

## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

กรรมวิธีการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวโดยการอบความร้อนสูงด้วยไอน้ำ  
(Pectin Extraction from Lime Peel Using Steam Treatment)



โดย

นายวัชร เวียงแก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์  
งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2550

## กรรมวิธีการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวโดยการอบความร้อนสูงด้วยไอน้ำ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสกัดสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้ง ด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ เปรียบเทียบกับการสกัดด้วยการต้มในอ่างน้ำร้อน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของความเป็นกรดต่าง เริ่มต้น เวลาในการสกัด และความดันไอน้ำที่ใช้ จากผลการทดลองพบว่าที่สภาวะความเป็นกรดต่าง เริ่มต้น 0.50 เวลาในการสกัด 20 นาที และความดันไอน้ำ 1 บาร์ สามารถสกัดสารเพคตินจากเปลือก มะนาวได้มากที่สุด คือร้อยละ 24.96 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งมากกว่าการสกัดด้วยการต้มในอ่างน้ำร้อน ที่สภาวะความเป็นกรดต่างเริ่มต้น 0.50 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที สามารถสกัด สารเพคตินได้ร้อยละ 14.04 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อนำสารที่สกัดได้มาวิเคราะห์สมบัติของสารเพคติน ที่สกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ ได้น้ำหนักกรัมสมมูลเท่ากับ 653.21 ปริมาณเมทอกซีร้อยละ 14.29 และ ปริมาณแถ้าร้อยละ 2.29 และสำหรับเพคตินที่สกัดด้วยการต้มในอ่างน้ำร้อนมีน้ำหนักกรัมสมมูล เท่ากับ 1010.18 ปริมาณเมทอกซีร้อยละ 12.18 และปริมาณแถ้าร้อยละ 1.26

คำสำคัญ: เพคติน/ เปลือกมะนาวแห้ง/ เครื่องสกัดไอน้ำ

## Pectin Extraction from Lime Peel Using Steam Treatment

### ABSTRACT

The aim of this research was to study on the extraction of pectin from dried lemon peel by using a steam extractor compared to a water bath. The optimum conditions were studied at the pressure of steam, contact time, and pH. The experimental data showed that the steam extractor method at the pressure of steam of 1 bar, pH 0.50, and 20-minute contact time gave the maximum yield of pectin of 24.96 percent by dried weight and the water bath method at 80°C, pH 0.5 and 60-minute contact time gave the maximum yield of pectin of 14.04 percent by dried weight. The properties of pectin were studied: equivalent weight, methoxy, and ashes. The product extracted by the steam extractor gave the equivalent weight of 653.21, methoxy content of 14.29 percent, and ashes of 2.29 percent. The product extracted by the water bath gave the equivalent weight of 1010.18, methoxy content of 12.18 percent, and ashes of 1.26 percent.

**Key word:** Pectin/ Dried Lemon Peel/ Steam Extractor

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือต่างๆ ตลอดจนการทำวิจัยนี้มาตั้งแต่ต้นจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ นางสาวรารัตน์ ลือภักดีสกุล และนายอภิรัตน์ ผลทิพย์ นิสิตชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ช่วยเก็บข้อมูล

ขอขอบคุณ คุณเกษร บัวทอง พนักงานห้องปฏิบัติการและผู้ช่วยวิจัยที่ให้คำแนะนำในด้านต่างๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วีรศักดิ์ สามิ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2550

วัชระ เวียงแก้ว

## สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎี	3
2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะนาว	3
2.1.2 เพศดินและ โครงสร้างทางเคมีของเพศดิน	3
2.1.3 ประโยชน์ของเพศดิน	5
2.1.4 ชนิดของเพศดิน	7
2.1.5 อัตราการเซ้ทตัว	8
2.1.6 กลไกการเกิดเจลของเพศดิน	10
2.1.7 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเจลของเพศดิน	10
2.1.8 เพศดินทางการค้า	11
2.1.9 องค์ประกอบต่างๆที่มีผลต่อคุณภาพของเพศดิน	11
2.1.10 การสกัดเพศดินในระดับของห้องปฏิบัติการ	12
2.1.11 การผลิตเพศดินในโรงงานอุตสาหกรรม	14
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	18
3.2 เครื่องมือวิเคราะห์	18
3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	18
3.4 การเตรียมวัตถุดิบ	19
3.5 การศึกษาผลของความเป็นกรดต่างเริ่มต้นที่มีต่อการสกัดสารเพคติน โดยการต้มในอ่างน้ำร้อน	19
3.6 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้ง ด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ	19
3.7 วิธีการตกตะกอนเพคตินและการล้างคลอไรด์ไอออน	20
3.8 การหาปริมาณเพคติน	20
3.9 การตรวจสอบชนิดของตะกอนที่สกัดได้	20
3.9.1 การตรวจสอบทางเคมี	20
3.9.2 การตรวจสอบโดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FTIR)	20
3.10 การตรวจสอบคุณสมบัติเพคตินที่สกัดได้	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารเพคตินจากเปลือกมะนาว แห้งด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ	22
4.2 ผลการวิเคราะห์ชนิดของสารที่สกัดได้	24
4.3 สมบัติของสารเพคตินที่สกัดได้	26
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	29
5.2 ข้อเสนอแนะ	30
เอกสารอ้างอิง	31
ภาคผนวก	33
ประวัติผู้วิจัย	40

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
2.1 ปริมาณเพคตินที่สกัดได้จากผักผลไม้บางชนิด	3
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเอสเทอร์และความเร็วในการเซ็ทตัวของเพคตินจากแอปเปิ้ล	9
4.1 สมบัติของสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งที่สกัดด้วยการต้มสกัดในอ่างน้ำร้อนที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	26
4.2 สมบัติของสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งที่สกัดด้วยเครื่องสกัด ใ ไอ้ น้ำที่ความดันเริ่มต้น 0.50 ความดันไอ้ น้ำ 1.00 บาร์	26
4.3 สมบัติของสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งที่สกัดด้วยเครื่องสกัด ไอ้ น้ำที่ความดันไอ้ น้ำ 1.00 บาร์ ระยะเวลาในการสกัด 20 นาที	27
4.4 สมบัติของสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งที่สกัดด้วยเครื่องสกัด ไอ้ น้ำที่ความดันเริ่มต้น 0.50 ระยะเวลาในการสกัด 20 นาที	27
5.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของสารเพคติน	29

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
2.1 ลักษณะ โครงสร้างทางเคมีของเพคตินที่ถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยเมทิลแอลกอฮอล์ไปบางส่วน	4
2.2 การเปลี่ยนแปลงของโปรโตเพคตินมิดเดิลลามেলা และผนังเซลล์ระหว่างผลไม้สุก	4
2.3 การแบ่งเพคตินตามระดับเอสเตอร์	8
2.4 เวลาในการเซ็ทตัวของเพคตินจากแอปเปิ้ลที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 60 องศาเซลเซียส และ 65 องศาเซลเซียส ที่ค่าความเป็นกรดต่างต่างๆ	9
3.1 เครื่องสกัดไอน้ำ (ก) อุปกรณ์จริง และ (ข) แผนภาพอุปกรณ์	19
4.1 ปริมาณเพคตินที่สกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำที่ค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้น 0.5 และความดันไอน้ำ 1 บาร์ ที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ	22
4.2 ปริมาณสารเพคตินที่สกัดได้ด้วยวิธีการต้มในอ่างน้ำร้อนและวิธีการสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำที่สภาวะความเป็นกรดต่างเริ่มต้นต่าง ๆ	23
4.3 ปริมาณเพคตินที่สกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำที่เวลา 20 นาที ค่าความเป็นกรดต่าง 0.5 ที่สภาวะความดันไอน้ำต่างๆ	24
4.4 การตรวจสอบชนิดของสารที่สกัดได้ด้วยวิธีทางเคมี (ก) Blank (แป้งมันสำปะหลัง) (ข) เพคตินทางการค้า และ (ค) เพคตินที่สกัดได้จากเปลือกมะนาวแห้งด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ	24
4.5 เส้นอินฟราเรดสเปกตรัมของตะกอนที่สกัดได้โดย (ก) การต้มสกัดด้วยอ่างน้ำร้อน (ข) การสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ และ (ค) สารเพคตินทางการค้า	25
<b>ภาคผนวก</b>	
ก1 มะนาวที่ปอกผิวสีเขียวออกแล้ว	34
ก2 เปลือกมะนาวที่จะนำไปอบแห้งเพื่อนำไปสกัดเพคติน	34
ก3 เปลือกมะนาวแห้งปั่นกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 20	35
ก4 การปรับค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 โมลาร์	35
ก5 ผลึกภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ (ก) ส่วนบน (ข) ส่วนกลาง และ (ค) ส่วนล่างของเครื่องสกัด	36



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
ก6 การตกตะกอนเพคตินที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ (ก) ส่วนบน (ข) ส่วนกลาง และ(ค) ส่วนล่างของเครื่องสกัด	36
ก7 การกรองตะกอนเพคตินที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำด้วยผ้าขาวบาง	37
ก8 ตะกอนเพคตินผ่านการกรองและล้างคลอไรด์ไอออนแล้ว	37
ก9 การตรวจสอบชนิดของตะกอนที่สกัดได้จากเปลือกมะนาวแห้งด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ ด้วยวิธีการทดสอบทางเคมี ถ้าเป็นเพคตินจะเกิดตะกอนสีแดงที่ไม่ละลายน้ำ	38
ก10 เครื่องสกัดไอน้ำ	38
ข1 กระบวนการต้มสกัดสารเพคตินจากเปลือกส้มโอแห้งด้วยอ่างน้ำร้อน	39



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการผลิตเพคติน (Pectin) โดยนำผลผลิตด้านการเกษตรที่มีกากเหลือทิ้งจำนวนมากประเภทเปลือกผลไม้มาสกัดสารเพคตินซึ่งมีคุณค่าทางอาหาร และทางด้านเภสัชกรรม เพคตินมีโครงสร้างเป็นเส้นใยชนิดละลายน้ำได้ดี มีความสามารถในการดูดซับน้ำ และจะรวมตัวกับอาหารต่างๆ ในกระเพาะ เป็นเจลทำให้หิวช้าลง และควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดี ใช้เป็นส่วนผสมในการทำผลิตภัณฑ์ แยม เยลลี่ และมาร์มาเลต เป็นสารเพิ่มความหนืดของซอสและผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ ใช้เป็นตัวอิมัลซิฟายเออร์ในการทำไอศกรีมและมายองเนส ใช้ในการเตรียมสารปรุงแต่งกลิ่นจากน้ำมันหอมระเหย เพคตินที่มีปริมาณเมทอออกซิลต่ำใช้ร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ในการเคลือบผัก และผลไม้ก่อนนำไปแช่แข็ง เพื่อลดการสูญเสียน้ำในช่วงของการละลาย สารเพคตินพบในผัก ผลไม้สด เช่น แอปเปิ้ล ผลไม้ตระกูลส้ม เป็นต้น

มะนาวเป็นไม้ผลตระกูลส้มประเภทหนึ่งที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย และจัดได้ว่าเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่ตลาดมีความต้องการสูงตลอดทั้งปี รวมทั้งการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมซึ่งมีการนำมะนาวมาใช้เป็นวัตถุดิบอีกมากมาย ส่วนเปลือกของมะนาวซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้ง มีการศึกษาถึงกรรมวิธีในการผลิตเพคติน ซึ่งเป็นที่ต้องการในกระบวนการทางอุตสาหกรรม จากผลงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าเปลือกของมะนาวสามารถนำมาสกัดเพคตินได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงกระบวนการสกัดเพคติน โดยหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดเพคตินให้ได้จำนวนมากจากเปลือกมะนาว ในกระบวนการผลิตจะใช้วิธีการสกัดที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง โดยพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งเสริมสมบัติของผลิตภัณฑ์ เช่น เวลา ความเป็นกรด ค่า pH ค่าการสกัดเพคติน และปริมาณของสารเคมีที่เหมาะสม เป็นต้น ส่วนวิธีการการสกัด จะใช้หม้ออบไอน้ำ ผลิตภัณฑ์เพคตินที่ได้จะถูกนำมาตรวจสอบชนิดของตะกอนที่สกัดได้ เช่น การตรวจสอบเพคตินทางเคมีโดยใช้วิธี Hydroxamic Acid Test for Pectic Substance และการตรวจสอบโดยใช้วิธี Spectroscopy ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์กับเพคตินทางการค้า เช่น ปริมาณเถ้า (Ashes) น้ำหนักกรัมสมมูล (Equivalent weight) และปริมาณเมทอออกซี (Methoxy content) เป็นต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษากรรมวิธีการผลิตเพคตินจากเปลือกของมะนาว โดยใช้หม้ออบไอน้ำในการสกัด
- 1.2.2 ศึกษาสมบัติของตะกอนของสารเพคตินที่สกัดได้
- 1.2.3 เปรียบเทียบคุณภาพเพคตินที่สกัดได้ กับสารเพคตินทางการค้าในด้านสมบัติทางกายภาพ

## 1.3 ขอบเขตของโครงการงาน

- 1.3.1 ศึกษาการสกัดสารเพคตินจากเปลือกของมะนาวแห้ง โดยกำหนดขนาด และ ปริมาณของวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อวิธีการสกัดด้วยอ่างน้ำร้อน และหม้ออบไอน้ำ
- 1.3.2 กำหนดความดันไอน้ำ เวลา และความเป็นกรดต่างในการสกัดที่เหมาะสม
- 1.3.3 ตรวจสอบชนิดของตะกอนที่สกัดได้โดยวิธี Acid Test for Pectic Substance และ Spectroscopy
- 1.3.4 ตรวจสอบสมบัติของเพคตินที่สกัดได้ เช่น ปริมาณเถ้า น้ำหนักกรัมสมมูล และ ปริมาณเมทอกซี เพื่อเปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้า โดยเลือกปัจจัยต่างๆ ที่ให้ปริมาณเพคตินสูงสุดที่สกัดได้

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เพื่อให้ได้วิธีการสกัดเพคตินจากเปลือกของมะนาวแห้งด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ
- 1.4.2 เป็นการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบทางการเกษตรที่เหลือใช้ในครัวเรือนและ โรงงานอุตสาหกรรมขนาดย่อม
- 1.4.3 เพื่อให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นที่จะส่งเสริมให้มีการผลิตเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎี

##### 2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะนาว

มะนาว (Lime: *Citrus aurantifolia* Swing) เป็นไม้ผลตระกูลส้มประเภทหนึ่งที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย และจัดได้ว่าเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่ตลาดมีความต้องการสูงตลอดทั้งปี รวมทั้งการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมซึ่งมีการนำมะนาวมาใช้เป็นวัตถุดิบอีกมากมาย ส่วนเปลือกของมะนาวซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้ง อาจมีการศึกษาถึงกรรมวิธีในการผลิตเพคติน ซึ่งเป็นที่ต้องการในกระบวนการทางอุตสาหกรรม โดยพบว่าผิวของมะนาวสามารถนำมาสกัดเพคตินได้ [11]

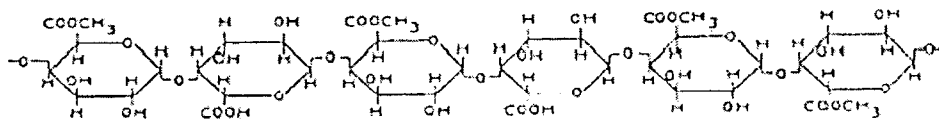
##### ตารางที่ 2.1 ปริมาณเพคตินที่สกัดได้จากผลไม้บางชนิด [7]

ชนิดของผลไม้	เปอร์เซ็นต์เพคติน
มะเขือเทศ	3
แอปเปิ้ล	5 – 7
กากแอปเปิ้ล	15 – 20
ดอกทานตะวัน	25
หัวบีท	15 – 21
พืชตระกูลส้ม	30 – 35

