

## การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกตินจากเปลือกมะกรูด

### Optimization of Pectin Extraction from Kaffir Limes Peel

จตุพล หาญดี (Jatuphon Handee)\* ดร.วิชัย เสริมผล (Dr.Wichai Soemphol)\*\*

ดร.วรารุฐ ทัศนะมุก (Dr.Varavut Tanamool)\*\*\*

#### บทคัดย่อ

เพื่อให้ได้เพกตินสกัดจากเปลือกมะกรูดในปริมาณสูง ในการศึกษาครั้งนี้ได้เปรียบเทียบผลของการสกัดเพกตินด้วยกรดที่แตกต่างกัน 5 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดอะซิติก กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก และกรดซัลฟูริก ซึ่งพบว่า เพกตินที่ได้จากการสกัดด้วยกรดซิตริกมีร้อยละของผลผลิตสูงสุดที่สกัดเท่ากับร้อยละ 43.85 โดยน้ำหนัก (%w/w) จากนั้นศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโดยการออกแบบการทดลองโดยวิธี Orthogonal array แบบ L-9 ( $3^4$ ) ซึ่งเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด 4 ปัจจัย 3 ระดับ ได้แก่ อุณหภูมิ (70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส) เวลาที่ใช้ในการสกัด (60, 80 และ 100 นาที) ค่าพีเอชของกรดซิตริก (1, 1.5 และ 2) และอัตราส่วนในการสกัดตัวอย่างต่อกรด (1:20, 1:40 และ 1:60 กรัม : มิลลิลิตร) จากการทดลองพบว่า ผลผลิตเพกตินสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 70.06 ซึ่งได้จากสภาวะที่เหมาะสมจากการศึกษา (อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 100 นาที ค่าพีเอช 1 และ อัตราส่วนในการสกัดตัวอย่างต่อกรด 1:60 ตามลำดับ) นอกจากนี้เมื่อทดสอบคุณสมบัติของเพกตินที่สกัดได้ โดยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่าเพกตินจากเปลือกมะกรูดมีคุณลักษณะเช่นเดียวกับเพกตินที่สกัดจากตัวอย่างต่าง ๆ ที่เคยมีรายงานและเพกตินมาตรฐาน

#### ABSTRACT

In order to obtain high yield of pectin extracted from Kaffir lime (*Citrus hystrix*) peel, the effect of 5 different acids (citric, acetic, hydrochloric, nitric, and sulfuric acid) on pectin extraction was investigated. The result revealed that extraction by using citric acid could reach the maximum yield of pectin at 43.85 (% w / w) and thus used for further study. Optimization of extraction was then carried out by Orthogonal array type L-9 ( $3^4$ ) using 4 effected factors with 3 different levels, including extraction temperature (70, 80 and 90 ° C), extraction time (60, 80 and 100 min), pH of citric acid (1, 1.5 and 2 pH), and sample ratio to acid (1:20, 1:40 and 1:60 g/mL), respectively. The study demonstrated that the maximum yield of pectin at 70.06 % (w / w) was obtained from the optimal condition (extraction temperature at 80 ° C, pH 1 of the citric acid ratio of 1:60, 100 min, respectively). In addition, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis of the pectin extract indicated that it was similar to those of pectin extracted from previous reports and standard pectin.

**คำสำคัญ:** เปลือกมะกรูด เพกติน กรดซิตริก

**Keywords:** Kaffir limes peel, Pectin, Citric acid

\* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

\*\* อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย

\*\*\* อาจารย์ โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

## บทนำ

เพกทิน (Pectin) มีองค์ประกอบเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ของพืชชั้นสูงเกือบทุกชนิด ทำหน้าที่เป็นสารที่สำคัญในบริเวณชั้นผนังเซลล์เชื่อมยึดระหว่างเซลล์หรือมิดเดิลลามลลา (Middle lamella) ยึดเหนี่ยวเซลล์เข้าด้วยกัน โดยจับกับเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และไกลโคโปรตีน (Glycoprotein) ของผนังเซลล์พืช (Kalaphaty, Protor, 2001) เพกทินช่วยเสริมผนังเซลล์ให้หนา แข็งแรง และยืดหยุ่นได้เล็กน้อย โดยเฉพาะบริเวณที่มีเนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม เช่น ต้นอ่อน ใบ และผลไม้ ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจลนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อเพิ่มความเหนียวเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น ใช้ผสมในไอศกรีม เยลลี่ คุกกี้ ลูกอม เป็นต้น รวมทั้งยังมีการใช้ในเครื่องสำอางด้วย (Wang, Lu, 2014)

