TET-13

การศึกษาผลกระทบของระยะเวลาในการให้ความร้อนผลปาล์ม ต่อการยับยั้งค่ากรดไขมันอิสระ และต่อการเก็บรักษาผลปาล์ม

*ณัฐฐาภรณ์ ภักดีสรสุข[1], และ ประสันต์ ชุ่มใจหาญ[1],

[1]*หลักสูตรวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลขที่ 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520*

ติดต่อผู้เขียน: ประสันต์ ชุ่มใจหาญ E-mail: kcprasan@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ปาล์มเป็นหนึ่งในพืชอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทยเพราะมีศักยภาพในการผลิตน้ำมันสูงเมื่อเทียบต่อน้ำหนักของผลปาล์ม น้ำมันปาล์มสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น น้ำมันพืช อาหารสัตว์ กรดไขมันต่างๆ น้ำมันไบโอดีเซล และสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อตอบโจทย์ของการผลิต ผลปาล์มต้องผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันในโรงสกัดน้ำมันปาล์ม และเพื่อป้องกันการขาดแคลนผลปาล์มระหว่างการผลิต โรงสกัดน้ำมันปาล์มจำเป็นต้องมีการกักตุนผลปาล์มสด ส่งผลให้ผลปาล์มสดที่กักตุนไว้เป็นเวลานานมีการเสื่อมคุณภาพ โดยเฉพาะอัตราการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระ(FFA)ของน้ำมันปาล์มที่สกัดได้ ซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญของอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม ดังนั้นจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาผลกระทบของเวลาในการให้ความร้อนต่อผลปาล์มเพื่อยับยั้งการเกิดกรดไขมันอิสระ จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อให้ความร้อนผลปาล์มที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 60 - 120 นาที และผลปาล์มน้ำมันสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นที่สภาพแวดล้อมปกติ โดยไม่พบการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: ปาล์มน้ำมัน, ค่ากรดไขมันอิสระ

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการปลูกปาล์มน้ำมันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในพื้นที่ทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันประมาณ 1.3 ล้านไร่ และให้ผลผลิตประมาณ 1.5 ล้านตันทะลายสดต่อปี ปาล์มน้ำมันทั้งหมดที่ผลิตได้จะถูกส่งไปยังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งในปัจจุบันโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบในภาคใต้จะกระจายอยู่ในหลายจังหวัด เช่น ชุมพร, กระบี่, สุราษฎร์ธานี, ตรัง, สตูล และสงขลา เป็นต้น โดยมีกำลังผลิตรวมประมาณ 337,990 ตันน้ำมันปาล์มดิบต่อปี [1]

กำลังการผลิตดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อชดเชยความผันผวนทางด้านพลังงานของประเทศ ซึ่งสถานการณ์ด้านพลังงานของประเทศไทยในปี 2555 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์รวมทั้งสิ้น 1,856 พันบาร์เรลเทียบเท่าน้ำมันดิบ มีมูลค่ารวม 1,914,199 ล้านบาท โดยมูลค่าการใช้พลังงานทุกชนิดเพิ่มขึ้น การนำเข้าพลังงานมีมูลค่ารวม 1,247,217 ล้านบาท โดยนำเข้าในรูปของน้ำมันดิบมีสัดส่วนมูลค่าสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 79 และน้ำมันสำเร็จรูปคิดเป็นร้อยละ 8 ของข้อมูลนำเข้าทั้งหมด [2]

ปัญหาน้ำมันปิโตรเลียมที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและภาวะราคาน้ำมันสูงขึ้นทำให้ประชาชนมีภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานโดยเฉพาะค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นทุกปี รัฐบาลจึงได้หาทางออกโดยการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน เช่น น้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นน้ำมันจากพืชที่รัฐบาลได้กำหนดยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนเป็นวาระแห่งชาติ โดยกระทรวงพลังงานมีเป้าหมายให้ใช้ไบโอดีเซล 3% ของการใช้น้ำมันดีเซลทั้งหมดในปี 2554 หรือการใช้วันละ 2.4 ล้านลิตร นอกจากนี้กระทรวงพลังงานโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้ดำเนินโครงการส่งเสริมการผลิตการใช้ไบโอดีเซลในระดับชุมชน เพื่อให้ชุมชนสามารถผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบในท้องถิ่น [2]

ปัจจุบันอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มในประเทศไทยสามารถแบ่งการสกัดน้ำมันที่ใช้งานในโรงสกัดน้ำปาล์มแบ่งเป็น 2 แบบ คือ การสกัดน้ำมันปาล์มแบบใช้ไอน้ำ โดยส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดใหญ่มีกำลังการผลิตสูง โดยทำการหีบแยกเมล็ดในปาล์ม และใช้ผลปาล์มทั้งทะลายในการผลิตน้ำมันปาล์ม