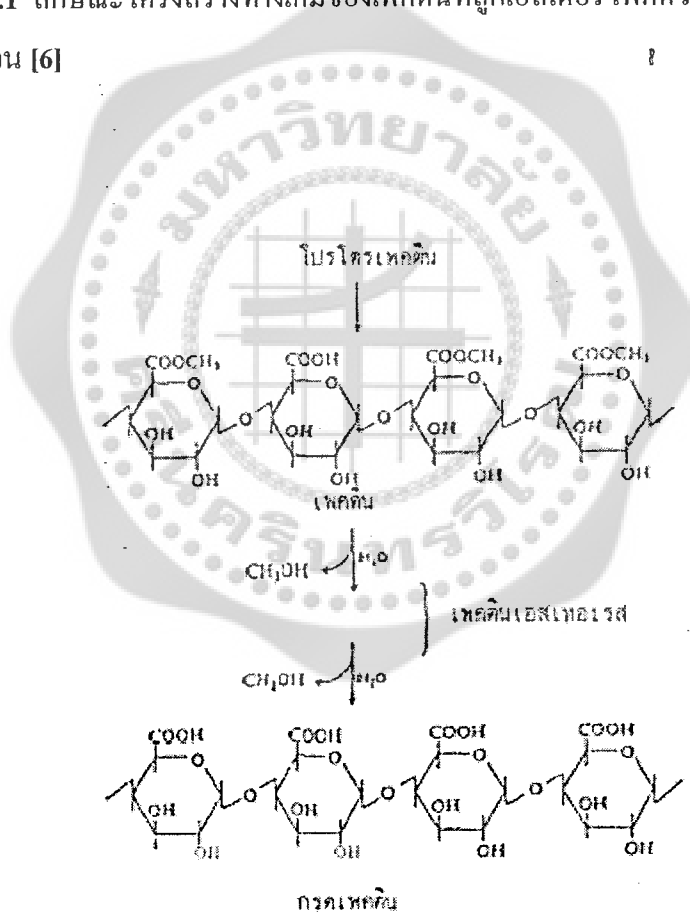
##### 2.1.2 เพคตินและโครงสร้างทางเคมีของเพคติน

เพคติน (Pectin) ตามคำจำกัดความของ American Chemical Society ในปี 1926 หมายถึงสารซึ่งเป็นอนุพันธ์ (derivatives) ของโปรโตเพคติน (protopectin) ถ้าขจัดเมทิลกรุปออกจนหมดจะได้สารเพคตินแอซิด (pectin acid) ประโยชน์ของเพคตินคือใช้ทำแยมและทำเยลลี่ ต่อมาได้กำหนดความหมายใหม่ให้รัดกุมยิ่งขึ้น โดยให้คำจำกัดความว่าเพคตินนั้นหมายถึงชื่อที่ใช้แทนกลุ่ม

สาร ซึ่งมีจำนวน หมู่เมทิลเอสเทอร์แตกต่างกัน และภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเพคตินสามารถเกิดเจล (gel) กับน้ำตาลและกรดได้ สำหรับเพคตินที่มีเมทิลเอสเทอร์อยู่น้อย ถ้ารวมกับโลหะจะเกิดเจลได้ เพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 40000 ถึง 50000



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของเพคตินที่ถูกเอสเทอร์ไฟต์ด้วยเมทิลแอลกอฮอล์ไปบางส่วน [6]



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของโปรโตเพคตินมิดเดิลลามลลา และผนังเซลล์ระหว่างผลไม้สุก [6]

เพกตินเป็นสารประกอบจำพวก Complex Colloidal Carbohydrate ซึ่งประกอบไปด้วยกรดโพลีกลาลักทอโรนิก (Polygalacturonic Acid) เชื่อมต่อกันเป็นสาย เพกตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10,000 ถึง 400,000 เพกตินพบทั่วไปในส่วนของมิดเดิลลามลลา (Middle Lamella) และผนังเซลล์ (Cell Wall) ของพืช ทำหน้าที่เชื่อมเซลล์ต่างๆเข้าด้วยกัน และทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของพืช เนื้อเยื่อที่มีเพกตินมากคือ ส่วนของแกน เปลือก และเนื้อเยื่อสีขาวของผลไม้ตระกูลส้ม

สารเพกตินนี้พบโดยทั่วไปในพืช โดยเฉพาะส่วนของผลจะมีมากที่สุด สารเพกตินที่สกัดได้จากผลไม้และผักแต่ละชนิดจะมีปริมาณและคุณภาพแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ชนิดของผลไม้ ผลไม้ต่างชนิดกันจะมีปริมาณและคุณภาพของเพกตินไม่เหมือนกัน ผลไม้ที่เพกตินมากและคุณภาพดี ได้แก่ แอปเปิ้ล และผลไม้ตระกูลส้ม [3]

- ความแก่อ่อนของผลไม้ ความแก่อ่อนมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกตินด้วย พบว่าเพกตินในผลไม้ดิบอยู่ในรูปของสารตั้งต้น (precursor) กับโปรโตเพกติน (protopectin) และเมื่อผลไม้สุกจะมีเอนไซม์ โปรโตเพกตินเนส (protopectinase) ซึ่งเพกตินจากสารที่ไม่ละลายน้ำ กลายเป็นเพกตินซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำได้ แต่ถ้าผลไม้สุกจัดเพกตินจะถูก ไฮโดรไลต์ ด้วย เอนไซม์ เพกตินเนส (pectinase) ได้กรดเพกติน (pectin acid) ซึ่งเป็น colloidal polygalacturonic acid ที่ไม่มีเมทิลเอสเทอร์ในโมเลกุล และกรดเพกตินดังกล่าวนี้จะไม่เกิดเยลกับน้ำตาลและกรด

- พันธุ์ของผลไม้ จากการศึกษาพบว่าผลไม้ชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์กัน ปริมาณของเพกตินที่มีอยู่จะแตกต่างกันด้วย

- เพกตินในส่วนต่างๆ ของผลไม้ไม่เท่ากัน เช่น ผลไม้ตระกูลส้มมีเพกตินมากที่สุดในส่วนของเปลือกที่จัดผิวออกไปแล้ว

- กรรมวิธีการสกัดการตกตะกอนและการทำให้บริสุทธิ์มีผลต่อคุณภาพกับปริมาณของเพกตินเช่นกัน

### 2.1.3. ประโยชน์ของเพกติน

2.1.3.1 ด้านอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเพกตินมีคุณสมบัติพิเศษ คือสามารถแข็งตัวเป็นเจลได้เมื่อผสมกับน้ำตาลและกรดในปริมาณและอัตราส่วนที่เหมาะสม ดังนั้นจึงใช้เพกตินในอุตสาหกรรมการทำเจลลี่และแยมผลไม้และมาร์มาเลด นอกจากนี้เพกตินยังนำมาใช้ในอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องหรือน้ำผลไม้ โดยเพกตินจะทำหน้าที่ทำให้ส่วนผสมของสารเข้มข้นและมีความคงตัว นอกจากนี้ในผลิตภัณฑ์นมยังใช้เพกตินเป็นสารทำให้ส่วนผสมเข้มข้นขึ้น ทำให้เกิดชั้น และหนืด ใช้ในการทำน้ำสลัด ซึ่งประโยชน์ของเพกตินในด้านอุตสาหกรรมอาหารสามารถสรุปได้เป็นข้อๆ ดังนี้

- ช่วยทำให้ผลไม้คงตัวไม่แยกชั้น
- ใช้ในการทำแยม (มักควบคุมค่าความเป็นกรดต่าง ให้อยู่ในช่วง 3.1-3.2) เยลลี่และมาร์มาเลต

เลต

- ช่วยเพิ่มความข้นหนืด (Thickening Agent) กับซอส และผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ
- ใช้เคลือบอลูมิเนียมฟอยด์ เพื่อปิดหน้าขวดบรรจุแยม
- ใช้เคลือบผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อป้องกันและรักษาในระหว่างการเก็บ โดยผสมกับสารยับยั้งการหืนของไขมัน (Antioxidants) และสารป้องกันเชื้อรา (Mold inhibitor)
- ช่วยลดการสุกก่อนของกระป๋องคิงก โดยเกิดเป็นฟิล์มขึ้นที่ด้านข้างกระป๋อง
- ใช้เพคตินที่มีกลุ่มเมทอซัลโฟเนตร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ ในการเคลือบผักและผลไม้ ก่อนการสูญเสียในระหว่างการหลอมน้ำแข็ง (Thawing)
- ใช้เพคตินที่มีกลุ่มเมทอซัลโฟเนต ในการทำผลไม้บรรจุกระป๋อง โดยผสมกับน้ำเชื่อม ทำอาหารแช่แข็ง ไอศกรีม และน้ำผลไม้

2.1.3.2 ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม [2] ประโยชน์ในทางการแพทย์และเภสัชกรรม มีการใช้เพคตินอยู่มากมาย ที่สำคัญก็คือการใช้ทำเป็นยาแก้อาการท้องร่วงในทารก นอกจากนี้ เพคตินยังใช้ทำเป็นตัวช่วยให้โลหิตหยุดไหล ใช้แทน Blood plasma ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง ใช้แก้พิษของพวกโลหะหนัก โดยทำปฏิกิริยากับโลหะที่ไม่ละลาย ใช้ทำสารประกอบเชิงซ้อน ที่ช่วยยืดระยะเวลาในการออกฤทธิ์ของยาบางประเภทให้ยาวนานขึ้น ซึ่งประโยชน์ของเพคตินในด้านการแพทย์และเภสัชกรรมสามารถสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

- ใช้เป็นยาแก้ท้องร่วงในเด็ก
- ช่วยลดอัตราการดูดซับของยาอันตรายบางชนิด
- ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของยาพวกซัลฟา
- ช่วยป้องกันอาการเลือดไหลไม่หยุด โดยเพคตินช่วยทำให้แคลเซียมในเลือด

ตกตะกอนลงมา

- สามารถใช้ป้องกันโลหะหนักที่เป็นพิษได้ เพราะเพคตินจะรวมตัวกับโลหะหนักเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ

### 2.1.3.3 ด้านอื่นๆ

- ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตยางสังเคราะห์
- ใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณฟอง (Foaming Agent)
- ใช้ผสมกับเกลือแอมโมเนียเพื่อทำครีม
- ใช้เป็นสารทำให้เกิดครีม และสารให้ความข้นหนืดในกาวลาเท็กซ์
- ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

### 2.1.4 ชนิดของเพคติน

เพคตินมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ และเมื่อนำมาตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์หรือเกลือของโลหะ แล้วนำไปละลายใหม่จะไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เพคตินสามารถเกิดเป็นเจลได้ในสภาวะที่เหมาะสม ปริมาณเพคตินที่ใช้ขึ้นกับชนิดและคุณภาพของเพคตินด้วย ในทางการค้าจะแบ่งเพคตินตามคุณสมบัติออกเป็นชนิดต่างๆดังนี้

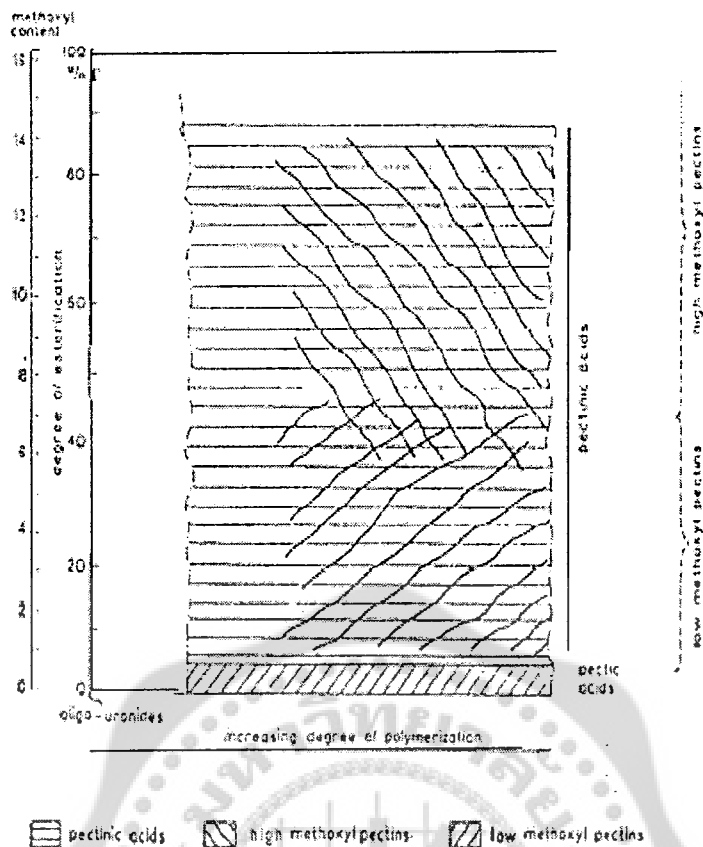
2.1.4.1 ความสามารถในการเกิดเจล แบ่งเพคตินตามความสามารถในการเกิดเจลเป็นเกรดต่างๆ โดยกำหนดในรูปสัดส่วนของปริมาณน้ำตาลต่อปริมาณเพคติน และเปรียบเทียบผลของเยลลี่ที่ทำมาจากเพคตินที่สกัดได้กับเพคตินมาตรฐาน โดยสังเกตลักษณะความหนืด ความโปร่งแสงและความแข็งของเจล (Gel Strength) ซึ่งวัดโดยเครื่องพีโนมิเตอร์ ถ้าลักษณะของเยลลี่ทั้งสองมีลักษณะการใกล้เคียงกันมากที่สุด ก็สามารถเทียบเกรดของเพคตินได้ เพคตินมีตั้งแต่เกรด 100 ถึง 500 พวกที่มีเกรดสูงคือ พวกที่สามารถเกิดเจลได้โดยใช้เพคตินน้อย ความสามารถในการเกิดเจลขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล และระดับเอสเทอร์ โดยน้ำหนักโมเลกุลมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการเกิดเจล ถ้าเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เส้นใยร่างแหที่เกิดขึ้นมักไม่ต่อเนื่องทำให้ได้เจลที่อ่อน ส่วนเพคตินที่สามารถเกิดเจลได้ดีควรมีน้ำหนักโมเลกุลสูง

2.1.4.2 ระดับเอสเทอร์ ปกติกลุ่มคาร์บอกซิลของเพคตินบางส่วนจะเกิดเป็นเอสเทอร์กับเมทิลแอลกอฮอล์ การวัดการเกิดเอสเทอร์ของเพคตินจะวัดในรูปปริมาณร้อยละของกลุ่มคาร์บอกซิลที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ เทียบกับปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกทั้งหมด ถ้ากลุ่มคาร์บอกซิลทั้งหมดถูกเอสเทอร์ไฟด์ จะถือว่าเพคตินนั้นมีระดับเอสเทอร์ 100เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 16.32 ของน้ำหนักโมเลกุลเพคติน เพคตินชนิดนี้จะไม่พบในธรรมชาติ ในธรรมชาติจะพบเพคตินที่มีกลุ่มเมทอกซิลร้อยละ 9.5-11.0 เท่านั้น แต่อาจเตรียมเพคตินที่มีปริมาณเมทอกซิลต่างๆ ตามต้องการโดยใช้กรด ค่าง หรือเอนไซม์เอสเทอเรสสลายเอสเทอร์บอนด์ ระดับเอสเทอร์ในโมเลกุลของเพคตินมีผลต่ออัตราเร็วและการเซ็ตตัวของเจล สามารถแบ่งเพคตินตามระดับเอสเทอร์ได้เป็น 2 ชนิด ดังรูป 2.3