โดยทั่วไปสามารถพบเพกทินในผลไม้บางชนิด เช่น แอปเปิ้ล กล้วย มะเฟือง ฝรั่ง ลิ้นจี่ มะม่วง เป็นต้น และในผลไม้ตระกูลแอปเปิ้ลและส้มจะมีปริมาณเพกทินในเปลือกปริมาณสูง (Thakur et al., 1997) ซึ่งในประเทศไทยมีพืชตระกูลส้มอยู่หลายชนิด เช่น ส้มโอ มะนาว และมะกรูด ซึ่งเหมาะที่จะนำมาเป็นแหล่งของเพกทิน

มะกรูด (*Citrus hystrix*) เป็นผลไม้เขตร้อนชื้น มีต่อมน้ำมันอยู่ตามผิวใบ มีกลิ่นหอมเฉพาะ เป็นรูปทรงกลมหรือรูปวงรี แทบทุกส่วนของพืชมีกลิ่นหอม ส่วนของน้ำมะกรูดนำมาใช้ในการปรุงอาหาร เช่นเดียวกับน้ำมะนาว หรือใช้ทำผลิตภัณฑ์แชมพูสระผม ใบนำมาปรุงอาหารหรือนำไปใช้ไล่แมลงบางชนิด เปลือกมะกรูดเป็นส่วนที่เหลือทิ้ง สามารถนำมาสกัดหาปริมาณเพกทินด้วยกรด ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับมะกรูด (Shaha et al., 2013)



รูปที่ 1 มะกรูด (*Citrus hystrix*)

งานวิจัยนี้ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน โดยได้ทำการศึกษาโดยการออกแบบการทดลองด้วยวิธีออร์ทोगอนอล (Orthogonal method) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำให้ประหยัดเวลาในการทดลอง รวมถึงจะเป็นการลดตัวอย่างและสารเคมี เพื่อให้ได้เพกทินในปริมาณมาก ซึ่งจะเป็นแนวทางในการนำเพกทินในมะกรูดมาใช้ในการผลิตเพกทินทางการค้าต่อไป

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เปรียบเทียบปริมาณเพกทินจากเปลือกมะกรูดที่ได้จากการสกัดโดยใช้กรด 5 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดอะซิติก กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก และกรดซัลฟูริก
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกมะกรูด โดยการออกแบบการทดลองด้วยวิธีออร์ทोगอนอล

## วิธีการวิจัย

### การเตรียมวัตถุดิบ

นำมะกรูดมาล้างทำความสะอาด นำเปลือกมาหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อแห้งสนิท นำเปลือกมะกรูดที่ได้มาบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องปั่นผสม แล้วเก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดมิดชิด เพื่อใช้ตลอดการทดลอง

**การศึกษาผลของกรดชนิดต่างๆ ในการสกัด  
 เพกทินจากเปลือกมะกรูด**

ขั้นตอนการสกัดเพกทินจากเปลือกมะกรูด (Shaha et al., 2013) นำเปลือกมะกรูด 2 กรัม ที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมกรดทั้ง 5 ชนิด คือ กรดซิตริก กรดอะซิติก กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก และกรดซัลฟูริก ที่มีค่า pH เท่ากับ 1.5 ลงไปปริมาตร 80 มิลลิลิตร (อัตราส่วนมะกรูดต่อกรด เป็น 1:40 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ทำการสกัดเพกทินจากมะกรูดโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 60 นาที นำสารละลายที่ได้มากรองแล้วนำกากที่ได้จากการสกัดครั้งแรกมาทำการสกัดซ้ำเช่นเดียวกับครั้งแรกอีก 1 ครั้ง และทำการสกัดเพกทินด้วยกรดอีก 4 ชนิดที่เหลือตามขั้นตอนให้ครบทุกชุดการทดลอง และเปรียบเทียบปริมาณเพกทินที่ได้จากการทดลอง

**การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากมะกรูด**

การทดลองนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพกทินจากมะกรูดทั้งหมด 4 ปัจจัย ตามการออกแบบการทดลองด้วยวิธีออร์ทोगอนอล (Taguchi, 1988) โดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** แสดงปัจจัยที่ใช้สกัดเพกทินจากมะกรูด

| ปัจจัย                 | ระดับ   |          |         |
|------------------------|---------|----------|---------|
|                        | 1 (ต่ำ) | 2 (กลาง) | 3 (สูง) |
| เวลา (Time)            | 60      | 80       | 100     |
| อุณหภูมิ (Temperature) | 70      | 80       | 90      |
| ค่าพีเอช (pH)          | 1       | 1.5      | 2       |
| อัตราส่วน (Ratio)      | 1:20    | 1:40     | 1:60    |

ซึ่งจะกำหนดแผนการทดลองโดยใช้ Orthogonal array แบบ L-9 ( $3^4$ ) ดังนั้น จะ ได้ การทดลองทั้งหมด 9 การทดลอง ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** การออกแบบการทดลองด้วยวิธีของทากูชิ แบบ L-9 ( $3^4$ ) Orthogonal array

| Run | Factor1<br>Time<br>(min) | Factor2<br>Temperature<br>(°C) | Factor3<br>pH | Factor4 Ratio<br>of extractor<br>to acid<br>(w : w) |
|-----|--------------------------|--------------------------------|---------------|---|
| 1   | 1                        | 1                              | 1             | 1   |
| 2   | 1                        | 2                              | 2             | 2   |
| 3   | 1                        | 3                              | 3             | 3   |
| 4   | 2                        | 1                              | 2             | 3   |
| 5   | 2                        | 2                              | 3             | 1   |
| 6   | 2                        | 3                              | 1             | 2   |
| 7   | 3                        | 1                              | 3             | 2   |
| 8   | 3                        | 2                              | 1             | 3   |
| 9   | 3                        | 3                              | 2             | 1   |

ในกระบวนการสกัดจะนำผงมะกรูด 2 กรัม เติมเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองผ่านผ้าขาวบาง นำกากที่ได้มาสกัดด้วยกรดที่เหมาะสมจากการทดลอง ตามสภาวะที่ได้จากการออกแบบการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางจนระร้อนแล้วทิ้งไว้ให้เย็น นำของผสมที่ได้ไปตกตะกอนด้วยเอทานอลที่เย็นจัดด้วยอัตราส่วน 1:2 ของผสมต่อเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำของผสมไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เทของเหลวใสทิ้ง เทตะกอนลงในจานแก้วแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักคงที่ โดยที่ปริมาณเพกทินที่ได้จากการทดลองนำมาประเมินเพื่อใช้หาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดต่อไป

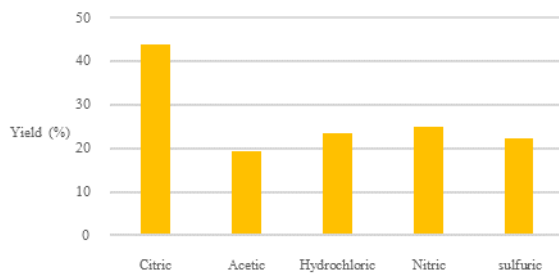
หลังจากได้สภาวะที่เหมาะสมจะมีการทดลองอีกครั้งเพื่อยืนยันผลที่ได้โดยพิจารณาจากปริมาณเพกทินที่ได้ในสภาวะนั้น

**การวิเคราะห์โครงสร้างของเพกทิน**

นำเพกทินที่สกัดได้มาศึกษาโครงสร้างของเพกทินจากเปลือกมะกรูด เปรียบเทียบกับเพกทินมาตรฐานด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ FT-IR (Fourier transform infrared spectrometer) ตามวิธีของ Jiao et al., (2014)