TSAE

ได้ผลผลิตเป็นน้ำมันจากเปลือกและน้ำมันจากเมล็ดในปาล์ม ในปัจจุบันส่วนใหญ่โรงสกัดน้ำมันปาล์มขนาดใหญ่จะใช้ไอน้ำในกระบวนการฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ด้วยไอน้ำที่มีแรงดันสูงที่ 15 – 45 psi ใช้เวลานาน 90 นาที ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส [3] น้ำมันปาล์มดิบ (CPO) ที่ได้จากกระบวนการสกัดเป็นน้ำมันที่คุณภาพดี [4]

สำหรับโรงสกัดน้ำมันปาล์มขนาดเล็ก ไม่มีความสามารถในการใช้ไอน้ำในกระบวนการฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ ดังนั้นจึงเป็นการสกัดน้ำมันปาล์มแบบใช้ความร้อน ก่อนที่จะนำผลปาล์มที่เตรียมไว้ไปหีบในขั้นตอนต่อไป ซึ่งน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) ของโรงสกัดน้ำมันปาล์มแบบไม่ใช้ไอน้ำแบบหีบรวมเมล็ดในปาล์มจะใช้การให้ความร้อนผลปาล์มด้วยวิธีย่าง ทอด หรือกระบวนการอบลมร้อน [5] ในผลปาล์มสดที่ตัดมาใหม่มีค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) ประมาณ 1 - 3% และเมื่อสกัดน้ำมันด้วยแรงทางกลพบว่า ค่า FFA เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 30 % [6] ปริมาณที่สูงขึ้นของ FFA ในน้ำมันปาล์มดิบ เป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญของโรงสกัดน้ำมันปาล์ม ดังนั้นหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้วปาล์มน้ำมันต้องนำไปสกัดโดยเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ก่อนที่ค่า FFAจะเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดของจำนวนปาล์มน้ำมันที่นำมาสกัดนั้นยังผลิตได้ไม่เพียงพอ ต่อกำลังการผลิตของโรงงานทำให้จำเป็นต้องเก็บผลปาล์มน้ำมันให้นานขึ้น ส่งผลให้ค่า FFA ในผลปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การให้ความร้อนกับผลปาล์มน้ำมันสดจึงเป็นสิ่งจำเป็นในขั้นตอนแรกของกระบวนการสกัดเพื่อที่จะแยกและทำลายเอนไซม์ เพื่อยับยั้งการเกิด FFA เพื่อให้มีศักยภาพในการผลิตสูงสุด

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การศึกษาผลกระทบของเวลาในการอบผลปาล์มด้วยเตาอบลมร้อนเพื่อยับยั้งปริมาณกรดไขมันอิสระ ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้ากระบวนการสกัดซึ่งสามารถช่วยลดปัญหาปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนเข้าสู่กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

2. วิธีการทดลอง

<u>วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ</u>

1) ตลอดการดำเนินการทดลองผลปาล์มน้ำมันที่ใช้ ถูกเก็บเกี่ยวมาวันเดียวกันจากสวนปาล์ม ตำบลบึงกาฬสาม จังหวัดปทุมธานี โดยทะลายปาล์มน้ำมันที่นำมาทดลองผลปาล์มน้ำมันไม่มีรอยช้ำหรือตำหนิใดๆ และเก็บเกี่ยวมาวันเดียวกัน โดยบ่มด้วยวิธีตามธรรมชาติเป็นระยะเวลา 5 วัน

2) เตาอบลมร้อนยี่ห้อ Memmert รุ่น UFE500 ซึ่งมีขนาดภายใน 560 มิลลิเมตร x 480 มิลลิเมตร x 400 มิลลิเมตร ความจุภายใน 108 ลิตร ตลอดทั้งการดำเนินการทดลอง

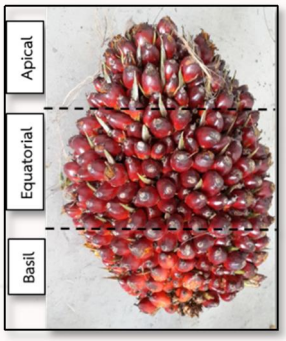
3) เครื่อง Auto Tritrator ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น T50

<u>การเตรียมผลปาล์มเพื่อใช้ในการทดสอบ</u>

ในการดำเนินการทดลองนี้ใช่ผลปาล์มที่อยู่ด้านนอกของทะลาย ที่ถูกแยกออกมาจากส่วนบริเวณส่วนปลาย (Apical) ด้านตรงข้ามกับขั้วทะลายที่ตัดมาเท่าๆกันดังแสดงในรูปที่ 1 ในแต่ละหน่วยทดลองประกอบด้วยผลปาล์มสดจำนวน 20 ผล โดยใช้ผลปาล์มที่ไม่ช้ำและไม่มีบาดแผล โดยใช้วิธีปลิดผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลายด้วยมือ ซึ่งการเตรียมผลปาล์มน้ำมันตัวอย่างนี้เป็นแนวทางเดียวกับงานวิจัยของ I. Umudee, M. Chongcheawchamnan, M. Kiatweera-sakul, และ C. Tongurai, 2013 [7]