2.1.4.3 เพคตินที่มีเมทอกซิลสูง (High Methoxyl pectin) คือเพคตินที่มีระดับเอสเทอร์สูงกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป จะเกิดเจลได้ดีที่ระดับเอสเทอร์ร้อยละ 60 ถึง 75 เมื่อมีปริมาณน้ำตาลและกรดที่เหมาะสม

2.1.4.4 เพคตินที่มีเมทอกซิลต่ำ (Low Methoxyl pectin) เป็นเพคตินที่มีระดับเอสเทอร์น้อยกว่าร้อยละ 50 จะเกิดเจลได้ดีเมื่อมีอิออนของแคลเซียมหรืออิออนอื่นๆ แม้ว่าไม่มีน้ำตาลเลยก็ได้ ปริมาณเพคตินที่ต้องการในการเกิดเจลลดลงตามระดับเอสเทอร์





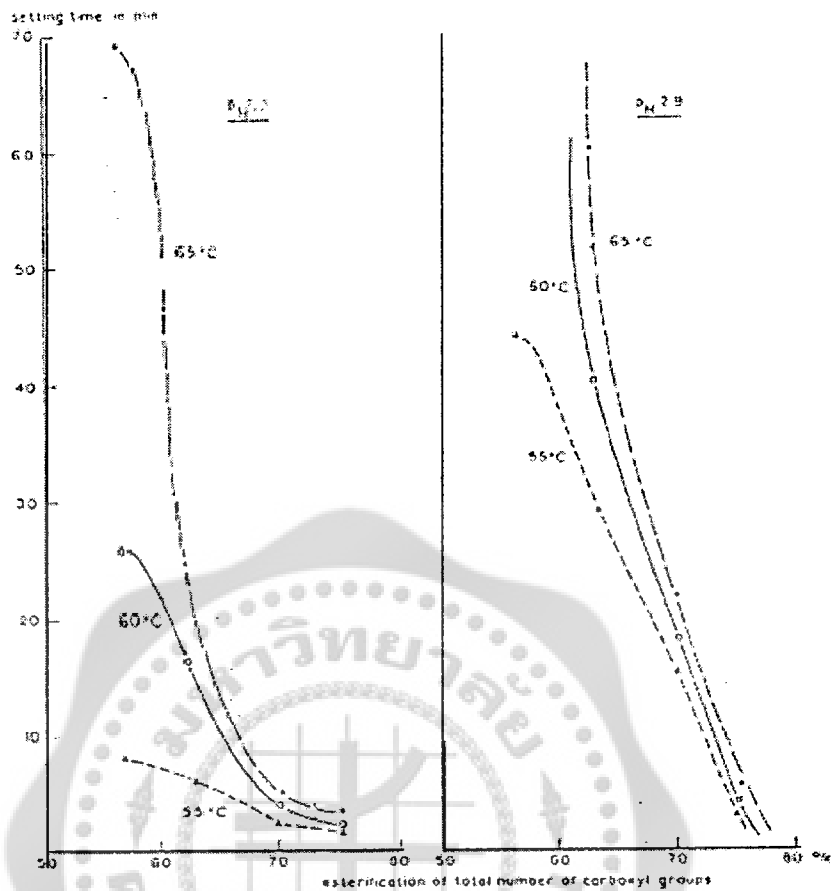
รูปที่ 2.3 การแบ่งเพคตินตามระดับเอสเทอร์ [6]

### 2.1.5 อัตราการเซตตัว (Rate of set)

หลังการเติมส่วนผสมต่างๆของผลิตภัณฑ์แยม และเยลลี่เข้าด้วยกัน เจลจะเกิดการเซตตัวเร็วต่างกัน ปกติเพคตินที่มีกลุ่มเมทริกซ์สูงและต่ำจะเซตตัวได้เร็ว ส่วนพวกที่มีกลุ่มเมทริกซ์ปานกลางจะเซตตัวได้ช้า ถ้าปริมาณกลุ่มเมทริกซ์เท่ากัน เพคตินที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าจะเซตตัวได้ดีเร็วกว่า อาจแบ่งเพคตินตามอัตราเร็วการเซตตัวได้ดังนี้

2.1.5.1 เพคตินที่เซตตัวเร็ว (Rapid-Set Pectin) เป็นเพคตินที่มีระดับเอสเทอร์ในโมเลกุลร้อยละ 70 ขึ้นไป เจลจะเริ่มเซตตัวที่อุณหภูมิ 77 ถึง 88 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดค่าที่เหมาะสมในการเกิดเจลอยู่ระหว่าง 3.0 ถึง 3.4 ความแข็งของเจลขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของเพคตินมากกว่าเอสเทอร์ในโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุลที่สูงจะยิ่งให้เจลที่แข็ง

2.1.5.2 เพคตินที่เซตตัวช้า (Slow-Set Pectin) เป็นเพคตินที่มีระดับเอสเทอร์ร้อยละ 50 ถึง 70 เจลจะเริ่มเซตตัวที่อุณหภูมิ ระหว่าง 54 ถึง 65 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดค่าที่เหมาะสมในการเกิดเจลอยู่ระหว่าง 2.8 ถึง 3.2 ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของระดับเอสเทอร์และอัตราเร็วในการเซตตัวของเพคตินในแอมป์ล ส่วนรูปที่ 2.4 แสดงเวลาในการเซตตัวของเจลที่มีระดับเอสเทอร์ต่างกันที่ ค่าความเป็นกรดค่า 2.1 และ 2.9 ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 เวลาในการเซ็ทตัวของเพคตินจากแอปเปิ้ลที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส 60 องศาเซลเซียส และ 65 องศาเซลเซียส ที่ค่าความเป็นกรดต่างๆ [6]

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเอสเทอร์และความเร็วในการเซ็ทตัวของเพคตินจากแอปเปิ้ล [6]

ระดับเอสเทอร์	ชนิดของเพคติน
ร้อยละ 80-82	เซ็ทตัวเร็วมาก
ร้อยละ 74-76	เซ็ทตัวเร็ว
ร้อยละ 45-55	เซ็ทตัวเร็ว
ร้อยละ 68-72	เซ็ทตัวปานกลาง
ร้อยละ 60-65	เซ็ทตัวช้า

## 2.1.6 กลไกการเกิดเจลของเพคติน

กลไกการเกิดเจลของเพคตินแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

2.1.6.1 เจลของเพคติน (Pectin Gel) เป็นเจลที่เกิดจากเพคตินที่มีกลุ่มเมทอซอกซิลสูง มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophillic) เมื่อละลายน้ำจะเกิดพันธะระหว่างเพคตินกับน้ำ ได้สารที่ข้นเหนียว เพคตินที่มีกลุ่มคาร์บอกซิลส่วนใหญ่เกิดเป็นเอสเทอร์ และส่วนน้อยเป็นคาร์บอกซิลอิสระ จะมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน และจะแตกตัวมากขึ้นขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดต่าง ที่ค่าความเป็นกรดต่างสูงจะแตกตัวได้มากขึ้นให้ประจุที่ผลัดกันเอง ทำให้โมเลกุลเรียงกันเป็นเส้นตรง ของเหลวจะเหนียวแต่ไม่เกิดเจลขึ้น เจลจะเกิดได้เมื่อเพคตินมาเชื่อมเข้าด้วยกันตรงบริเวณที่เรียกว่า Junction Zone เกิดเป็น โครงสร้างร่างแห 3 มิติขึ้น

กรณีนี้จะเกิดได้เมื่อมีการเติมน้ำตาลลงไปเพื่อดึงน้ำออก และเติมกรดเพื่อลดค่าความเป็นกรดต่าง ให้อยู่ในช่วง 2.9 ถึง 3.4 ทำให้กลุ่มคาร์บอกซิลลดการแตกตัว โมเลกุลของเพคตินจะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งที่มีการยึดหยุ่น กลุ่ม โพลาร์ (Polar Groups) ของ โมเลกุลเพคตินที่อยู่ใกล้กันจะเชื่อมต่อเข้ากันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen-Bonds) เกิดเป็นร่างแหสามมิติที่กักของเหลวไว้ภายใน ความแข็งของ เจลขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและความต่อเนื่องของร่างแหเพคติน

2.1.6.2 เจลของแคลเซียมเพคเตต เจลชนิดนี้เกิดขึ้นกับเพคตินที่มีกลุ่มเมทอซอกซิลต่ำจะเกิดที่ค่าความเป็นกรดต่าง สูงกว่าพวกแรกคือในช่วง 3.4 ถึง 6.0 โดยช่วงนี้แหสามมิติจะเกิดขึ้นจากการที่ไอออนของแคลเซียม หรือ แมกนีเซียม เป็นตัวเชื่อมกลุ่มคาร์บอกซิลที่แตกตัวของ โมเลกุลเพคตินที่อยู่ใกล้กัน โดยเกิดการฟอรัมตัวของ Junction zone ด้วยไอออนของแคลเซียมเพื่อเชื่อมสายโมเลกุลและมีการจัดรูปร่างใหม่ที่เรียกว่า 'Egg - Box Model' เจลชนิดนี้สามารถเกิดได้ แม้ว่าไม่มีน้ำตาลเลยก็ตาม โดยทั่วไปเจลชนิดนี้จะมีความแข็งน้อยกว่าเจลของเพคติน โมเลกุลและมีการจัดรูปร่างใหม่ที่เรียกว่า 'Egg - Box Model' เจลชนิดนี้สามารถเกิดได้ แม้ว่าไม่มีน้ำตาลเลยก็ตาม โดยทั่วไปเจลชนิดนี้จะมีความแข็งน้อยกว่าเจลของเพคติน

## 2.1.7 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเจลของเพคติน

2.1.7.1 ปริมาณและคุณภาพของเพคติน เพคตินสามารถเกิดเจลได้ในที่มีน้ำตาลและกรดในปริมาณที่เหมาะสม ปกติในการทำแยมจะใช้เพคตินเพียงร้อยละ 1 ก็เพียงพอในการเกิดเจล แต่ทั้งนี้ขึ้นกับชนิด และคุณภาพของเพคตินด้วย

2.1.7.2 ปริมาณน้ำตาล การเพิ่มความเข้มข้นน้ำตาลในแยมและเยลลี่จะลดการละลายของเพคตินทำให้เพคตินเกิดเป็นร่างแห เจลที่ได้จะมีความแข็งขึ้นปกติต้องการปริมาณน้ำตาลราวร้อยละ 60 ถึง 70 ระดับที่เหมาะสมคือร้อยละ 67.5 ที่ ค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมค่าหนึ่ง ถ้าลด

ปริมาณน้ำตาลลง จะต้องใช้ปริมาณเพคตินสูงขึ้นเพื่อให้เจลมีความแข็งแรงเท่ากัน การใช้ปริมาณน้ำตาลสูงๆ จะทำให้เยลเกิดการแข็งตัวได้เร็วขึ้น

2.1.7.3 ผลของกรดหรือค่าความเป็นกรดต่างกรดที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ นอกจากจะทำให้กลิ่นรสดีขึ้นและป้องกันการเสื่อมเสียแล้ว กรดยังมีผลในการลดค่าความเป็นกรดต่าง ซึ่งมีผลต่อการแตกตัวของเพคติน อัตราเร็วในการเซ็ทตัวของเจล อุณหภูมิในการเซ็ทตัวค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมในการเกิดเจลประมาณ 3.0 ที่ค่าความเป็นกรดต่าง ต่ำกว่านี้ความแข็งของเจลรวมทั้งอัตราเร็ว และอุณหภูมิในการเกิดเจลจะเพิ่มขึ้นด้วย

### 2.1.8 เพคตินทางการค้า

สารเพคตินที่ผลิตขายในทางการค้ามีหลายร้อยชนิด ตามลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์ ส่วนมากเพคตินที่จะผลิตจากแต่ละบริษัทจะแตกต่างกันออกไป แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 ชนิด

- เพคตินที่มีกลุ่มเมทริกซ์สูง
- เพคตินที่มีกลุ่มเมทริกซ์ต่ำ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเพคตินทางการค้า ได้แก่ ผลไม้ตระกูลส้ม แอปเปิ้ล

### 2.1.9 องค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของเพคติน

2.1.9.1 กรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic acid) ตามองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ กำหนดให้มีกรดกาแลคทูโรนิกไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 โดยเพคตินที่มีค่าความเป็นกรดต่าง (ค่าความเป็นกรดต่าง) มากกว่า 3.5 จะเกิดเจล ได้ยากกว่าเพคตินที่มีค่าความเป็นกรดต่างที่ 3.5

2.1.9.2 ระดับของการเกิดโพลิเมอร์ (Degree of polymerization) เพคตินที่มีขนาดใหญ่ จะมีความหนืดมากกว่าเพคตินที่มีขนาดเล็ก

2.1.9.3 ระดับของการเกิดเอสเทอร์ (Degree of esterification) เพคตินที่สกัดจากพืชต่างชนิดจะมีค่าระดับการเกิดเอสเทอร์แตกต่างกัน โดยระดับของการเกิดเอสเทอร์จะมีผลต่อความหนืด เพคตินที่มีเอสเทอร์สูงจะมีค่าความหนืดต่ำ เมื่อค่าความเป็นกรดต่าง มีค่าต่ำและมีความหนืดสูงเมื่อค่าความเป็นกรดต่างสูงขึ้น ในขณะที่เพคตินมีเอสเทอร์ต่ำจะมีความหนืดเปลี่ยนตามค่าความเป็นกรดต่าง เช่นเดียวกับเพคตินที่มีเอสเทอร์สูง แต่เมื่อค่าความเป็นกรดต่าง ต่ำกว่า 4 จะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ระดับของการเกิดเอสเทอร์มากกว่าร้อยละ 70 จะเกิดเจลเร็วและเกิดเจลที่อุณหภูมิสูง เรียกว่าการเซ็ทตัว ส่วนเพคตินที่มีระดับของการเกิดเอสเทอร์ระหว่างร้อยละ 50 ถึง 70 จะเกิดเจลช้าลง เรียกว่า เซ็ทตัวช้า ส่วนเพคตินที่มีระดับของการเกิดเอสเทอร์ต่ำกว่าร้อยละ 50 จะตกตะกอนเมื่อเป็นกรด

### 2.1.10 การสกัดเพคตินในระดับของห้องปฏิบัติการ

ในการสกัดเพคตินในระดับของห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการวิเคราะห์มีวิธีการสกัดหลายวิธีด้วยกันคือ

2.1.10.1 การสกัดด้วยแอลกอฮอล์ การสกัดเพคตินในผลไม้ โดยนำผลไม้หรือเปลือกผลไม้ที่ต้องการสกัด 1 กิโลกรัม ใส่ในภาชนะสแตนเลส ขนาดจุ 10 ลิตร เติมน้ำร้อน 5 ลิตร ตั้งไฟให้เดือดอ่อนๆ แล้วปรับค่าความเป็นกรดค่าเท่ากับ 4.5 ด้วยกรดซิตริก ต้มให้เดือดอ่อนๆ ประมาณ 20 นาที แล้วนำมากรองขณะร้อนผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้น นำผลไม้ที่กรองได้ก่อนข้างบน เติมน้ำ Kieselgur 25 กรัมต่อลิตร คนให้เข้ากันประมาณ 5 นาที กรองขณะอุ่นด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 ใน Buchner funnel โดยใช้ปั้มน้ำช่วยกรองจนได้น้ำผลไม้ใส นำไประเหยน้ำออกด้วย Rotary evaporator โดยใช้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายข้นเหนียว ซึ่งระเหยน้ำออก 4 ถึง 5 เท่า นำสารละลายข้นหนืดมาตกตะกอนใน 60 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ โดยใช้ 75 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ ประมาณ 3 ถึง 4 เท่าจะได้เป็นตะกอนวันกรองตะกอนด้วยผ้าไนลอน ล้างตะกอนในแอลกอฮอล์ 75 เปอร์เซ็นต์ 2 ครั้ง และล้างอีกครั้งหนึ่งใน แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ กรองตะกอนด้วยผ้าไนลอนบีบให้แห้ง เกลี่ยตะกอนบางๆ บนจานแก้วแล้วนำไปอบแห้งในตู้อบที่ 65 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง สารสกัดที่ได้จะมีลักษณะหยาบ นำไปบดให้ละเอียดและแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช ได้เป็นเพคตินละเอียด นำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง

2.1.10.2 การสกัดด้วยวิธี Hydrolysis เป็นกรดแร่ เช่น ใช้กรดซัลฟูริก กรดเกลือ กรดฟอสฟอรัส เป็นต้น หรือใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดแลกติก กรดมาลิก กรดตาตาริก กรดออกซาลิก ที่นิยมคือ กรดไฮโดรคลอริก ในอุตสาหกรรมใช้ กรดไฮโดรคลอริก 0.0167 ถึง 0.02 นอร์มอลิตี ต้มสกัด 3 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 97 ถึง 100 องศาเซลเซียส ต้ม 30 นาที

- การสกัดครั้งที่ 1 ใช้กรด 1.5 ถึง 2 เท่าของกากผลไม้สด
- การสกัดครั้งที่ 2 ใช้สารละลายกรด 1 ถึง 1.5 เท่า

หลังสกัดกรองกากผลไม้ขึ้น โขลกก่อนแล้วกรองสารละลายซ้ำด้วยผ้าหรือตะแกรงร่อนขนาด 80 เมช อุณหภูมิต้มควรต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ระหว่าง 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส ทำลายแป้งที่ปะปนมากับสารละลายเพคตินด้วย diastatic enzyme ที่ได้จาก *Aspergillus* (Taka diastase) เอนไซม์ 50 กรัม ต่อ สารละลายเพคติน 100 กิโลกรัม จากนั้นกรองสารละลายขณะร้อนผ่านผ้าหนา

การทำสารละลายให้เข้มข้นและการตกตะกอนโดยนำมาพอกสีทำให้ใส เช่น แอปเปิลพอกด้วยถ่านกัมมันต์ร้อยละ 1 เมื่อกรองใสแล้วเทลงในหม้อสุญญากาศ ที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 26 ถึง 28 มิลลิเมตรปรอท เทียวจนขึ้น 30 ถึง 40 นาที หลังจากนั้นพาสเจอร์ไรซ์บรรจุขวดหรือกระป๋อง

2.1.10.3 การสกัดด้วยกรดเกลือ เติมน้ำแอลกอฮอล์ลงในผลไม้ที่เป็นชิ้นเล็กๆ ในอัตราส่วนของผลไม้ 1 ส่วนต่อแอลกอฮอล์ 3 ส่วนโดยปริมาตร แล้วนำไปปั่นผสมกัน 5 นาที ตั้งไว้ให้ตกตะกอนต่ออีกประมาณ 5 นาที กรองกากผลไม้เพื่อนำมาแช่ใน แอลกอฮอล์โดยใช้กากผลไม้ อัตราส่วน 1 ต่อ 2 โดยปริมาตรตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง 30 นาที กรองเก็บกากผลไม้แช่ใน แอลกอฮอล์ 30 เปอร์เซ็นต์ ทำอีก 2 ครั้ง ล้างกากผลไม้ครั้งสุดท้ายด้วย แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 30 มิลลิลิตร นำกากที่ได้เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ปรับ ค่าความเป็นกรดด้วยกรดเกลือ เข้มข้นจนได้ค่าความเป็นกรดต่าง 2.0 ตั้งของผสมไว้ 30 นาที นำไปต้มจนถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วแช่ในน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง กรองของผสมผ่านใยแก้ว นำกากผลไม้ที่ผ่านการสกัดเพคตินครั้งแรกนำมาเติมน้ำกลั่นอีก 50 มิลลิลิตรต้มจนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แล้วกรองสารละลายเพคตินผ่านใยแก้ว ล้างกากผลไม้ด้วยน้ำร้อนอีก 50 มิลลิลิตร เก็บสารละลายเพคตินที่กรองได้รวมกันทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติมน้ำ 95 แอลกอฮอล์ และกรดเกลือลงในสารละลายเพคตินโดยใช้อัตราส่วน แอลกอฮอล์กรดเพคติน 45 ต่อ 1 ต่อ 40 โดยปริมาตรทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง

2.1.10.4 การสกัดโดยการตกตะกอนด้วยอะลูมิเนียมคลอไรด์ นำวัตถุดิบ 100 กรัม มาแช่ไว้ในน้ำ 150 มิลลิลิตร จำนวน 5 ชั่วโมง แล้วตั้งไฟพอเดือดอ่อนๆ ประมาณ 20 นาที กรองด้วยผ้าขาวบาง 4 ชั้น จะได้สารละลายใส ปรับค่าความเป็นกรดต่าง ด้วย 0.2 นอร์มอลิตี้ ของกรดเกลือ ให้ได้ค่าความเป็นกรดต่าง 4 อุณหภูมิให้สารละลายที่ได้ใช้เวลา 2 ถึง 3 นาที อุณหภูมิที่ได้ ประมาณ 60 ถึง 80 องศาเซลเซียส ปรับค่าความเป็นกรดต่างให้ได้ 3.5 ด้วย อะลูมิเนียมคลอไรด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน กรองเก็บตะกอน อะลูมิเนียมเพคตินेटด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 ล้างตะกอนด้วย เอทานอล 60 เปอร์เซ็นต์ ผสม กรดเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบตะกอนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส บดตะกอนเพคตินแล้วเก็บไว้วิเคราะห์ต่อไป

2.1.10.5 การสกัดโดยการตกตะกอนด้วยเกลือแคลเซียมคลอไรด์ นำวัตถุดิบมา 100 กรัม ปั่นกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1ต่อ5 ปรับค่าค่าความเป็นกรดต่าง ตามที่กำหนดไว้ นำไปต้มที่อุณหภูมิที่กำหนดไว้ กรองเอากากออกด้วยผ้าขาวบางพับ 2 ทบ เข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง 3600 รอบต่อ นาที เป็นเวลา 5 นาที ปรับค่าความเป็นกรดต่าง ให้อยู่ในช่วง 5 ถึง 6 เจือจางสารละลายด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 โมลาร์เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 18 ถึง 20 ชั่วโมง กรดอะซีติก เข้มข้น 1 โมลาร์ 40 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 5 นาทีเติมน้ำแคลเซียมคลอไรด์ 40 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นที่กำหนด นำสารละลายไปต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ถึง 3 นาที นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 ล้างตะกอนบนกระดาษกรองด้วยน้ำร้อน 80 องศาเซลเซียส นำตะกอนไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ตะกอนแห้งซึ่งตะกอนแห้งจะอยู่

ในรูปแคลเซียมเพคเตต (ในการเปลี่ยนแคลเซียมเพคเตตเป็นเพคตินทำได้โดย ล้างแคลเซียมเพคเตตด้วยแอลกอฮอล์ที่ผสมกรดซัลฟูริกเจือจาง ตะกอนจะเปลี่ยนเป็นเพคติน)

2.9.6 การทำให้บริสุทธิ์และการทำแห้ง ทำการแยกตะกอนบีบน้ำออก แล้วล้างหลายๆ ครั้งด้วยแอลกอฮอล์ที่ปรับด้วยกรด เพื่อกำจัดสารตกค้างออกไป อบในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นเหลือร้อยละ 6 ถึง 10 แล้วจึงทดสอบเกรดของเพคติน

### 2.1.11 การผลิตเพคตินในโรงงานอุตสาหกรรม

2.1.11.1 วัตถุดิบ เปลือกส้มและกากแอปเปิ้ลเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตเพคติน ส้มเป็นวัตถุดิบที่จัดได้ว่ามีปริมาณของเพคตินมาก ในบางบริษัทการผลิตเพคตินได้พัฒนาวัตถุดิบมาเป็นแอปเปิ้ลเป็นบางส่วนหรือทั้งหมด แต่พื้นฐานการผลิตก็ยังเป็นการผลิตเพคตินที่ได้จากเปลือกส้ม หัวบีทเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเพคติน แต่เพคตินที่ได้จะมีคุณสมบัติด้านการเกิดเจลน้อยกว่าเพคตินที่ได้จากพืชตระกูลส้ม มะนาว มะกรูด หรือ แอปเปิ้ล นอกจากหัวบีทแล้ว ยังมีแหล่งวัตถุดิบอื่นๆ ที่นำมาผลิตเพคตินเช่น มะม่วง เมล็ดทานตะวัน ฟักทอง

2.1.11.2 กระบวนการทั่วไป (Process in General) กระบวนการทั่วไปที่ใช้ในการสกัดเพคติน

2.1.11.3 การสกัด (Extraction) นำเปลือกผลไม้มาสกัดด้วยน้ำ โดยทำที่สถานะเป็นกรดที่ค่าความเป็นกรดต่าง 1 ถึง 3 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก หรือกรดไนตริก อุณหภูมิ 50 ถึง 90 องศาเซลเซียส และต้องทำในเวลา 3 ถึง 12 ชั่วโมง ซึ่งในระหว่างการสกัดจะมีข้อจำกัดในการ Depolymerization ของเพคติน และอาจเป็นไปได้ว่า จะเกิดการเชื่อมโยงของ Biopolymers เกิดขึ้น และเพคตินก็สามารถที่จะละลายน้ำได้ที่ค่าความเป็นกรดต่างที่ต่ำๆ อะตอมของเพคตินจะแตกตัวออกอยู่บริเวณเนื้อเยื่อของพืช นอกจากพันธะ Hydrolyzing glycosidic bonds แล้วการสกัดจะทำให้มี Hydrolyze ester เกาะติดมาด้วยซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะพิเศษคือจะมีหมู่ methyl ester เกาะที่ตำแหน่ง C-6 และ acetate ที่ไปเกาะกับเพคตินจะถูก esterified โดยหมู่ หมูไฮดรอกซิลของมันเอง ดังนั้นในกระบวนการการสกัด Polymerization Methyl esterification และ Acethyl esterification จะได้ผลของเพคตินเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเป็นกรด อุณหภูมิ และระยะเวลาการสกัด

2.1.11.4 การกรอง (Filtration) ในการสกัดสารเพคติน จำเป็นที่จะต้องมีการกรองหนึ่งกระบวนการหรือมากกว่านั้น เพื่อต้องการแยกสารละลายเพคตินออกจากเนื้อเยื่อพืช การกรองที่มีประสิทธิภาพจึงต้องการความหนืดต่ำ สิ่งที่ได้จากการกรองจะเป็นพวกวัตถุที่ไม่ละลายน้ำเช่น พวกเซลลูโลสของไม้หรือกากของพืชเซลเดียว โดยจะติดอยู่ภายในรูพรุนของแป่งเค้กกากที่ได้นี้ก็สามารถที่จะนำไปเป็นอาหารสัตว์ได้

2.1.11.5 ในการทำผงเพคตินจากสารละลายที่สกัดได้ จะนำสารละลายที่ได้มาทำให้เข้มข้น โดยการต้มระเหยเอาน้ำออก เพคตินก็จะตกออกมาโดยรวมอยู่กับแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการสกัดอย่างเหมาะสม ในที่สุดก็จะได้ตะกอนหรือของเหลวที่มีความข้นหนืด และจะถูกนำไปล้างในแอลกอฮอล์ แล้วทำให้แห้งแล้วบดเป็นผง ซึ่งแอลกอฮอล์จะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกโดยกระบวนการการกลั่น

สำหรับวิธีการตะกอนด้วยเกลือของโลหะตะกอนที่ได้จะอยู่ในรูปเกลือของเพคตินซึ่งจะไม่ละลายน้ำเช่น  $\text{Cu}^{2+}$  และ  $\text{Al}^{3+}$  ในอุตสาหกรรมเริ่มแรกจะใช้การตกตะกอนด้วย  $\text{Al}^{3+}$  ก่อน และได้พัฒนามาเป็น  $\text{Ca}^{2+}$  ส่วนการกำจัดไอออนโลหะจากตะกอนของเพคตินจะทำโดยการล้างตะกอนกับสารละลายแอลกอฮอล์ผสมกรด

2.1.11.6 การเทียบมาตรฐาน (Standardization) คุณสมบัติในทางพฤกษศาสตร์ของวัตถุดิบที่นำมาสกัดอาจจะไม่คงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพอากาศหรือสภาวะอื่นๆ ที่เป็นสาเหตุให้พืชเติบโตอย่างไม่สมบูรณ์และจะทำให้เกิดความแตกต่างของคุณสมบัติเพคตินได้

เพคตินที่สกัดได้ต้องนำมาเทียบมาตรฐาน เพื่อให้คุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้จากโรงงานแต่ละโรงงานอยู่ในระดับที่เป็นมาตรฐาน โดยจะถูกสอบเทียบทั้งเรื่องคุณค่าทางด้านโภชนาการและความเป็นพิษของเพคติน

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกียรติศักดิ์ และคณะ [1] ได้ศึกษาการสกัดเพคตินจากผิวมะนาว โดยทำการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกและตกตะกอนด้วยเอทานอล พบว่าปริมาณเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกมะนาวแบบสดและแบบแห้งจะมีค่าสูงสุดภายใต้สภาวะการสกัดที่ค่าระดับความเป็นกรดต่างเท่ากับ 1 อุณหภูมิในการต้มสกัด 70 องศาเซลเซียส เวลาในการต้มสกัด 60 นาที เพคตินที่ได้จากเปลือกมะนาวสดจะมีปริมาณมากกว่าเพคตินที่ได้จากเปลือกมะนาวแห้ง โดยปริมาณเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกมะนาวสดคือร้อยละ 3.65 และเปลือกมะนาวแห้งคือร้อยละ 1.64 และจากการศึกษาคุณสมบัติของเพคตินพบว่าเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งมีค่าใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้ามากกว่าเพคตินจากเปลือกมะนาวสด โดยเพคตินจากเปลือกมะนาวสดมีปริมาณความชื้นร้อยละ 11.90 ปริมาณเถ้าร้อยละ 13.73 น้ำหนักกรัมสมมูล 255.89 และปริมาณเมทอกซีร้อยละ 15.69 และเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งมีปริมาณความชื้นร้อยละ 12.50 ปริมาณเถ้าร้อยละ 15.86 น้ำหนักกรัมสมมูล 396.19 และปริมาณเมทอกซีร้อยละ 12.46

จเร และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกของพืชตระกูลส้ม 3 ชนิด คือ ส้มโอ ส้มเซ้ง ส้มเขียวหวาน ด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยแคลเซียมคลอไรด์ โดยปรับเปลี่ยนสภาวะของค่าความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิ เวลาการต้มสกัด และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ จาก



การศึกษาพบว่า ปริมาณเพคตินที่สกัดได้จากส้มทั้ง 3 ชนิดจะมีค่าสูงสุดที่สภาวะภายใต้การสกัดที่ค่าค่าความเป็นกรดต่าง 1.0 อุณหภูมิที่ใช้ในการต้มสกัด 60 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ในการตกตะกอน คือ 0.5 โมลาร์ 40 มิลลิลิตร ปริมาณของเพคตินที่สกัดได้ทั้ง 3 ชนิดใกล้เคียงกันคือร้อยละ 3.00 3.13 3.14 สำหรับเปลือกส้มโอ ส้มเขียว และ ส้มเขียวหวาน ตามลำดับ และจากการศึกษาคุณสมบัติของเพคตินพบว่า เพคตินที่ได้จากเปลือกส้มโอมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้ามากกว่าส้มเขียว กับ ส้มเขียวหวาน โดยเพคตินจากเปลือกส้มโอมีปริมาณความชื้นร้อยละ 9.16 ปริมาณเถ้าร้อยละ 10.45 น้ำหนักกรัมสมมูล 1020.41 และปริมาณเมทริกซ์ร้อยละ 9.15 เปลือกส้มเขียว มีปริมาณความชื้นร้อยละ 9.42 ปริมาณเถ้าร้อยละ 16.43 น้ำหนักกรัมสมมูล 1428.57 และปริมาณเมทริกซ์ร้อยละ 7.27 และ เปลือกส้มเขียวหวาน มีปริมาณความชื้นร้อยละ 7.82 ปริมาณเถ้าร้อยละ 15.86 น้ำหนักกรัมสมมูล 2631.58 และปริมาณเมทริกซ์ร้อยละ 8.12