**ผลการวิจัย**

**ผลของกรดในการสกัดเพกทินจากเปลือกมะกรูด**



**รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเพกทินของกรดที่ใช้ในการสกัด**

จากรูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณเพกทินของกรดแต่ละชนิดที่ใช้สกัด พบว่า เพกทินที่ได้จากการใช้กรดซิตริกสกัด จะมีร้อยละของผลผลิตสูงสุดถึงร้อยละ 43.85 โดยน้ำหนัก (%w/w) รองลงมาคือกรดไนตริก (24.84 %w/w) กรดไฮโดรคลอริก (23.31 %w/w) กรดซัลฟูริก (22.35 %w/w) และกรดอะซิติก (19.40 %w/w) ตามลำดับ

**ผลของการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกมะกรูด โดยการออกแบบการทดลองด้วยวิธีของทากูชิ**

**ตารางที่ 3 ผลการแสดงผลค่าจริงของการออกแบบการทดลองด้วยวิธีของทากูชิและผลผลิตของเพกทิน**

| การทดลอง | ปัจจัยที่ศึกษา |                         |          | ผลผลิตเพกทิน                    |                        |              |
|----------|----------------|-------------------------|----------|---------------------------------|------------------------|--------------|
|          | เวลา (นาที)    | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ค่า pH   | อัตราส่วนการสกัด ตัวอย่างต่อกรด | น้ำหนักตัวอย่าง 2 กรัม | ร้อยละผลผลิต |
| 1        | 60             | 70                      | 1        | 1:20                            | 0.3716                 | 18.58        |
| 2        | 60             | 80                      | 1.5      | 1:40                            | 0.4600                 | 23.00        |
| 3        | 60             | 90                      | 2        | 1:60                            | 0.4650                 | 23.25        |
| 4        | 80             | 70                      | 1.5      | 1:60                            | 0.4607                 | 23.04        |
| 5        | 80             | 80                      | 2        | 1:20                            | 0.3005                 | 15.03        |
| 6        | 80             | 90                      | 1        | 1:40                            | 1.1547                 | 57.74        |
| 7        | 100            | 70                      | 2        | 1:40                            | 0.5273                 | 25.14        |
| <b>8</b> | <b>100</b>     | <b>80</b>               | <b>1</b> | <b>1:60</b>                     | <b>1.3933</b>          | <b>69.67</b> |
| 9        | 100            | 90                      | 1.5      | 1:20                            | 0.5028                 | 25.14        |

จากตารางที่ 3 แสดงผลการศึกษปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพกทินประกอบด้วย เวลา อุณหภูมิ ค่าพีเอชของกรด และอัตราส่วนตัวอย่างต่อกรดซิดริก โดยการใช้วิธีของทากูชิในการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกมะกรูด พบว่าปริมาณเพกทินอยู่ในช่วง 0.3005 - 1.3993 กรัม และร้อยละของผลผลิตอยู่ในช่วง 15.03 - 69.67 ในการทดลองที่ 8 ซึ่งใช้เวลาในการสกัด 100 นาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พีเอช 1 และอัตราส่วนการสกัดตัวอย่างต่อน้ำเท่ากับ 1:60 ได้ เพกทินสูงสุด คือ 1.3933 กรัม มีผลผลิตร้อยละ 69.67

**ผลการทดสอบการหาสถานะที่เหมาะสมที่ได้จากการสกัดเพกทินจากเปลือกมะกรูด โดยการออกแบบการทดลองด้วยวิธีของทากูชิ**

จากการศึกษาได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าการตอบสนองเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของระดับปัจจัยที่ใช้ในการสกัดเพกทิน และใช้เป็นค่าที่แสดงความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสกัดเพกทิน ซึ่งผลการศึกษาดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการตอบสนองผลผลิตเพกทิน

| ตัวแปร | เวลา (นาทีก)  | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | พีเอช         | อัตราส่วน การสกัด ตัวอย่าง ต่อกรด |
|--------|---------------|-------------------------|---------------|-----------------------------------|
| K1     | 1.2966 (a)    | 1.3596                  | <b>2.9196</b> | 1.1749                            |
| K2     | 1.9159        | <b>2.1538</b>           | 1.4235        | 2.1420                            |
| K3     | <b>2.4234</b> | 2.1225                  | 1.2928        | <b>2.3190</b>                     |
| k1     | 0.4322 (b)    | 0.4532                  | 0.9732        | 0.3916                            |
| k2     | 0.6386        | 0.7179                  | 0.4745        | 0.7140                            |
| k3     | 0.8078        | 0.7075                  | 0.4309        | 0.7730                            |
| R      | 0.3756 (c)    | 0.2647                  | <b>0.5423</b> | 0.3814                            |

หมายเหตุ :

- K1 หมายถึง ผลรวมของผลผลิตเพกทินของปัจจัยระดับต่ำ
- K2 หมายถึง ผลรวมของผลผลิตเพกทินของปัจจัยระดับกลาง
- K3 หมายถึง ผลรวมของผลผลิตเพกทินของปัจจัยระดับสูง
- k1 หมายถึง ค่าเฉลี่ยผลผลิตเพกทินของปัจจัยระดับต่ำ
- k2 หมายถึง ค่าเฉลี่ยผลผลิตเพกทินของปัจจัยระดับกลาง
- k3 หมายถึง ค่าเฉลี่ยผลผลิตเพกทินของปัจจัยระดับสูง
- R หมายถึง ค่าการตอบสนอง (response value)
- K1(a) หมายถึง ผลรวมของน้ำหนักเพกทินที่เวลา 60 นาที
- k1(b) หมายถึง K1/3 (ค่าเฉลี่ยของผลผลิตแต่ละระดับปัจจัย)
- R (c) หมายถึง k ที่มีสูงสุด - k ที่มีค่าต่ำสุด

จากตารางที่ 4 พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดมากที่สุดคือ ค่าพีเอช รองลงมาคือ อัตราส่วนในการสกัดตัวอย่างต่อกรด เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด โดยมีค่าการตอบสนอง (R) เท่ากับ 0.5432 0.3814 0.3756 และ 0.2647 ตามลำดับ

เวลาที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกมะกรูด คือ 100 นาที (K3) โดยพิจารณาจากผลรวมของเพกทิน ซึ่งผลรวมผลผลิตเพกทินสูงสุดเท่ากับ 2.4234 กรัม จากข้อมูลจะพบว่าเมื่อใช้เวลาในการสกัดน้อยลง (K2 และ K1) ผลรวมผลผลิตเพกทินจะมีปริมาณลดลง คือ 1.9159 กรัม และ 1.2966 กรัม ตามลำดับ

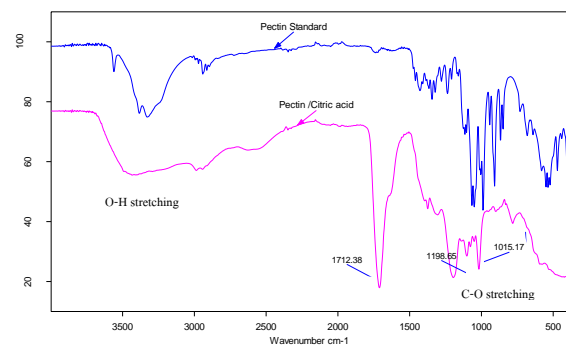
อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกมะกรูด คือ 80 องศาเซลเซียส (K2) ให้ผลรวมผลผลิต เพกทินสูงสุด เท่ากับ 2.1538 กรัม และในขณะที่เดียวกัน ที่อุณหภูมิ 60 และ 100 องศาเซลเซียส (K1 และ K3) ให้ผลรวมผลผลิต เพกทิน คือ 1.3596 และ 2.1225 กรัม ตามลำดับ

ค่าพีเอชที่เหมาะสมของกรดซิตริกที่ใช้ในการสกัดเพกทินจากเปลือกมะกรูด คือ พีเอช 1 (K1) ให้ผลรวมผลผลิต เพกทินสูงสุด เท่ากับ 2.9196 กรัม เมื่อเทียบกับค่าพีเอชของกรดที่ปรับด้วยน้ำ ที่ใช้ในการสกัดที่ค่าพีเอชเท่ากับ 1.5 และ 2 (K2 และ K3) ให้ผลรวมผลผลิตเพกทินเท่ากับ 1.4235 กรัม และ 1.2928 กรัม ตามลำดับ

