



## ปัญหาพิเศษ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากกากฝรั่ง

(A Study of Optimal Condition For Pectin Extraction From Guava Pomace)

โดย

นาย ปรัชญา โจรจนการสกุล รหัสนักศึกษา 42045093

นายมงคล ตั้งศรีตระการ รหัสนักศึกษา 42045098

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

Department of Agricultural Industry

Faculty of Agricultural Technology

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพฯ 10520

King Mongkut's Institute of Technology

Chaokuntaharn Ladkrabang

Bangkok 10520 Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากกากฝรั่ง

(A Study Of Optimal Condition For Pectin Extraction From Guava Pomace)



T097021



นายปรัชญา โรจนการสกุล รหัส 42045093

นายมงคล ตั้งศรีตระการ รหัส 42045098

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร)

ปพ.  
ป431 ก  
2543

พ.ศ.2543

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 97021

วัน,เดือน,ปี..... 2543

ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผู้มีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากกากฝรั่ง

( A Study of Optimal Condition For Pectin Extraction From Guava Pomace )

โดย

นายปรัชญา โจรจนการสกุล

รหัสประจำตัว 42045093

นายมงคล ตั้งศรีตระการ

รหัสประจำตัว 42045098

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

.....

19 4 2554

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(ดร.บุญเทียม พันธุ์เพ็ง)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

.....  
(ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ)

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรัชญา โรจนการสกุล และ มงคล ตั้งศรีตระกูล 2543 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด  
 เพกตินจากกากฝรั่ง(A Study Of Optimal Condition For Pectin Extraction From Guava  
 Pomace) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
 เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง . 50 หน้า

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.บุญเทียม พันธุ์เพ็ง

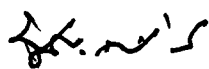
### บทคัดย่อ

เพกตินถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายประเภท ทั้งทางด้าน  
 อุตสาหกรรมอาหาร ด้านการแพทย์ ด้านเภสัช และด้านอื่นๆ การดำเนินการทดลองแบ่งเป็น 3 ชั้น  
 ตอนใหญ่ๆ คือ ชั้นตอนแรกทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเพกตินในผลฝรั่งกับกากฝรั่งโดยนำ  
 มาสกัดเพกตินด้วยน้ำในอัตราส่วนกากฝรั่ง : น้ำ 1:10 ที่อุณหภูมิ 80<sup>o</sup>ซ นาน 2 ชั่วโมง กรองเอากาก  
 ออกโดยใช้ผ้าขาวบาง วิเคราะห์หาปริมาณของเพกตินในรูปของแคลเซียมเพกเตทพบว่าปริมาณ  
 แคลเซียมเพกเตทในฝรั่งเมื่อคั้นน้ำแล้วจะมีปริมาณแคลเซียมเพกเตทในน้ำฝรั่ง 47.05% ในกาก  
 52.92 % ของปริมาณแคลเซียมเพกเตททั้งหมด ชั้นตอนที่สองทำการศึกษาค่าของตัวแปรโดย  
 ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ความเข้มข้นกรด อุณหภูมิ อัตราส่วนกากฝรั่ง : สารละลาย HCl และระยะเวลา  
 ในการสกัด โดยทำการศึกษาทีละ 2 ตัวแปรใช้อัตราส่วนกากฝรั่ง : สารละลาย HCl 1:10 ระยะเวลา  
 ในการสกัด 2 ชั่วโมง ทำการสกัดโดยใช้สารละลาย HCl 1%,1.5%และ 2% ที่อุณหภูมิ 60 70 และ  
 80<sup>o</sup>ซ วิเคราะห์ปริมาณเพกตินในรูปแคลเซียมเพกเตท จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นกรด  
 และอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 1.5% และ 70<sup>o</sup>ซ จากนั้นทำการสกัดโดยใช้สารละลาย HCl 1.5% ที่  
 อุณหภูมิ 70<sup>o</sup>ซ โดยใช้อัตราส่วนกากฝรั่ง : สารละลาย HCl 1:5,1:10 และ 1:15 ระยะเวลาในการสกัด  
 2,3 และ 4 ชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณเพกตินในรูปแคลเซียมเพกเตทพบว่าสภาวะที่ให้ปริมาณ  
 แคลเซียมเพกเตทมากที่สุดคือ ความเข้มข้นของสารละลาย HCl 1.5% ที่อุณหภูมิ 70<sup>o</sup>ซ อัตราส่วน  
 กากฝรั่ง : สารละลาย HCl 1:10 ระยะเวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง ชั้นตอนที่ 3 ทดลองผลิตเพกติน  
 โดยนำสารละลายเพกตินที่สกัดได้จากสภาวะที่เหมาะสมมาตกตะกอนด้วย 60%เอทานอล ได้  
 ปริมาณเพกติน 10.88 %ของน้ำหนักกากฝรั่งแห้ง

.....  
 ปรัชญา

.....  
 มงคล

.....  
 ลายมือชื่อนักศึกษา

.....  


.....  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

.....  
 19 ธ.ค. ๒๕๔๓

.....  
 วัน/เดือน/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้ สามารถเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์บุญเทียม พันธุ์เพ็ง เป็นอย่างสูงที่กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขปัญหาพิเศษฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบของพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิวิชาความรู้ให้ ตลอดจนให้คำแนะนำด้านต่างๆ ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ สารเคมีต่างๆ และให้ความสะดวกในระหว่างการปฏิบัติงาน รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจจนได้รับความสำเร็จ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ คุณย่า เป็นอย่างสูงที่ให้ความรัก ความอบอุ่น และเป็นกำลังใจเสมอมา

ปรัชญา วิจารณ์การสกล  
มงคล ตั้งศรีตระกูล

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญตาราง	ง
สารบัญตารางภาคผนวก	จ
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญภาพภาคผนวก	ช
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	2
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	26
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	30
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	38
ภาคผนวก ข	39
ภาคผนวก ค	41
ภาคผนวก ง	46
ประวัติผู้เขียน	50

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของฝรั่ง	7
ตารางที่ 2.2 โพลีแซคคาไรด์ของผนังเซลล์พืชชั้นสูง	8
ตารางที่ 2.3 ปริมาณเพคตินในผลไม้ชนิดต่าง ๆ	11
ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเพคตินชนิดต่าง ๆ	13
ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเอสเทอร์และอัตราเร็ว ในการเซ็ทตัวของเพคตินจากกากแอปเปิ้ล	15
ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเอสเทอร์ฟิเคชัน ปริมาณหมู่เมทอกซิล และน้ำหนักสมมูลย์ของกรด โพลีกาแลคทูโรนิก	23
ตารางที่ 4.1 การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเพคตินในเนื้อฝรั่ง กากฝรั่งและน้ำฝรั่ง	30
ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นสารละลาย HCl และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด	31
ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนกากฝรั่ง : สารละลาย HCl และระยะเวลาในการสกัด	32
ตารางที่ 4.4 ปริมาณเพคตินที่ได้จากการตกตะกอนด้วย 60%เอทานอล	32

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 แผนภาพแสดงเซลล์พืช	5
ภาพที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของเพคตินที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วย หมู่เมทิลแอลกอฮอล์ไปบางส่วน	9
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของโปรโตเพคตินในพืช	10



## สารบัญภาพภาคผนวก

	หน้า
ภาพภาคผนวกที่ ค1 กากฝรั่งที่ใช้ในการผลิตเพคติน	41
ภาพภาคผนวกที่ ค2 สารละลายเพคติน	41
ภาพภาคผนวกที่ ค3 pH-meter	42
ภาพภาคผนวกที่ ค4 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ	42
ภาพภาคผนวกที่ ค5 เครื่องกรองสูญญากาศ	43
ภาพภาคผนวกที่ ค6 ตู้อบ	43
ภาพภาคผนวกที่ ค7 เครื่องระเหยสูญญากาศ	44
ภาพภาคผนวกที่ ค8 ตู้อบสูญญากาศ	44
ภาพภาคผนวกที่ ค9 ตะกอนแคลเซียมเพคเตท	45
ภาพภาคผนวกที่ ค10 ตะกอนเพคติน	45

## บทที่ 1

### บทนำ

เพคตินเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบในชั้นระหว่างผนังเซลล์ปฐมภูมิ ของเนื้อเยื่อ ผักผลไม้ชนิดต่าง ๆ เพคตินถูกนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารอย่างแพร่หลายโดยมีหน้าที่เป็น สารสร้างเจล(gelling agent) , สารเพิ่มความข้นหนืด(thickening agent) เป็นต้น โดยเฉพาะอาหาร จำพวกแยม เยลลี่ มาร์มาเลต นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์อาหารอย่างอื่นอีกมากมายที่ใช้เพคติน เป็นส่วนประกอบเช่น โยเกิร์ต(yoghurts) , ครีมแต่งหน้าซूप(dressing soup) และเครื่องดื่ม เป็นต้น เพคตินที่ผลิตขึ้นและขายในรูปแบบเป็นผงนั้นได้จัดไว้เป็นมาตรฐานเกรดต่าง ๆ จำนวนมาก ส่วนการ ผลิตเพคตินในรูปของเหลวนั้นมีการผลิตในปริมาณน้อย เนื่องจากความสะดวกในการใช้และอายุ การเก็บรักษาล้น เพคตินที่ใช้อยู่ในปัจจุบันต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศทั้งสิ้น เนื่องจากประเทศไทย ยังไม่มีโรงงานผลิตเพคติน และแนวโน้มการใช้เพคตินก็เพิ่มมากขึ้นในงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ประเทศไทยมีผลไม้หลายชนิดที่มีเพคตินเป็นองค์ประกอบและวัตถุดิบมีราคาถูก ซึ่งอาจมีความ เป็นไปได้ว่าจะมีอุตสาหกรรมการผลิตเพคตินขึ้นในประเทศไทย

แม้ว่าประเทศไทยจะมีผลไม้ค่อนข้างมากที่มีปริมาณเพคตินสูง เหมาะสำหรับการผลิตใน ระดับอุตสาหกรรม เช่น เปลือกส้มโอ ชั่งขนุน เปลือกส้มเขียวหวาน เป็นต้น แต่ผลไม้เหล่านี้มัก บริโภคโดยตรงมากกว่าการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แบบอื่น ดังนั้นการที่จะรวบรวมเปลือกผลไม้ เหล่านี้ เพื่อจะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเพคตินจึงทำได้ค่อนข้างยาก แต่สำหรับกากฝรั่ง ซึ่งเป็น ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำฝรั่ง สามารถรวบรวมได้ง่ายเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเพคติน ซึ่งฝรั่งก็จัดว่าเป็นผลไม้ที่มีปริมาณเพคตินสูงจึงนับว่าเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจในการทำปัญหาพิเศษ ครั้งนี้

### วัตถุประสงค์

- 1.ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเพคตินในผลฝรั่งกับกากฝรั่ง
- 2.ศึกษาความเข้มข้นสารละลาย HCl อุณหภูมิ อัตราส่วนกากฝรั่ง : สารละลาย HCl และ ระยะเวลาในการสกัดเพคตินจากกากฝรั่ง
- 3.ทดลองผลิตเพคตินจากกากฝรั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

ฝรั่ง

ฝรั่ง (Guava) มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Psidium guajava* และจัดอยู่ในวงศ์ Myrtaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในอเมริกาใต้ และอินเดีย ฝรั่งเป็นต้นไม้ที่แผ่กิ่งก้านออกกว้างขวางมาก ปลูกได้ในดินทุกชนิด ชอบที่โล่งแจ้ง มีแสงแดดผ่านได้สะดวก ทนแดดทนฝนได้เป็นอย่างดี ฝรั่งนั้นให้ผลตลอดปี จะไม่แก่และสุกพร้อมกันแต่จะแก่เป็นรุ่น ส่วนมากคนนิยมรับประทานฝรั่งห่ามมากกว่าฝรั่งสุก

ฝรั่งเป็นแหล่งวิตามินซีที่อุดมสมบูรณ์ มีวิตามินเอ แคลเซียมและฟอสฟอรัสมากพอสมควร เส้นใยอาหารจากฝรั่งมีปริมาณสูงถึง 57.81 : 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ชนิดของเส้นใยที่พบในฝรั่งจะอยู่ในรูปของ เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส, ลิกนิน และสารประกอบเพคติน ได้แก่ เพคติน, กรดเพคติก และ โปรโตเพคติน ซึ่งปริมาณเพคตินทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นเมื่อฝรั่งเจริญถึงขั้นรับประทานได้ จากนั้นจะลดทันทีเมื่อสุกเต็มที่ ฝรั่งจะมีเพคตินน้อยกว่าผลไม้ตระกูลส้ม (citrus fruit) เพคตินของฝรั่งจะมีค่า methoxy index สูงและสามารถเกิดเจลได้ดี เมื่อมีของแข็งที่ละลายได้ (soluble solid) 65% เจลจะมีความเสถียรที่ความเป็นกรดต่าง 2.1 – 2.4 โดยเพคตินมีผลต่อระดับโคเลสเตอรอลในเลือด รวมทั้งมีคุณสมบัติในการเกิดเจลทั้งในลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ โดยช่วยกำจัดแบคทีเรียออกจากร่างกายเพื่อการเคลื่อนไหวของลำไส้ใหญ่และลดระยะเวลาในการกำจัดกากอาหาร อาจช่วยป้องกันโรคท้องผูกได้ นอกจากนี้เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสซึ่งมีผลกระทบต่อกรเพิ่มน้ำหนักอุจจาระ ทำให้ไม่เป็นโรคท้องผูก ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคอื่น ๆ เช่น ริดสีดวงทวาร , ลำไส้โป่งพอง และมะเร็งลำไส้ใหญ่ (ประภาศรีและคณะ, 2533)

### 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลำต้น ฝรั่งเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กหรือไม้พุ่ม ทรงต้นสูงประมาณ 3 – 10 เมตร แตกกิ่งก้านสาขาบริเวณใกล้โคนต้น เปลือกมีสีน้ำตาลอมแดง หรือสีน้ำตาลอมเขียว เปลือกจะลอกเองเมื่อแก่

