

## การให้ความร้อนเบื้องต้นแก่ผลปาล์มโดยการให้ความร้อนแบบโอท้อมิค

\*สุนิสา ปู่เถา<sup>1</sup> และ กอบศักดิ์ กาญจนางศ์กุล<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ต.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

ผู้เขียนติดต่อ: กอบศักดิ์ กาญจนางศ์กุล อีเมล: ksk\_gb@yahoo.com

### บทคัดย่อ

วิธีการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่ผลปาล์มที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม คือ การนึ่งไอน้ำ ซึ่งใช้เวลาค่อนข้างนาน และพลังงานสูง ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเทคนิคการให้ความร้อนแบบโอท้อมิคมาใช้แทนวิธีนี้ด้วยไอน้ำ โดยคาดหวังว่าจะช่วยลดพลังงาน เวลา และเพิ่มปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้ อุปกรณ์ให้ความร้อนแบบโอท้อมิคได้ถูกออกแบบโดยอาศัยข้อมูลจากการนำไฟฟ้าของผลปาล์มสด เพื่อใช้ในการศึกษาผลของแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนต่อปริมาณและคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้ (กรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ความชื้น ค่าไอโอดีนแบบวิจัน และค่าความสด) จากการทดสอบ อุปกรณ์ให้ความร้อนแบบโอท้อมิคที่ผลิตสามารถให้ความร้อนผลปาล์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถลดเวลาในการให้ความร้อนได้อย่างน้อย 6.2 เท่า (8 min) และพลังงานลง 1.5 เท่า การเพิ่มแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลามีผลทำให้ปริมาณน้ำมันปาล์มที่สกัดได้เพิ่มขึ้น ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลง และคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด ผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้วิธีการให้ความร้อนแบบโอท้อมิคในกระบวนการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่ผลปาล์ม

**คำสำคัญ:** การให้ความร้อนแบบโอท้อมิค; น้ำมันปาล์มดิบ; ปริมาณผลผลิต; ผลปาล์ม; วิธีการให้ความร้อนเบื้องต้น

### 1. บทนำ

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชน้ำมันอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในระดับประเทศ และระดับโลก เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่มากกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ [1] ในทางอุตสาหกรรม มีการนำปาล์มน้ำมันมาแปรรูปทำเป็นผลิตภัณฑ์ ทั้งในด้านอุปโภค บริโภค รวมถึงพลังงานทดแทน [2-4]

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มในระดับอุตสาหกรรม นิยมทำการให้ความร้อนเบื้องต้น (Pretreatment) แก่ผลปาล์มโดยการนึ่งไอน้ำที่อุณหภูมิ 130-135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-70 นาที เพื่อให้ผลปาล์มนิ่มและหยุดปฏิกิริยาไลโปไลซิสอันเป็นสาเหตุของการเกิดกรดไขมันอิสระ [4-5] จากนั้นเนื้อปาล์มชั้นนอกจะถูกแยกจากเมล็ดใน และถูกนำไปหีบน้ำมันต่อไป ในการนึ่งด้วยไอน้ำ จำเป็นต้องใช้หม้อนึ่งไอน้ำที่มีความดันสูงและมีกำลังการผลิตสูง จึงต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง นอกจากนี้วิธีนี้ยังมีข้อเสียคือ ใช้เวลานานและมีต้นทุนด้านพลังงานสูง [3] ในช่วงเวลาที่ผ่านมามีผู้พัฒนาวิธีการ Pretreatment เช่น การอบไมโครเวฟ [6] การอบแห้ง

[3] การทอดน้ำมัน [7] แต่ก็ยังไม่มีวิธีใดที่สามารถแก้ปัญหาข้างต้นได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการพัฒนาวิธีการใหม่ที่มีประสิทธิภาพ จึงมีความจำเป็นและเป็นที่ต้องการของภาคอุตสาหกรรม

กระบวนการให้ความร้อนแบบโอท้อมิคเป็นการให้ความร้อนแก่อาหารอย่างรวดเร็วโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้กลายเป็นความร้อนเนื่องจากความต้านทานภายในของอาหาร ความร้อนจะเกิดภายในวัสดุโดยตรงโดยไม่ต้องอาศัยกลไกการนำความร้อนหรือการพาความร้อน อัตราการให้ความร้อนในกระบวนการให้ความร้อนแบบโอท้อมิคจึงสูงกว่าการให้ความร้อนแบบทั่วไป [8] นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบและควบคุมอัตราการให้ความร้อนได้อย่างแม่นยำ [9-10] Lakkakula และคณะ ได้นำการให้ความร้อนแบบโอท้อมิคมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตในการสกัดน้ำมันรำข้าว และพบว่าการให้ความร้อนแบบโอท้อมิคสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันได้ดีขึ้นจาก 53% เป็น 92% และลดปริมาณการเกิดของกรดไขมันอิสระ [11]

ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ที่จะใช้วิธีการให้ความร้อนแบบโอท้อมิคในกระบวนการให้ความร้อนเบื้องต้น

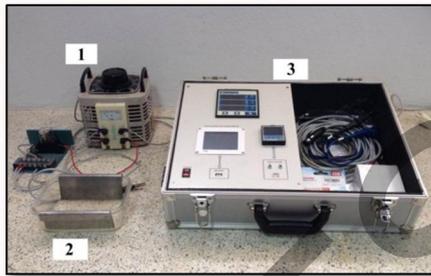
แก่ผลปาล์ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนต่อปริมาณ กรดไขมัน อิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ความชื้น ค่าไอโอดีนแบบวิจัน และ ค่าความสดของน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 การเตรียมตัวอย่างและอุปกรณ์

