D. 1997. **Pectina In : Thickening and Gelling Agents for Food**. Ed. Lmeson. A. Chapman&hall, Nex York. 230-261.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Maazullah Khan, Nizakat Bibi and Aurang Zeb. 2015. "Optimization of Process Conditions for Pectin Extraction from Citrus Peel". *Science, Technology and Development*. 34: 9-15
- Michel, F. Doublier, J.L. and Thibault, J.F. 1982. "Investigation on High Methoxyl Pectins Potentiometry and viscometry". *Prog. Food Nutr. Sci.* 6 : 367.
- Morris, E. R., Cutler, A. N., Ross-Murphy, S. B., Rees, D. A., and Price, J. 1981. "Concentration and shear rate dependence of viscosity in random coil polysaccharide solutions". *Carbohydrate Polymers*. 1 : 5-21.
- Muhamadzadeh, J., Sadegi-Mahoonak A.R., Yaghbani, M. and Alami, M. 2010. "Extraction of pectin from Sunflower Head Residues of Selected Iranian Cultivars". *Word Applied Science Journal*. 8 : 21-24.
- Nussinovitch, A. 1997. **Pectins. In: Hydrocolloid Applications**. Chapman & Hall, New York. 83-104.
- Ranganna Shamanna. 1977. **Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Product 2nd ed.** Newdelhi : Tata McGraw Hill Publishing Co.
- Pawadee Methacanon, Jaruwan Krongsin, Chaiwit Gamonpilas. 2014. "Pomelo (*Citrus maxima*) pectin: Effects of extraction parameters and its properties". *Food Hydrocolloids*. 35: 383-391
- Pornpen Yujaroen, Udomsri Supjaroenkul and Supitcha Rungrodnimitchai. 2008. "Extraction of Pectin from Sugar Palm Meat". *Thammasat Int. J. Sc. Tech.*, Vol.13 Special Edition, November 2008 Pathum Thani.
- Rolin, C. and De. Vries, J.D. 1990. **Pectin, in Food Gels**. ed. Harris P., Elsevier Applied Science, London. 401-434.
- Rungrodnimitchai S. 2011. "Novel source of pectin from young sugar palm by microwave assisted extraction". *Procedia Food Science*. (1) : 1553-1559.
- Sylvie Assoi, Koffi Konan, Lloyd T. Walker, Ron Holser, Georges N. Agbo, Hortense Dodo, and Louise Wicker. 2014. "Functionality and yield of pectin extracted from Palmyra palm (*Borassus aethiopum* Mart) fruit". *LWT - Food Science and Technology*. 58 : 214-221.

Takahiro, K., G. Tragardh. and C. Tragardh. 2001. "The formation of oil droplets in a pectin solution and the viscosity of the oil-in-pectin solution emulsion". **Journal of Food Engineering**. 50 : 247-254.

Voragen, A. G. J.; Pilnik, W.; Thibault, J-F.; Axelos, M. A.; and Renard, C. M. G. C. 1995. **Pectins. In A. M. Stephen (Ed.).** Food polysaccharides and their applications. New York: Marcel Dekker. 287-340.

Whister, R. L., and BeMiller, J. N. 1973. **Industrial gums e polysaccharides and their derivatives.** New York: Elsevier.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



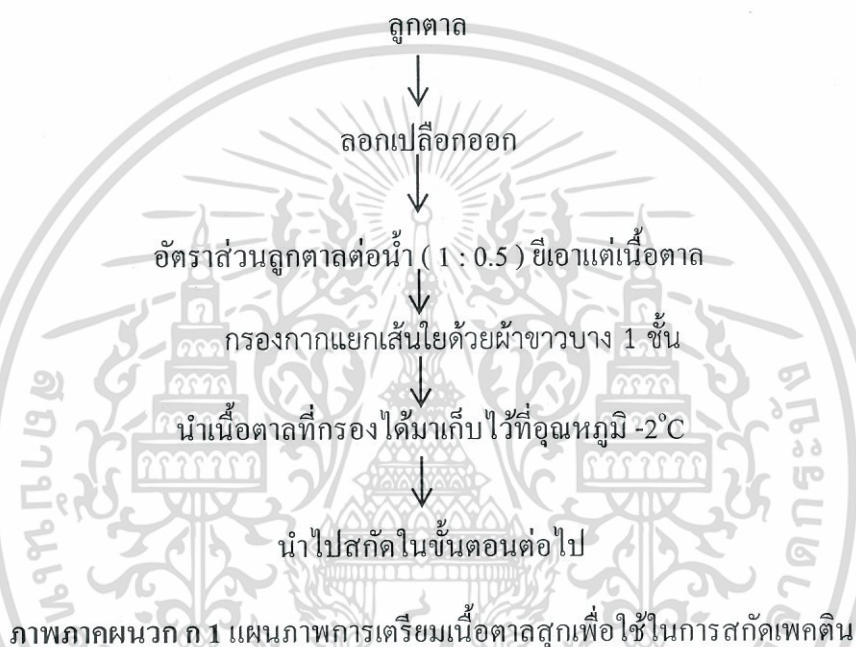
ภาคผนวก ก  
วิธีเตรียมวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### วิธีเตรียมวัตถุดิบ

#### ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ



#### การวิเคราะห์วัตถุดิบ

โดยใช้ตู้อบลมร้อน โดยมีวิธีวิเคราะห์ดังนี้ (AOAC, 2000)

1. อบด้วยอุณหภูมิเนียม ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งน้ำหนักเปียกของเนื้อตาลสด 5 กรัม ใส่ในถ้วยอลูมิเนียม อบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 - 3 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่
3. นำออกจากตู้อบทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
4. คำนวณหาความชื้น เพื่อหาน้ำหนักแห้งวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%wb)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

$$\text{น้ำหนักแห้งวัตถุดิบ} = \text{น้ำหนักเปียกวัตถุดิบ} - \frac{\text{ตัวอย่าง (\%wb)}}{100} \times \text{น้ำหนักเปียกวัตถุดิบ}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{น้ำหนักเปียกวัตถุดิบ} = 5.1125 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักวัตถุดิบหลังอบ} = 0.3965 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณความชื้น (\%wb)} &= \frac{5.1125 - 0.3965}{5.1125} \times 100 \\ &= 92\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักแห้งวัตถุดิบ} &= 5.1125 - \frac{92}{100} \times 5.1125 \\ &= 0.409 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### วิธีการสกัด

#### 1. วิธีการสกัดเพคตินแบบดั้งเดิม

การสกัดเพคตินจากเนื้อตาลสุกนี้ ดัดแปลงจากรายงานวิจัยหลายฉบับ (สุธิดา และพูนศิริ (2555), ธานีวัฒน์ และคณะ (2556) และ Rungrodnimitchai (2011))

ชั่งน้ำหนักเปียกของวัตถุดิบจากหัวข้อ 3.2.1 ปริมาณ 150 มิลลิกรัม คำนวมน้ำหนักแห้ง ปรับพีเอชให้ได้  $2.0 \pm 0.1$  ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์

↓  
เติมน้ำกลั่นในสัดส่วน 1: 3w/v

↓  
นำไปสกัดอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

↓  
กรองผ่านผ้าขาวบาง 1 ชั้น

↓  
นำสารละลายที่กรองได้ไปปรับพีเอชให้เป็น  $7.0 \pm 0.1$  ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์

↓  
ระเหยให้ลดลงประมาณ 1 เท่าตัว ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มความเข้มข้น

↓  
ตกตะกอนโดยเติมเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 1:1

↓  
เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 1 คืน

↓  
กรองแยกตะกอนออกด้วยผ้าขาวบาง 2 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล้างผ่านตะกอนเพคตินด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 จำนวน 3 ครั้ง



อบแห้งตะกอนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 18 ชั่วโมง

ภาพภาคผนวก ข 1 แผนภาพวิธีการสกัดเพคตินแบบดั้งเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณสมบัติของเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## การวิเคราะห์คุณสมบัติของเพคติน

## 1. ปริมาณผลผลิตเพคตินที่ได้ (%Yield)

$$\text{ปริมาณผลผลิตเพคตินที่ได้ (\%Yield)} = \frac{\text{น้ำหนักเพคตินจากเนื้อตาลสุกที่ผลิตได้}}{\text{น้ำหนักแห้งวัตถุดิบ}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{น้ำหนักเพคตินที่สกัดได้} = 0.9224$$

$$\text{น้ำหนักแห้งวัตถุดิบ} = 12$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณผลผลิตเพคตินที่ได้ (\%Yield)} &= \frac{0.9224}{12} \times 100 \\ &= 7.69\% \end{aligned}$$