ใบ เป็นไม้ประเภทใบคู่ ใบอ่อนมีสีเขียวมีลักษณะไม่เรียบ แผ่นใบรูปไข่ปลายมน ขนาดความกว้าง 3 – 7 เซนติเมตร ด้านหลังใบเรียบ ด้านท้องใบมีขนอ่อนอยู่ ฐานใบโค้ง ขอบใบเรียบและโปร่งใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผล รูปร่างกลมหรือรูปไข่ป่องตรงปลาย เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 - 9 เซนติเมตร เปลือกขรุขระเล็กน้อยแต่เป็นมัน เมื่อผลยังอ่อนมีผิวสีเขียวเข้ม เมื่อแก่ผิวจะเป็นสีเขียวอ่อน และเมื่อสุกผิวจะมีสีเหลืองอ่อน เปลือกชั้นกลางสีขาว ความหนาของเนื้อแตกต่างกันตามชนิดหรือพันธุ์ เนื้อฉ่ำน้ำ เมื่อสุกมีสีหวาน กลิ่นแรง มักปรากฏเซลล์หิน (stone cell) นิยมรับประทานเมื่อผลยังไม่สุก เนื่องจากรสชาติดี มีรสเปรี้ยวอมหวานและกรอบ เนื้อชั้นในที่ติดกับเมล็ดมีทั้งสีขาว เหลือง ชมพูหรือแดง รสหวาน

## 2.2 ชนิดพันธุ์

### 2.2.1.กลุ่มรับประทานสด

- ฝรั่งเศสพันธุ์พื้นเมือง ได้แก่ พันธุ์จูนิก ผลมีขนาดเล็กมาก ผิวเรียบ เนื้อสีชมพู รสหวาน อมเปรี้ยวเล็กน้อย
- ฝรั่งเศสพันธุ์จีน ได้แก่ พันธุ์บางเสาชงหรือหลวงทองสี ผลขนาดกลางหรือค่อนข้างใหญ่ ผิวขรุขระแต่เป็นมัน สีเขียวจัด เนื้อหนาปานกลาง รสหวานอมเปรี้ยว เมล็ดมาก กลิ่นมาก
- ฝรั่งเศสพันธุ์อินเดีย แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ
  - พันธุ์ไม่มีเมล็ด ได้แก่ พันธุ์อิเหั่ว ผลกลมขนาดกลางหรือใหญ่ ผิวนอกขรุขระ เนื้อหนามาก รสหวาน เนื้อกรอบ ไม่มีรสเปรี้ยว
  - พันธุ์มีเมล็ด ได้แก่ พันธุ์อาลาฮาบัด , ลักเนาเวอร์ 1-6 , ผลรูปสาถิ (karela) , พันธุ์ผลกลม , อินเดียค่อม
- ฝรั่งเศสพันธุ์เวียดนาม มีผลขนาดใหญ่ ผิวขรุขระ เนื้อหนากรอบ

### 2.2.2.กลุ่มฝรั่งประดับ

- พันธุ์จิวไบจีบ ทรงต้นเป็นพุ่มขนาดเล็ก ใบเล็กแคบ เป็นจีบ ผลเล็กมากกลม ผิวเรียบ เนื้อบาง
- พันธุ์ใบเล็ก ทรงต้นเป็นพุ่มขนาดเล็ก ใบแคบ ดอกสีขาว ผลสีเขียวเข้ม ขนาดใบเล็กมาก ผิวเรียบ เนื้อบาง

2.2.3.กลุ่มฝรั่งแปรรูป เป็นฝรั่งที่มีลักษณะเหมาะสมที่ใช้ในการแปรรูปต่าง ๆ เช่น น้ำฝรั่ง คั้น พันธุ์ประเภทนี้ได้ถูกนำเข้ามาในประเทศไทยไม่นานมานี้ ได้แก่ พันธุ์บอมองท์ (Beaumont) และพันธุ์คาหาคูลา (Kahuakula) มีลักษณะผลไม่ใหญ่มากนัก ผลกลม ผิวเรียบ เนื้อไม่แน่น ที่สำคัญเนื้อฉ่ำน้ำมาก เนื้อสีชมพู กลิ่นหอม

## 2.3 โครงสร้างของฝรั่ง

ฝรั่งมีโครงสร้างเช่นเดียวกับผักผลไม้โดยทั่วไป ซึ่งสามารถแบ่งระบบเนื้อเยื่อออกเป็น 4 ชนิด คือ dermal, ground, vascular และ support โครงสร้างของระบบเนื้อเยื่อเหล่านี้เกี่ยวข้องกับหน้าที่ทางสรีรวิทยาและลักษณะเฉพาะในระหว่างการเติบโต และระยะความแก่ของผักผลไม้

**2.3.1. เซลล์ชั้นนอก (dermal tissues)** เป็นกลุ่มเนื้อเยื่อที่เรียงตัวอยู่ชั้นนอกทำหน้าที่ป้องกันเซลล์ที่อยู่ภายใน

2.3.1.1. เซลล์อีพิดERMิส (epidermis) เป็นเซลล์ที่มีความหนาเพียงชั้นเดียวเหล่านี้เป็นเซลล์ที่ยังมีชีวิตและมีเมตาบอลิซึมอยู่และอาจจะมีคลอโรพลาสต์และเม็ดสีอยู่ภายในแวคคิวโอล

2.3.1.2. ชั้นของคิวติคิวลาร์ สารประกอบเชิงซ้อนพวกไขมันที่เรียกว่าคิวติน มักพบเป็นตาข่ายระหว่างภายในผนังเซลล์ด้านนอกและบนผิวด้านนอกของเซลล์อีพิดERMิส

2.3.1.3. สโตมาตา (stomata) เกิดร่วมกับอีพิดERMิสซึ่งทำหน้าที่เป็นวาล์วเล็ก ๆ สำหรับการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างเนื้อเยื่อกับสิ่งแวดล้อมภายนอก

2.3.1.4. เลนติเคิล (lenticles) มักพบในลำต้น รากและผลไม้ แต่ไม่พบในผักใบ เลนติเคิลเป็นส่วนที่เปิดอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างเซลล์ที่อยู่ติดจากอีพิดERMิส และสิ่งแวดล้อมภายนอก

2.3.1.5. ไตรโคม (trichomes) เป็นส่วนของอีพิดERMิสที่เพิ่มขึ้น

**2.3.2. ground tissues** เซลล์พาราไคมา (parenchyma) มีโปรโตพลาสต์เป็นองค์ประกอบผนังเซลล์ของพาราไคมา โดยทั่วไปจะบางและภายในแวคคิวโอลของเซลล์ จะใช้เป็นที่เก็บสารต่าง ๆ เช่น กรด น้ำตาล แอนโทไซยานิน แทนนิน อีออนบางชนิด รวมทั้งสารต่าง ๆ ที่ละลายน้ำ ไขมัน และโปรตีน จะอยู่ในของเหลวในเซลล์ (cytoplasm) ซึ่งอยู่ระหว่างผนังเซลล์และแวคคิวโอล โพลีแซคคาไรด์อื่น ๆ นอกจากสตาร์ช (starch) คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน จะรวมอยู่ในผนังเซลล์ ระหว่างเซลล์แต่ละเซลล์จะเชื่อมติดกันด้วยชั้นบาง ๆ เรียกว่า Middle lamella ในส่วนนี้ไม่มีเซลลูโลสแต่จะประกอบด้วยสารเพคตินที่มีโครงสร้างคล้ายเจล ส่วนของ Middle lamella นี้ จะมีส่วนต่อความแข็งแรงของการยึดเกาะระหว่างเซลล์จึงมีผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผักผลไม้ สารเพคตินนี้สามารถเกิดพันธะกับอีออนของโลหะที่มีประจุบวกสอง โดยเฉพาะแคลเซียมและแมกนีเซียม ทำให้การละลายน้ำลดลง

### 2.3.3.เนื้อเยื่อค้ำจุน (support tissues)

2.3.3.1. เซลลคอลลินโคมา (collenchyma) เซลล์นี้จะมีผนังเซลล์ที่หนาและเป็นส่วนที่  
ให้โครงสร้างสำหรับพืชมีผนังเซลล์ที่หนาไม่สม่ำเสมอ ซึ่งมีเพคตินและน้ำอยู่จำนวนมาก  
ผนังเซลล์มีลักษณะที่ยืดหยุ่น ดังนั้นจึงทำหน้าที่ค้ำจุนส่วนของพืชที่ยังอ่อนและกำลังเติบโต  
การจัดเรียงตัวตามแนวยาวของสารเซลลูโลสมีผลต่อความยืดหยุ่นและความแข็งแรงของ  
เซลล์ด้วย

2.3.3.2. สเคอเรนโคมา (sclerenchyma) เซลล์ชนิดนี้มีผนังหนาและเท่ากันตลอด  
ผนังเซลล์ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

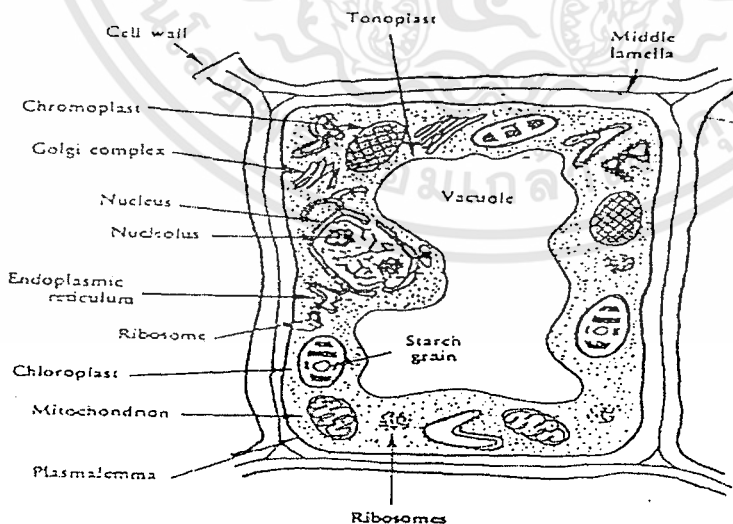
### 2.3.4.เนื้อเยื่อลำเลียง (vascular system)

เนื้อเยื่อลำเลียงประกอบด้วยเนื้อเยื่อหลัก 2 ชนิด คือ ไชเลม และโฟลเอม โดย  
ไชเลมทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและสารอาหาร เกือบแรกที่ละลายน้ำได้ ขณะที่โฟลเอมลำเลียง  
อาหารที่สังเคราะห์ในใบ เนื้อเยื่อลำเลียงทำหน้าที่เป็นตัวให้ความค้ำจุน เนื่องจากมีผนังเซลล์  
หนา โดยเฉพาะไชเลม

## 2.4 องค์ประกอบของเซลล์

เซลล์ของผักผลไม้เป็นหน่วยโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตซึ่งรวมกันเป็นเนื้อเยื่อต่าง ๆ ดังภาพที่

### 2.1 แสดงองค์ประกอบหลักของเซลล์พืช



ภาพที่ 2.1 แผนภาพแสดงเซลล์พืช

ที่มา : Will และคณะ , 1989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1.ผนังของเซลล์ (cell wall and cell membrane)

2.4.1.1.ผนังเซลล์ (cell wall) เป็นส่วนที่ไม่มีชีวิตสร้างขึ้นมาเพื่อห่อหุ้มส่วนต่าง ๆ ของเซลล์เป็นส่วนที่แข็งแรงที่สุดของเซลล์ ผนังเซลล์พืชแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

1. middle lamella เป็นส่วนที่ประกอบด้วยสารแคลเซียมและแมกนีเซียมเพคเตต มีความยืดหยุ่น ทำหน้าที่เชื่อมระหว่างผนังเซลล์ปฐมภูมิของเซลล์ข้างเคียงให้ติดต่อกันได้
2. ผนัง (wall) เป็นส่วนที่อยู่ชั้นนอกของเซลล์ แบ่งตามโครงสร้างและการเจริญออกเป็น 2 ชั้น คือ
  - ผนังปฐมภูมิ (primary wall) ประกอบด้วยเส้นใยของเซลลูโลส ซึ่งเรียกว่า microfibril เรียงตัวพันกันไปมาไม่เป็นระเบียบ ผนังชนิดนี้จะเกิดขึ้นแรกสุดในระยะเริ่มเจริญเติบโต นอกจากเซลลูโลสแล้วยังประกอบด้วยสารเฮมิเซลลูโลส และเพคติน
  - ผนังทุติยภูมิ (secondary wall) ประกอบด้วยเซลลูโลส แต่ microfibril เรียงตัวเป็นระเบียบในแนวขนานกัน นอกจากนี้ยังประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และคิวติน ผนังชนิดนี้มักเกิดขึ้นในเซลล์บางชนิดที่ต้องการความแข็งแรงและเกิดที่ด้านในของผนังเซลล์ปฐมภูมิ

#### 2.4.1.2.เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane)

เป็นผนังหรือเยื่อบาง ๆ ที่ห่อหุ้มโปรโตพลาสซึมไว้ เป็นเนื้อเยื่อที่มีชีวิตมีความยืดหยุ่น ประกอบด้วยโมเลกุลของสารพวกโปรตีน และไขมัน เรียกเนื้อเยื่อนี้ว่า differentially permeable membrane

### 2.4.2.โปรโตพลาสซึม (Protoplasm)

เป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งอยู่ภายในเซลล์ มีลักษณะเป็นของเหลวที่มีความข้นและเหนียว เป็นเมือกใส โปร่งแสง ไม่มีสี และยืดหยุ่นได้ โปรโตพลาสซึมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

#### 2.4.2.1.ไซโทพลาสซึม (cytoplasm)

ไซโทพลาสซึม คือส่วนของโปรโตพลาสซึม ซึ่งอยู่รวมนอกของนิวเคลียส ภายในไซโทพลาสซึมประกอบด้วย ออแกเนล (organelle) และสารประกอบต่าง ๆ (inclusion)

1. ออแกเนล เป็นสารประกอบหรือโครงสร้างที่มีชีวิตที่อยู่ภายในไซโทพลาสซึมและมีเยื่อบาง ๆ (membrane) หุ้มอยู่

2. สารประกอบต่าง ๆ เป็นสิ่งไม่มีชีวิตทั้งหลายที่อยู่ในไซโทพลาสซึม ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์จากเมตาบอลิซึม ได้แก่ อาหารที่สะสมไว้ของเสียต่าง ๆ