ผลปาล์มน้ำมันร่ว่งที่ใช้ในงานวิจัยเป็นผลปาล์มพันธุ์เทเนอรา น้ำหนักต่อผลประมาณ 12-15 g และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-2.5 cm

อุปกรณ์ให้ความร้อนแบบโอห์มมิก ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดไฟฟ้า (1) ห้องให้ความร้อน (โอห์มมิกเซลล์) (2) โดยแต่ละด้านของโอห์มมิกเซลล์จะมีแผ่นโลหะนำไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งจะถูกเชื่อมต่อไปยังแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ในการทดลองจะมี RTD sensor ชนิด 3 สาย วัดและควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่าง และอุปกรณ์สำหรับบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดลอง (3) แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 อุปกรณ์ในระบบการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

### 2.2 การวัดค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่าง

ทำการทดลองให้ความร้อนแบบโอห์มมิก เริ่มจากใส่ผลปาล์มและน้ำประปาในอัตราส่วน 1:1.5 โดยปริมาตร ลงในโอห์มมิกเซลล์ ปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมในการให้ความร้อน ทำการบันทึกอุณหภูมิ ( $T$ ) กระแส ( $I$ ) และแรงดันไฟฟ้า ( $V$ ) ทุกๆ 30 s เพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าการนำไฟฟ้า ( $\sigma$ ) จากสมการ (1)

$$\sigma = \frac{IL}{VA} \quad \dots(1)$$

โดย  $A$  และ  $L$  คือ พื้นที่และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองด้านตามลำดับ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิและค่าการนำไฟฟ้า เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ( $T$ ) และค่าการนำไฟฟ้างสมการที่ (2)

$$\sigma = aT + b \quad \dots(2)$$

### 2.3 การให้ความร้อนแบบโอห์มมิก

เติมน้ำประปา 300 mL ลงในโอห์มมิกเซลล์ ให้ความร้อนจนน้ำมีอุณหภูมิถึงค่าที่ต้องการ แล้วใส่ผลปาล์มลงในน้ำ และทำการให้ความร้อนต่อไปจนครบเวลาที่ต้องการ

### 2.4 การหีบน้ำมันปาล์มดิบ

ทำการแยกเนื้อชิ้นนอกออกจากผลปาล์มที่ได้จากข้อ 2.3 แล้วนำไปหีบน้ำมันด้วยเครื่อง Screw press แบบมือหมุน หลังจากนั้นนำน้ำมันปาล์มที่หีบได้มากรองสิ่งสกปรกด้วยกระชอนกรองขนาด 10  $\mu\text{m}$  ทำการวัดปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่หีบได้ แล้วเก็บน้ำมันที่ได้ในขวดแก้วสีชาที่อุณหภูมิ  $18 \pm 2^\circ\text{C}$

### 2.5 การวิเคราะห์คุณภาพ

#### 1) กรดไขมันอิสระ (FFA)

ดัดแปลงจาก A.O.C.S. (1971) ใส่ตัวอย่าง 5 g (m) ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL เติมนีออนอลที่เป็นกลางปริมาณ 50 mL พร้อมทั้งเขย่าให้ตัวอย่างละลาย หยดฟีนอล์ฟทาเลิน 1-2 หยด และไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 N (N) จนตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีชมพูคงที่ บันทึกปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ (V) เพื่อนำไปคำนวณค่า FFA โดยใช้สมการที่ 3

$$FFA \text{ (wt. \%)} = \frac{V \times N \times 25.6}{m} \quad \dots(3)$$

#### 2) ค่าเปอร์ออกไซด์ (P.V.)

(A.O.A.C., 2000) ซึ่งตัวอย่าง 3 g (w) เติมนีออนอลผสมกรดอะซิติกกับคลอโรฟอร์มในอัตราส่วน 3:2 โดยปริมาตรจำนวน 25 mL ลงในตัวอย่างพร้อมทั้งเขย่าให้ตัวอย่างละลาย เติมนีออนอลอิมิตัวของโพแทสเซียมไอโอไดด์ 1 mL ปิดจุกพร้อมเขย่านาน 1 นาที เก็บตัวอย่างไว้ในที่มืด 5 นาที เติมน้ำกลั่น 75 mL ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.002 N (n) จนตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแข็ง 0.5 mL แล้วไตเตรทต่อไปจนสีน้ำเงินจางหายไป คำนวณร้อยละของ P.V. ดังสมการที่ 4

$$P.V. \text{ (mEq / kg)} = \frac{(A - B) \times N \times 100}{W} \quad \dots(4)$$

โดย  $A$  และ  $B$  คือปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่างและแบลนก์ (mL)

#### 3) ความชื้น

(MC) (AOAC, 2000) ซึ่งตัวอย่าง 3 g (W1) ใส่ลงในภาชนะ นำไปอบที่อุณหภูมิ 105  $^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 3 h ซึ่งน้ำหนักหลังอบ แล้วอบซ้ำจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นชั่งน้ำหนักสุดท้ายหลังอบ (W2) นำผลที่ได้มาคำนวณความชื้น (MC-wt.%) ได้จากสมการที่ 5