## 2. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

วิธีวิเคราะห์

1. นำ Aluminium can ออบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$  จนน้ำหนักคงที่
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ด้วยตาชั่งละเอียดใส่ใน Aluminium can
3. นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ  $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2 – 3 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่
4. ปิดฝาและทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator)
5. ชั่งน้ำหนัก
6. คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

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

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} = 2.2288 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ} = 1.9513 \text{ กรัม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นในตัวอย่าง} &= \frac{2.2288 - 1.9513}{2.2288} \times 100 \\ &= 12.45 \% \end{aligned}$$

### 3. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของเพคติน (AOAC, 2000)

#### วิเคราะห์

1. เผาถ้วยกระเบื้อง (crucible) ที่แห้งและสะอาดในเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) ชั่งน้ำหนักละเอียด บันทึกน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างที่บดแล้วประมาณ 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้อง (crucible)
3. เผาตัวอย่างบน hot plate (ทำในตู้ดูดควัน) จนกระทั่งหมดควัน
4. นำไปเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 3-4 ชั่วโมง จนกระทั่งตัวอย่าง กลายเป็นเถ้าสีขาว
5. คีบถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) แล้วชั่งน้ำหนัก ถ้วยกระเบื้อง
6. คำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้าจากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้าในตัวอย่าง} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้องหลังเผาตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์}} \times 100$$

#### ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง} = 35.0386 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักหลังเผาตัวอย่าง} = 35.3474 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักตัวอย่าง} = 3.0212 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์เถ้าในตัวอย่าง} &= \frac{35.3474 - 35.0386}{3.0212} \times 100 \\ &= 10.22 \% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การวิเคราะห์ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน, DE (Rangana, 1997)

##### วิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักเพคตินผงใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 3 ขวด ขวดละ 0.5 กรัม
2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ลงในขวดรูปชมพู่ ขวดละ 2 มิลลิลิตร
3. ละลายด้วยน้ำที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ ขวดละ 100 มิลลิลิตร
4. คนให้เข้ากัน แล้วหยดฟีนอล์ฟทาเลอินลงในขวดรูปชมพู่ ขวดละ 5 หยด
5. นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นปริมาตรที่ 1
6. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเขย่าแรงๆ ทิ้งไว้ 15 นาที
7. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเขย่าจนสีชมพูจางหายไป
8. เติมฟีนอล์ฟทาเลอิน 5 หยด นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์จนสีชมพูเริ่มปรากฏ แล้วบันทึกผลปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นปริมาตรที่ 2
9. คำนวณหาร้อยละของ Degree of Esterification (%DE) จากสูตรด้านล่างนี้

$$\%DE = \left( \frac{\text{NaOH volume 2}}{\text{NaOH volume 1.} + \text{NaOH volume 2.}} \right) \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned} \%DE &= \frac{0.4 \times 100}{0.6 + 0.4} \\ &= 40\% \end{aligned}$$

ดังนั้น ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันของเพคตินเท่ากับ 40

หมายเหตุ : NaOH volume 1 คือ ปริมาตรที่ไทเทรตด้วยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ครั้งที่ 1

NaOH volume 2 คือ ปริมาตรที่ไทเทรตด้วยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. การหาปริมาณเมทอกซิล

นำค่า %DE ที่ได้ไปหาปริมาณเมทอกซิลโดยใช้ตารางภาคผนวก ค 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of Esterification (DE) กับปริมาณเมทอกซิลในพอลิเมอร์ ด้านล่างนี้

ตารางภาคผนวก ค 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of Esterification (DE) กับปริมาณเมทอกซิลในพอลิเมอร์

DE (%)	Methoxyl (%)
0	0.00
10	1.63
20	3.26
30	4.90
40	6.53
50	8.16
60	9.76
70	11.42
80	13.06
90	14.69
100	16.32

ที่มา : พวงทอง และคณะ (2541)