## 2.5 องค์ประกอบทางเคมี

ผักผลไม้ชนิดเดียวกันก็สามารถมีองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกัน เนื่องจากผักผลไม้มีการเกิดเมตาบอลิซึมอยู่ตลอดเวลา ทำให้องค์ประกอบเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของฝรั่ง แสดงตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของฝรั่ง

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ	
ความชื้น	80.7	เปอร์เซ็นต์
ไขมัน	0.1	เปอร์เซ็นต์
เส้นใย	6.0	เปอร์เซ็นต์
โปรตีน	0.9	เปอร์เซ็นต์
คาร์โบไฮเดรต	11.6	เปอร์เซ็นต์
แคลเซียม	13.0	มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
เหล็ก	0.5	มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
ฟอสฟอรัส	25.0	มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
วิตามินบีหนึ่ง	0.06	มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
วิตามินบีสอง	0.13	มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
วิตามินซี	160.0	มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
วิตามินเอ	89.0	IU ต่อ 100 กรัม
ค่าพลังงานความร้อน	51.0	กิโลแคลอรี ต่อ 100 กรัม

ที่มา : เอกสารเผยแพร่ของกองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและการพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 สารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์

พืชชั้นสูงมีโพลีแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) เป็นองค์ประกอบอยู่หลายชนิด ได้แก่ แป้ง (starch) เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เพคติกสับสแตนซ์ (pectic substances) และโพลีแซ็กคาไรด์อื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีไกลโคโปรตีน (glycoprotein) ที่มีโครงสร้างประกอบด้วย แมนโนส (mannose) ไซโลส (xylose) ฟูโคส (fucose) และ N-acetylglucosamine ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 โพลีแซ็กคาไรด์ของผนังเซลล์พืชชั้นสูง

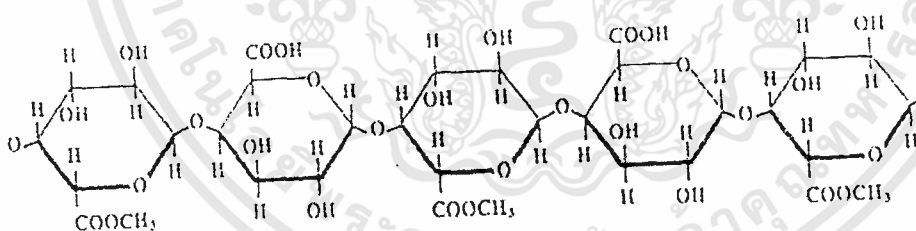
General category	Structural classification
Cellulose	$\beta$ -D-Glucan (4-linked)
Pectic substances	Galacturonans and rhamnogalacturonans Arabinans Galactans and arabinogalactans I
Hemicelluloses	Xylans [including arabinoxylans and (4-O-methyl) glucuronoxylans] Galactomannans and glucomannans $\beta$ -D-Glucans (3-and4-linked) $\beta$ -D-Glucans-cellse (3-linked) Xyloglucans (4-linked $\beta$ -D-glucans with Attached side chains)
Other polysaccharides	Arabinogalactans II Glucuronomannans

ที่มา : Whitaker,1984

### เพคติกสับสแตนท์ (pectic substances)

เพคติกสับสแตนท์แบ่งออกได้หลายประเภท ดังนี้

1. กาแลคทูโรแนน (galacturonans) ซึ่งเป็น โพลีเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิก
2. แรมโนกาแลคทูโรแนน (rhamnogalacturonans) เป็นโพลีเมอร์ผสมระหว่างแรมโนส (rhamnose) และกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid)
3. อะราบินแนน (arabinans) เป็น โพลีเมอร์ของอะราบินโนส (arabinose)
4. กาแลคแทน (galactans) เป็น โพลีเมอร์ของกาแลคโตส (galactose)
5. อะราบินโนกาแลคแทน (arabinogalactans) เป็น โพลีเมอร์ผสมของอะราบินโนสและกาแลคโตส
6. เพคติน (pectin) เป็นสารประกอบโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่โครงสร้างประกอบด้วย กรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) และหมู่คาร์บอกซิล โดยจะเกิดเป็นเอสเทอร์กับเมทิลแอลกอฮอล์ในปริมาณต่าง ๆ กัน กรดกาแลคทูโรนิกที่ไม่ได้ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยหมู่เมทิล จะเชื่อมต่อกับกรดกาแลคทูโรนิกที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยหมู่เมทิลด้วยพันธะ -1,4 ไกลโคซิดิก



ภาพที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของเพคตินที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยหมู่เมทิลแอลกอฮอล์ไปบางส่วน

ที่มา : Doesburg,1960

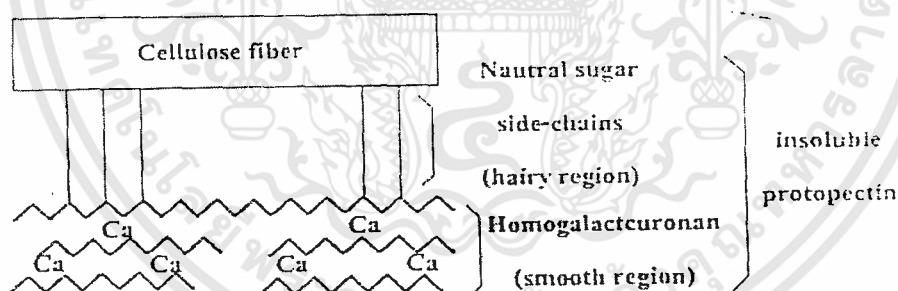
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปเนื้อเยื่อพืชจะประกอบด้วยกลุ่มสารเพคตินต่อไปนี้

1. โปรโตเพคติน (protopectin) เป็นสารตั้งต้นของเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ มักพบรวมอยู่กับเซลลูโลส ส่วนใหญ่จะอยู่ในผลไม้ดิบ จะเปลี่ยนไปเป็นเพคตินโดยเอนไซม์โปรโตเพคตินเนส ซึ่งย่อยสลายโปรโตเพคตินจากสารที่ไม่ละลายน้ำ กลายเป็นเพคตินซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำได้

2. กรดเพคตินิก (pectinic acid) เป็นเพคตินที่ละลายน้ำได้ ภายในโมเลกุลประกอบด้วยกรดโพลีกาแลคทูโรนิกที่มีกลุ่มคาร์บอกซิลที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยกลุ่มเมทิลไปบางส่วน เกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์

3. เพคติน (pectin) หรืออาจเรียกว่ากรดเพคตินิก (Pectinic acid) เนื่องจากเพคตินก็คือกรดเพคตินิกที่ละลายน้ำได้ โดยมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนเมทิลเอสเทอร์โดยมีกลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl group) ประมาณ 75% ถูกเอสเทอร์ไฟด์ ด้วยเมทานอล (MeOH) เมื่อทำให้เป็นกลาง (neutralize) ในโมเลกุลจะมีปริมาณเอสเทอร์ต่าง ๆ กัน ขึ้นกับแหล่งที่เกิด และวิธีการสกัดเพคตินสามารถเกิดเจลกับน้ำตาล และกรดภายใต้สภาวะที่เหมาะสม พบมากในช่วงที่ผลไม้กำลังจะสุกงอม เกิดเอนไซม์โปรโตเพคตินเนสเปลี่ยนโปรโตเพคตินไปเป็นเพคติน แล้วถ้าต้มผลไม้ในสารละลายกรด โปรโตเพคตินจะเปลี่ยนเพคตินได้เช่นกัน



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของโปรโต เพคตินในพืช

ที่มา : Nadamura,1995

จากภาพจะเป็นโครงสร้างของโปรโตเพคตินในพืช ซึ่งส่วนที่ทำการยึดเกาะระหว่างผนังเซลล์พืช คือ โซ่แขนงของน้ำตาลต่าง ๆ ได้แก่ อะราบิโนส แรมโนส หรือเรียกว่า hairy region โปรโตเพคตินจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นในการสกัดเพคตินจะต้องทำการไฮโดรไลต์ส่วนของ hairy region โดยการใส่ กรด ความร้อน หรือเอนไซม์โปรโตเพคตินเนส ให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลไม้แต่ละชนิดจะมีปริมาณเพคตินแตกต่างกันเนื่องจากมีโครงสร้างของเพคตินที่แตกต่างกัน  
 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณเพคตินในผลไม้ชนิดต่างๆ

ผลไม้	เปอร์เซ็นต์เพคติน (น.น./น.น.)
แอปเปิ้ล	0.5-1.6
กากแอปเปิ้ล	1.5-2.5
กล้วย	0.7-1.2
หัวบีท	1.0
แครอท	0.2-0.5
ฝรั่ง	0.77-0.99
มะนาว	2.5-4.0
ลิ้นจี่	0.42
ส้ม	3.5-5.5
มะละกอ	0.66-1.0
เสาวรส	0.5
พีช	0.1-0.5
สัปปะรด	0.04-0.13
สตรอบอรี่	0.6-0.7
มะขาม	1.71
มะเขือเทศ	0.2-0.6

ที่มา : ปีชนะนุช,2541

## 2.7 การจัดประเภทของเพคติน

สมบัติการเกิดเจลของเพคตินที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร จัดเป็นพื้นฐานสำคัญในการจำแนกเพคตินเป็นสองกลุ่ม ทั้งนี้ขึ้นกับระดับการเอสเทอร์ฟิเคชัน หรือค่า DE ซึ่งมีนิยามดังต่อไปนี้

2.7.1.ระดับการเอสเทอร์ฟิเคชัน (DE) หมายถึง จำนวนของ galacturonic acid ที่ถูกเอสเทรีไฟด์ต่อ 100 หน่วย ของ galacturonic acid บนสายโมเลกุลของเพคติน

$$\%DE = \frac{\text{จำนวนหมู่เอสเทอร์บนสายโมเลกุล}}{\text{จำนวน galacturonic acid 100 หน่วย}} * 100$$

2.7.2.ระดับการเอไมเดชัน (Degree of amidation, DA) หมายถึง จำนวนของกรดกาแลคทูโรนิกที่ถูกดีเอสเทรีไฟด์ (de-esterified) ด้วยแอมโมเนียต่อ 100 หน่วย ของกรดกาแลคทูโรนิกบนสายโมเลกุลของเพคติน

$$\%DE = \frac{\text{จำนวนหมู่เอไมด์บนสายโมเลกุล}}{\text{จำนวน galacturonic acid 100 หน่วย}} * 100$$

การแบ่งเพคตินตามระดับการเอสเทอร์ฟิเคชัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. เพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลมาก (High methoxyl-pectin) มีค่า  $DE > 50\%$  ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของเพคตินที่มีระดับการเอสเทอร์ฟิเคชัน  $75\%$  ( $DE=75\%$ )
2. เพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลน้อย (Low methoxyl-pectin) มีค่า  $DE < 50\%$  ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของเพคตินที่มีระดับการเอสเทอร์ฟิเคชัน  $25\%$  ( $DE=25\%$ )

สำหรับเพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลน้อย ที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมยังสามารถแบ่งเป็น 2 ลักษณะ กล่าวคือ

Non-amidated-Low methoxyl pectin เพคตินชนิดนี้มีค่า  $DE < 45\%$  และ  $DA = 0$

Amidated-Low methoxyl pectin : เพคตินชนิดนี้มีค่า  $DE < 45\%$  และ  $DA < 25\%$  ซึ่ง

amidated pectin เกรดสำหรับใช้ในอาหารต้องมีค่า DA ไม่เกิน  $25\%$  ตามกฎหมายอาหารบัญญัติไว้ ซึ่งเพคตินแต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน จะกล่าวไว้ในตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเพคตินชนิดต่าง ๆ

คุณสมบัติ	HM	LM	LMA
ผลที่เกิดจากแรงเฉือน	เจลถูกทำให้แตก ไม่สามารถทำเป็นเนื้อเดียวกันได้	โดยปกติแรงเฉือนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปได้ทุกพีเอช	จะเกิดการเปลี่ยนรูปจากแรงเฉือน เมื่อมีพีเอช 3.5 แต่จะไม่เปลี่ยนรูปถ้าพีเอชต่ำกว่า 3.5
อุณหภูมิในการแข็งตัวของเจล	35-90 องศาเซลเซียส	40-100 องศาเซลเซียส	30-70 องศาเซลเซียส
การเปลี่ยนรูปของเจลเมื่อได้รับความร้อน	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง	เกิดการละลายเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 150 องศาเซลเซียส	เกิดการละลายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 75 องศาเซลเซียส
เนื้อสัมผัสของเจลที่พีเอช 1-3.5	เป็นเจลแข็ง	เป็น preserve-like และสามารถทำได้จะมีลักษณะแข็งเมื่อพีเอชต่ำกว่า 3.4	เป็นเจลคล้าย HM แต่จะคล้ายมากกว่า
เนื้อสัมผัสของเจลที่พีเอช 3.5 หรือสูงกว่า	ไม่เป็นเจล มีลักษณะเหนียว	เป็น preserve-like และสามารถทำได้จะมีลักษณะแข็งเมื่อพีเอชต่ำกว่า 3.4	เป็น preserve-like และสามารถทำได้จะมีลักษณะแข็งเมื่อพีเอชต่ำกว่า 3.4

ที่มา : Hoefler,1998

หมายเหตุ HM = เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง

LM = เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ

LMA = เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำประเภทมีหมู่เอไมด์

## 2.8 ชนิดของเพคติน

เพคตินมีคุณสมบัติละลายน้ำ และเมื่อนำมาตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์หรือเกลือของโลหะ แล้วนำไปละลายใหม่จะไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เพคตินสามารถเกิดเป็นเจลได้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่มีปริมาณน้ำตาลและกรดที่เหมาะสม ปริมาณเพคตินที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของ เพคตินด้วย ในทางการค้าจะแบ่งเพคตินตามคุณสมบัติออกเป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้