นัยทัศน์ [5] ได้ทำการสกัดเพคตินจากผลไม้บางชนิด คือ ฝรั่ง ช่างขุ่น มะละกอดิบ กระเจี๊ยบแห้ง เปลือกมะนาว เปลือกส้มโอ สับปะรด และ ส้มเขียวหวาน เพื่อเปรียบเทียบปริมาณเพคตินที่สกัดได้ โดยการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ ผลที่ได้คือ สามารถสกัดเพคตินจากผิวมะนาวได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 25.30 รองลงมาคือ เปลือกส้มโอสดที่ขจัดผิวแล้ว ร้อยละ 20.27 ช่างขุ่นสด ร้อยละ 11.49 มะละกอดิบสด ร้อยละ 8.92 กระเจี๊ยบแห้งร้อยละ 7.23 และฝรั่งสดร้อยละ 7.12

Kalapathy and Proctor [8] ได้ศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกกล้วยเหลืองโดยทำการสกัดจากกรดไฮโดรคลอริกและตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน พบว่าความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ 0.05 และ 0.1 นอร์มอลิตี้ จะให้ปริมาณเพคตินสูงสุดคือร้อยละ 26 และ 28 ตามลำดับ ที่ค่าความเป็นกรดต่างในการตกตะกอน 3.5 ส่วนการสกัดเพคตินด้วยความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.2 และ 0.3 นอร์มอลิตี้ ที่ค่าความเป็นกรดต่าง 2 จะให้ปริมาณเพคตินน้อยลง ซึ่งจากการทดลองพบว่าความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการสกัดหรือค่าความเป็นกรดต่างในการตกตะกอนจะไม่มีผลต่อความบริสุทธิ์หรือระดับการเกิดเอสเทอร์ของผลิตภัณฑ์

Mesbahi et al. [9] ได้ศึกษาการสกัดเพคตินจากหัวบีทและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพระหว่างเพคตินจากหัวบีท กับ เพคตินทางการค้าจากผิวส้ม พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ที่ค่าค่าความเป็นกรดต่าง 1.0 อุณหภูมิในการต้มสกัด 90 องศาเซลเซียส เวลาที่เหมาะสมในการสกัด 4 ชั่วโมง สามารถสกัดเพคตินได้ร้อยละ 22.4 จากการศึกษาคุณสมบัติของเพคติน พบว่าหัวบีทมีปริมาณความชื้นร้อยละ 2.9 ปริมาณเถ้าร้อยละ 4.91 DE ร้อยละ 58.72 และ เพคตินทางการค้าจากผิวส้ม มีปริมาณความชื้นร้อยละ 3.21 ปริมาณเถ้าร้อยละ 2.55 DE ร้อยละ 67.80 จากค่า DE ของหัวบีทพบว่าเพคตินที่สกัดได้เป็นเพคตินชนิด LM ซึ่งสามารถปรับความหนืด และคุณสมบัติการ

เกิดเจลให้เป็นเพคตินชนิด HM ได้โดยเติมแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตลงไปเพื่อออกซิไดซ์พันธะในสายโซ่ของเพคติน

**Pagan et al. [10]** เปรียบเทียบการสกัดเพคตินจากลูกพีชสด และกากลูกพีชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 เดือน โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินคือ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ค่าค่าความเป็นกรดต่าง 1.4 เวลาที่ใช้ในการสกัด 60 นาที สามารถสกัดเพคตินได้ร้อยละ 17.8 และที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่ากากพีชที่เก็บไว้สามารถสกัดเพคตินได้มากกว่ากากพีชสด และกากพีชสดให้เพคตินชนิด HM กากพีชที่เก็บไว้ให้เพคตินชนิด LM

**Singthong et al. [12]** ได้ทำการสกัดเพคตินจากใบหมาน้อย ซึ่งเป็นพันธุ์ไม้เลื้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย ด้วยวิธีการสกัดที่ประหยัด โดยบดใบหมาน้อยให้เป็นผงละเอียด เติมน้ำเพื่อปรับค่าค่าความเป็นกรดต่าง (3.8 ถึง 4.0) ในอัตราส่วนของแข็งต่อน้ำ เป็น 1 ต่อ 50 นำไปต้มระเหยที่อุณหภูมิ 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส นำมากรอง และ นำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที นำไประเหยเพื่อให้เหลือปริมาตรปริมาณครึ่งหนึ่ง นำตะกอนที่ได้มาล้างด้วย เอทานอลร้อยละ 95 แล้วนำไปเข้าเตาอบ พบว่า เพคตินที่สกัดได้เป็นชนิด LM สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน คือ ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ค่าค่าความเป็นกรดต่าง 3 สามารถสกัดเพคตินได้ร้อยละ 28.9 แต่เป็นเพคตินที่มีความหนืดต่ำสุด คือ 48 เซนติพอยด์

**Thomas et al. [13]** ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบภายในพีช คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ของเพคตินจากมะตูมญี่ปุ่น 2 สายพันธุ์ คือ RG822 และ NV9392 พบว่าโดยเฉลี่ย ผลไม้แห้งให้เพคติน 11 กรัมต่อากผลไม้ และผลไม้สด ให้เพคติน 1.4 กรัมต่อากผลไม้ และสายพันธุ์ NV9392 สามารถสกัดเพคตินได้มากกว่า คือร้อยละ 38.4 และสายพันธุ์ RG822 สกัดเพคตินได้ร้อยละ 35.5

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

##### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 เครื่องปั่น รุ่น MXT-2001 PW บริษัท Misushita ประเทศไทย
- 3.1.2 เตาอบ บริษัท Memmert model 500 ประเทศอังกฤษ
- 3.1.3 เครื่องสกัดด้วยไอน้ำ
- 3.1.4 หม้อต้มไอน้ำ บริษัท Chofu Boiler ประเทศญี่ปุ่น
- 3.1.5 เตาเผา บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.1.6 เครื่องปรับวัดค่าความเป็นกรดต่าง รุ่น Cyberscan pH 510 บริษัท Eutech Instruments ประเทศสหรัฐอเมริกา

##### 3.2 เครื่องมือวิเคราะห์

- 3.2.1 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Perkin Elmer IR-470 ประเทศสหรัฐอเมริกา

##### 3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.3.1 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) บริษัท J.T.Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.3.2 เอทิลแอลกอฮอล์ ( $C_2H_5OH$ ) บริษัท J.T.Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.3.3 ซิลเวอร์ไนเตรท ( $AgNO_3$ ) บริษัท Mallinckrodt ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.3.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Asia Pacific Specialty Chemical Limited ประเทศออสเตรเลีย
- 3.3.5 เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3$ ) บริษัท Riedel-de Haen ประเทศเยอรมัน
- 3.3.6 กรดไฮดรอกซาลามีน ( $NH_2OH \cdot HCl$ ) บริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย
- 3.3.7 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) บริษัท BDH Laboratory Supplies ประเทศอังกฤษ
- 3.3.8 โพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) AR เกรด บริษัท Mallinckrodt ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3.3.9 ฟีนอลเรด ( $C_{19}H_{13}NaO_5S$ ) บริษัท APS Ajax Finechem ประเทศเยอรมัน

### 3.4 การเตรียมวัตถุดิบ

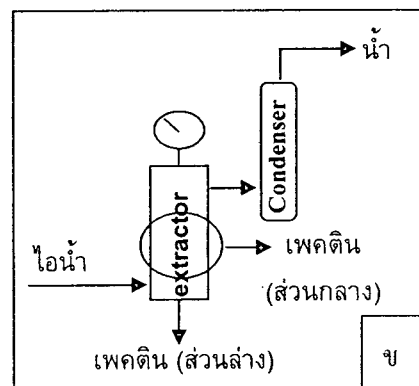
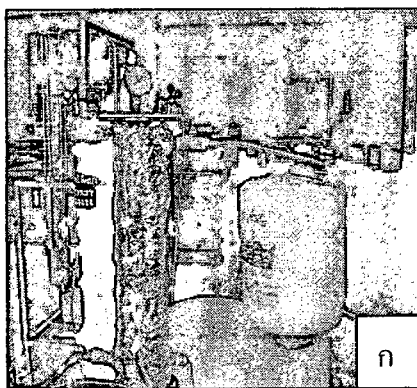
ทำการอบเปลือกมะนาวที่ปอกผิวสีเขียวออกแล้วที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้เปลือกมะนาวแห้ง สามารถเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลานาน ในการศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งนี้จะนำเปลือกมะนาวแห้งมาปั่นกับน้ำกลั่นด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 20 เป็นเวลา 40 วินาที

### 3.5 การศึกษาผลของความเป็นกรดต่างเริ่มต้นที่มีต่อการสกัดสารเพคตินโดยการต้มในอ่างน้ำร้อน

นำเปลือกมะนาวแห้งที่ปั่นกับน้ำกลั่นมาทำการสกัดสารเพคตินโดยต้มในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นเป็น 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 และ 3.5 ตามลำดับ ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 6 โมลาร์

### 3.6 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ

นำเปลือกมะนาวแห้งที่ปั่นกับน้ำกลั่นมาทำการสกัดสารเพคตินด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ โดยปรับค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นเป็น 0.5 ความดันไอน้ำ 1 บาร์ แล้วทำการปรับเปลี่ยนเวลาในการสกัดเป็น 10 20 30 40 50 และ 60 นาที ตามลำดับ เมื่อได้เวลาที่เหมาะสมแล้ว ทำการสกัดโดยใช้เวลาในการสกัดที่ได้จากการทดลอง กำหนดความดันไอน้ำเป็น 1 บาร์ แล้วทำการปรับเปลี่ยนสภาวะของค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นเป็น 0.50 1.00 1.50 2.00 2.50 3.00 และ 3.50 ตามลำดับ เพื่อหาค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นที่เหมาะสมในการสกัด เมื่อได้เวลาและค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมแล้ว ทำการสกัดโดยการปรับสภาวะของความดันไอน้ำเป็น 0.50 1.00 และ 1.50 บาร์ เพื่อหาความดันไอน้ำที่เหมาะสม



รูปที่ 3.1 เครื่องสกัดไอน้ำ (ก) อุปกรณ์จริง และ (ข) แผนภาพอุปกรณ์

### 3.7 วิธีการตกตะกอนเพคตินและการล้างคลอไรด์ไอออน

นำสารละลายที่ได้จากกระบวนการสกัดมากรองแยกเอาเนื้อเยื่อพืชออกด้วยผ้าขาวบางพับ 2 ทบ นำสารละลายกรองที่ได้มาตกตะกอนเพคตินด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กรองตะกอนด้วยผ้าขาวบางพับ 4 ทบ ทำการล้างตะกอนที่ได้ด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ จนไม่มีคลอไรด์ไอออน ตรวจสอบโดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 โมลาร์

### 3.8 การหาปริมาณเพคติน

ทำการอบเพคตินที่สกัดได้ด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณเพคตินที่ได้ ดังสมการที่ (3-1)

$$\text{เปอร์เซ็นต์เพคติน} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนเพคตินแห้ง (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักเปลือกส้มโอแห้งที่ใช้ในการสกัด (กรัม)}} \quad (3-1)$$

### 3.9 การตรวจสอบชนิดของตะกอนที่สกัดได้

#### 3.9.1 การตรวจสอบทางเคมี

นำตะกอนที่สกัดได้มา 0.01 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เติมกรดไฮดรอกเซลามีนเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จำนวน 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ จำนวน 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 2 นาที แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จำนวน 1 มิลลิลิตร และเติมเฟอร์ริกคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ จำนวน 1 มิลลิลิตร ถ้าสารละลายที่ได้มีตะกอนสีแดงไม่ละลายน้ำเกิดขึ้นแสดงว่าตะกอนที่สกัดได้เป็นตะกอนเพคติน

#### 3.9.2 การตรวจสอบโดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FTIR)

บดตะกอนที่สกัดได้ให้เป็นผงละเอียดแล้วนำไปผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 25 โดยน้ำหนัก อัดให้เป็นแผ่นใส แล้วทำการวิเคราะห์หาเส้นสเปกตรัมด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้า

### 3.10 การตรวจสอบสมบัติเพคตินที่สกัดได้

**ปริมาณเถ้า (Ashes) [4]** นำเพคตินที่สกัดได้มาใส่ในครุชเบิล แล้วชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาว แล้วนำไปในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้จนเย็นทำอุณหภูมิห้อง จึงนำมาชั่งหาน้ำหนักเถ้า คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้าโดยน้ำหนักแห้ง ตามสมการ (3-2)

<http://ok.lib.swu.ac.th>

111000 ต่อ 1250-6

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้า (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของสารตัวอย่าง (กรัม)}} \quad (3-2)$$

**น้ำหนักกรัมสมมูล (Equivalent weight) [1]** หาได้โดยการชั่งเฟลดินประมาณ 0.5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายผงเฟลดินด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเติมเกลือแกง (NaCl) 1 กรัม นำไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอลิตี โดยใช้ฟีนอลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี คำนวณน้ำหนักกรัมสมมูล ตามสมการ (3-3)

$$\text{น้ำหนักกรัมสมมูล} = \frac{1000 \times S}{NV} \quad (3-3)$$

โดย S คือ น้ำหนักแห้งของเฟลดินที่ใช้ (กรัม)

N คือ จำนวนนอร์มอลิตีของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรต

V คือ จำนวนปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรต (มิลลิลิตร)

**ปริมาณเมทอกซี (Methoxy content) [1]** หาได้โดยการนำสารละลายที่ผ่านการหาน้ำหนักกรัมสมมูลมาเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.25 นอร์มอลิตี ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที เติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.25 นอร์มอลิตี ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วนำไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอลิตี โดยใช้ฟีนอลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี คำนวณปริมาณเมทอกซี ตามสมการ (3-4)

$$\text{เปอร์เซ็นต์เมทอกซี} = \frac{NVE \times 100}{1000S} \quad (3-4)$$

โดย N คือ จำนวนนอร์มอลิตีของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรต

V คือ ปริมาตรนอร์มอลิตีของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรต (มิลลิลิตร)

E คือ น้ำหนักสมมูลของเมทอกซีเท่ากับ 31

S คือ น้ำหนักแห้งของเฟลดินที่ใช้ (กรัม)

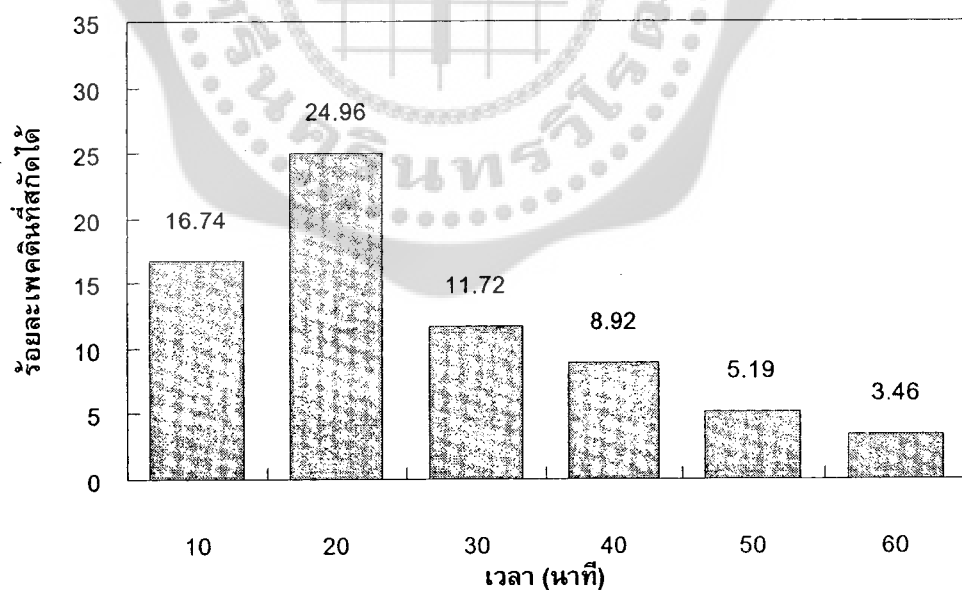
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ

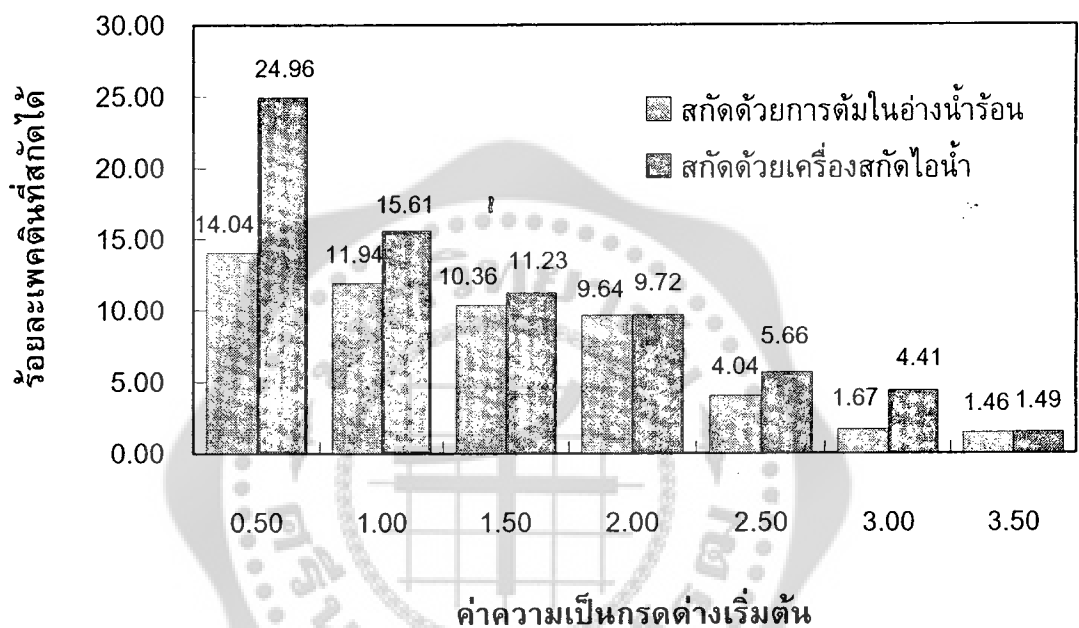
การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการต่อการสกัดสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ พบว่าเวลาในการสกัดที่เหมาะสม คือ 20 นาที ซึ่งให้ปริมาณเพคตินร้อยละ 24.96 และเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดพบว่าความสามารถในการสกัดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณความร้อนจากไอน้ำมากเกินไปมีผลให้โครงสร้างของเพคตินถูกทำลาย ส่วนที่เวลา 10 นาทีนั้น เป็นเวลาที่น้อยเกินไปทำให้เพคตินที่มีอยู่ในเปลือกมะนาวแห้งนั้นยังถูกสกัดออกมาได้ไม่มากนัก ดังรูปที่

4.1



รูปที่ 4.1 ปริมาณเพคตินที่สกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำที่ค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้น 0.5 และ ความดันไอน้ำ 1 บาร์ ที่ระยะเวลาการสกัดต่างๆ

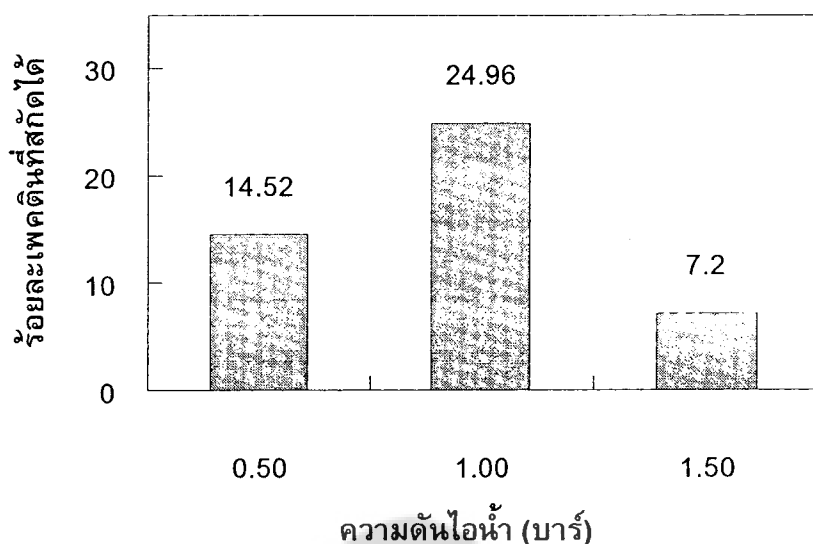
การศึกษาผลของค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นต่อการสกัดสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้ง ด้วยวิธีการต้มสกัดด้วยอ่างน้ำร้อนและวิธีการสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ พบว่า ค่าความเป็นกรดต่าง เริ่มต้นในการสกัดที่เหมาะสมของทั้งสองวิธี คือ 0.50 ซึ่งให้ปริมาณเพคตินร้อยละ 14.04 และ 24.96 ตามลำดับ และเมื่อทำการปรับค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นเพิ่มสูงขึ้น พบว่าปริมาณเพคตินที่สกัดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเพคตินจะสกัดได้ดีเมื่อมีค่าความเป็นกรดต่างสูง ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ปริมาณสารเพคตินที่สกัดได้ด้วยวิธีการต้มในอ่างน้ำร้อนและวิธีการสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำที่สภาวะความเป็นกรดต่างเริ่มต้นต่าง ๆ

เมื่อศึกษาหาค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นและเวลาที่เหมาะสมแล้ว นำผลที่ได้มา ทำการศึกษาหาค่าความดันไอน้ำที่เหมาะสม พบว่า ความดันไอน้ำที่เหมาะสมในการสกัด เพคติน จากเปลือกมะนาวแห้งด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ คือ 1.00 บาร์ ซึ่งให้ปริมาณเพคตินร้อยละ 24.96 เมื่อเพิ่มความดันไอน้ำในการสกัด พบว่าเพคตินที่เกิดขึ้นมีลักษณะไม่รวมตัวกันเป็นตะกอนทำให้ผ่านรูกรองของผ้าขาวบางได้ง่าย เนื่องจากความดันไอน้ำที่เพิ่มขึ้นจะไปทำลายโครงสร้างของเพคติน ทำให้เพคตินเกิดการสลายตัว ดังรูปที่ 4.3

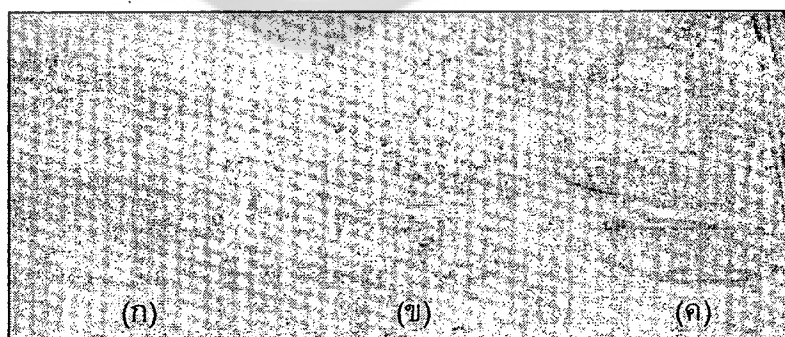




รูปที่ 4.3 ปริมาณเพคตินที่สกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำเป็นเวลา 20 นาที ค่าความเป็นกรดต่าง 0.5 ที่สภาวะความดันไอน้ำต่าง ๆ

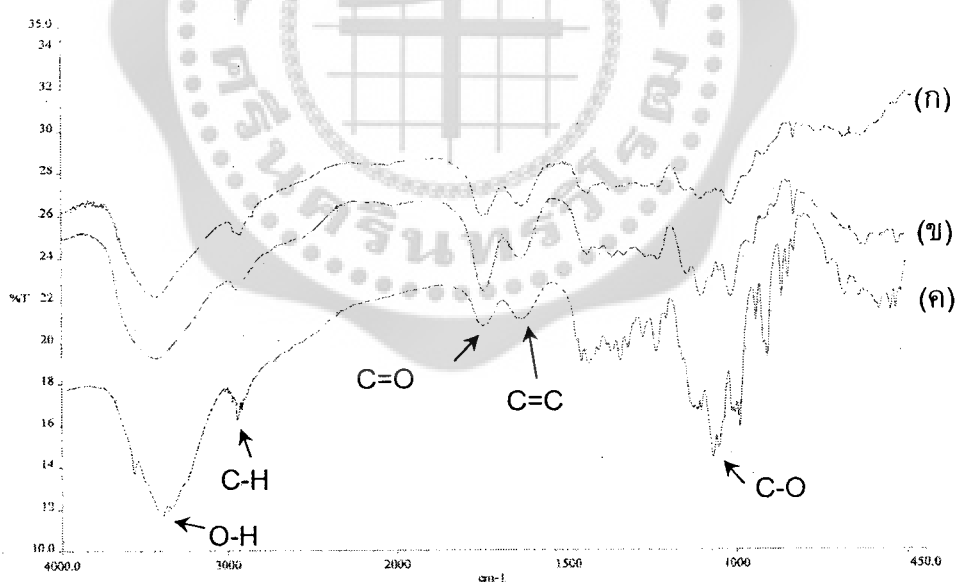
#### 4.2 ผลการวิเคราะห์ชนิดของสารที่สกัดได้

การตรวจสอบชนิดของสารที่สกัดได้ว่าเป็นเพคตินจริงหรือไม่ วิธีแรกคือ การตรวจสอบทางเคมี พบว่าเมื่อทำการตรวจสอบเพคตินที่สกัดได้จะมีตะกอนสีแดงไม่ละลายน้ำเกิดขึ้น เช่นเดียวกับเพคตินทางการค้า แต่เมื่อใช้แป้งมันสำปะหลังจะพบว่าจะได้สารละลายสีแดงไม่มีตะกอนเกิดขึ้น แสดงให้เห็นได้ว่า สารที่สกัดได้เป็นสารเพคตินจริง ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การตรวจสอบชนิดของสารที่สกัดได้ด้วยวิธีทางเคมี (ก) Blank (แป้งมันสำปะหลัง) (ข) เพคตินทางการค้า และ (ค) เพคตินที่สกัดได้จากเปลือกมะนาวแห้งด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ

วิธีการตรวจสอบชนิดของตะกอนที่สกัดได้อีกวิธีได้แก่การตรวจสอบด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ [1] โดยเปรียบเทียบเส้นอินฟราเรดสเปกตรัมของสารที่สกัดได้จากเปลือกมะนาวแห้งกับเพคตินทางการค้า พบว่าเส้นอินฟราเรดสเปกตรัมของตะกอนที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอแห้ง เกิดพีคของ O-H stretching ที่กว้างใกล้ 2400 ถึง 3400  $\text{cm}^{-1}$  C-H stretching ที่ 800 ถึง 3000  $\text{cm}^{-1}$  C=O stretching ที่ 1650 ถึง 1850  $\text{cm}^{-1}$  และเกิดพีค C-O stretching ปกติใกล้ 1000 ถึง 1300  $\text{cm}^{-1}$  ส่วนเพคตินทางการค้าเกิดพีคของ C=O stretching ที่ตำแหน่ง 1751.46 หมู่ฟังก์ชันดังกล่าวเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่ออะตอมหรือฟังก์ชันกรุป ทำให้การดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารแต่ละชนิดมีค่าเฉพาะ สารตัวอย่างยังแสดงหมู่ฟังก์ชัน O-H stretching และยังมีหมู่ฟังก์ชัน C-H stretching C=C stretching ซึ่งแสดงลักษณะหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบ คาร์บอนิล นอกจากนี้ยังเกิดพีคของ C-O stretching ที่เป็นส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต เมื่อเปรียบเทียบหมู่ฟังก์ชันและตำแหน่งที่เกิดพีคของสารตัวอย่างกับเพคตินทางการค้า พบว่ามีลักษณะเหมือนกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ตะกอนที่สกัดได้จากเปลือกมะนาวแห้งคือ เพคติน แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เส้นอินฟราเรดสเปกตรัมของตะกอนที่สกัดได้โดย (ก) การต้มสกัดด้วยอ่างน้ำร้อน (ข) การสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ และ (ค) สารเพคตินทางการค้า

### 4.3 สมบัติของสารเพคตินที่สกัดได้

ศึกษาสมบัติต่างๆ ของสารเพคตินที่สกัดได้ โดยศึกษาสมบัติด้านน้ำหนักกรัมสมมูล ปริมาณเมทอกซี และปริมาณแฉ่ำ ดังตารางที่ 4.1 4.2 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.1 สมบัติของสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งที่สกัดด้วยการต้มสกัดในอ่างน้ำร้อนที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ความเป็นกรดต่างเริ่มต้น	% เพคติน	น้ำหนักกรัมสมมูล	ปริมาณเมทอกซี	ปริมาณแฉ่ำ
0.50	14.04	1010.18	12.18	1.26
1.00	11.94	1098.98	14.84	1.70
1.50	10.36	1165.25	16.50	2.08
2.00	9.64	1254.29	17.33	2.83
2.50	4.04	1545.94	18.31	3.27
3.00	1.67	1653.46	19.59	3.43
3.50	1.46	1677.29	19.77	3.61

ตารางที่ 4.2 สมบัติของสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งที่สกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำที่ความเป็นกรดต่างเริ่มต้น 0.50 ความดันไอน้ำ 1.00 บาร์

เวลา (นาที)	% เพคติน	น้ำหนักกรัมสมมูล	ปริมาณเมทอกซี	ปริมาณแฉ่ำ
10	16.74	562.64	12.87	1.67
20	26.45	945.00	14.29	2.29
30	11.72	1044.84	15.33	2.57
40	9.04	1121.36	17.57	2.76
50	5.19	1389.27	19.24	3.00
60	3.46	1432.50	23.84	3.64

ตารางที่ 4.3 สมบัติของสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งที่สกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำที่ความดันไอน้ำ 1.00 บาร์ ระยะเวลาในการสกัด 20 นาที

ความเป็นกรดต่ำเริ่มต้น	% เพคติน	น้ำหนักกรัมสมมูล	ปริมาณเมทอกซี	ปริมาณแก้ว
0.50	24.96	945.00	14.29	2.29
1.00	15.61	930.78	17.11	2.55
1.50	11.23	1106.04	18.68	2.98
2.00	9.72	1444.95	22.90	3.16
2.50	5.66	1951.48	25.30	3.35
3.00	4.41	1986.29	26.46	3.80
3.50	1.49	2531.34	29.36	3.98

ตารางที่ 4.4 สมบัติของสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งที่สกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำที่ความเป็นกรดต่ำเริ่มต้น 0.50 ระยะเวลาในการสกัด 20 นาที

ความดันไอน้ำ (บาร์)	% เพคติน	น้ำหนักกรัมสมมูล	ปริมาณเมทอกซี	ปริมาณแก้ว
0.50	14.52	626.05	8.99	2.56
1.00	24.96	945.00	14.29	2.29
1.50	7.20	1126.50	22.38	3.68