## 6. วิเคราะห์หาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (Rangana, 1997)

วิเคราะห์

### 5.1 การทำกราฟมาตรฐาน

1. ชั่งน้ำหนักกรดกาแลคทูโรนิก 0.1 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
2. ปิเปตสารละลายในข้อที่ 1. ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปิเปตสารละลายจากข้อ 2. มา 1,2,3,4,6,8 และ 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร อย่างละ 1 ขวด และปรับปริมาตรแต่ละขวดให้เป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4. ปิเปตสารละลายในแต่ละความเข้มข้นจากข้อ 3. ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดกลาง 3 หลอดๆ ละ 2 มิลลิลิตร เมื่อปิเปตสารละลายจนครบทุกความเข้มข้นใส่ในหลอดทดลองจะได้ทั้งหมด 18 หลอด

5. เติมสารละลายคาร์บาซอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากัน

6. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 12 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้ 25 นาที

7. นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร แล้วสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าดูดกลืนแสง

#### 5.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

1. ชั่งน้ำหนักเพคติน 0.1 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วทิ้งไว้ 30 นาที

2. ปิเปตสารละลายเพคตินจากข้อ 1. ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร

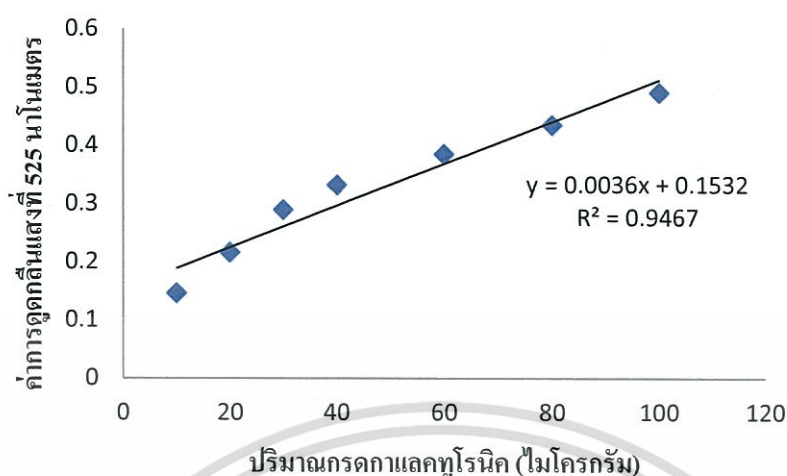
3. ปิเปตสารละลายเจือจางใส่ลงในหลอดทดลองขนาดกลาง 3 หลอดๆ ละ 2 มิลลิลิตร

4. เติมสารละลายคาร์บาซอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 ลงในหลอดทดลองหลอดละ 1 มิลลิลิตร

5. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 12 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 25 นาที

6. นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร แล้วนำไปหาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกจากกราฟมาตรฐาน

7. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกในหน่วยไมโครกรัม



ภาพภาคผนวก ค 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกและค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 52 นาโนเมตร

การคำนวณ

สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน  $y = ax + b$

เมื่อ  $y$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานหลังจากหักลบ Blank

$a$  คือ ค่าความชันของเส้นกราฟ

$x$  คือ ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก มีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

คำนวณค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน ทำให้ได้ค่า  $y$  นำไปแทนในสมการข้างต้น เพื่อคำนวณหารปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกที่มีอยู่ในตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งจำเป็นต้องนำมาคำนวณให้อยู่ในหน่วย มิลลิกรัมของตัวอย่างเริ่มต้น

ตัวอย่างการคำนวณ

แทนค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารละลายเพศดินในสมการกราฟมาตรฐาน

$$y = 0.0036x + 0.1532$$

หมายเหตุ  $y$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 525 นาโนเมตร

$x$  คือ ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (ไมโครกรัม)

ตัวอย่างการคำนวณ เมื่อค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง คือตัวอย่าง คือ 0.345

$$0.345 = y = 0.0036x + 0.1532$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x = (0.345 - 0.1532) / 0.0036$$

$$x = 53.28$$

ดังนั้น เพคตินมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก 53.28 ไมโครกรัม

ตัวอย่างสารละลายเพคตินที่ใช้ 1.0 มิลลิลิตร (1000 ไมโครลิตร) จึงมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก เท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{กรดกาแลคทูโรนิก} &= 53.28 \mu\text{g}/1000 \mu\text{l} \\ &= 0.05328 \mu\text{g}/\mu\text{l} \end{aligned}$$

ดังนั้น ตัวอย่างความเข้มข้นของสารละลายเพคติน 0.1 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร จึงมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกเท่ากับ 0.05328 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร ถ้าความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร มีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้โดย