2.8.1.ความสามารถในการเกิดเจล (Gelling Power) แบ่งเพคตินตามความสามารถ ในการเกิดเจลเป็นเกรดต่าง ๆ โดยกำหนดในรูปสัดส่วนปริมาณน้ำตาลต่อปริมาณเพคติน และ เปรียบเทียบผลของเยลลี่ที่ทำมาจากเพคตินที่สกัดได้กับเพคตินมาตรฐาน โดยสังเกตลักษณะความ หนืด ความโปร่งแสงและความแข็งของเจล (Gel Strength) ซึ่งวัดโดยใช้เครื่องพีเนโอมิเตอร์ (Penetrometer) ถ้าลักษณะของเยลลี่ทั้งสองนี้มีลักษณะใกล้เคียงกันมากที่สุด ก็สามารถเกิดเจลได้ดี โดยใช้เพคตินน้อย ความสามารถในการเกิดเจลขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและระดับเอสเทอร์ โดยเฉพาะน้ำหนักโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อความสามารถในการเกิดเจล ถ้าเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุล ต่ำ เส้นใยร่างแหที่เกิดขึ้นมักไม่ต่อเนื่องทำให้ได้เจลที่อ่อน เพคตินที่เกิดเจลได้ดีควรมีน้ำหนัก โมเลกุลที่สูง

2.8.2.ระดับเอสเทอร์ (Degree of esterification) ปกติกลุ่มคาร์บอกซิลของเพคติน บางส่วนจะเกิดเป็นเอสเทอร์กับเมทิลแอลกอฮอล์ การวัดการเกิดเอสเทอร์ของเพคตินจะวัดในรูป ปริมาณร้อยละของกลุ่มคาร์บอกซิลที่ถูกเอสเทอริไฟด์ เทียบกับปริมาณกาแลกทูโรนิกทั้งหมด ถ้า กลุ่มคาร์บอกซิลทั้งหมดถูกเอสเทอริไฟด์ จะถือว่าเพคตินนั้นมีระดับเอสเทอร์ 100% ซึ่งจะมีปริมาณ เมทอกซิล (Methoxyl Content) 16.32% ของน้ำหนักโมเลกุลของเพคติน เพคตินชนิดนี้จะไม่พบ ในธรรมชาติ ในธรรมชาติจะพบเพคตินที่มีกลุ่มเมทอกซิล 9.5-11.0% เท่านั้น แต่อาจเตรียมเพคติน ที่มีหมู่เมทอกซิลต่างๆ ตามต้องการ โดยใช้กรด ต่าง หรือเอนไซม์เอสเทอเรสสลายเอสเทอร์บอนด์ ระดับเอสเทอร์ใน โมเลกุลของเพคตินมีผลต่ออัตราเร็วและอุณหภูมิในการเซ็ทตัวของเจล สามารถ แบ่งเพคตินตามระดับเอสเทอร์ได้เป็น 2 ชนิด

1. เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง เป็นเพคตินที่มีระดับเอสเทอร์สูงกว่า 50% ขึ้นไป จะเกิด เจลได้ดีที่ระดับเอสเทอร์ 60-75% เมื่อมีปริมาณน้ำตาล 55% หรือสูงกว่า (55-85%) และที่พีเอช 3.5 หรือต่ำกว่า (1-3.5) ไม่จำเป็นต้องใช้แคลเซียมช่วยในการเกิดเจล

2. เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ เป็นเพคตินที่มีระดับเอสเทอร์น้อยกว่า 50% จะเกิดเจลได้ ดีเมื่อมีอิออนอื่น ๆ แม้ว่าไม่มีน้ำตาลเลยก็ได้ และที่พีเอช 1-7 หรือสูงกว่าปริมาณเพคตินที่ต้องการ ในการเกิดเจลลดลงตามระดับเอสเทอร์

2.8.3. อัตราเร็วในการเซ็ตตัว (Rate of set) หลังการเติมส่วนผสมต่าง ๆ ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่เข้าด้วยกัน เจลจะเกิดการเซ็ตตัวช้าเร็วต่างกัน ปกติเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงหรือต่ำจะเซ็ตตัวได้เร็ว ส่วนพวกที่มีหมู่เมทอกซิลปานกลางจะเซ็ตตัวได้ช้า ถ้าปริมาณกลุ่มเมทอกซิลเท่ากัน เพคตินที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าจะเซ็ตตัวได้เร็วกว่าอาจแบ่งเพคตินตามอัตราเร็วในการเซ็ตตัว ได้ดังนี้

ก. เพคตินที่เซ็ตตัวเร็ว (Rapid-set Pectin) เป็นเพคตินที่มีระดับเอสเทอร์ในโมเลกุล 70% ขึ้นไป เจลจะเริ่มเซ็ตตัวที่อุณหภูมิ 77-88 องศาเซลเซียส พีเอชที่เหมาะสมในการเกิดเจลอยู่ระหว่าง 3.0-3.4 ความแข็งของเจลขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของเพคตินมากกว่าเอสเทอร์ในโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุลยิ่งสูงจะยิ่งให้เจลที่แข็ง

ข. เพคตินที่เซ็ตตัวช้า (Slow-Set Pectin) เป็นเพคตินที่มีระดับเอสเทอร์ 50-70% เจลจะเริ่มเซ็ตตัวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 54-65 องศาเซลเซียส พีเอชที่เหมาะสมในการเกิดเจลอยู่ระหว่าง 2.8-3.2 ตารางที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับเอสเทอร์และอัตราเร็วในการเซ็ตตัวของเพคตินจากกากแอปเปิ้ล

ตาราง 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเอสเทอร์และอัตราเร็วในการเซ็ตตัวของเพคตินจากกากแอปเปิ้ล

ระดับการเอสเทอร์พีเคชั่น	ชนิดของเพคติน
80-82%	เซ็ตตัวเร็วมากที่สุด
74-76% or 45-55% (ใช้แคลเซียม)	เซ็ตตัวเร็ว
68-72%	เซ็ตตัวเร็วปานกลาง
60-65%	เซ็ตตัวช้า

ที่มา : Doseburg, 1960

## 2.9 กลไกการเกิดเจลของเพคติน

กลไกการเกิดเจลของเพคติน แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

2.9.1 เจลของเพคติน (Pectin Gel) เป็นเจลที่เกิดจากเพคตินที่มีกลุ่มเมทอกซิลสูง เพคตินมีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophillic) เมื่อละลายน้ำจะเกิดพันธะระหว่างเพคตินกับน้ำได้สารชั้นหนืด เพคตินที่มีกลุ่มคาร์บอกซิลส่วนใหญ่เกิดเป็นเอสเทอร์ ( $-\text{COOCH}_3$ ) และส่วนน้อยจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดเป็นคาร์บอกซิลอิสระ (-COOH) จะมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน และจะแตกตัวมากขึ้นกับพีเอช ที่พีเอชสูงจะแตกตัวได้มากขึ้นให้ประจุที่ผลึกกันเอง ทำให้โมเลกุลเรียงกันเป็นเส้นตรงของเหลวจะหนืดแต่ไม่เกิดเจลขึ้น เจลจะเกิดได้เมื่อเพคตินมาเชื่อมเข้าด้วยกันตรงบริเวณที่เรียกว่า Junction Zone เกิดเป็น โครงสร้างร่างแหสามมิติขึ้น

กรณีนี้จะเกิดได้เมื่อมีการเติมน้ำตาลลงไปเพื่อดึงน้ำออก และเติมกรดเพื่อลดพีเอชให้อยู่ในช่วง 2.9-3.4 ทำให้กลุ่มคาร์บอกซิลลดการแตกตัว โมเลกุลของเพคตินจะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งที่มีความยืดหยุ่น กลุ่มโพลาร์ (Polar Groups) ของโมเลกุลของเพคตินที่อยู่ใกล้กันจะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (H-bonds) เกิดเป็นร่างแหสามมิติที่กักของเหลวไว้ภายใน ความแข็งของเจลขึ้นกับความแข็งแรงและความต่อเนื่องของร่างแหของเพคติน

2.9.2. เจลของแคลเซียมเพคเตท (Calcium Pectate Gel) เจลชนิดนี้เกิดกับเพคตินที่มีกลุ่มเมทอกซิลต่ำจะเกิดที่พีเอชสูงกว่าพวกแรก คือในช่วง 3.4-6.0 โดยร่างแหสามมิติเกิดขึ้นจากการที่ไอออนของแคลเซียม ( $Ca^{2+}$ ) หรือ แมกนีเซียม ( $Mg^{2+}$ ) เป็นตัวเชื่อมกลุ่มคาร์บอกซิลที่แตกตัวของโมเลกุลเพคตินที่อยู่ใกล้กัน เกิดการฟอร์มตัวของ Junction Zones ด้วยไอออนของแคลเซียมเพื่อเชื่อมสายโมเลกุลและมีการจัดรูปร่างใหม่ที่เรียกว่า “Egg-Box Model” เจลชนิดนี้สามารถเกิดได้แม้ว่าไม่มีน้ำตาลเลยก็ตาม โดยทั่วไปเจลชนิดนี้จะมีความแข็งน้อยกว่าเจลของเพคติน

## 2.10. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเจลของเพคติน

ปัจจัยสำคัญในการเกิดเจลของเพคตินในผลิตภัณฑ์แยม เยลลี่ คือ

2.10.1. ปริมาณและคุณภาพของเพคติน เพคตินสามารถเกิดเจลได้ในที่มีน้ำตาลและกรดในปริมาณที่เหมาะสม ปกติในการทำแยมจะใช้เพคตินเพียง 1% ก็เพียงพอในการเกิดเจลแต่ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดและคุณภาพของเพคตินด้วย

2.10.2 ปริมาณน้ำตาล การเพิ่มความเข้มข้นน้ำตาลในแยมและเยลลี่จะลดการละลายของเพคตินทำให้เพคตินเกิดเป็นร่างแห เจลที่ได้จะมีความแข็งขึ้น ปกติต้องการปริมาณน้ำตาลราว 60-70% ระดับที่เหมาะสม คือ 67.5% ที่พีเอชที่เหมาะสมค่าหนึ่ง ถ้าปริมาณน้ำตาลลดลงจะต้องใช้ปริมาณเพคตินสูงขึ้นเพื่อให้เจลมีความแข็งแรงเท่ากัน การใช้ปริมาณน้ำตาลสูง ๆ จะทำให้แยมเกิดการแข็งตัวได้เร็วขึ้น

2.10.3. ผลของกรดหรือพีเอช กรดที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ นอกจากจะทำให้กลิ่นรสดีขึ้นและป้องกันการเสื่อมเสียแล้ว กรดยังมีผลในการลดพีเอชซึ่งมีผลต่อการแตกตัวของเพคติน อัตราเร็วในการเซ็ทของเจล อุณหภูมิในการเซ็ทตัวและการไหลเยิ้มของน้ำเชื่อม พีเอชที่เหมาะสมในการเกิดเจลราว 3.0 ที่พีเอชต่ำกว่านี้ความแข็งแรงของเจลรวมทั้งอัตราเร็วและอุณหภูมิในการเกิดเจลจะเพิ่มขึ้นด้วย

## 2.11. กรรมวิธีในการผลิตเพคตินในทางการค้า

อาจผลิตได้จากส้ม มะนาว แอปเปิ้ล หรือผลไม้อื่น ๆ โดยสกัดจากส่วนเปลือก แกนหรือเนื้อเยื่อ ผลไม้ดิบมีปริมาณเพคตินสูงกว่าผลไม้สุก อาจสกัดออกมาในรูปของเพคตินผงหรือสารละลายเพคติน วิธีการสกัดเพคตินมีขั้นตอนดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบ ประกอบด้วยการล้างเอาสิ่งสกปรกหรือยาฆ่าแมลงออก กั่นเอาน้ำมันหอมระเหยออกในกรณีของเปลือกส้ม หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ถ้าไม่สกัดทันทีต้องทำการอบแห้งให้มีความชื้นราว 6-8% เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ จากนั้นสกัดสารที่ไม่ต้องการออก เช่น น้ำตาล กรด สี และของแข็งละลายอื่น ๆ อาจทำได้ด้วยการชะด้วยน้ำเย็น แอลกอฮอล์เจือจาง กรดเจือจาง เป็นต้น

2. การทำให้เพคตินอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ ส่วนใหญ่ของเพคตินในผลไม้อยู่ในรูปของโปรโตเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ จึงอาจใช้กรดอินทรีย์หรือกรดอนินทรีย์ทำให้เพคตินอยู่ในรูปของเพคตินที่ละลายน้ำได้ เช่น ใช้กรดกำมะถัน กรดเกลือ กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก กรดซิตริก กรดแลคติก กรดคาร์บอริก เป็นต้น โดยใช้สารละลายกรดต้มสกัดที่อุณหภูมิสูงหลาย ๆ ครั้ง

นอกจากนี้ยังมีการใช้สารที่มีคุณสมบัติในการจับอออน โลหะพวกแคลเซียม หรือแมกนีเซียมร่วมในขั้นตอนการสกัดด้วย เช่น แอมโมเนียมออกซาเลต (Ammonium Oxalate) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate) โซเดียมฟอสเฟต (Sodium Phosphate) โซเดียมอีดีทีเอ (Sodium-EDTA) โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (Sodium hexa-meta-phosphate) โซเดียมเตตระฟอสเฟต (Sodium tetra-phosphate) พบว่าจะช่วยให้การสกัดเพคตินได้มากขึ้น และสามารถลดเวลาที่ใช้ในการสกัด โดยสารเหล่านี้ป้องกันมิให้อออนของแคลเซียม และแมกนีเซียมที่อยู่ในน้ำที่ใช้สกัดรวมตัวกับสารเพคตินในเซลล์พืช และเกิดเป็นเกลือเพคเตทที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งทำให้ไม่สามารถสกัดออกมาได้

3. การทำให้สารละลายเพคตินใสและการฟอกสี โดยผ่านการกรองแล้วฟอกสีด้วยผงถ่านประมาณ 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตกตะกอนเฟคติน สารละลายจะถูกนำมาเคี่ยวในหม้อสุญญากาศให้เข้มข้นราว 30-40 ปริกซ์ แล้วทำการตกตะกอน อาจใช้ตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์ อะซิโตน (Acetone) หรือตกตะกอนด้วยเกลือโลหะ เช่น อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium Hydroxide) วิธีหลังนี้ทำได้โดยเติมแอมโมเนียมในสารละลายเฟคตินจนมีความเป็นกรดต่างประมาณ 4.0 แล้วเติมอลูมิเนียมซัลเฟต (Aluminium Sulphate) จะได้อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้น อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มีประจุบวก จะรวมกับประจุลบของเฟคตินแล้วตกตะกอนเฟคตินลงมาดังสมการ