## 2.6 การวิเคราะห์คุณภาพ

### กรดไขมันอิสระ (FFA)

ดัดแปลงจาก A.O.C.S. (1971) ใส่ตัวอย่าง 5 g (m) ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL เติมเอทานอลที่เป็นกลางปริมาณ 50 mL พร้อมทั้งเขย่าให้ตัวอย่างละลาย หยดฟีนอล์ฟทาลีน 1-2 หยด และไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 N (N) จนตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีชมพูคงที่ บันทึกปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ (V) เพื่อนำไปคำนวณค่า FFA โดยใช้สมการที่ 3

$$FFA (wt.%) = \frac{V \times N \times 25.6}{m} \quad \dots(3)$$

### ค่าเปอร์ออกไซด์ (P.V.)

(A.O.A.C., 2000) ซั่งตัวอย่าง 3 g (w) เติมสารละลายผสมกรดอะซิติกกับคลอโรฟอร์มในอัตราส่วน 3:2 โดยปริมาตร จำนวน 25 mL ลงในตัวอย่างพร้อมทั้งเขย่าให้ตัวอย่างละลาย เติมสารละลายอิมิตัวของโพแทสเซียมไอโอไดด์ 1 mL ปิดจุกพร้อมเขย่านาน 1 นาที เก็บตัวอย่างไว้ในที่มืด 5 นาที เติมน้ำกลั่น 75 mL ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.002 N (n) จนตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแบ่ง 0.5 mL แล้วไตเตรทต่อไปจนสีน้ำเงินจางหายไป คำนวณร้อยละของ P.V. ดังสมการที่ 4

$$P.V. (mEq / kg) = \frac{(A - B) \times N \times 100}{W} \quad \dots(4)$$

โดย A และ B คือปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่างและแบลนก์ (mL)

### ความชื้น

(MC) (AOAC, 2000) ซั่งตัวอย่าง 3 g ( $W_1$ ) ใส่ลงในภาชนะ นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 h ซั่งน้ำหนักหลังอบ แล้วอบซ้ำจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นซั่งน้ำหนักสุดท้ายหลังอบ ( $W_2$ ) นำผลที่ได้มาคำนวณความชื้น (MC - wt %) ได้จากสมการที่ 5

$$MC = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1} \quad (5)$$

### ค่าไอโอดีนแบบวิจัน (IV.)

ดัดแปลงจาก IUPAC (1966) ซั่งตัวอย่าง 0.5 g เติมโซโคลเฮกเซน 25 mL และสารละลายวิจัน 25 mL ปิดจุกพร้อมทั้งเขย่าขวดไปรอบๆ อย่างรวดเร็ว เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1 ชม. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ปริมาณ 20 mL เขย่าให้เข้ากัน เติมน้ำกลั่น 150 mL ไตเตรทด้วยสารละลาย

โซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 N จนได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแบ่ง 2-3 หยด จากนั้นไตเตรทซ้ำจนสีน้ำเงินหายไป คำนวณร้อยละของ IV. ดังสมการที่ 6

$$IV. = \frac{(B - A) \times N \times 12.69}{W} \quad \dots(6)$$

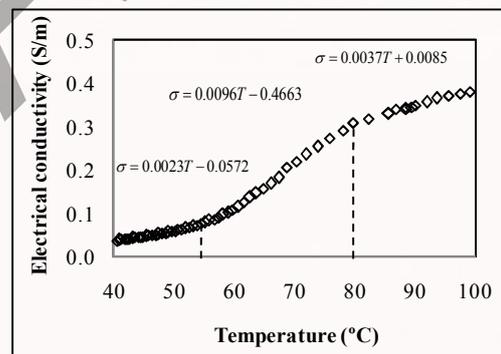
### ค่าความสด (DOBI)

ดัดแปลงจากวิธีของ Loh et al. (2006) ละลายตัวอย่างประมาณ 0.1 g ใน iso-octane ให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 25 mL เติมนลงใน Quart Cuvette ขนาด 3.5 mL วัดด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer (UV-VIS) ที่ความยาวคลื่น 269 และ 446 nm คำนวณค่า DOBI ได้จากสมการที่ 7

$$DOBI = \frac{Abs_{446}}{Abs_{269}} \quad \dots(7)$$

### วิเคราะห์ค่าทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Full factorial Design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยการใช้โปรแกรม SPSS ที่ระดับการเชื่อมั่น 0.95 ( $\alpha = 0.05$ )



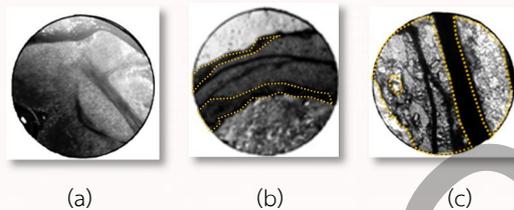
รูปที่ 2 ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่าง

จากผลการทดลองพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง แสดงดังรูปที่ 2 โดยช่วงแรกที่อุณหภูมิ 40-55 °C มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าต่ำ เมื่อเข้าสู่ช่วงที่สอง คือ อุณหภูมิ 55-80 °C จะมีอัตราการเพิ่มของค่าการนำไฟฟ้าอย่างรวดเร็วจนเข้าสู่ช่วงอุณหภูมิที่สาม คือ 80-100 °C อัตราการเพิ่มของค่าการนำไฟฟ้าต่ำลง ทั้งนี้สาเหตุที่อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างในแต่ละช่วงมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากอุณหภูมิในช่วงแรกไม่สูง จึงทำให้องค์ประกอบของผลปาล์มไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่า 55°C พบว่าของเหลวบริเวณผิวของผลปาล์มไหลออกมาปนกับน้ำ องค์ประกอบที่มีอยู่ในผลปาล์ม เช่น พอลิฟลิทิด ไกลโคลิทิด และสเตอรอยด์ [12] เกิดการแตกตัว ทำให้ค่าการนำ

ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 80°C พบว่า ผลปาล์มเกิดรอยแตกบริเวณผิว เยื่อหุ้มเซลล์ภายในผลปาล์มแตกทำให้น้ำมันในผลปาล์มซึ่งเป็นองค์ประกอบไม่มีชีวิตอยู่ในตัวอย่าง ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง

อุณหภูมิในการให้ความร้อนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะเนื้อเยื่อของผลปาล์มดังแสดงในรูปที่ 3

รูป 3(a) แสดงลักษณะเนื้อเยื่อของผลปาล์มที่ผ่านการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกที่อุณหภูมิ 40°C จะเห็นว่าผนังเซลล์น้ำมันจะเกาะกลุ่มกันกระจายอยู่โดยรอบบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์เมื่อผ่านการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 60°C แสดงดังรูปที่ 3(b) จะเห็นว่าผนังเซลล์เริ่มเกิดรอยร้าวของน้ำมันเกิดขึ้น (แสดงโดยเส้นประ) อาจเป็นผลให้องค์ประกอบภายในมีการเปลี่ยนแปลง จากนั้นให้ความร้อนต่อจนถึงอุณหภูมิ 100°C แสดงดังรูปที่ 3(c) ลักษณะเนื้อเยื่อของผลปาล์มเกิดรอยร้าวของน้ำมันอย่างชัดเจน ซึ่งลักษณะเนื้อเยื่อของผลปาล์มที่ได้สอดคล้องกับค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่าง



รูปที่ 3 ลักษณะเนื้อเยื่อของผลปาล์มที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระดับแรงดัน 150 V อุณหภูมิ (a) 40°C (b) 60°C และ (c) 100°C

### ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ

ตารางที่ 1 %Yield ของน้ำมันปาล์มดิบที่ระดับแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ

Voltage (V)	Temperature (°C)	Time (min)				
		2	4	6	8	10
0	60	24.92±1.14 <sup>CB</sup>	30.68±0.32 <sup>BB</sup>	32.82±1.39 <sup>BB</sup>	39.83±0.79 <sup>AA</sup>	39.27±3.28 <sup>AA</sup>
	80	28.35±2.20 <sup>CB</sup>	32.82±0.74 <sup>AB</sup>	38.60±0.89 <sup>AA</sup>	40.04±0.47 <sup>AA</sup>	39.61±1.42 <sup>AA</sup>
	100	31.21±0.081 <sup>DA</sup>	34.55±1.84 <sup>CB</sup>	34.99±1.07 <sup>CA</sup>	41.73±1.36 <sup>AA</sup>	38.41±0.29 <sup>BA</sup>
75	60	29.45±1.32 <sup>DB</sup>	32.99±0.89 <sup>CB</sup>	37.45±2.22 <sup>BB</sup>	40.87±2.22 <sup>AA</sup>	38.73±1.82 <sup>AB</sup>
	80	33.12±1.39 <sup>DB</sup>	35.01±0.72 <sup>CAB</sup>	38.41±0.69 <sup>BB</sup>	42.42±1.49 <sup>AA</sup>	40.11±0.36 <sup>BA</sup>
	100	34.58±2.12 <sup>BA</sup>	36.38±1.14 <sup>BA</sup>	42.52±1.90 <sup>AA</sup>	43.47±2.05 <sup>AA</sup>	40.57±2.22 <sup>AA</sup>
150	60	31.96±0.74 <sup>CB</sup>	33.13±1.47 <sup>CB</sup>	38.12±2.14 <sup>BB</sup>	41.08±1.69 <sup>AA</sup>	41.06±0.81 <sup>AC</sup>
	80	33.95±0.57 <sup>CAB</sup>	38.29±1.90 <sup>BA</sup>	42.00±0.51 <sup>AA</sup>	43.35±3.15 <sup>AA</sup>	43.92±0.36 <sup>BB</sup>
	100	35.83±2.39 <sup>CA</sup>	40.98±0.96 <sup>BA</sup>	42.27±2.36 <sup>BA</sup>	45.40±0.62 <sup>AA</sup>	48.20±0.88 <sup>AA</sup>

หมายเหตุ : a,b ตัวอักษรในแนวอนแสดงค่าเฉลี่ยของ % yield ของน้ำมันปาล์มดิบที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในแต่ละช่วงเวลาในการให้ความร้อน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMPT) A,B ตัวอักษรในแนวตั้งแสดงค่าเฉลี่ยของ % yield ของน้ำมันปาล์มดิบที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในแต่ละช่วงอุณหภูมิของระดับแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน (0 75 และ 150 V) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMPT

ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่หีบได้ ( $p \leq 0.05$ ) ปริมาณน้ำมันปาล์มที่หีบได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลาสูงขึ้น แสดงดังในตารางที่ 1 ปริมาณน้ำมันปาล์มที่ได้สูงสุดคือ  $48.20 \pm 0.88\%$  โดยใช้ระดับแรงดันไฟฟ้า 150 V อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 10 min ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่า การให้ความร้อนที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 150 V อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 8 min ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรเลือกใช้เวลานในการให้ความร้อนที่ 8 นาทีเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในระบบ จากการศึกษาผลของระดับแรงดันไฟฟ้าพบว่า เมื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 0 V เป็น 150 V ปริมาณน้ำมันปาล์มจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1.2 เท่า เนื่องจากการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเปรียบเสมือนการเพิ่มพลังงานให้ระบบ [13] เมื่อมีการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น ความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงส่งผลให้โครงสร้างชั้นไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์เกิดรูพรุนเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Electroporation [14] ทำให้ผนังเซลล์ของผลปาล์มน้ำมันเกิดรอยร้าว จึงทำให้ปริมาณน้ำมันที่หีบได้เพิ่มขึ้น ผลของอุณหภูมิและเวลา จากการผลทดลองที่ได้พบว่า ปริมาณน้ำมันที่หีบได้เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้นในทุกกรณีการศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของชัยวัฒน์ และคณะ (2554) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อน อุณหภูมิภายในผลปาล์มจะสูงขึ้น ปริมาณน้ำมันที่หีบได้เพิ่มขึ้น [15]

### คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ

ผลของการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบหลังการให้ความร้อนแบบโอท่อมมิก คุณรูปที่ทำการศึกษาประกอบด้วย FFA MC PV IV และ DOBI แสดงดังตารางที่ 2

#### FFA

FFA เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ ค่า FFA เกิดจากการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์ หรือจากการกระทำของจุลินทรีย์ด้วยเอนไซม์ไลเปส โดยมีน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [16] จากการทดลองที่ได้ พบว่า แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณ FFA ( $p < 0.05$ ) เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลา ทำให้ปริมาณ FFA ลดลง จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าระดับแรงดันไฟฟ้า 0 V อุณหภูมิ 60°C ที่เวลา 2 min มีค่า FFA ที่สูงสุดคือ 12.26±0.95 wt.% ในทางตรงกันข้ามเมื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้า 150 V อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 8 นาที พบว่า FFA มีค่าต่ำที่สุดคือ 2.14±0.14 wt.% สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะว่าการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลาสามารถช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปส และการเกิดออกซิเดชันได้ [18]

#### MC

ความชื้นเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญและมีผลต่อคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 0.03±0.01wt.% ถึง 0.26±0.06wt.% จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า แรงดันไฟฟ้าและเวลามีผลต่อปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ปริมาณความชื้นของน้ำมันปาล์มดิบที่มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 0.26±0.06 wt.% จากการทดลองพบว่า มีค่าไม่เกินตามที่มาตรฐานกำหนด คือไม่เกิน 0.5 wt.% [17]

#### PV

ปริมาณ PV เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเริ่มต้นของการเกิดกลิ่นเหม็นหืนของน้ำมันซึ่งมักเรียกว่า lipid peroxidation หรือ oxidative degradation [18] ค่าปริมาณ PV ตามมาตรฐานต้องไม่เกิน 10 meqO<sub>2</sub>/kg [17] หากค่า PV สูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดจะเกิดกลิ่นเหม็นหืน จากผลการทดลองพบว่าที่ระดับแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ มีค่า PV

ตารางที่ 2 คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ

Quality of CPO	Voltage (V)	Temperature (°C)	Time (min)				
			2	4	6	8	10
FFA	0	60	12.26±0.95 <sup>dC</sup>	11.29±0.85 <sup>dC</sup>	9.50±0.31 <sup>cC</sup>	7.84±0.39 <sup>bC</sup>	6.27±0.22 <sup>aB</sup>
		80	8.26±0.87 <sup>bB</sup>	8.35±0.45 <sup>bB</sup>	6.22±0.07 <sup>bB</sup>	5.73±1.35 <sup>bB</sup>	3.20±0.13 <sup>aA</sup>
		100	6.47±0.19 <sup>aA</sup>	4.71±0.20 <sup>aA</sup>	4.18±0.39 <sup>abA</sup>	3.88±0.52 <sup>aA</sup>	3.29±0.52 <sup>aA</sup>
	75	60	9.2±0.41 <sup>aB</sup>	8.01±0.62 <sup>bB</sup>	5.40±0.05 <sup>bC</sup>	5.03±0.87 <sup>abB</sup>	3.98±0.76 <sup>aB</sup>

อยู่ในช่วง 0.76±0.12 ถึง 8.83±1.01 meqO<sub>2</sub>/kg โดยระดับแรงดันไฟฟ้า 150 V อุณหภูมิ 100 °C ที่เวลา 10 min มีค่า PV ต่ำที่สุดคือ 0.76±0.12 meqO<sub>2</sub>/kg ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV ที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกินตามที่มาตรฐานกำหนด ทั้งนี้เนื่องจากการให้ความร้อนแบบโอท่อมมิกสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสและไลพอกซิเดส ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิด hydroperoxides ทำให้ค่า PV ลดลง [19] สอดคล้องกับงานวิจัยของ Castro และคณะ ที่พบว่าสนามไฟฟ้าผลต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ lipoxigenase ได้ [20]

#### IV

IV เป็นค่าที่แสดงจำนวนพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยทั่วไปน้ำมันปาล์มจะมีค่า IV อยู่ในช่วง 46-53 [12] จากการทดลองพบว่าที่ระดับแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลาต่างๆ มีค่า IV อยู่ในเกณฑ์ปกติคืออยู่ในช่วง 49.07±0.15 ถึง 53.72±0.15