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (เปอร์เซ็นต์)} &= (100 \times 0.05328) / 0.1 \\ &= 53.28 \end{aligned}$$

ดังนั้น เพคตินมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก 53.3% w/w

## 7. ตรวจสอบค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Minolta CR400

วิเคราะห์

วัดค่าสีของผงเพคติน โดยนำตัวอย่างผงเพคตินที่ได้จากกระบวนการสกัดทั้ง 2 กระบวนการ ใส่ในภาชนะโปร่งแสง ใส่ตัวอย่างให้เต็มภาชนะ ทำการวัด 3 ชั่วโมง ก่อนทำการวัดทุกครั้ง ต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่องวัดสีกับแผ่นสีขาวมาตรฐาน บันทึกผลเป็นค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  เมื่อ

$L^*$  คือ ค่าความสว่าง (lightness) โดยมีค่าตั้งแต่ 0 – 100

$a^*$  คือ ค่าสีแดง-เขียว โดยค่า  $a^*$  เป็นค่า + แสดงค่าสีแดง,  $a^*$  เป็นค่า - แสดงค่าสีเขียว

$b^*$  คือ ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน โดยค่า  $b^*$  เป็นค่า + แสดงค่าสีเหลือง,  $a^*$  เป็นค่า - แสดงค่าสีน้ำเงิน

จากนั้นนำค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ที่ได้มาคำนวณให้อยู่ในรูป Hue angle และ Chroma โดยค่า Hue angle เป็นค่ามุม (องศา) ที่ทำกับแกน  $a^*$  โดยค่ามุม  $0^\circ$  = สีแดง ค่ามุม  $90^\circ$  = สีเหลือง ค่า  $180^\circ$  = สีเขียว และค่า  $270^\circ$  = สีน้ำเงิน ค่า Hue angle สามารถคำนวณได้จากสูตร  $\text{Hue angle} = \arctan b^*/a^*$  หน่วยที่ได้จะแสดงในรูปของค่า radian ในการแสดงผลต้องมีการเปลี่ยนแปลงจากหน่วย radian ให้เป็นหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

degree สำหรับค่า Chroma เป็นค่าแสดงความบริสุทธิ์ของสี สามารถคำนวณได้จากสูตร  $Chroma = \sqrt{[(a^*)^2 + (b^*)^2]}$  ½ บันทึกค่าที่ได้

## 8. การวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด Brookfield (วัลภา และกิตติชัย, 2557)

### วิเคราะห์

Brookfield viscometer เป็นเครื่องวัดความหนืดโดยตัวเครื่องประกอบด้วย แท่งโลหะทรงกระบอก (Spindle) จะหมุนอยู่ในของเหลวที่ต้องการวัด โลหะทรงกระบอกนี้หมุนได้โดยต่อกับมอเตอร์ การวัดความหนืดจะวัดแรงเสียดทานของของเหลวออกมาเป็นค่า Torque และนำมาคำนวณโดยการคูณด้วยค่าคงที่ ตามที่กำหนดมากับเครื่อง หรือสามารถอ่านค่า เป็น centipoise ได้โดยตรงจากเครื่อง

### 8.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

#### 8.1.1 Brookfield viscometer

#### 8.1.2 ชุด Small sample adapter

#### 8.1.3 หัววัดเบอร์ 31

### 8.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการวัด

เตรียมสารละลายเพศดินที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3, 6, และ 9 ละลายผงเพศดินในน้ำกลั่น นำสารละลายเพศดินความเข้มข้นต่างๆที่เตรียมไว้ไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer โดยใช้หัววัดเบอร์ 31 บันทึกค่าความหนืดหน่วยเป็น เซนติพอยส์ (Centipoise, cPs) บันทึกค่า shear rate และ shear stress แต่ละตัวอย่างทำการวัด 3 ครั้ง

## 9. วิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analysis รุ่น TA.HD plus (วัลภา และกิตติชัย, 2557)

### วิเคราะห์

#### 9.1.1 การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมสารละลายเพศดินที่สกัดได้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 2 และ 3 นำมาละลายในน้ำกลั่น ปั่นด้วย Hand Blender จนเพศดินละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เตรียมสารละลายแคลเซียมออกไซด์ (6.67 % w/v) โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร (จะมีตะกอนของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