5. การทำให้บริสุทธิ์และการทำแห้ง จากนั้นทำการแยกตะกอนบีบน้ำออกแล้วล้างหลาย ๆ ครั้งด้วยแอลกอฮอล์ที่ปรับด้วยกรด เพื่อกำจัดสารตกค้างออกไป อบในเตาอบสุญญากาศที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นเหลือ 6-10% บดเป็นผงร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100-200 เมช แล้วจึงทดสอบเกรดของเฟคตินต่อไป ซึ่งคุณภาพเฟคตินที่ผลิตได้ต้องเป็นไปตามมาตรฐาน คู่มือได้จากตารางภาคผนวก ก1

#### การสกัดเฟคตินจากกากแอปเปิ้ล (ประสิทธิ์, 2527)

นำเนื้อแอปเปิ้ลแห้งมาล้างด้วยน้ำเย็นเพื่อเอากรดและน้ำตาลออก นำเนื้อผลไม้มาต้มในน้ำที่เติมด้วยกรดเจือจาง 0.1% อาจเป็นกรดตาร์ตริก กรดซิตริก กรดเกลือ หรือกรดซัลฟูริก เป็นเวลา 30-40 นาที บีบน้ำออกแล้วทิ้งให้เย็นลง อาจเติมเอนไซม์ไดเอสเตส (Diastase) เพื่อป้องกันการบูเน่จากแป้งเมื่อนำเฟคตินไปทำเฮลลี่ นำสารละลายที่ได้มารอง แล้วนำมาตกตะกอนด้วยเอทิลหรือโพรพิลแอลกอฮอล์ หรือนำมาระเหยจนได้สารละลายเฟคตินที่มีความเข้มข้นสูง บรรจุในภาชนะและทำการหนึ่งฆ่าเชื้อแล้วเก็บไว้ใช้ต่อไป

#### การสกัดเฟคตินจากเปลือกส้มหรือมะนาว (ประสิทธิ์, 2527)

หลังจากสกัดน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาวแล้ว นำเปลือกส้มมาผสมกับน้ำเติมกรดซัลฟูริกให้มีความเป็นกรดต่าง 1.8-2.7 แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที กรองแยกเอาเปลือกส้มขณะร้อน นำเปลือกส้มไปสกัดอีกครั้ง รวมสารละลายทั้งหมดเข้าด้วยกัน แล้วนำไปกรองด้วยเครื่องกรองที่มีการผสมของสารช่วยกรอง (Fitter Aid) จากนั้นทำให้สารละลายเย็นลงถึง 30 องศาเซลเซียส แล้วสูบต่อไปยังถังตกตะกอน มีการเติมอลูมิเนียมคลอไรด์ และปรับพีเอชของสารละลายด้วยโซเดียมคาร์บอเนตให้ได้ค่าพีเอช 3.8-4.2 อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะเริ่มตกตะกอน นำไปแยกตะกอนด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกของเหลวทิ้งไป แล้วนำตะกอนมาบีบน้ำออกนำไปผสมกับโพรพิลแอลกอฮอล์ที่เติมด้วยกรดเกลือเพื่อล้างตกตะกอน ล้างตะกอนที่แยกออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกครั้งด้วยสารละลายที่ประกอบด้วยแอลกอฮอล์:กรดเกลือ:น้ำ เท่ากับ 55:6.5:38.5 ซึ่งมีพีเอชเท่ากับ 1 (กรดที่เตรียมลงไปจะชะเอาเกลืออูมิเนียมและโซเดียมออกไป แอลกอฮอล์จะป้องกันการละลายของเพคติน) แล้วจึงกรองเอาตะกอนเพคตินมา ในการผลิตเพคตินชนิดที่เซทตัวช้า จะนำตะกอนไปต้มด้วยสารละลายแอลกอฮอล์ที่เติมด้วยกรดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-20 ชั่วโมง

ถ้าผลิตเพคตินที่เซทตัวเร็ว ก็จะล้างตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ 60% ต่อด้วยการล้างด้วยแอลกอฮอล์ 70% และกรดเกลือเข้มข้น 9% พีเอช 0.5-0.6 ตามลำดับ เพคตินทั้งสองชนิดจะนำมาผ่านขั้นตอนต่อไปที่เหมือนกัน คือ การล้างด้วยสารละลายแอลกอฮอล์ 75% ที่เติมด้วยแอมโมเนียมที่มากพอที่จะสะเทินกับกรดเกลือที่หลงเหลืออยู่ ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 3.6-4.2 ซึ่งเป็นพีเอชที่เพคตินมีความคงตัวที่สุด แยกเอาตะกอนมาล้างด้วยแอลกอฮอล์อีกครั้งเพื่อกำจัดแอมโมเนียมคลอไรด์ออกจนหมด เพคตินที่ได้จะมีความชื้นราว 60% นำไปอบแห้งให้ความชื้นเหลือ 7-10% นำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช

## 2.12 การปรับปรุงคุณภาพของเพคติน

เพคตินที่สกัดได้ในครั้งแรกก็มีระดับการเอสเทอร์ฟิเคชันค่อนข้างสูงประมาณ 70-75% ซึ่งเป็นเพคตินชนิดที่เหมาะสมสำหรับการทำแยมแบบดั้งเดิม เนื่องจากสามารถเกิดเจลได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เนื้อผลไม้กระจายตัวในแยมได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม การใช้เพคตินในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทอื่น ๆ จำเป็นต้องใช้เพคตินที่มีลักษณะการเกิดเจลต่าง ๆ กันไป โดยพิจารณาว่าสมควรใช้เพคตินชนิดที่เกิดเจลได้อย่างรวดเร็ว ปานกลาง หรือเกิดเจลค่อนข้างช้า เมื่อเป็นเช่นนี้จึงมีการปรับปรุงคุณภาพของเพคติน โดยกระบวนการ de-esterification ซึ่งนิยมใช้วิธีการไฮโดรไลซิสด้วยกรดหรือด่าง ทำให้เพคตินมีระดับการเอสเทอร์ฟิเคชันลดลง การ de-esterification สามารถทำได้ในหลาย ๆ ขั้นตอนของการแปรรูป อาจจะเริ่มตั้งแต่วัตถุดิบ ขั้นตอนการสกัด ส่วนสกัดที่ผ่านการทำให้เข้มข้น หรือตะกอนเปียกของเพคติน (wet precipitated pectin) ในปัจจุบันนิยมใช้ภาวะอุณหภูมิต่ำในการ de-esterification หรือมีการใช้เอนไซม์เพคตินเอสเทอร์สบริสซูทรี (purified pectinesterase) และแอมโมเนีย เมื่อเพคตินมีค่าระดับการเอสเทอร์ฟิเคชันลดลงเป็น 60% จัดเป็นเพคตินชนิดเกิดเจลได้ช้า (slow-set type) ในภาวะที่มีปริมาณน้ำตาลสูง ซึ่งเกิดเจลได้ช้ากว่า หรือที่อุณหภูมิต่ำกว่าการเกิดเจลของเพคตินชนิดเกิดเจลได้เร็ว และถ้าเพคตินมีค่า DE น้อยกว่า 50% ก็จะจัดเป็นเพคตินชนิดที่หมูเมทรอกซิลต่ำ การเกิดเจลจำเป็นต้องใช้  $Ca^{2+}$  ช่วย แต่ใช้น้ำตาลในปริมาณที่ต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพคติน

1. ชนิดของผลไม้ ผลไม้ต่างชนิดกันจะมีปริมาณและคุณภาพของเพคตินที่ต่างกัน จากการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณของเพคตินในผลไม้พื้นเมืองของไทยบางชนิดในรูปของแคลเซียมเพคเตท โดยเทียบน้ำหนักสด พบว่ามะนาวมีเพคติน 2.46% , มะเฟือง 1.61% , ตะลิงปลิง 1.14% , มะดัน 0.22% , ส่วนฝรั่งมีเพคติน 0.17%

2. ความแก่อ่อนของผลไม้ ความแก่อ่อนของผลไม้มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพคติน พบว่า เพคตินในผลไม้ดิบจะอยู่ในรูปของสารโปรโตเพคติน เมื่อสุกแล้วจะมีเอนไซม์โปรโตเพคตินเนส ซึ่งสามารถไฮโดรไลซ์โปรโตเพคตินจากสารไม่ละลายน้ำ กลายเป็นเพคตินซึ่งสามารถละลายน้ำได้ แต่ถ้าผลไม้สุกจัดเพคตินจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์เพคตินเอสเทอร์สได้กรดเพคติก ซึ่งเป็น Colloidal Polygalacturonic Acid ที่ไม่มีเมทิลเอสเทอร์ในโมเลกุลและกรดเพคตินี้ไม่สามารถเกิดเจลได้ในทุกสภาวะ

3. พันธุ์ของผลไม้ จากการศึกษาพบว่าผลไม้ชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์กันปริมาณของเพคตินที่มีอยู่จะต่างกันด้วย (Eitimary,1975)

4. เพคตินในส่วนต่าง ๆ ของผลไม้มีไม่เท่ากัน เช่น เปลือกจำปาจะมีเพคติน 11.59% ส่วนซังของจำปาดะมีเพคติน 12.54% และส่วนแกนจำปาดะมีเพคติน 8.57% โดยน้ำหนักแห้ง (วาสนา,2534)

5. กรรมวิธีการสกัด การตกตะกอนและการทำให้บริสุทธิ์ มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพคติน พบว่าในการตกตะกอนเพคตินด้วย เกลืออลูมิเนียมเพคตินेट ถ้าใช้อลูมิเนียมคลอไรด์ในการตกตะกอนแล้ว เพคตินที่ได้จะมีคุณสมบัติดีกว่าการตกตะกอนเพคตินด้วยอลูมิเนียมซัลเฟตหรือการใช้สารส้ม Setty พบว่า ปริมาณเพคตินที่ได้จากการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์จะสูงกว่าปริมาณเพคตินที่ได้จากการตกตะกอนด้วยอลูมิเนียมคลอไรด์ นอกจากนี้เพคตินที่ได้จากการตกตะกอนด้วยอลูมิเนียมคลอไรด์มักจะมีกลุ่มเมทิล ไม่เกิน 78% ด้วย (วาสนา,2534)

### การสกัด

การสกัด เป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกสารที่ต้องการออกจากของผสม หรือสารละลาย โดยใช้ตัวทำละลายและวิธีการที่เหมาะสม การสกัดเพคตินจากผลกระเจียบมอญเป็นการสกัดของแข็งด้วยของเหลว

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการสกัด (Schwartzberg, 1973)

1. ขนาดอนุภาค (Particle Size) ถ้าอนุภาคที่นำมาสกัดมีขนาดเล็กจะทำให้มีพื้นที่ในการถ่ายเทมวลมากขึ้น และทำให้ระยะทางที่ตัวถูกละลาย (Solute) ที่อยู่ภายในของแข็งแพร่กระจายออกสู่ตัวทำละลายสั้นลง จึงแพร่กระจายได้เร็วขึ้น

2. ตัวทำละลาย (Solvent) ตัวทำละลายที่ดีควรมี Polarity ที่เหมาะสมกับตัวถูกละลาย และมีความหนืดต่ำเพื่อให้มีการไหลเวียนที่ดี โดยทั่ว ๆ ไปจะใช้ตัวทำละลายที่บริสุทธิ์ในการสกัดตอนเริ่มต้นนั้น ตัวทำละลายบริสุทธิ์จะไม่มีตัวถูกละลายอยู่แล้ว เมื่อเวลาในการสกัดมากขึ้นความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายจะเพิ่มขึ้นด้วย จนกระทั่งผลต่างของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายและในอนุภาคของกระเจียบมอญที่นำมาสกัดน้อยลง ตัวถูกละลายจะถูกสกัดได้น้อยลง ปัจจัยในการเลือกตัวทำละลายเพื่อสกัดเพคตินจากพืช คือ

- ต้องสามารถละลายสารที่ต้องการสกัดได้
- ต้องไม่เป็นอันตรายหรือไม่เป็นพิษ เช่น ไม่ติดไฟ ไม่ระเบิดง่าย
- ราคาถูก
- สะดวกในการกำจัดหรือแยกออกจากผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้ แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้

3. อุณหภูมิของตัวทำละลาย (Temperature of Solvent) เมื่ออุณหภูมิสูงมากขึ้นจะทำให้ปริมาณการสกัดสูงขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายจะเพิ่มมากขึ้น แต่ในการสกัดเพคตินจะไม่ใช้อุณหภูมิสูงมากนักเพราะทำให้เพคตินสลายตัวได้บางส่วน จึงควรหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิสูง ๆ

4. เวลาในการสกัด เวลาที่มีผลในการสกัด ถ้าเวลาในการสกัดน้อยสารที่ต้องการสกัดก็ถูกสกัดออกมาน้อย ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้เวลาในการสกัดให้เหมาะสมเพื่อให้สกัดสารที่ต้องการได้เร็วให้มากที่สุด

5. การกวนของไหล (Agitation of the Fluid) การกวนตัวทำละลายเป็นสิ่งสำคัญมากเพราะจะช่วยเพิ่มอัตราการสกัด เนื่องจากการทำให้เกิดการแพร่ในสภาวะปั่นป่วนทำให้อัตราการแพร่สูงขึ้นจึงทำให้การถ่ายเทมวลสารจากผิวสัมผัสจากอนุภาคไปยังของเหลวภายนอกได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการกวนจะทำให้อนุภาคลอยตัวผสมกันได้ดีและเกิดการลอยตัวขึ้นจะทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลวมีมวลมากขึ้น การสกัดก็ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง**

### 2.13. คุณภาพของเพคติน

คุณภาพของเพคตินที่ผลิตได้จะมีความแตกต่างกันไป เช่น องค์ประกอบทางเคมี น้ำหนักโมเลกุลและความบริสุทธิ์ โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อพืชและภาวะที่ใช้ในการสกัด ซึ่งคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้สามารถแสดงในรูปของค่าต่าง ๆ ดังนี้

#### 1. ระดับเอสเทอร์ฟิเคชัน (Degree of esterification ,DE)

หมายถึง จำนวนกลุ่มคาร์บอกซิลที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยเมทานอล โดยจะคำนวณเป็นร้อยละของส่วนที่เป็นเอสเทอร์ต่อจำนวนหน่วยของกรดกาแลคทูโรนิกที่มีอยู่ทั้งหมด ถ้ากลุ่มคาร์บอกซิลในกรดโพลีกาแลคทูโรนิกทั้งหมดเป็นเอสเทอร์ พบว่าจะมีปริมาณหมู่เมทอกซิลอยู่ 16.32%ของน้ำหนักโมเลกุลของเพคติน ซึ่งถือว่าระดับเอสเทอร์ฟิเคชันจะเป็น 100%