อัตราส่วน การสกัดตัวอย่างต่อกรดที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกมะกรูด คือ 1:60 (K3) ให้ผลรวมผลผลิต เพกทินสูงสุด เท่ากับ 2.3190 กรัม เมื่อเทียบกับอัตราส่วนการสกัดตัวอย่างต่อกรด 1:40 และ 1:20 (K2 และ K1) ให้ผลรวมผลผลิตเพกทินเท่ากับ 2.1420กรัม และ 1.1749 กรัม ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของเพกทิน

ผลการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ FT-IR (Fourier transform infrared spectrometer)



รูปที่ 3 ฟูเรียร์เรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกตรัมของเพกทินจากเปลือกมะกรูด

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์อินฟราเรด สเปกโตรสโกปี เป็นการตรวจสอบลักษณะเฉพาะของสารจากหมู่ฟังก์ชัน โดยกวาดจากพลังงานที่สารดูดกลืนหรือคายออกมาจากการสั่นของโมเลกุล โดยแสดงเป็นตำแหน่งเลขคลื่น (ต่อเซนติเมตร) ต่อร้อยละที่แสงผ่าน (% Transmittance;

%T) โดยทั่วไปโมเลกุลเพกทินมีองค์ประกอบหลัก คือ กรดคาเล็กทูโรนิก หมูเมทิลอิสระ หมูเอสเทอร์ และ หมูอีเทอร์ โดยมีการแสดงการดูดกลืนพลังงานที่ ตำแหน่งเลขคลื่นของสารเหล่านี้ ได้แก่ กรดคาร์บอกซิลิก จะแสดงหมู่อัลกอฮอลล์ (O - H) ที่ให้แถบกว้าง และความเข้มสูงมาก ในช่วง 2400 - 3400 ต่อ เซนติเมตร หมูคาร์บอนิล (C = O) ให้แถบที่มีความเข้มสูงในช่วง 1680 - 1820 ต่อเซนติเมตร เอสเทอร์ (C - O) ให้แถบที่มีความเข้มปานกลางถึงเข้มในช่วง 1000 - 1300 ต่อเซนติเมตร ซึ่งอาจมีมากกว่าหนึ่งแถบอีเทอร์ (C - O - C) ให้แถบเดี่ยวในย่าน 1085 - 1150 ต่อ เซนติเมตร (Zouambia et al., 2014)

จากการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของสารที่สกัด ได้พบว่า มีการแสดงตำแหน่งเลขคลื่น ตั้งแต่ 500 ถึง 4000 ต่อเซนติเมตร โดยที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2558.99 - 3413.46 ต่อเซนติเมตร จะแสดงอินฟราเรดสเปกตรัมแบบกว้าง (broad bands) ซึ่งแสดงหมู่ฟังก์ชันของ สารประกอบแอลกอฮอล์ หมูคาร์บอนิลแสดงที่ ตำแหน่งเลขคลื่น 1712.38 ต่อเซนติเมตร และที่ ตำแหน่งเลขคลื่น 1015.17 - 1198.65 ต่อเซนติเมตร เกิดจากหมู่อีเทอร์หรือคาร์บอนใน โครงสร้างของ โมเลกุลเพกทิน

จากรูปที่ 3 สเปกตรัมด้านบนเป็นสเปกตรัมของเพกทินมาตรฐาน และสเปกตรัมด้านล่าง เป็นสเปกตรัมของตัวอย่างที่สกัดได้จากเปลือกมะกรูดซึ่งมีความ คล้ายคลึงกับสเปกตรัมของเพกทินมาตรฐาน จึง สามารถยืนยันได้ว่าตัวอย่างที่สกัด ได้จากเปลือก มะกรูดในสภาวะต่าง ๆ ที่ได้จากการออกแบบการ ทดลองด้วยวิธีของ ทากูชิ คือ เพกทิน (Kalapathy, Protor, 2001)

### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการ สกัดเพกทินและสมบัติของเพกทินจากเปลือกมะกรูด โดยการออกแบบการทดลองด้วยวิธีของทากูชิ โดยใน การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาผลของกรดแต่ละชนิดในการ

สกัดเพกทิน พบว่า เพกทินที่ได้จากการใช้กรดซิตริก สกัด จะมีร้อยละของผลผลิตสูงสุดถึงร้อยละ 43.85 โดยน้ำหนัก (%w/w) จากงานวิจัยของ Shaha et al. (2013) รายงานว่าปริมาณเพกทินที่สกัดด้วยกรดซิตริก จากเปลือกมะกรูด มีร้อยละของผลผลิตอยู่ระหว่าง ร้อยละ 25.90 - 61.80 โดยน้ำหนัก (%w/w) ซึ่งเพกทิน ที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าว ผลที่ ได้มาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจาก เปลือกมะกรูด โดยการออกแบบการทดลองด้วยวิธี ของทากูชิ สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ต้อง ใช้เวลา 100 นาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช ของกรดซิตริกเท่ากับ 1 และอัตราส่วนการสกัด ตัวอย่างต่อกรด คือ 1:60 เมื่อทำการทดลองสกัดเพกทิน เพื่อยืนยันผล โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าว สามารถทดลอง และคำนวณหาปริมาณเพกทินได้ เท่ากับ 1.4012 กรัม ต่อตัวอย่างแห้ง 2 กรัม หรือให้ ผลผลิตเพกทิน ร้อยละ 70.06 มีร้อยละผลผลิตเพกทิน เพิ่มขึ้นเป็น 1.6 เท่าของเพกทินที่สกัดด้วยกรดซิตริก จากศึกษาผลของกรดแต่ละชนิดในการสกัดเพกทิน และผลผลิตเพกทินที่สกัดได้จากเปลือกมะกรูด เมื่อ เปรียบเทียบกับพีชชนิดอื่น ๆ พบว่า เพกทินที่สกัดจาก เปลือกมะกรูดมีปริมาณมากกว่าเพกทินที่สกัดจากถั่ว เหลือง ที่ให้ผลผลิตเพกทินร้อยละ 28 (Kalapathy, Protor, 2001) มีปริมาณมากกว่าเพกทินที่สกัดจาก มะนาว ที่ให้ผลผลิตเพกทินร้อยละ 11.21 (Masmoudi et al., 2008) มีปริมาณมากกว่าเพกทินที่สกัดจาก พักทองที่ให้ผลผลิตร้อยละ 22 (Ptichkina et al., 2008) และมีปริมาณมากกว่าเพกทินที่สกัดจากเปลือกส้มที่ให้ ผลผลิตร้อยละ 20.44 (Guo et al., 2012)

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FT-IR) ของเพกทินที่ สกัด ได้จากเปลือกมะกรูดซึ่งมีความคล้ายคลึงกับ งานวิจัยต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** เปรียบเทียบช่วงคลื่นสเปกตรัมของเพกติน  
 จากเปลือกมะกรูดกับเพกตินจากงานวิจัยอื่นๆ

| หมู่ฟังก์ชัน | แหล่งของเพกติน |                              |                                   |                                  |
|--------------|----------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
|              | เปลือกมะกรูด   | (โสม)<br>(Jiao et al., 2014) | (มะนาว)<br>(Ravin, Proctor, 2001) | (ส้ม)<br>(Zouambia et al., 2014) |
| O - H        | 2558 - 3413    | 3240                         | 2500-3600                         | 2930                             |
| C = O        | 1712           | 1611-1762                    | 1756                              | 1740                             |
| C - O        | 1015 - 1198    | 1436                         | 1300-1100                         | 1100                             |