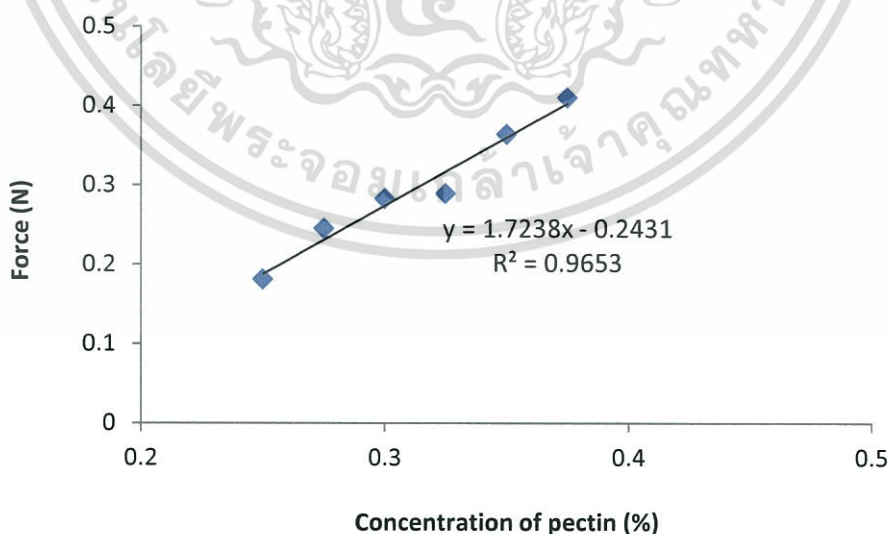
แคลเซียมที่ละลายไม่หมด) จากนั้นนำสารละลายแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้มา 2 มิลลิลิตร ใส่ลง สารละลายเพคตินที่เตรียมไว้ บั่นด้วย Hand Blender ให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนที่ อุณหภูมิ 4°C

### 9.1.2 สภาวะที่ใช้ในการวัดค่า

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเจลเพคตินด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.HD plus โดยนำเจลเพคตินที่ได้เตรียมไว้ในหัวข้อ 9.1.1 ทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analysis ใช้หัววัดทรงกระบอก (Cylinders) P0.5R กดลงบนตัวอย่าง 8 มิลลิเมตร กำหนดจุดอ้างอิงที่กำหนด คือ ที่จุดสัมผัสระหว่างหัววัดกับตัวอย่างให้เป็นระยะที่ 0 วัดค่าแรงที่ทำให้เจลแตก 3 จุดของแต่ละซ้ำ อ่าน ค่าที่บันทึกได้เป็นนิวตัน (N)

### 9.1.3 การทำกราฟมาตรฐาน

เตรียมสารละลายเพคตินทางการค้าที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25, 0.275, 0.30, 0.325, 0.35, 0.375 และ 0.40 นำมาละลายในน้ำกลั่น บั่นด้วย Hand Blender จนเพคตินละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เติม สารละลายแคลเซียมออกไซด์ (6.67 % w/v) 2 มิลลิลิตร บั่นด้วย Hand Blender ให้ละลายเป็นเนื้อ เดียวกัน ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิ 4°C แล้วนำมาทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยใช้สภาวะในการวัด เช่นเดียวกับในหัวข้อ 9.1.2 บันทึกค่าที่ได้ นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ เพคตินทางการค้า และค่าแรงที่ทำให้เจลแตก (N)



ภาพภาคผนวก ค 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเพคตินทางการค้า และค่าแรงที่ทำให้เจลแตก (N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน  $y = ax + b$

เมื่อ  $y$  คือ ค่าแรงที่ทำให้เจลแตก (N) ของตัวอย่างที่วัดได้

$a$  คือ ค่าความชันของเส้นกราฟ

$x$  คือ ค่าความเข้มข้นของเพคตินทางการค้า

ทำการสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของเพคตินทางการค้ากับเพคตินที่สกัดได้เนื่องจากมีการใช้ความเข้มข้นที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนแล้วต้องการหาความเข้มข้นของเพคตินที่ให้ค่าความแข็งแรงเจลใกล้เคียงกัน จึงต้องสร้างกราฟมาตรฐานของเพคตินทางการค้าเพื่อใช้คำนวณหาความเข้มข้นของเพคตินที่สกัดในช่วงความเข้มข้นเดียวกันจากค่าแรงที่ให้เจลแตก