<u>กระบวนการแปรรูปจากผลปาล์มสด</u>

ผลปาล์มน้ำมันในหัวข้อ 2.2 นำใส่ลงในบีกเกอร์และนำเข้าเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 15, 30, 60, 90, และ 120 นาที ตามลำดับ แล้วนำไปสกัดน้ำมันปาล์มด้วยการสกัดแบบแยกเมล็ดใน จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่า FFA ทันที (วันที่0) จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำมันที่สกัดได้เป็นเวลานาน 3 และ 7 วัน ที่อุณหภูมิห้องแล้วจึงนำไปวิเคราะห์ค่า FFA



รูปที่ 1 : ตำแหน่งผลปาล์มที่ใช้ในการทดลองจากทะลายปาล์มน้ำมัน (ดัดแปลงมาจาก I. Umudee, M. Chongcheawchamnan, M. Kiatweerasakul, และ C. Tongurai, 2013)

<u>การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ในน้ำมันปาล์มดิบ</u>

ปริมาณกรดไขมันอิสระในการสกัดน้ำมันปาล์มวิเคราะห์ตามมาตรฐานของ AOCS โดยใช้สารทำละลาย Isopropanol [8] โดยเครื่อง Potentiometric Titration

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

จากการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาอบผลปาล์มน้ำมันที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 0, 30, 60, 90 และ

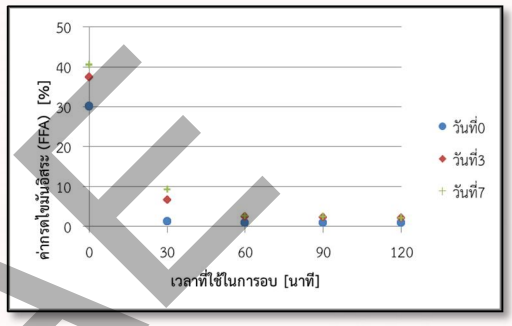
TSAE

120 นาที ตามลำดับ ดังแสดงรูปที่ 2 พบว่าผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน (วันที่ 0) เมื่อนำไปสกัดให้ได้น้ำมันปาล์มดิบโดยการใช้แรงทางกลในการสกัดส่งผลทำให้ค่าเฉลี่ยของค่ากรดไขมันอิสระมีค่าเท่ากับ 30.13 % แต่เมื่อมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสกับผลปาล์มน้ำมัน พบว่าค่า FFA มีแนวโน้มลดลงเป็น 1.27, 0.95, 0.93 และ 0.91% ตามระยะเวลาในการอบ 30, 60, 90 และ 120 นาที จากผลการทดสอบทางสถิติพบว่าระยะเวลาในการอบที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่า FFA อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 1 และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่า เมื่อทำการอบผลปาล์มน้ำมันดิบที่เวลานานกว่า 60 นาที ค่า FFA ที่ตรวจพบมีค่าเริ่มคงที่ แสดงในรูปที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อทำการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่สกัดด้วยแรงทางกลดังกล่าวเป็นระยะเวลา 3 และ 7 วัน พบว่าเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า FFA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 1 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2 ร่วมกับผลการเปรียบเทียบทางสถิติในตารางที่ 2 พบว่าค่า FFA มีค่าเพิ่มขึ้นที่ทุกระยะเวลาในการอบ และผลปาล์มที่ไม่ผ่านการอบมีค่า FFA เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 10% อย่างเห็นได้ชัด (จาก 30.14% เป็น 40.35%) แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการอบนานกว่า 60 นาทีพบว่าปริมาณ FFA เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยโดยประมาณ 1-1.5 % จากระดับเริ่มต้น แม้ว่าค่าทางสถิติจะชี้ให้เห็นว่าระยะเวลาในการอบผลปาล์มที่เกินกว่า 60 นาที มีผลต่อปริมาณค่า FFA แต่เมื่อพิจารณาจากตัวเลขข้อมูลแล้วพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับไม่ได้มีการอบผลปาล์ม และจากมาตรฐานการซื้อขายน้ำมันปาล์มดิบคุณภาพดีในประเทศไทยนั้นตามมาตรฐานมีค่า FFA ไม่เกิน 5% ของปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ ต่อ 1 หน่วย ซึ่งจะสามารถทำให้การซื้อขายน้ำมันปาล์มดิบได้ราคาสูง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการอบผลปาล์มที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานกว่า 60 นาที ส่งผลให้ค่ากรดไขมันไม่เพิ่มขึ้นมากและไม่เกินกว่ามาตรฐานกำหนด แม้จะเก็บรักษาน้ำมันเป็นระยะเวลา 7 วัน ซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้เป็นไปในทางเดียวกันกับงานวิจัยของ I. Umudee, M. Chongcheawchamnan, M. Kiatweerasakul, and C. Tongurai [7] คือ ผลปาล์มน้ำที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนมีอัตราการเพิ่มขึ้นของ FFA สูงกว่าผลปาล์มน้ำมันที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบที่เหมาะสมซึ่งสามารถช่วยยับยั้งเอนไซม์ไม่ให้เกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดไลเปสได้ [7]