#### DOBI

DOBI เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสดของน้ำมัน ในอุตสาหกรรม ค่า DOBI ที่กำหนดไว้จะต้องไม่ต่ำกว่า 2.0 ลักษณะของน้ำมันจะเป็นสีเหลืองไปจนถึงสีแดงและมีความขุ่นหนืด [21] จากผลการทดลอง พบว่าค่า DOBI มีค่าสูงขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลาเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2 ค่า DOBI ในทุกกรณีที่ศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 3.56- 4.58 ซึ่งอยู่ในช่วงเกณฑ์ดีมาก ทั้งนี้เนื่องจาก ค่า PV หาได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณแคโรทีนอยด์กับการออกซิเดชันของ FFA จากการทดลองก่อนหน้านี้จะเห็นว่าการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลามีผลทำให้ FFA และ PV ต่ำลง จึงส่งผลให้น้ำมันที่หีบได้มีค่า DOBI สูงขึ้น

จากผลการทดลองพบว่า การให้ความร้อนแบบโอท่อมมิกแก่ผลปาล์มที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 150 V อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 8 min จะทำให้ผลปาล์มมีลักษณะนิ่มและสามารถแยกเนื้อออกจากเมล็ดได้ง่าย ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่หีบได้สูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการนึ่งไอน้ำพบว่า เทคนิคการให้ความร้อนที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถลดเวลาในการให้ความร้อนประมาณ 6.2 เท่า และพลังงานที่ใช้ในระบบ