#### 2. น้ำหนักสมมูลย์ของกรดโพลีกาแลคทูโรนิก (Equivalent weigh,Eq.Wt.)

น้ำหนักของกรดโพลีกาแลคทูโรนิก จะขึ้นอยู่กับระดับเอสเทอร์ฟิเคชัน ดังแสดงในตารางที่ 2.6 ค่าน้ำหนักของกรดโพลีกาแลคทูโรนิก หมายถึง จำนวนกรัมของกรดโพลีกาแลคทูโรนิกบริสุทธิ์ ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนกลุ่มของคาร์บอกซิลอิสระ 1 กรัมโมลที่สมมูลย์กับไฮดรอกไซด์ 1 กรัมโมล

#### 3. ปริมาณหมู่เมทอกซิล (Methoxy content,MeO.)

หมายถึง จำนวนของกลุ่มเมทอกซิลที่อยู่ในโมเลกุลของเพคติน ค่านี้นี้จะมีความหมายคล้ายกับค่าระดับเอสเทอร์ฟิเคชัน ปริมาณหมู่เมทอกซิลเป็นตัวแปรสำคัญในการควบคุมเวลาในการเกิดเจลของเพคตินและความว่องไวในการตอบสนองต่อ ployvalent cation เพคตินที่มีปริมาณหมู่เมทอกซิล = 13.5% ที่พบในธรรมชาติมีน้อยมากแต่สามารถทำให้ปริมาณเมทอกซิลเพิ่มขึ้นได้โดยทำปฏิกิริยากับ diazomethane (3) ค่าปริมาณหมู่เมทอกซิล MeO. หาได้โดยการทำ Saponification ของเพคตินและไตรเอทิล กลุ่มคาร์บอกซิลอิสระที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

#### 4. ปริมาณหมู่อะซิติล (Acetyl content)

บางครั้งเพคตินจากพืชบางชนิด เช่น sugar beet และดอกทานตะวัน อาจมีกลุ่มอะซิติลอยู่ด้วย ซึ่งกลุ่มอะซิติลจะทำให้ประสิทธิภาพการเกิดเจลของเพคตินลดลง Kertess พบว่ากลุ่ม acetyl ส่วนมากจะอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 หรือ 3 โดยมาเกาะแทนที่กลุ่มไฮดรอกซิล ปริมาณอะซิติลในเพคตินที่ได้จากพืชชนิดต่าง ๆ จะมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไป

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับเอสเทอร์ฟิเคชัน, ปริมาณหมู่เมทออกซิล และน้ำหนักสมมูลย์ของกรดโพลีกาแลคทูโรนิก

ระดับการ เอสเทอร์ฟิเคชัน (%)	ปริมาณหมู่ เมทออกซิล (%)	น้ำหนักสมมูลย์ ของกรดโพลี กาแลคทูโรนิก (%)
0	0.00	176
10	1.33	197
20	3.26	224
30	4.90	257
40	6.53	303
50	8.16	366
60	9.76	461
70	11.42	619
80	13.06	936
90	14.69	1886
100	16.32	-

ที่มา Doesburg, 1960

#### 5. Anhydrouronic acid (A.U.A.)

A.U.A. เป็นค่าที่บอกความบริสุทธิ์ของเพคติน เพราะองค์ประกอบสำคัญของเพคตินคือ esterified polygalacturonic acid และเพคตินยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ อีกประมาณ 10% เป็นพวก organic matters เช่น arabinose , galactose หรือน้ำตาลตัวอื่น ๆ ดังนั้นถ้าเพคตินมีสารพวก organic matters เหล่านี้อยู่มากเพคตินดังกล่าวก็จะมีควมบริสุทธิ์น้อยและมีค่า A.U.A. ต่ำ

#### 6. Jelly grade

Jelly grade เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของเพคตินในการเกิดเจล ประเมินได้จากการนำเพคตินที่สกัดได้มาเตรียมเป็นเฮลลี่ในภาวะมาตรฐานกำหนด โดยใช้เพคตินในปริมาณต่าง ๆ กัน แล้วนำเฮลลี่ดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับความแข็งกับเฮลลี่มาตรฐานที่เตรียมได้ในภาวะมาตรฐานกำหนดแล้วประเมินเป็นค่า Jelly grade

## 2.14. สมบัติและหน้าที่

### 1. การละลาย

เพคตินละลายได้ในน้ำเย็นและน้ำร้อนให้สารละลายที่มีความข้นหนืด แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ปัญหาที่ควรระวังคือการจับตัวเป็นก้อนของเพคตินเมื่อนำไปละลายในน้ำ วิธีการแก้ไขโดยทั่วไปนิยมใช้เครื่องผสมความเร็วสูงช่วยในการละลายของเพคติน โดยค่อย ๆ เติมเพคตินในน้ำร้อนอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งเปิดเครื่องความเร็วสูงเป็นเวลา 5-10 นาที

### 2. ความหนืด

ความหนืดของเพคตินจะมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง เช่น ระดับการเอสเทอร์ฟิเคชันของเพคติน ความเข้มข้น อุณหภูมิ พีเอช และเกลือชนิดต่าง ๆ ในระบบที่มีการใช้เพคตินและน้ำตาลอย่างเหมาะสมสารละลายที่ได้จะมีความหนืดจนกระทั่งเมื่อพีเอชของระบบต่ำกว่า 3.6 จะเกิดเป็นเจล ทั้งนี้ระดับของพีเอชที่ใช้ขึ้นกับระดับการเอสเทอร์ฟิเคชันของเพคตินชนิดนั้น ๆ และเกลือที่ใช้ร่วมด้วย การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ปริมาณเล็กน้อย (ประมาณ 0.6%) มีผลทำให้ความหนืดของสารละลายเพคตินเพิ่มขึ้นอย่างมาก และถ้าใช้ถึง 0.8% ก็จะทำให้เพคตินที่มีระดับการเอสเทอร์ฟิเคชัน 40% ที่พีเอช 2.9 เกิดเจลได้ ความหนืดของสารละลายเพคตินจะมีค่าลดลงที่ พีเอช 4.4 และที่พีเอชสูงขึ้น (ประมาณพีเอช 6)

### 3. การเกิดเจล

การเกิดเจลของพันธะเพคติน จัดเป็นสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ

#### 3.1 การเกิดเจลของเพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลมาก

การเลือกใช้พีเอชที่เหมาะสมมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลที่ใช้ อย่างเช่น การทำแยมโดยทั่ว ๆ ไป การใช้เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลมากประเภทเจลที่ได้จะรวดเร็วมากเป็นพิเศษ เพคตินชนิดที่เกิดเจลเร็วจะใช้ปริมาณน้ำตาลประมาณ 60% ที่พีเอช 3.0-3.2 ในบางกรณีสามารถใช้กลูโคสไซรัปแทนน้ำตาลในการเกิดเจลได้ แต่พบว่าเจลมีค่าความแข็งแรงลดลงและอุณหภูมิในการเกิดเจลมีค่าเพิ่มขึ้น.

#### 3.2 การเกิดเจลของเพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลน้อย

เพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลน้อย สามารถเกิดเจลได้โดยใช้แคลเซียมไอออน ซึ่งเชื่อว่ามีกลไกการเกิดเจลเป็นแบบกล่องไข เช่นเดียวกับการเกิดเจลของโซเดียมอัลจินेटโดยมี  $Ca^{2+}$  ทำหน้าที่ตัวเชื่อมประสานระหว่างสายโมเลกุลของเพคตินบริเวณหมู่ไม่มีเอสเทอร์ (อาจมีหมู่เอไมด์ได้เพียงเล็กน้อย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.15. ประโยชน์ของเพคตินในอุตสาหกรรมอาหาร

1. แยมและเยลลี่ เพคตินที่นิยมการนำเพคตินไปใช้ประโยชน์นำมาใช้ส่วนใหญ่จะเป็นเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงมากกว่าเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ โดยใช้เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงเป็นส่วนประกอบประมาณ 0.3-0.5% โดยที่ระบบต้องมีประมาณของแข็งละลายอยู่ประมาณ 65% มีพีเอชเท่ากับ 2.9-3.2 ลักษณะที่ของแยมที่มีส่วนประกอบของเนื้อผลไม้ผสมอยู่ คือ เนื้อผลไม้เหล่านั้นจะต้องกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ ไม่แขวนลอยอยู่ด้านบนหรือตกตะกอนนอนกันอยู่ด้านล่าง ซึ่งการเกิดเจลต้องเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยการใช้เพคตินที่มีค่าระดับเอสเทอร์ที่แค่ขั้นตั้งแต่ 75% ขึ้นไป

2. การผลิต โยเกิร์ต เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของการเตรียมผลไม้ที่จะใช้ในการทำโยเกิร์ต เพื่อป้องกันการลอยตัวและการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของเนื้อผลไม้ใน stir yoghurt ทำให้เนื้อผลไม้และชั้นของโยเกิร์ตผสมกันได้ดี

3. เครื่องดื่ม โดยทั่วไปจะมีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณ 10-15% ซึ่งน้ำตาลเหล่านั้นนอกจากเป็นสารให้ความหวานแล้วยังให้ความรู้สึกบางอย่างในช่องปาก สิ่งที่ทำให้เกิดความรู้สึกดังกล่าวนี้คือความหนืดในการผลิตเครื่องดื่มพลังงานต่ำต้องมีการลดปริมาณน้ำตาลลงและใส่สารเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง ประมาณ 0.05-0.1%เติมลงไป

4. การถนอมอาหาร ใช้สำหรับอาหารที่ไม่มีการเติมน้ำเพื่อให้ความหวานนอกจากน้ำผลไม้ ซึ่งเป็นผลทำให้อาหารนั้นมีปริมาณของแข็งแขวนลอยอยู่น้อย ซึ่งมีผลต่อ Aw ในอาหารนั้น ถ้ามีของแข็งแขวนลอยอยู่น้อยจะทำให้อาหารนั้นมีค่า Aw มากขึ้น โอกาสที่จุลินทรีย์จะเจริญก็มีมาก ปริมาณของแข็งแขวนลอยที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้ได้นานขึ้น จะอยู่ประมาณ 55-62% การเติมเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ ลงไปจะเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งแขวนลอยให้กับอาหารนั้น

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

##### 3.1 วัสดุดิบ

- 3.1.1.1 ฟรังก์สด
- 3.1.1.2 กากฟรังก์สด

##### 3.2 สารเคมี

- 3.2.1.1 เอทานอล 95 %
- 3.2.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3.2.1.3 กรดอะซิติก
- 3.2.1.4 แคลเซียมไฮดรอกไซด์
- 3.2.1.5 สารละลายไฮโดรคลอริก
- 3.2.1.6 ผงถ่านกัมมันต์
- 3.2.1.7 celite

##### 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 3.3.1.1 บีกเกอร์ขนาดต่างๆ
- 3.3.1.2 Buchner funnel
- 3.3.1.3 Suction flask
- 3.3.1.4 กะละมังสแตนเลส
- 3.3.1.5 ผ้าขาวบาง
- 3.3.1.6 ฝาลินิน
- 3.3.1.7 Aluminium can
- 3.3.1.8 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.3.1.9 กระดาษกรองเบอร์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์

- 3.4.1.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 3.4.1.2 ตู้อบ
- 3.4.1.3 อ่างควบคุมอุณหภูมิ
- 3.4.1.4 เครื่องระเหยสุญญากาศ
- 3.4.1.5 Hot plate

### 3.5 วิธีการทดลอง (ในการทำการทดลองใช้การวางแผนการทดลองแบบ Factorial Design)

#### 3.5.1 ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเพคตินในเนื้อฝรั่งและกากฝรั่ง

##### 3.5.1.1 การสกัดเพคติน

1. ชั่งน้ำหนักกากฝรั่ง เนื้อฝรั่ง และน้ำฝรั่ง 100 กรัมปั่นรวมกับน้ำ 250 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้ได้ 4.5 ด้วยสารละลายกรดซิตริก
2. ให้ความร้อนที่ 80°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงในอ่างควบคุมอุณหภูมิ
3. กรองขณะร้อนด้วยผ้าขาวบางพับ 2 ทบ 2 ครั้ง รวม 2 ผืนวางบนผ้าฝ้ายบนกระชอนจะได้สารละลายเพคตินที่สกัดจากฝรั่ง

##### 3.5.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณเพคตินในรูปแบบแคลเซียมเพคเตท (Carre & Haynes)

1. ปิ่เปิดสารละลายเพคตินที่สกัดได้จำนวน 100-200 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร
2. ทำให้สารละลายเป็นกลางโดยเติม 1N NaOH แล้วเติม 10 มิลลิลิตรของ 1N NaOH กวนสารละลายให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 คืน
3. เติม 50 มิลลิลิตร ของ 1 N CH<sub>3</sub>COOH ทิ้งไว้ 5 นาที เติม 25 มิลลิลิตร ของ 1 N Ca(OH)<sub>2</sub> ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
4. นำไปต้มให้ความร้อนจนเดือด 2-3 นาที นำสารละลายที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยน้ำเดือดจนหมดอนุโมลคลอไรด์
5. อบตะกอนที่ 100-105 °C เป็นเวลา 12-18 ชั่วโมง
6. ชั่งตะกอนแคลเซียมเพคเตท บันทึกผล
7. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เพคตินในรูปแบบแคลเซียมเพคเตท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากกากฝรั่ง

#### 3.5.2.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของ HCl และอุณหภูมิ : การสกัดเพคติน

1. ชั่งน้ำหนักกากฝรั่ง 100 กรัม
2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในอัตราส่วนเนื้อฝรั่ง : สารละลายกรด 1:10 ที่ความเข้มข้นต่างๆดังนี้ 1, 1.5 และ 2 % ตามลำดับ
3. ให้ความร้อนใน Water bath 60, 70 และ 80<sup>o</sup>C ตามลำดับทำการสกัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. กรองด้วยผ้าขาวบาง จะได้สารละลายเพคตินที่สกัดได้จากกากฝรั่ง
5. วิเคราะห์หาปริมาณเพคตินที่สกัดได้ในรูปแคลเซียมเพคเตท ตามวิธีข้อ 3.5.1.2