จากตารางที่ 4.1 ถึง 4.4 พบว่าสมบัติของสารเพคตินที่สกัดได้มากที่สุดคือร้อยละ 14.04 โดยวิธีต้มสกัดด้วยอ่างน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ค่าความเป็นกรดต่ำเท่ากับ 0.5 มีน้ำหนักกรัมสมมูล ปริมาณเมทอกซี และปริมาณแก้ว เท่ากับ 1010.18 12.18 เปอร์เซ็นต์ และ 1.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสมบัติของสารเพคตินที่สกัดได้มากที่สุดคือร้อยละ 24.96 โดยวิธีสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ ที่ความดันไอน้ำ 1 บาร์ เป็นเวลา 20 นาที ค่าความเป็นกรดต่ำเริ่มต้นเท่ากับ 0.5 มีน้ำหนักกรัมสมมูล ปริมาณเมทอกซี และปริมาณแก้ว เท่ากับ 945.00 14.29 เปอร์เซ็นต์ และ 2.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่าเพคตินที่มีน้ำหนักกรัมสมมูลมากจะมีโครงสร้างของเพคตินที่ใหญ่กว่าเพคตินที่มีน้ำหนักกรัมสมมูลน้อย นอกจากนี้ น้ำหนักกรัมสมมูลมากยังบ่งบอกถึงค่าน้ำหนักโมเลกุลสูงและความสามารถในการเกิดเจลได้ดี ส่วนสมบัติด้านปริมาณเมทอกซีของเพคตินที่สกัด

ได้ที่ค่าความเป็นกรดต่างแตกต่างกันพบว่า ที่ค่าความเป็นกรดต่ำจะมีปริมาณเมทอกซีต่ำ เนื่องจากเมทิลเอสเทอร์ถูกขจัดออกไปจากโมเลกุลของเพคตินได้ง่ายกว่าที่ค่าความเป็นกรดสูง นอกจากนี้ปริมาณเมทอกซียังขึ้นกับชนิดของผลไม้ที่นำมาสกัดเนื่องจากเพคตินที่สกัดจากผลไม้แต่ละชนิดจะมีปริมาณเมทอกซีไม่เท่ากัน และสมบัติด้านปริมาณเถ้าของเพคตินที่สกัดได้ พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกัน แสดงว่าเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณสิ่งเจือปนอื่นซึ่งอาจเป็นเกลือของคลอไรด์ที่ใกล้เคียงกันด้วย



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

สถานะที่เหมาะสมในการสกัดสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ คือ ที่ค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นเท่ากับ 0.50 ความดันไอน้ำ 1 บาร์ และระยะเวลาในการสกัด 20 นาที สามารถสกัดเพคตินได้ร้อยละ 24.96 โดยเป็นผลรวมจากส่วนกลางและส่วนล่างของถังสกัด เท่านั้น ไม่รวมถึงส่วนบน เนื่องจากเพคตินเป็นสารที่ไม่ละลายไปกับไอน้ำ และเมื่อเปรียบเทียบกับ วิธีต้มสกัดด้วยอ่างน้ำร้อน พบว่าสถานะที่เหมาะสมคือ ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 0.5 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัด 60 นาที ให้ปริมาณผลผลิตรวมร้อยละ 14.04 พบว่า เครื่องสกัดไอน้ำจะประหยัดระยะเวลาในการสกัดและให้ปริมาณเพคตินที่สูงกว่ามาก และจากการศึกษาคุณสมบัติของสารเพคตินที่สกัดได้ พบว่าสารเพคตินที่สกัดได้จากวิธีต้มสกัดด้วยอ่างน้ำร้อนที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 0.5 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัด 60 นาที มีน้ำหนักกรัมสมมูล ร้อยละปริมาณเมทอกซี และร้อยละปริมาณแฉ่ำ เท่ากับ 1010.18 12.18 และ 1.26 ตามลำดับ ส่วนสารเพคตินที่สกัดได้จากวิธีสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำที่ค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นเท่ากับ 0.50 ความดันไอน้ำ 1 บาร์ และระยะเวลาในการสกัด 20 นาที มีน้ำหนักกรัมสมมูล ร้อยละปริมาณเมทอกซี และร้อยละปริมาณแฉ่ำ เท่ากับ 945.00 14.29 และ 2.29 ตามลำดับ

#### ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของสารเพคติน

วิธีการสกัดเพคติน	น้ำหนักกรัมสมมูล	ปริมาณเมทอกซี	ปริมาณแฉ่ำ
เพคตินทางการค้า	917.45	10.29	1.52
สกัดด้วยการต้มสกัดในอ่างน้ำร้อน	1010.18	12.18	1.26
สกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ	945.00	14.29	2.29

จากตารางที่ 5.1 เมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้า พบว่าเพคตินที่สกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำจะมีน้ำหนักกรัมสมมูลมากกว่าเพคตินทางการค้า ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเพคตินที่มี

น้ำหนักกรัมสมมูลมาก จะมีโครงสร้างของเฟลคตินที่ใหญ่กว่าเฟลคตินที่มีน้ำหนักกรัมสมมูลน้อย นอกจากนี้ น้ำหนักกรัมสมมูลมากยังบ่งบอกถึงค่าน้ำหนักโมเลกุลสูง และความสามารถในการเกิดเจลได้ดี แต่ในด้านปริมาณแล้วเฟลคตินที่สกัดได้จะมากกว่าเฟลคตินทางการค้าเล็กน้อย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการทดลองหาปริมาณเฟลคตินโดยใช้การสกัดแบบอื่น เช่น การตกตะกอนด้วยแคลเซียมคลอไรด์

5.2.2 ควรมีการศึกษาการทำเฟลคตินที่ได้ให้บริสุทธิ์มากขึ้น



## เอกสารอ้างอิง

- [1] เกียรติศักดิ์ ผดุงเสรีวิทย์ ชาคร อาศิริพงษ์พร และ บุญบง ศรีดุรงค์ธรรม. (2548). *การศึกษาการสกัดเพคตินจากผิวมะนาว. โครงการนวัตกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.*
- [2] คณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีเกษตรกรรม(2546) *การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโพลีเมอร์เพื่อพัฒนาตัวรับเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.*
- [3] จเร ศิริรัตน์ ัญญาภรณ์ ประวันรัมย์ ธนาธิป แสงทวีปกิจ (2542). *การศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกของพืชตระกูลส้ม . คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ*
- [4] จิตรลดา ทักทาย และ ศิววรรณ คงจันทร์. (2548). *การสกัดสารเพคตินจากต้นทานตะวัน. โครงการนวัตกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.*
- [5] นัยทัศน์ ภู่อรัมย์ (2521) *การสกัดเพคตินจากผลไม้บางชนิด .วิทยานิพนธ์ วท.ม.(วิทยาศาสตร์การอาหาร) กรุงเทพฯ บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.*
- [6] โสคาภา โคตรวีระ (2537). *การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสกัดเพคตินจากกระเจี๊ยบมอญ, วิทยานิพนธ์ วท.บ. (เคมี) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*
- [7] (Online). Available: <http://www.cfs.purdue.edu>
- [8] Kalapathy, U. and Proctor, A. (2000). *Effect of acid extraction and alcohol precipitation on the yield and purity of soy hull pectin. Food chemistry.* 73, 393-396
- [9] Mesbahi, G. ,Jamalian, J. ,Farahnaky.A. (2005). “A Comparative study on functional properties of beet and citrus pectin in food systems,” *Food Hydrocolloids.*19:731-738.
- [10] Pagan, J. ,Ibarz, A. ,Llorca, M. ,Pagan,A. and Casnovas,B.(2001). “**Extraction and characterization of pectin from stored peach pomace ,**” *Food Research International.*34:605-612.
- [11] J. Renovato, R. M. Rodriguez-Jasso, C. M. G. C. Renard, J. C. Montanez, J. C. Contreras-Esquivel, J. I. Izaguirre-Silva. Physico-Chemical Characterization of Lemon and Lime Pomaces and their Impact into the Pectin Industry.
- [12] Singthong,J. ,Ningsanond,S. ,Steve,W. ,Cui and Douglas Goff,H.(2005).  
“**Extraction and physicochemical characterization of Krueo Ma Noy pectin,**” *Food Hydrocolloids.*19:793-801.

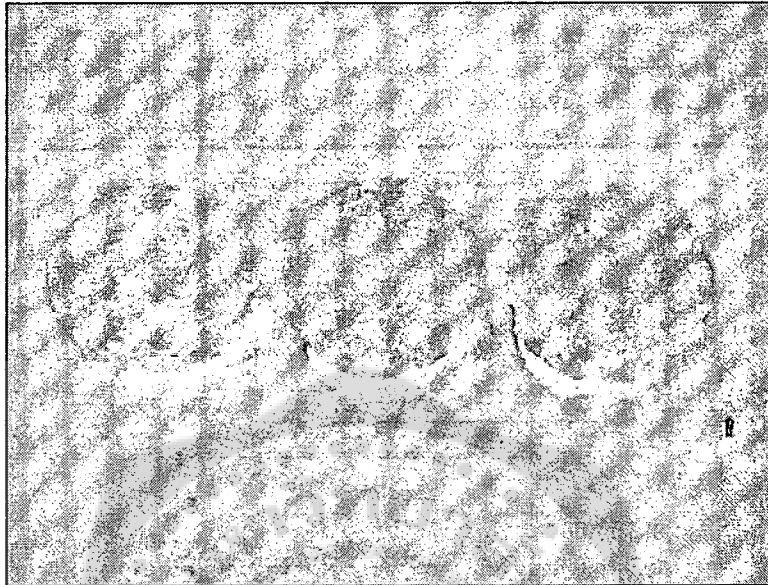


- [13] Thomas,M., Gullemin,F., Guillon,F. and J.-F. Thibault (2003). “**Pectins in the fruits of Japanese quince (Chaenomeles japonica),**” Carbohydrate Polymers.53:361-372.

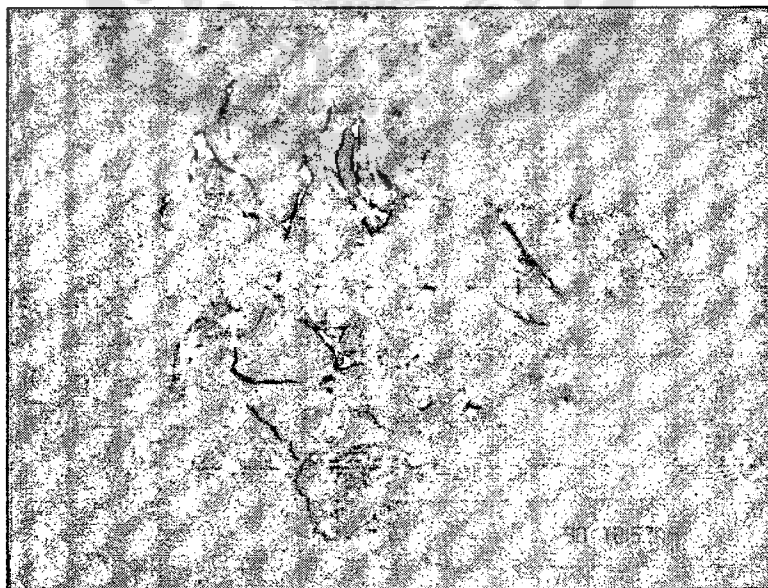




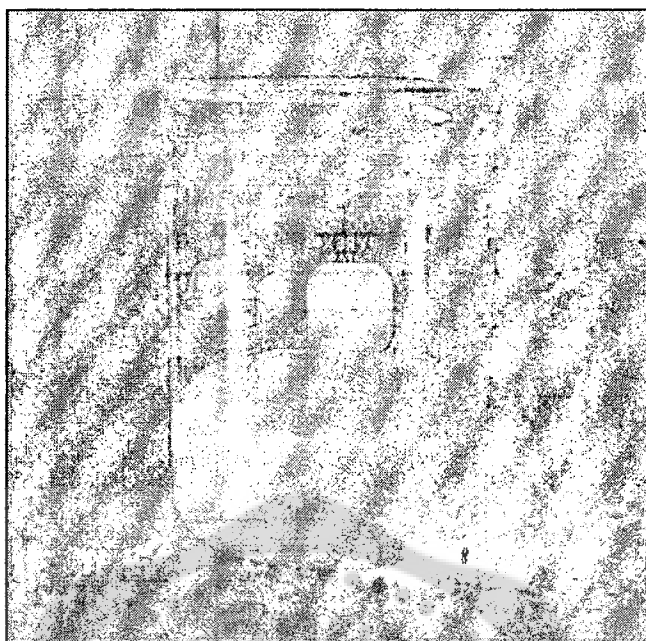
ภาคผนวก ก รูปขั้นตอนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้ง



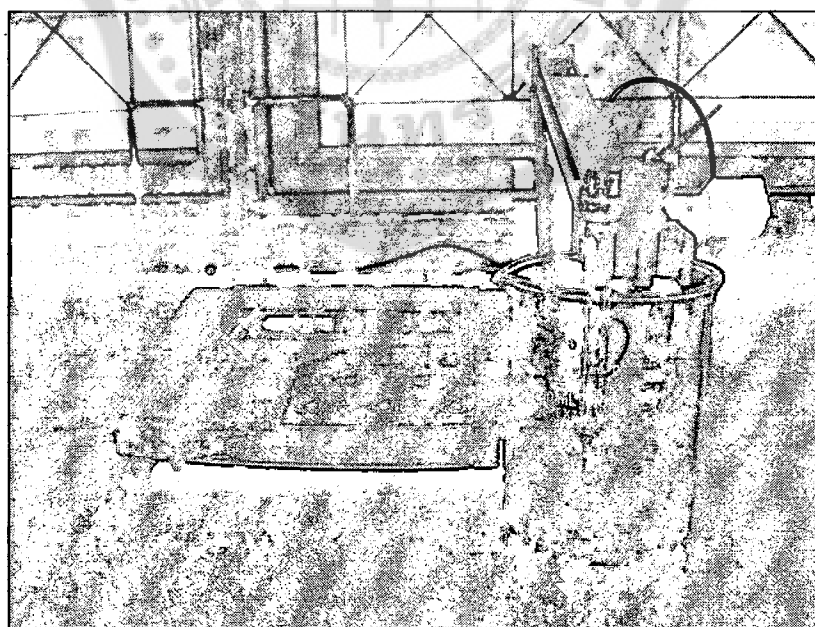
รูปที่ภาคผนวก ก1 มะนาวที่ปอกผิวสีเขียวออกแล้ว



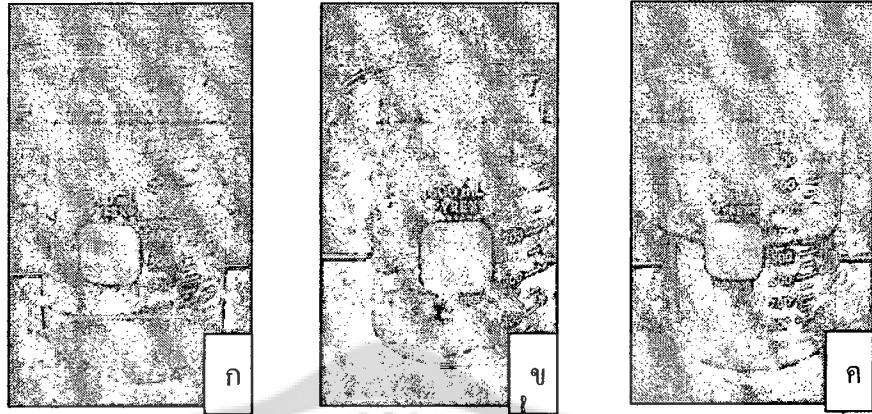
รูปที่ภาคผนวก ก2 เปลือกมะนาวที่จะนำไปอบแห้งเพื่อนำไปสกัดเพคติน