Quality of CPO	Voltage (V)	Temperature (°C)	Time (min)					
			2	4	6	8	10	
		80	4.55±0.40 <sup>CA</sup>	4.18±0.07 <sup>bCA</sup>	4.35±0.68 <sup>bCB</sup>	3.60±0.58 <sup>abA</sup>	2.98±0.15 <sup>aA</sup>	
		100	5.75±1.70 <sup>bA</sup>	3.98±0.66 <sup>aA</sup>	3.40±0.07 <sup>aA</sup>	3.20±0.46 <sup>aA</sup>	2.77±0.32 <sup>aA</sup>	
	150	60	6.24±1.3 <sup>bB</sup>	4.72±1.03 <sup>ab</sup>	4.27±0.53 <sup>ab</sup>	3.58±0.34 <sup>ab</sup>	3.52±0.27 <sup>ab</sup>	
		80	5.48±1.19 <sup>abAB</sup>	4.08±0.66 <sup>aAB</sup>	3.57±0.36 <sup>aAB</sup>	3.34±0.21 <sup>ab</sup>	2.87±0.58 <sup>aAB</sup>	
		100	3.71±0.13 <sup>CA</sup>	3.14±0.07 <sup>bA</sup>	2.83±0.33 <sup>bA</sup>	2.14±0.14 <sup>aA</sup>	2.33±0.42 <sup>aA</sup>	
MC	0	60	0.26±0.06 <sup>bA</sup>	0.21±0.02 <sup>bB</sup>	0.11±0.01 <sup>ab</sup>	0.72±0.25 <sup>aA</sup>	0.11±0.09 <sup>aA</sup>	
		80	0.21±0.05 <sup>CA</sup>	0.09±0.02 <sup>bAB</sup>	0.06±0.04 <sup>abAB</sup>	0.03±0.01 <sup>aA</sup>	0.03±0.01 <sup>aA</sup>	
		100	0.18±0.07 <sup>CA</sup>	0.08±0.10 <sup>abA</sup>	0.05±0.02 <sup>abA</sup>	0.03±0.02 <sup>abA</sup>	0.02±0.02 <sup>aA</sup>	
	75	60	0.11±0.08 <sup>abA</sup>	0.15±0.04 <sup>bA</sup>	0.05±0.01 <sup>aA</sup>	0.05±0.05 <sup>abA</sup>	0.07±0.07 <sup>abA</sup>	
		80	0.18±0.01 <sup>CA</sup>	0.16±0.01 <sup>bCA</sup>	0.12±0.07 <sup>bCA</sup>	0.03±0.03 <sup>aA</sup>	0.04±0.05 <sup>abA</sup>	
		100	0.14±0.04 <sup>aA</sup>	0.10±0.09 <sup>aA</sup>	0.13±0.07 <sup>aA</sup>	0.05±0.03 <sup>aA</sup>	0.03±0.02 <sup>aA</sup>	
	150	60	0.13±0.08 <sup>bA</sup>	0.04±0.05 <sup>aA</sup>	0.03±0.03 <sup>aA</sup>	0.02±0.01 <sup>aA</sup>	0.03±0.03 <sup>aA</sup>	
		80	0.09±0.08 <sup>aA</sup>	0.05±0.42 <sup>aA</sup>	0.05±0.04 <sup>aA</sup>	0.04±0.04 <sup>aA</sup>	0.03±0.02 <sup>aA</sup>	
		100	0.14±0.05 <sup>bA</sup>	0.14±0.03 <sup>bB</sup>	0.06±0.07 <sup>abA</sup>	0.25±0.03 <sup>aA</sup>	0.03±0.01 <sup>aA</sup>	
	PV	0	60	8.83±1.01 <sup>CB</sup>	5.93±2.22 <sup>abA</sup>	6.93±0.84 <sup>bCB</sup>	4.38±0.79 <sup>aA</sup>	6.36±0.47 <sup>abB</sup>
			80	6.60±0.26 <sup>aA</sup>	5.27±0.49 <sup>aA</sup>	6.73±0.49 <sup>ab</sup>	5.44±2.57 <sup>aA</sup>	6.20±0.43 <sup>ab</sup>
			100	6.41±0.70 <sup>CA</sup>	6.71±0.18 <sup>CA</sup>	4.53±0.41 <sup>bA</sup>	6.14±1.16 <sup>abA</sup>	2.67±0.32 <sup>aA</sup>
75		60	6.70±1.29 <sup>abB</sup>	7.27±0.66 <sup>bC</sup>	5.39±1.01 <sup>ab</sup>	5.87±1.01 <sup>abB</sup>	5.45±0.48 <sup>ab</sup>	
		80	3.47±1.07 <sup>bCA</sup>	4.47±0.32 <sup>bB</sup>	6.26±0.29 <sup>bC</sup>	6.20±0.43 <sup>bC</sup>	2.81±1.31 <sup>aA</sup>	
		100	3.80±1.64 <sup>aA</sup>	3.20±0.61 <sup>aA</sup>	3.32±1.06 <sup>aA</sup>	2.91±0.53 <sup>aA</sup>	2.71±0.53 <sup>aA</sup>	
150		60	6.45±1.25 <sup>bB</sup>	6.50±2.86 <sup>bA</sup>	2.57±0.49 <sup>aA</sup>	3.10±0.18 <sup>abB</sup>	5.83±1.07 <sup>bC</sup>	
		80	3.50±0.51 <sup>bA</sup>	2.57±0.49 <sup>aA</sup>	4.40±0.43 <sup>bB</sup>	4.27±0.66 <sup>bB</sup>	4.09±0.34 <sup>bB</sup>	
		100	6.23±0.37 <sup>bC</sup>	5.37±1.87 <sup>CA</sup>	2.94±0.47 <sup>bA</sup>	2.23±1.07 <sup>abA</sup>	0.76±0.12 <sup>aA</sup>	
IV		0	60	53.72±0.15 <sup>bC</sup>	52.87±0.15 <sup>bB</sup>	52.28±0.44 <sup>abB</sup>	52.37±0.44 <sup>abB</sup>	51.69±0.59 <sup>abB</sup>
			80	52.96±0.29 <sup>CA</sup>	51.52±0.00 <sup>bA</sup>	50.68±0.15 <sup>aA</sup>	50.76±0.44 <sup>aA</sup>	50.93±0.59 <sup>abA</sup>
			100	50.51±1.32 <sup>ab</sup>	52.96±0.29 <sup>abB</sup>	52.19±0.15 <sup>bC</sup>	52.79±0.44 <sup>bC</sup>	52.29±0.44 <sup>abB</sup>
	75	60	51.61±0.15 <sup>CA</sup>	52.11±0.15 <sup>bCC</sup>	51.44±1.17 <sup>aA</sup>	52.62±0.15 <sup>bCA</sup>	49.58±0.29 <sup>ab</sup>	
		80	51.18±1.17 <sup>aA</sup>	51.27±0.00 <sup>aA</sup>	52.62±2.05 <sup>aA</sup>	52.28±0.44 <sup>aA</sup>	51.10±1.17 <sup>ab</sup>	
		100	52.11±0.15 <sup>bCA</sup>	51.86±0.15 <sup>bCB</sup>	52.45±0.15 <sup>CA</sup>	51.69±0.73 <sup>bA</sup>	49.58±0.29 <sup>aA</sup>	
	150	60	51.77±0.00 <sup>ab</sup>	50.42±2.05 <sup>aA</sup>	50.92±1.17 <sup>aA</sup>	51.44±0.14 <sup>aA</sup>	49.91±0.73 <sup>aA</sup>	
		80	49.91±0.73 <sup>aA</sup>	52.53±0.00 <sup>CA</sup>	51.27±1.31 <sup>bCA</sup>	51.27±0.00 <sup>bCA</sup>	51.17±0.28 <sup>bB</sup>	
		100	52.54±0.44 <sup>bB</sup>	51.10±0.73 <sup>abA</sup>	50.59±1.17 <sup>abA</sup>	50.59±2.05 <sup>abA</sup>	49.07±0.15 <sup>bA</sup>	
	DOBI	0	60	3.33±0.23 <sup>CA</sup>	3.90±0.17 <sup>bA</sup>	3.87±0.09 <sup>bB</sup>	3.99±0.21 <sup>bA</sup>	4.36±0.02 <sup>aA</sup>
			80	3.82±0.15 <sup>aA</sup>	3.93±0.25 <sup>aA</sup>	4.09±0.00 <sup>aA</sup>	4.16±0.28 <sup>aA</sup>	4.13±0.50 <sup>aA</sup>
			100	3.51±0.55 <sup>aA</sup>	4.12±0.23 <sup>abA</sup>	4.20±0.08 <sup>bA</sup>	3.99±0.46 <sup>abA</sup>	4.28±0.05 <sup>bA</sup>
75		60	3.52±0.77 <sup>aA</sup>	3.79±0.17 <sup>abB</sup>	4.16±0.18 <sup>aA</sup>	3.73±0.27 <sup>ab</sup>	3.96±0.02 <sup>aA</sup>	
		80	4.37±0.65 <sup>aA</sup>	3.50±0.30 <sup>bC</sup>	4.00±0.19 <sup>abA</sup>	4.07±0.01 <sup>abA</sup>	3.97±0.21 <sup>abA</sup>	
		100	3.87±0.02 <sup>aA</sup>	4.17±0.27 <sup>aC</sup>	3.89±0.24 <sup>aA</sup>	4.14±0.22 <sup>aA</sup>	4.36±0.52 <sup>aA</sup>	

หมายเหตุ : a,b ตัวอักษรในแนวนอนแสดงค่าเฉลี่ยของคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ (FFA MC PV IV และ DOBI) ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในแต่ละช่วงเวลาในการให้ความร้อน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMPT A,B ตัวอักษรในแนวตั้งแสดงค่าเฉลี่ยของคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ (FFA MC PV IV และ DOBI) ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในแต่ละช่วงอุณหภูมิของระดับแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน (0 75 และ 150 V) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยวิธี DMPT