#### 3.5.2.2 ศึกษาผลของระยะเวลาและอัตราส่วนกากฝรั่ง : สารละลาย HCl

1. ชั่งน้ำหนักกากฝรั่ง 100 กรัม
2. เติมสารละลายไฮโดรคลอริกในอัตราส่วนกากฝรั่ง : สารละลาย HCl ที่ 1:5, 1:10 และ 1:15 ตามลำดับโดยใช้สารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้นที่เหมาะสมจากผลที่ได้ในข้อ 3.5.2.1
3. ให้ความร้อนใน Water bath ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมจากผลที่ได้ในข้อ 3.5.2.1 ใช้ระยะเวลาในการสกัด 2, 3 และ 4 ชั่วโมง
4. กรองด้วยผ้าขาวบาง จะได้สารละลายเพคตินที่สกัดได้จากกากฝรั่ง
5. วิเคราะห์หาปริมาณเพคตินที่สกัดได้ในรูปแคลเซียมเพคเตท ตามวิธีข้อ 3.5.1.2

#### 3.5.3 การทดลองผลิตเพคตินจากกากฝรั่ง

1. ทำการสกัดเพคตินจากสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดที่ได้ผลจากข้อ 3.5.2
2. ฟอกสีสารละลายเพคตินที่สกัดได้จากกากฝรั่ง โดยเติมผงถ่านกัมมันต์ ในปริมาณ 3%
3. กรองผ่านชั้นของผงกรอง (celite ped) จะได้สารละลายที่มีลักษณะใส
4. ทำให้สารละลายเข้มข้นด้วยเครื่อง Rotary Evaporator ที่อุณหภูมิ 60<sup>o</sup>C จนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
5. เติม 60%เอทานอล ในสัดส่วน 1:1 ทิ้งไว้ 30 นาที เกิดตะกอนขึ้น

6. กรองด้วยผ้าลินิน ล้างตะกอนด้วย 75%เอทานอล 2 ครั้ง และ 95%เอทานอล 1 ครั้ง
7. อบตะกอนเพคตินด้วยตู้อบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 60°C ที่ความดัน 30 in.Hg
8. ชั่งตะกอนเพคตินที่ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเพคตินในเนื้อฝรั่งและกากฝรั่ง

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเพคตินในเนื้อฝรั่ง กากฝรั่ง และน้ำฝรั่ง

วัตถุดิบ	ปริมาณแคลเซียมเพคเตท(%)
กากฝรั่ง	52.92
น้ำฝรั่ง	47.05

การวิเคราะห์หาปริมาณของเพคตินในรูปของแคลเซียมเพคเตท พบว่าในเนื้อฝรั่ง 100 กรัม มีปริมาณแคลเซียมเพคเตท 0.3832 กรัม แบ่งเป็นกากฝรั่ง 33.20 กรัม มีปริมาณแคลเซียมเพคเตท 0.2028 กรัม และในน้ำฝรั่ง 62.84 กรัม มีปริมาณแคลเซียมเพคเตท 0.1803 กรัม จะเห็นได้ว่าปริมาณแคลเซียมเพคเตทในกากฝรั่งมีปริมาณสูงกว่าในน้ำฝรั่ง ดังนั้นในการศึกษาคาดว่าปริมาณแคลเซียมเพคเตทที่สกัดได้จากกากฝรั่งจะมีปริมาณที่สูง เนื่องจากจะมีการสูญเสียแคลเซียมเพคเตทไปกับน้ำฝรั่ง ร้อยละ 47.05

## 4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากกากฝรั่ง

### 4.2.1 ศึกษาความเข้มข้นสารละลาย HCl และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด

ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นสารละลาย HCl และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด

ความเข้มข้นสารละลาย HCl (%)	อุณหภูมิ(°C)		
	60	70	80
1	0.7585 <sup>c</sup> ±0.1255	0.9661 <sup>b</sup> ±0.1089	0.701 <sup>c</sup> ±0.0758
1.5	0.9500 <sup>b</sup> ±0.1097	1.2817 <sup>a</sup> ±0.1247	0.9370 <sup>b</sup> ±0.0855
2	1.0280 <sup>b</sup> ±0.0470	0.9460 <sup>b</sup> ±0.0550	0.6640 <sup>c</sup> ±0.2920

จากผลการศึกษาความเข้มข้นสารละลาย HCl และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด พบว่าความเข้มข้นสารละลาย HCl ที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้น 1.5% และอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณตะกอนแคลเซียมเพคเตทที่สกัดได้มากที่สุด ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 1.2817<sup>a</sup>±0.1247 กรัม/100 กรัมจากน้ำหนักเปียก จากผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 60<sup>o</sup>ซ จะได้ปริมาณตะกอนแคลเซียมเพคเตทน้อยเนื่องจากอุณหภูมิในการสกัดต่ำจึงไม่เพียงพอต่อการไฮโดรไลต์โปรโตเพคติน และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นคือที่อุณหภูมิ 80<sup>o</sup>ซ ปริมาณตะกอนแคลเซียมเพคเตทที่ได้น้อย เนื่องจากถ้าเพิ่มอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เพคตินเสื่อมคุณภาพลง จนไม่สามารถตกตะกอนออกมาได้ และในส่วนความเข้มข้นสารละลาย HCl เมื่อสกัดที่ความเข้มข้นต่ำคือที่ 1%พบว่าปริมาณตะกอนแคลเซียมเพคเตทที่ได้น้อย เนื่องจาก มีปริมาณไม่เพียงพอต่อการไฮโดรไลต์โปรโตเพคตินไปเป็นเพคติน และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลาย HCl สูงขึ้นคือที่ 2% พบว่าปริมาณตะกอนแคลเซียมเพคเตทจะมีปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณตะกอนแคลเซียมเพคเตทจะมีปริมาณลดลง เนื่องจากเพคตินเสื่อมคุณภาพลง จึงไม่สามารถตกตะกอนออกมาได้

#### 4.2.2 ศึกษาอัตราส่วนกากฝรั่ง : สารละลาย HCl และระยะเวลาในการสกัด

ตารางที่ 4.3 ศึกษาอัตราส่วนกากฝรั่ง : สารละลาย HCl และระยะเวลาในการสกัด

อัตราส่วนกากฝรั่งต่อ สารละลาย HCl	ระยะเวลาในการสกัด (ชั่วโมง)		
	2	3	4
1:5	0.9977 <sup>bc</sup> ±0.0135	0.7030 <sup>c</sup> ±0.0290	0.7823 <sup>bc</sup> ±0.0651
1:10	1.2817 <sup>a</sup> ±0.1247	0.8375 <sup>cdc</sup> ±0.0775	1.1363 <sup>bc</sup> ±0.1314
1:15	0.9720 <sup>bcd</sup> ±0.2340	0.6430 <sup>c</sup> ±0.0490	0.9920 <sup>b</sup> ±0.0890

จากผลการศึกษาอัตราส่วนกากฝรั่ง : สารละลาย HCl และระยะเวลาในการสกัดพบว่าอัตราส่วนกากฝรั่ง : สารละลาย HCl และระยะเวลาในการสกัดสถานะที่เหมาะสมคือ ทำการสกัดโดยใช้อัตราส่วนกากฝรั่ง : สารละลาย HCl ในอัตราส่วน 1 :10 ระยะเวลาในการสกัด 2 ชั่วโมงซึ่งสามารถตกตะกอนให้แคลเซียมเพคเตทในปริมาณที่มากที่สุด เนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราส่วนกากฝรั่ง : สารละลาย HCl ในการสกัดเป็น 1 :15 ปริมาณแคลเซียมเพคเตทที่ได้จะมีปริมาณน้อยลง เนื่องมาจากการเพิ่มอัตราส่วนจะทำให้เกร็ดเคียนของความเข้มข้นเพิ่มขึ้นทำให้สารละลาย HCl ไฮโดรไลต์เพคตินต่อส่งผลให้ปริมาณแคลเซียมเพคเตทที่ได้มีปริมาณน้อยลง และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัดเป็น 3 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมงพบว่าปริมาณแคลเซียมเพคเตทที่ได้จะมีปริมาณลดลงเนื่องจากความหนืดเพิ่มขึ้น และเกิดการเสื่อมคุณภาพของเพคติน

### 4.3 ทดลองผลิตเพคตินจากกากฝรั่งด้วยวิธีการตกตะกอนด้วย 60%เอทานอล

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณเพคตินที่ได้จากการตกตะกอนด้วย 60% เอทานอล

วิธีการ	ปริมาณเพคติน % (นน. / นน. )
ตกตะกอนด้วย 60% เอทานอล	10.88

จากผลการทดลองผลิตเพคตินโดยใช้การตกตะกอนด้วย 60% เอทานอล พบว่าปริมาณเพคตินที่ได้มีปริมาณสูง เนื่องจากในขั้นตอนของการสกัดใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ศึกษาได้ในการสกัดจึงทำให้โปรโตเพคตินเปลี่ยนเป็นเพคตินได้มากขึ้นส่งผลให้เมื่อนำมาตกตะกอนด้วย 60% เอทานอล ปริมาณเพคตินมีค่ามาก



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเพคตินในเนื้อฝรั่งและกากฝรั่งพบว่า เนื้อฝรั่งเมื่อนำมาคั้นน้ำแล้วยังคงมีปริมาณเพคตินหลงเหลืออยู่ในกากร้อยละ 52.92 ของปริมาณเพคตินในทั้งหมด และมีปริมาณเพคตินออกไปกับน้ำร้อยละ 47.05 ของปริมาณเพคตินในทั้งหมด สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ ทำการสกัดโดยใช้สารละลาย HCl 1.5% ที่อุณหภูมิ 70<sup>o</sup>ซ ใช้อัตราส่วนของกากฝรั่ง : สารละลาย HCl ในอัตราส่วน 1: 10 นาน 2 ชั่วโมง เนื่องจากสภาวะดังกล่าวสามารถไฮโดรไลซ์โปรโตเพคตินไปเป็นเพคตินได้มากที่สุด ในขั้นตอนของการผลิตเพคติน โดยตกตะกอนด้วย 60% เอทานอลพบว่า ได้ปริมาณเพคตินเท่ากับ ร้อยละ 10.88 ของน้ำหนักกากฝรั่งแห้ง

#### ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากกากฝรั่ง ควรมีการศึกษาความเร็วในการกวน และขนาดอนุภาคเพิ่มเติมเนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด
2. ในการศึกษาการสกัดเพคตินจากกากฝรั่ง ควรมีการศึกษาการสกัดเพคตินโดยการใช้เอนไซม์โปรโตเพคตินเอสในการไฮโดรไลซ์ส่วนของ hairy region.

## เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา นวลมา และ น้ำผึ้ง มะลิวัลย์.2539.สกัดเพคตินจากผลไม้.ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏเพชรบุรี.23 หน้า.
- นัศวรณ เสาร์จุกต์ดี และ ศิรินุช จงจิตร.2541.เชอร์เบทจากกากฝรั่ง.ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.50 หน้า.
- ประสิทธิ์ อติวีรกุล.2527.เทคโนโลยีผลไม้และผัก.สงขลา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.147-167 หน้า.
- ปิยะนุช เอกฉัตร.2541.เพคตินและการนำไปใช้ประโยชน์.ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร.คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.กรุงเทพฯ. 1-17 หน้า.
- พงษ์สามารถ,สุวนันท์ และมาร์คแมน,นรานิน.2532.การสกัดสารคล้ายเพคตินและการทำให้บริสุทธิ์ จากเปลือกไม้ไทย.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พวงทอง ใจสันติ.2537.การศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกสวรส.มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.34 หน้า.
- รพีพรรณ วัชรโรพิน และ เชียงรัตน์ นันต์ชนะ.2532.ผลิตแปรรูปจากฝรั่ง.ภาควิชาอุตสาหกรรม เกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วาสนา อ่อนหวาน.2534.การศึกษาจลนศาสตร์ในการสกัดเพคตินจากเปลือกสวรส.วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.149 หน้า.
- ศศิพร กุลตรีรัตนารมย์ และ สุวรรณีย์ สัจจาพิทักษ์.2542.การศึกษาทดลองผลิตเพคตินจากกากฝรั่ง. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.65 หน้า.
- สุมาลี พิทักษ์เสรีกุล.2517.การสกัดเพคตินจากฝรั่ง.ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา วิชาเทคโนโลยีอาหาร.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.27 หน้า.
- สุทัศน์ วัฒนาวณิชกร.2518.การหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการสกัดเพคติน. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหารมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.16 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โสภิตา โคตรวีระ.2537.การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสกัดเพคตินจากดอกกระเจี๊ยบ.วิทยานิพนธ์(วศ.ม.)สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.กรุงเทพฯ.102 หน้า.
- อติพงษ์ โอวาท.2532.การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของฝรั่งที่อุณหภูมิต่ำ.ภาค  
 วิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
 ทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ.60 หน้า.
- Doesburg,J.J.,1960,**Pectin Substances In Fresh and Preserve Fruits and Vegetable**,New York,Institute for Research on storage and Processing of Horticultural Produce Wageningen,pp.73.
- Eitinary, E.and Kha Hap,A,1975, "Characterization of Pectin Substances in Mangoware".**Journal of Food Science**,Vol.51, No.7,pp.205-206.
- Hoefler,C.A. 1998.**Pectin Chemistry, Functionality and Applications**. Hercules Incorporated Foodgum Group. Wilmington.
- Nadanura,T.,Hours,R.A.,and Sakai,T.1995.**Enzymatic Macerston of vegetable with Protopectinases**.J.Food Sci.60(3).pp.463-472.
- Sanofi Bio-Industries,1994,**Technical Document**:Paris,pp.1-23.
- Schwartzberg,H.G.,1982,**Progress and problems in Solid Liquid Extraction Presented at the First Lating American Congress on Heat and Mass Transfer**,Argentina,La Phata,pp.80-176.
- Whitaker,J.R.1984.**Pectic Sustance,Pectic Enzyme and Haze Formation in Fruit Juices**.Enzyme Microb.Technol.6.p.341-349.
- Will,R.B.H.,W.B.Mc Glasson, D.Graham,T.H. Lee and E.G. Hall.1989.**Postharvest:An Introduction to Physiology and Handling of Fruit and vegetable**.BSP Professional Books.Oxford.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## วิธีหาปริมาณของแข็งทั้งหมด