ตัวอย่างการคำนวณ

แทนค่าแรงที่ทำให้เจลแตก (N) ของตัวอย่างสารละลายเพคตินในสมการกราฟมาตรฐาน

$$y = 1.7238x - 0.2431$$

หมายเหตุ  $y$  คือ ค่าแรงที่ทำให้เจลแตก (N) ของตัวอย่างที่วัดได้

$x$  คือ ค่าความเข้มข้นของเพคตินทางการค้า

ตัวอย่างการคำนวณ เมื่อค่าแรงที่ทำให้เจลแตก (N) ของตัวอย่างเพคตินที่ความเข้มข้น 3 % คือ 0.30

$$0.30 = 1.7238x - 0.2431$$

$$x = (0.30 + 0.2431) / 1.7238$$

$$x = 0.31506$$

ดังนั้น ตัวอย่างเพคตินที่ความเข้มข้น 3 % ใช้ค่าแรงที่ทำให้เจลแตกเท่ากับเพคตินทางการค้าที่ความเข้มข้น 0.31506 %

ดังนั้น เพคตินทางการค้าที่ความเข้มข้น 0.31506 % ให้เจลที่มีแข็งแรงเท่ากับการใช้ตัวอย่างเพคตินที่มีความเข้มข้น 3 % คิดเป็นเท่าโดยใช้สูตร  $x$  เป็นกี่เท่าของ  $y = x/y$

$$3 \text{ เป็นกี่เท่าของ } 0.31506 = 3/0.31506$$

$$= 9.522 \text{ เท่า}$$

ดังนั้น ต้องใช้ตัวอย่างเพคตินเพิ่มขึ้น 9.522 เท่าของเพคตินทางการค้า จึงจะได้เจลที่มีความแข็งแรงใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง  
ภาพผงเพคติน

1. ผงเพคตินจากลูกตาลสุกที่ได้จากกระบวนการสกัด



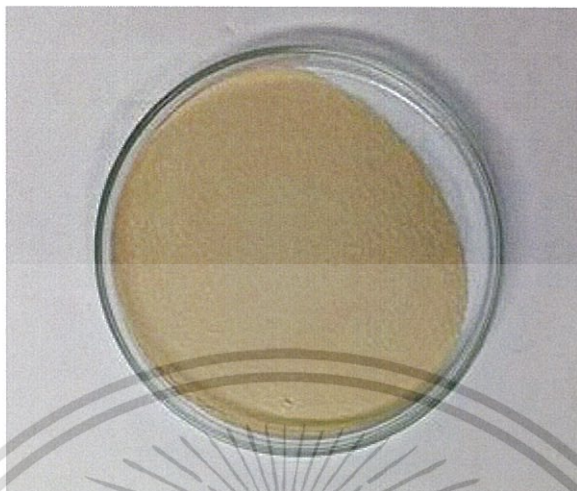
ภาพภาคผนวก ง 1 ผงเพคตินจากเนื้อตาลสุกที่ได้จากกระบวนการสกัดด้วยน้ำโดยไม่ปรับพีเอชที่อุณหภูมิห้อง



ภาพภาคผนวก ง 2 ผงเพคตินจากเนื้อตาลสุกที่ได้จากกระบวนการสกัด โดยวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ผงเพคตินทางการค้าชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ



ภาพภาคผนวก ง 3 ผงเพคตินเพคตินทางการค้าชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวจรรย์ญา อับดุลสลาม
วัน เดือน ปีเกิด	7 มกราคม 2535
ที่อยู่	89/20 ซ.เอกมัย30 ถ.เอกมัย แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา กทม.10110 (dalar_da@hotmail.com, โทร. 082-476-1511)
ประวัติการศึกษา	- สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาชั้นศึกษาจากโรงเรียนศรีอยุธยา ใน พระอุปถัมภ์ฯ กรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2553 - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีบัณฑิต สาขาจุล ชีววิทยาอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2557 - ศึกษาต่อปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี การศึกษา 2557
ผลงาน	- จรรย์ญา อับดุลสลาม และกิตติชัย บรรจง. 2560. “ปัจจัยที่มี ผลต่อกระบวนการสกัดเพคตินจากลูกตาลสุกด้วยน้ำโดย ไม่ปรับพีเอช”. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 9(18).