### 3. สรุปผลการทดลอง

การเพิ่มแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนส่งผลให้ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่หีบได้เพิ่มขึ้น สภาวะที่เหมาะสม ในการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่ผลปาล์มโดยการให้

ความร้อนแบบไอน้ำมีค คือแรงดันไฟฟ้า 150 V อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 8 min ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่หีบได้ค่าอยู่ในช่วง 40-50% รวมถึงคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบที่ได้ อยู่ในระดับที่มาตรฐานกำหนด ดังนั้นการให้ความร้อนแบบ

โอห์มมิคสามารถใช้เป็นทางเลือกในการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่ผลปาล์มได้

#### 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนานักวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.): ระดับปริญญาโท จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ชีระพงศ์ จันทรมานิช, ประกิจ ทองคำ และสมเกียรติ สีสนอง (2548). เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน, ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน, คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [2] รัชช พฤษชาติ (2551). ปาล์มน้ำมัน คู่มือการปลูก-แปรรูปเชิงการค้า, นีออนบุ๊คมีเดีย. 97.
- [3] บัณฑิต จำรัส (2552). ระบบสกัดน้ำมันปาล์มแบบไม่ใช้น้ำ ขนาด 1 ตันผลปาล์มร่วงต่อชั่วโมง, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเครื่องจักรกลภาคใต้, 7-12 สิงหาคม 2552, กรุงเทพฯ.
- [4] ฉกรรจ์ สังข์ทอง (2551). ปาล์มน้ำมัน, เซาท์เทิร์นเพรส แอนด์พับลิเคชั่น.
- [5] พรชัย เหลืองอากาศ (2549). คัมภีร์ปาล์มน้ำมัน ที่เขตรัฐกิจเพื่อบริโภคและอุปโภค, สำนักพิมพ์มติชน, กรุงเทพมหานคร.
- [6] สาวิตรี คำหอม (2551). การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [7] พุทธิชนันท์ จารุวัฒน์, วุฒิพล จันทร์สระคู, ศุภวรรณ ภามาตย์, เวียง อากรซี, ยงยุทธ คงชาน, บัณฑา แสงวงษา, สากล วีรยานันท์ และนิวัต อาระวิล (2555). การวิจัยและพัฒนาเครื่องทอดผลปาล์มน้ำมันในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบระดับชุมชน, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, จังหวัดเชียงใหม่.
- [8] Varghese, K., M. Pandey, K. Radhakrishna and A. Bawa. (2012). Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review, *Journal of Food Science and Technology*, pp. 1-14.
- [9] Kanjanapongkul, K., S. Tia, P. Wongs-Ngasri and T. Yoovidhya. (2009). Coagulation of protein in surimi wastewater using a continuous ohmic heater. *Journal of Food Engineering*, vol 91(2), pp. 341-346.

- [10] Kanjanapongkul, K., T. Yoovidhya, S. Tia and P. Wongs-Ngasri. (2008). Protein removal from fish mince washwater using ohmic heating, *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. vol 30(3), pp. 413-419. Electroporation and Electrofusion, San Diego: Academic Press, pp.47 –61.
- [11] Lakkakula, N.R., M. Lima and T. Walker. (2004). Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating, *Biore-source Technology*, vol 92(2), pp. 157-161.
- [12] Sambanthamurthi, R., Kalyana S. and Yew-Ai Tan. (2000). Chemistry and biochemistry of palm oil, *Progress in Lipid Research*, vol. 39, pp. 507-558.
- [13] Dhingra, D., Sangrta C and D. R. Rai. (2012). Stabilization of Raw Rice Bran using Ohmic Heating, *National Academy of Agricultural Sciences*, vol. 1(4), pp. 392-398.
- [14] Tsong, T. Y. (1992). Time sequence of molecular events in electroporation, Chapter 4. In D. C. Chang, B. M. Chassey, J. A. Saunders, A. E. Sowers, Guide to Electro-poration and Electrofusion, *San Diego: Academic Press*, pp.47 –61.
- [15] ชัยวัฒน์ พรหมเพชร, นันทพันธ์ นภัทรานันท์ และ กำพล ประทีปชัยกุล (2554). ผลของอุณหภูมิในผลปาล์มต่อการเกิดกรดไขมันอิสระและความแข็งของผิวผลปาล์ม, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, จังหวัดกระบี่.
- [16] นิธิยา รัตนานันท์ (2548). วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- [17] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2522). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม มอก.288-2521, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- [18] Rossel JB. (1999). Measurement of rancidity. In Rancidity in foods, Ed By Allen JC and Hamilton RJ, *UK. Aspen publishers*, pp. 22-51.
- [19] Icier F, Yildiz H, Baysal T (2006). Peroxidase inactivation and color changes during ohmic heating blanching of pea puree, *Journal Food Engineering*, vol.74, pp. 424-429.
- [20] Castro I, Macedo B, Teixeira JA, Vicente AA (2004). The effect of electric field on important food processing enzymes: comparison of inactivation kinetics under conventional and ohmic heating. *J. Food Sci*, vol. 69, pp.696-701.

Junaidah, M.J., A.R.Norizzah and O.Zaliha. (2013).  
Effect of Sterilization Process on Deterioration of  
Bleachability Index (DOBI) of Crude Palm Oil (CPO)  
Extracted from Different Degree of Oil Palm Ripenes,  
vol. 3(4). Pp. 322-327.

TSAE