- นำตัวอย่างกากฝรั่ง 100.625 กรัม อบที่อุณหภูมิ 130<sup>o</sup>ซ นาน 3 ชั่วโมง
- ชั่งน้ำหนักกากฝรั่งที่เหลือ

ได้ปริมาณของแข็งทั้งหมด 16.558 กรัม

ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำฝรั่ง 5.54 กรัม

การคำนวณปริมาณเพคตินในรูปของแคลเซียมเพคเตท

เนื้อฝรั่ง 306 กรัม มีปริมาณแคลเซียมเพคเตท 1.1725 กรัม

เนื้อฝรั่ง 100 กรัม มีปริมาณแคลเซียมเพคเตท  $\frac{100 * 1.1725}{306} = 0.3832$  กรัม

เนื้อฝรั่งมีเพคติน 0.3832 กรัม ในกากฝรั่งมีปริมาณเพคติน 0.2028 กรัม

คิดเป็นร้อยละเท่ากับ  $\frac{0.2028 * 100}{0.3832} = 52.92$

น้ำฝรั่งมีเพคตินมีปริมาณเพคติน 0.1803 กรัม คิดเป็นร้อยละ  $\frac{0.1803 * 100}{0.3832} = 47.05$

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข1 แสดงข้อกำหนดมาตรฐานระหว่างประเทศของเพคตินสำหรับใช้ในอาหารและเภสัชกรรม

Criteria	Expressed As	Food additive			Pharmacopoeia USPXXI/NFXVI
		FAO/WHO	FCC	ECC	
Identification	-	Conforms to Tests A to F	Conforms to Tests A to D	Conforms to Test A to E	Conforms to Tests A to E
Loss on drying	%	12 max	12 max	12 max	10 max
Total ash	%	-	10 max	-	-
Acid insoluble ash	%	1 max	1 max	1 max	-
SO <sub>2</sub> Content	ppm	50 max	-	50 max	-
Methyisulphate content	%	-	0 max	-	-
Residual alcohol solvents	%	1 max	-	1 max	-
Nitrogen (N) content :					
Pectin	%	2.5 max	-	2.5 max	-
Amidated-pection	%		-	0.5 max	-
Sugars and organic acids	%	-	-	-	1.6 max
Methoxyl (OCH <sub>3</sub> ) content	%	-	-	-	6.7 mini
Galacturonic acids	%	65 mini	70 mini	65 mini	74 mini

ตารางที่ ข1(ต่อ)

Criteria	Expressed As	Food additive			Pharmacopoeia
		FAO/WHO	FCC	ECC	USPXXI/NFXVI
Degree of esterification					
-HM pectins	%	-	-	-	-
-LM pectins	%	-	-	-	-
Degree of amidation	%	25 max	40 max	25 max	-
Arsenic (as As)	ppm	3 max	3 max	3 max	3 max
Heavy metals (as Pb) :	ppm	-	40 max	-	-
-Lead (as Pb)	ppm	10 max	10 max	10 max	5 max
-Copper (as Cu)	ppm	50 max	-	50 max	-
-Zinc (as Zn)	ppm	25 max	-	25 max	-
Bacteriology					
-Total germs	gems/g				
-Salmonella	gems/2 g	Not specified	Not speified	Not specified	Not specified
-Yeast and moulds	gems/g				
Packaging and stocking	-	-	Store in closed Packages	-	Kepp in well-sealed packages

ที่มา : Sanofi Bio – industries,1994

### ภาคผนวก ก

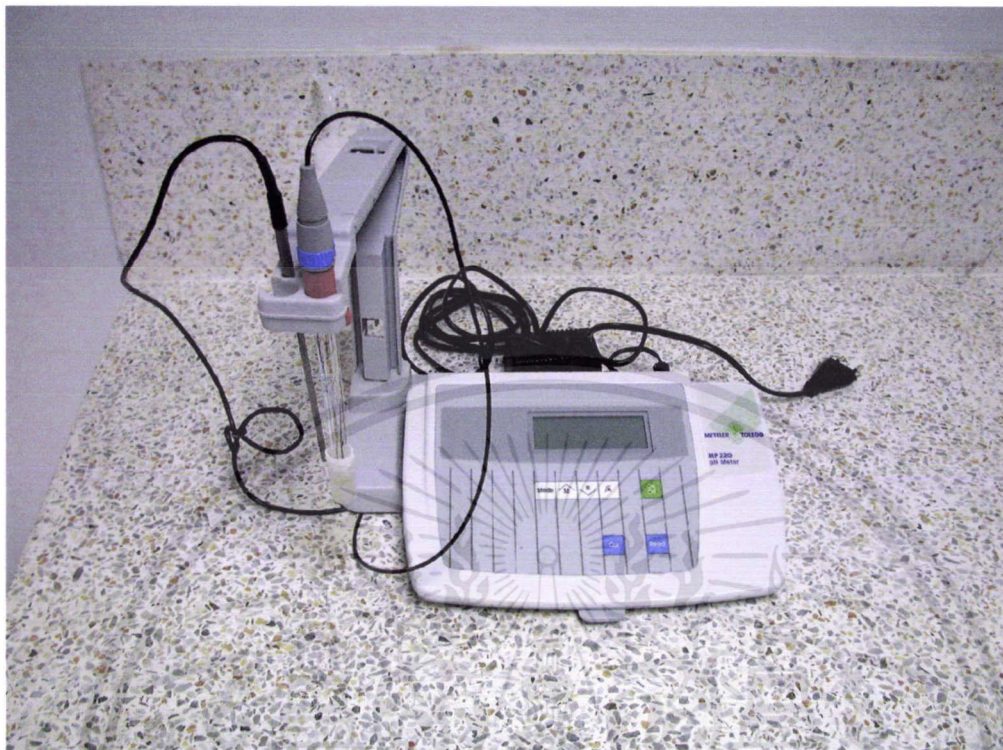


ภาพภาคผนวก ก1 กากฟรังก์ที่ใช้ในการผลิตเพคติน



ภาพภาคผนวก ก2 สารละลายเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

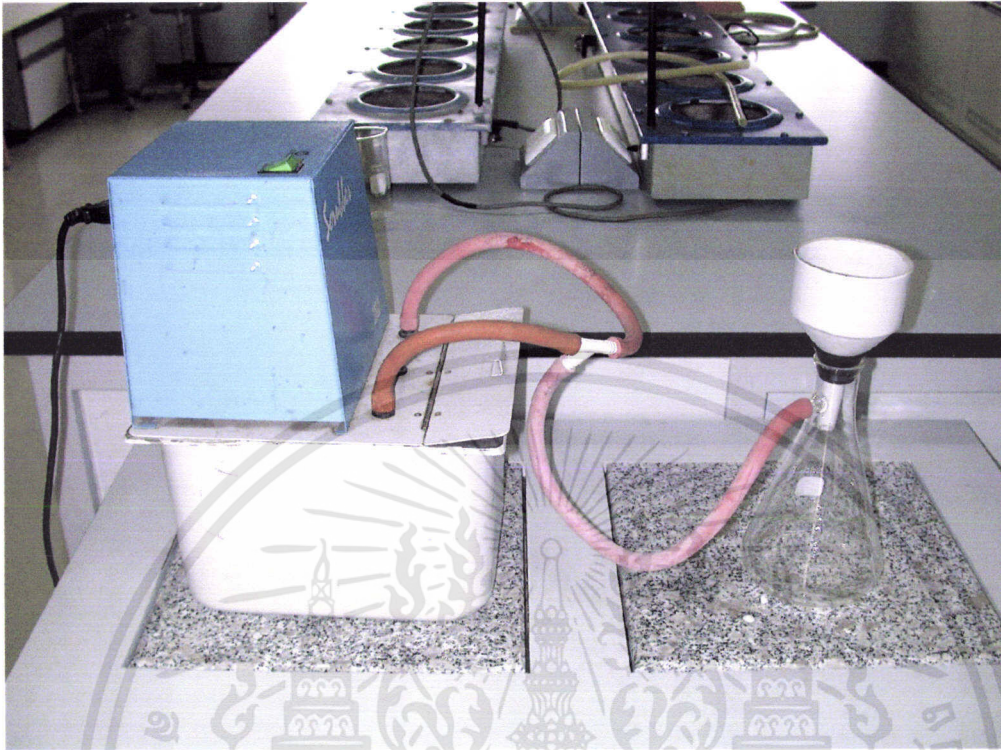


ภาพภาคผนวก ก3 pH meter—Mettler toledo (MP220)



ภาพภาคผนวก ก4 Water bath Memmert

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวก ค5 Vacuum pump scrubber



ภาพภาคผนวก ค6 ตู้อบ รุ่น B53 WTB binder Memmert

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวก ค7 เครื่องระเหยสุญญากาศ BUCHI Rotavaper R114



ภาพภาคผนวก ค8 ตู้อบสุญญากาศ Hot Pack Vacuum oven

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวก ค9 ตะกอนเคลือบเพคเตท

ภาพภาคผนวก ค10 ตะกอนเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง1 แสดงค่าความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นสารละลาย HCl ที่ 1%, 1.5%, 2% และ อุณหภูมิที่ 60<sup>0</sup>ซ, 70<sup>0</sup>ซ, 80<sup>0</sup>ซ เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

TRT	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
8.00	3	.643000				
2.00	3	.703033				
3.00	3	.782333	.782333			
5.00	3	.837500	.837500	.837500		
7.00	3		.972000	.972000	.972000	
9.00	3			.992000	.992000	
1.00	3			.997667	.997667	
6.00	3				1.136333	1.136333
4.00	3					1.281667
Sig.		.061	.060	.118	.109	.123

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

หมายเหตุ      1 = 1%, 60<sup>0</sup>ซ                      4 = 1.5%, 60<sup>0</sup>ซ                      7 = 2%, 60<sup>0</sup>ซ  
                     2 = 1%, 70<sup>0</sup>ซ                      5 = 1.5%, 70<sup>0</sup>ซ                      8 = 2%, 70<sup>0</sup>ซ  
                     3 = 1%, 80<sup>0</sup>ซ                      6 = 1.5%, 80<sup>0</sup>ซ                      9 = 2%, 80<sup>0</sup>ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการศึกษาความเข้มข้นสารละลายHCI และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval		Minimum	Maximum
					for Mean			
					Lower Bound	Upper Bound		
1.00	3	.997667	1.35031E-02	7.79601E-03	.964123	1.031210	.9840	1.0110
2.00	3	.703033	2.90483E-02	1.67710E-02	.630873	.775193	.6750	.7330
3.00	3	.782333	6.50641E-02	3.75648E-02	.620705	.943961	.7190	.8490
4.00	3	1.281667	.124709	7.20008E-02	.971872	1.591461	1.1980	1.4250
5.00	3	.837500	7.75000E-02	4.47446E-02	.644979	1.030021	.7600	.9150
6.00	3	1.136333	.131367	7.58449E-02	.809999	1.462667	.9850	1.2210
7.00	3	.972000	.234000	.135100	.390712	1.553288	.7380	1.2060
8.00	3	.643000	4.90000E-02	2.82902E-02	.521277	.764723	.5940	.6920
9.00	3	.992000	8.90000E-02	5.13842E-02	.770912	1.213088	.9030	1.0810
Total	27	.927281	.218397	4.20305E-02	.840886	1.013677	.5940	1.4250

หมายเหตุ

1 = 1%,60<sup>0</sup>ซ

4 = 1.5%,60<sup>0</sup>ซ

7 = 2%,60<sup>0</sup>ซ

2 = 1%,70<sup>0</sup>ซ

5 = 1.5%,70<sup>0</sup>ซ

8 = 2%,70<sup>0</sup>ซ

3 = 1%,80<sup>0</sup>ซ

6 = 1.5%,80<sup>0</sup>ซ

9 = 2%,80<sup>0</sup>ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 33 แสดงค่าความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนกาฬรัง : สารละลาย HCl ที่ 1:5, 1:10, 1:15 และระยะเวลาในการสกัดที่ 2, 3, 4 ชั่วโมง เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

TRT	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
9.00	3	.664000		
3.00	3	.730667		
1.00	3	.758500		
6.00	3		.937000	
8.00	3		.946000	
4.00	3		.950000	
2.00	3		.966100	
7.00	3		1.028000	
5.00	3			1.281667
Sig.		.266	.307	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

หมายเหตุ      1 = 1:5, 2 hr      4 = 1:5, 3 hr      7 = 1:5, 4 hr  
                   2 = 1:10, 2 hr      5 = 1:10, 3 hr      8 = 1:10, 4 hr  
                   3 = 1:15, 2 hr      6 = 1:15, 3 hr      9 = 1:15, 4 hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการศึกษาอัตราส่วนกากฝรั่ง : สารละลายHCl และระยะเวลาในการสกัด ที่ระดับความเชื่อมั่น

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1.00	3	.758500	.125500	7.24575E-02	.446741	1.070259	.6330	.8840
2.00	3	.966100	.108900	6.28734E-02	.695577	1.236623	.8572	1.0750
3.00	3	.730667	7.58149E-02	4.37717E-02	.542332	.919001	.6540	.8056
4.00	3	.950000	.109659	6.33114E-02	.677593	1.222407	.8250	1.0300
5.00	3	1.281667	.124709	7.20008E-02	.971872	1.591461	1.1980	1.4250
6.00	3	.937000	8.55395E-02	4.93862E-02	.724508	1.149492	.8500	1.0210
7.00	3	1.028000	4.70000E-02	2.71355E-02	.911246	1.144754	.9810	1.0750
8.00	3	.946000	5.50000E-02	3.17543E-02	.809372	1.082628	.8910	1.0010
9.00	3	.664000	9.20000E-02	5.31162E-02	.435459	.892541	.5720	.7560
Total	27	.917993	.194695	3.74690E-02	.840974	.995011	.5720	1.4250

หมายเหตุ

1 = 1:5,2 hr

4 = 1:5,3 hr

7 = 1:5,4 hr

2 = 1:10,2 hr

5 = 1:10,3 hr

8 = 1:10,4 hr

3 = 1:15,2 hr

6 = 1:15,3 hr

9 = 1:15,4 hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้