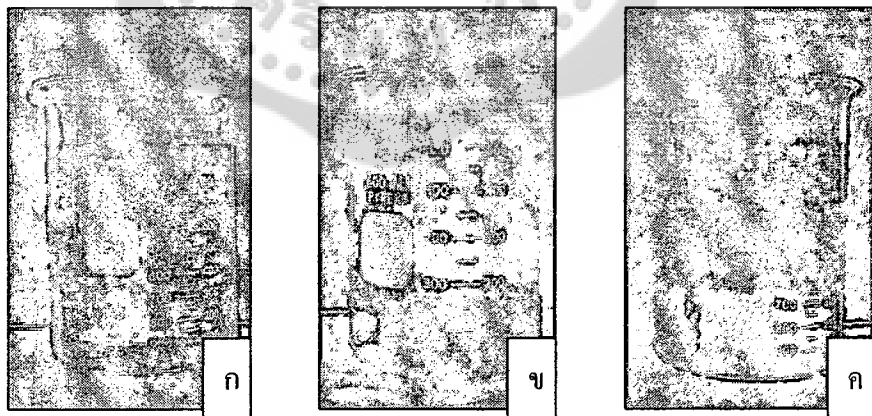
รูปที่ภาคผนวก ก3 เปลือกมะนาวแห้งป่นกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 20



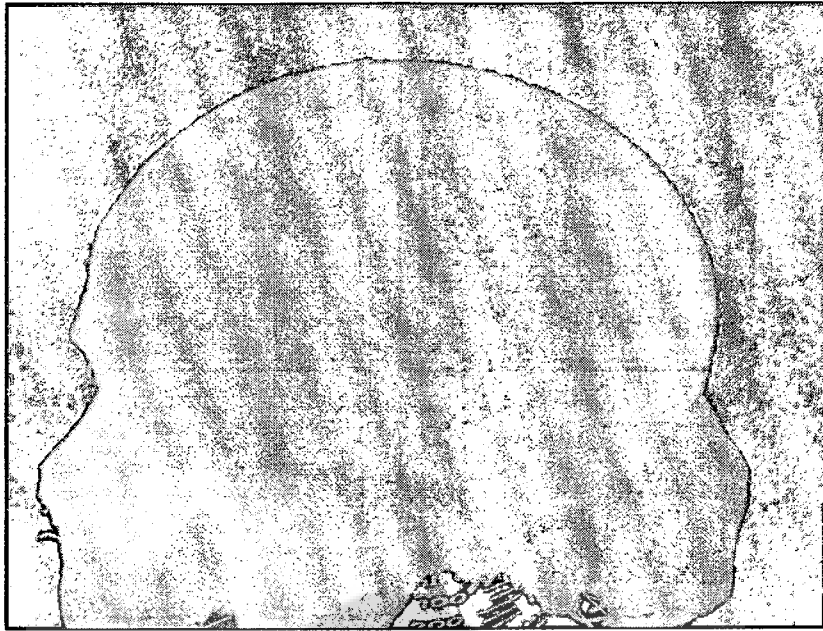
รูปที่ภาคผนวก ก4 การปรับค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 โมลาร์



รูปที่ภาคผนวก ก5 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ (ก) ส่วนบน (ข) ส่วนกลาง และ (ค) ส่วนล่างของเครื่องสกัด

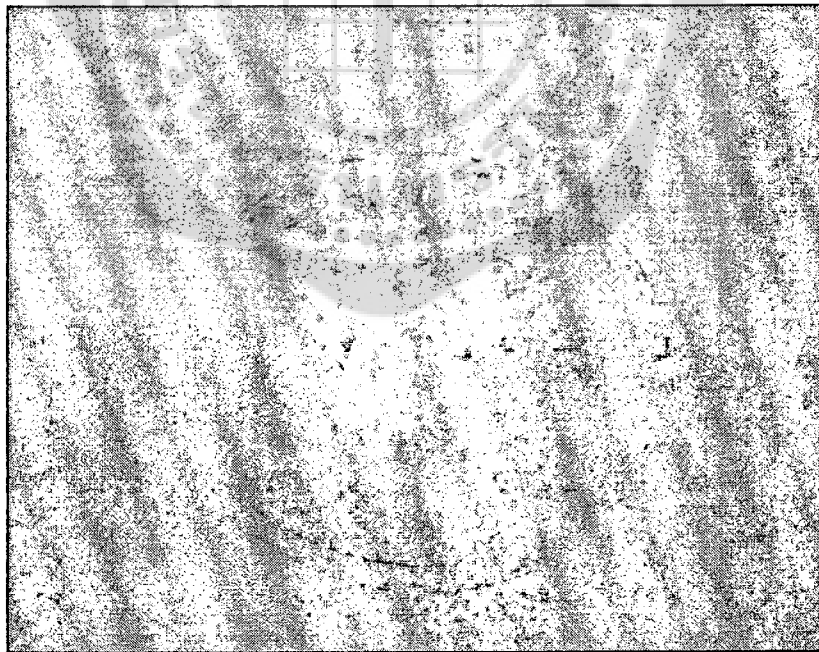


รูปที่ภาคผนวก ก6 การตกตะกอนเฟลคตินที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ (ก) ส่วนบน (ข) ส่วนกลาง และ(ค) ส่วนล่างของเครื่องสกัด

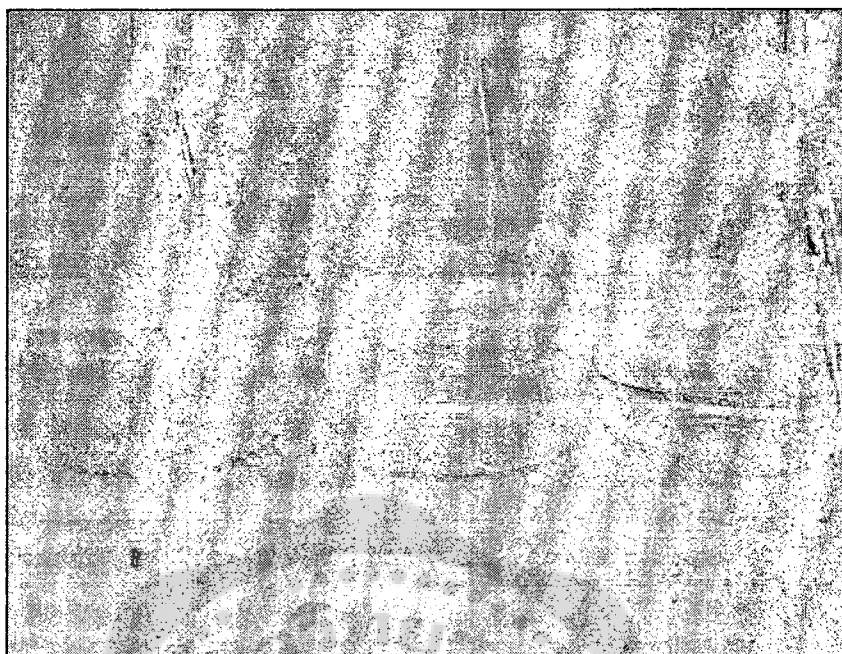


๗

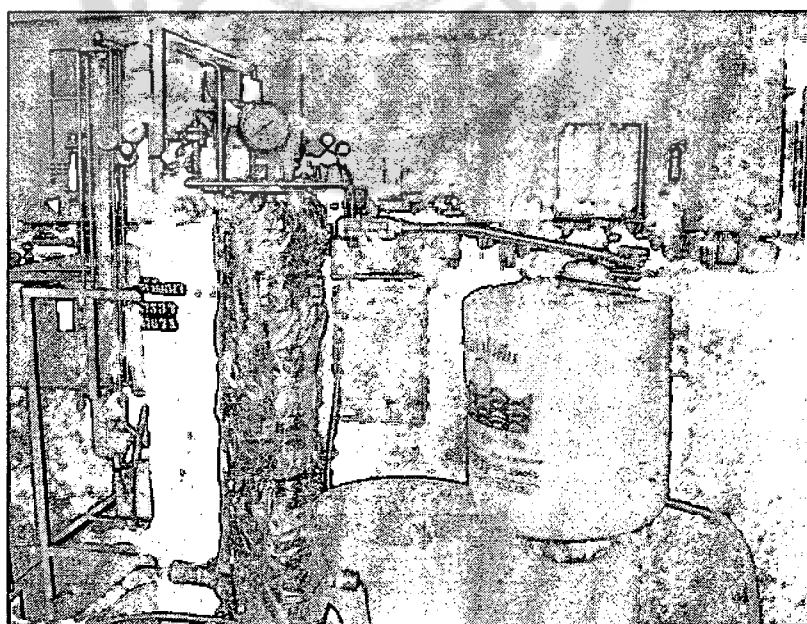
รูปที่ภาคผนวก ก7 การกรองตะกอนเหนียวที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องสกัดไอน้ำด้วยผ้าขาวบาง



รูปที่ภาคผนวก ก8 ตะกอนเหนียวผ่านการกรองและล้างคลอรีนด้วยไอน้ำแล้ว

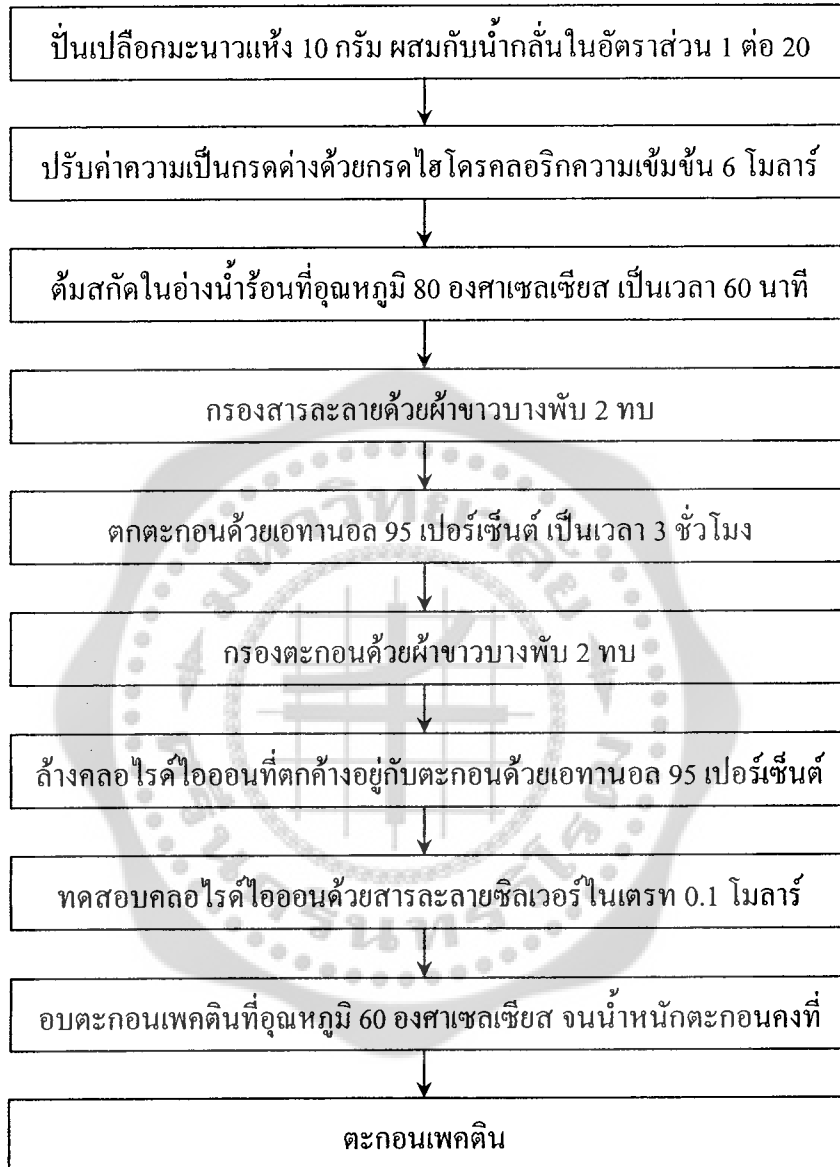


รูปที่ภาคผนวก ก9 การตรวจสอบชนิดของตะกอนที่สกัดได้จากเปลือกมะนาวแห้งด้วยเครื่องสกัดไอน้ำ ด้วยวิธีการทดสอบทางเคมี ถ้าเป็นเพคตินจะเกิดตะกอนสีแดงที่ไม่ละลายน้ำ



รูปที่ภาคผนวก ก10 เครื่องสกัดไอน้ำ

ภาคผนวก ข กระบวนการต้มสกัดสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งด้วยอ่างน้ำร้อน



รูปที่ภาคผนวก ข1 กระบวนการต้มสกัดสารเพคตินจากเปลือกมะนาวแห้งด้วยอ่างน้ำร้อน



## ประวัติผู้วิจัย

(ชื่อ-สกุล ภาษาไทย) วัชระ เวียงแก้ว

(ชื่อ-สกุล ภาษาอังกฤษ) Watchara Weangkaew

เลขหมายประจำตัวประชาชน 3349800037499

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

สถานที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

107 ถนนรังสิต-นครนายก คลอง16 อ. องครักษ์ จ. นครนายก รหัสไปรษณีย์ 26120

โทรศัพท์ 0-2664-1000 ต่อ 2075, 2069 โทรสาร 037-322-608

e-mail: [watchara@swu.ac.th](mailto:watchara@swu.ac.th)

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี สาขาวิชา เทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ สถาบัน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปีที่สำเร็จ พ.ศ. 2537

ปริญญาโท สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี M.Eng. สถาบัน Illinois Institute of Technology

ปีที่สำเร็จ ค.ศ. 1999

สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ Biosorption, Bio-catalyst, Waste Water Treatment, Food Technology

ประวัติการทำงานและประสบการณ์การทำงาน

August 1996-present	Lecturer at the Department of Chemical Engineering, Srinakharinwirot University Nakhonnayok, Thailand.
January 1997-December 1999	Teaching assistant for undergraduates at the Department of Chemical and Environmental Engineering, IIT Graduate research assistant for Chemical Engineering laboratories, <u>IIT Research Institute (IITRI)</u>

## งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

### 1. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

N.R. Khalili, J.D. Vyas, **W. Weangkaew**, S.J. Westfall, S.J. Parulekar. Synthesis and Characterization of Activated Carbon and Bioactive Adsorbent Produced from Paper Mill Sludge. Sep. and Purification Tech. 26 (2002), pp. 295-304.

### 2. ผลงานวิชาการอื่นๆ

T. Sittinun, C. Muangnapoh, **W. Weangkaew**. Preparation and Characterization of Ceramic Filter for Bioseparation. Poster Presentation. The 1<sup>st</sup> International Conference: Fermentation Technology for Value Added Agricultural Products. KhonKaen, Thailand (2005).

ณัฐภรณ์ แยมเกตุ, ปวีณรัตน์ ขาญวิมลวัฒน์, วิชูพร สุขสมพงษ์ และวัชระ เวียงแก้ว วิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 15 : นานาเทคโนโลยีและพลังงานกับการพัฒนาอุตสาหกรรมเคมี, ชลบุรี, 27-28 ตุลาคม 2548 หน้า 8

บุษบง ศรีดุรงค์ธรรม, เกียรติศักดิ์ ผดุงเสรีวิทย์, ชากร อาศิรพงษ์พร, ศิริวรรณ ศรีสรจันทร์และวัชระ เวียงแก้ว การสกัดเพคตินจากผิวมะนาว. การจัดประชุมวิชาการทางวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16. โรงแรมราม่า การ์เด้นส์ กรุงเทพฯ, 26-27 ตุลาคม 2549 (Poster Presentation)