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FT-IR) ของเพกตินที่สกัดได้จากเปลือกมะกรูดเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ พบว่าโมเลกุลเพกติน มีหมู่ฟังก์ชันหลัก 3 หมู่ฟังก์ชัน ได้แก่ หมู่แอลกอฮอล์ (O - H) ให้แถบกว้างและความเข้มสูงมากในช่วง 2500-3600 ต่อเซนติเมตร หมู่คาร์บอนิล (C = O) ให้แถบที่มีความเข้มสูงในช่วง 1600 - 1820 ต่อเซนติเมตร เอสเทอร์ (C - O) ให้แถบที่มีความเข้มปานกลางถึงเข้มในช่วง 1000 - 1400 ต่อเซนติเมตร (Zouambia et al., 2014) เพกตินที่สกัดได้จากเปลือกมะกรูดซึ่งมีความคล้ายคลึงกับเพกตินของงานวิจัยอื่นๆ จึงสามารถยืนยันได้ว่าตัวอย่างที่สกัดได้จากเปลือกมะกรูดในสภาวะต่างๆ ที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยวิธีของทากูชิ คือ เพกติน

การศึกษาการสกัดเพกตินจากเปลือกมะกรูดเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการนำมาใช้เพื่อเป็นแหล่งเพกติน การนำเปลือกมะกรูดที่เหลือทิ้งนำมาสกัดเพกตินจึงเป็นแนวทางที่มีความเป็นไปได้ในการผลิตเพกตินทางการค้าและเป็นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับมะกรูดด้วย

**ข้อเสนอแนะ**

จากการทำวิจัยครั้งนี้จำเป็นต้องมีการศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ด้านอื่นๆ ในการศึกษาต่อไป เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำไปใช้ประโยชน์ไม่ว่าจะเป็นทั้งด้านอาหาร และการแพทย์ เป็นต้น

**กิตติกรรมประกาศ**

การวิจัยครั้งนี้ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณ โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา และขอขอบคุณ สสวท. ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

**เอกสารอ้างอิง**

Gnanasambandam,Ravin and Proctor, A. Determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. Food Chemistry 2000; 68: 327-332.

Guo, Xingfeng, Han, Dongmei, Xi, Huping, Rao, Lei, Liao, Xiaojun, Hu, Xiaosong and Wu, Jihong. Extraction of pectin from navel orange peel assisted by ultra-high pressure, microwave or traditional heating: A comparison. Carbohydrate Polymers 2012; 88(2): 441-448

Jiao, Lili, Zhang, Xiaoyu, Wang, Mingzhu, Li, Bo, Liu, Zhen And Liu, Shuying. Chemical and antihyperglycemic activity changes of ginseng pectin induced by heat processing. Carbohydrate Polymers 2014; 114: 567-573.

Kalaphaty, U and Protor, A. Effect of acid extraction and alcohol precipitation conditions on the yield and purity of soy hull pectin. Food Chemistry 2001; 73: 393 - 396.

Masmoud, Manel, Besbes, Souhail, Chaaboun, Moncef, Robert, Christelle, Paquot, Miche, Blecker, Christophe and Attia, Hamadi. Optimization of pectin extraction from lemon by-product with acidified date juice using response surface methodology. Carbohydrate Polymers 2008; 74(2): 185-192.



- Ptichkina, N.M. Markina, O.A and Rummyantseva, G.N. Pectin extraction from pumpkin with the aid of microbial enzymes. *Food Hydrocolloids* 2008; 22(1): 192-195.
- Shaha, R. K. Punichelvana, Y. N. A. P and Afandi, A. Optimized extraction condition and characterization of pectin from kaffir lime (*Citrus hystrix*). *Research Journal of Agriculture and forestry Sciences* 2013; 1(2): 1-11.
- Taguchi, G. System of experimental design: engineering methods to optimize quality and minimize costs. UNIPUB/Kraus International Publ 1988; New York.
- Thakur, B. R. Singh, R. K and Handa, A. D. Chemistry and uses of pectin. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 1997; 37(1): 47-73.
- Wang, X. Q. C and Lu, X. Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical. *Journal of Food Hydrocolloids* 2014; 38: 129-137.
- Zouambia, Yamina. Ettoumi, Khadidja Youcef. Krea, Mohamed and Moulai-Mostefa, Nadji. A new approach for pectin extraction: Electromagnetic induction heating. *Arabian Journal of Chemistry* 2014; 114: 178-188.