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากรดไขมันอิสระ ที่ระยะเวลาในการอบและระยะเวลาที่ปล่อยน้ำมันทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F
ระยะเวลาในการอบ (A)	4	8017.918	2004.48	8.34E+05*
ระยะเวลาในการเก็บรักษา(B)	2	115.597	77.799	3.24E+04*
AB	8	113.992	14.249	3.93E+03*
ความคลาดเคลื่อน	30	0.072	0.002	

* มีความแตกต่างในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5%



รูปที่ 2 : ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการอบต่อวัดค่าหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0, 3, 7 วัน

ตารางที่ 2: ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ของอิทธิพลของระยะเวลาอบผลปาล์มที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่า FFA และวัดค่าหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0, 3, 7 วัน

เวลาอบ [นาที]	ค่าเฉลี่ยของค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) (%)		
	เก็บรักษา 0 วัน	เก็บรักษา 3 วัน	เก็บรักษา 7 วัน
0	30.14_{c}^{a}±0.10	37.21_{b}^{a}±0.10	40.35_{a}^{a}±0.13
30	1.27_{c}^{b}±0.20	6.50_{b}^{b}±0.30	9.09_{a}^{b}±0.20
60	0.95_{c}^{c}±0.10	2.27_{b}^{c}±0.10	2.52_{a}^{c}±0.10
90	0.93_{c}^{c}±0.10	2.20_{b}^{c}±0.10	2.26_{a}^{c}±0.10
120	0.91_{c}^{c}±0.10	1.94_{b}^{c}±0.10	2.02_{a}^{c}±0.10

หมายเหตุ : อักษรตัวบนในหลักเดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความต่างทางสถิติ โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD
อักษรตัวล่างในแถวเดียวกันที่เหมือนกันไม่มีความต่างทางสถิติ โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบ LSD

4. สรุปผล

จากการศึกษาผลกระทบของเวลาในการอบผลปาล์มด้วยเตาอบลมร้อนเพื่อยับยั้งค่ากรดไขมันอิสระพบว่า เมื่อให้ความร้อนผลปาล์มด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลา 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที เมื่อระยะเวลาใน

TSAE

การอบผลปาล์มที่มากขึ้นจะส่งผลทำให้ปริมาณค่ากรดไขมันอิสระมีแนวโน้มลดลง และการให้ความร้อนผลปาล์มที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อิทธิพลของระยะเวลาในการอบส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาถึงผลปาล์มที่ไม่ได้ให้ความร้อนมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า FFA สูงขึ้นมากกว่าผลปาล์มที่ได้รับความร้อน ซึ่งความแตกต่างนี้ชี้ให้เห็นว่าการให้ความร้อนแต่ผลปาล์มน้ำมันด้วยลมร้อนสามารถยับยั้งเอนไซม์ไม่ให้เกิดปฏิกิริยาได้ และระยะเวลาการอบตั้งแต่ 60 ถึง 120 นาที สามารถเก็บรักษาผลปาล์มน้ำมันได้นานถึง 7 วัน เมื่อให้ความร้อนผลปาล์มด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ซึ่งปริมาณค่ากรดไขมันอิสระดังกล่าว ตามมาตรฐานการซื้อขายน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย ดังนั้นการให้ความร้อนผลปาล์มสดด้วยลมร้อนก่อนเข้าสู่กระบวนการสกัดเป็นประโยชน์สำหรับการยืดระยะเวลาการเก็บปาล์มน้ำมันที่จะนำไปสกัดได้ และสามารถช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาเอนไซม์ในผลปาล์มสดได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ได้ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือจนทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ธีระพงศ์ จันทร์นิยม, ประกิจ ทองคำ, อรวรรณ จันทนฤกษ์, ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2536. การใช้ Acetylene และ Ethylene เพื่อเร่งการร่วงของผลปาล์มจากทะลาย, ทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุน มอ.เพื่อวิจัยและพัฒนาภาคใต้,มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2557. สถานการณ์พลังงานในปี 2554 และแนวโน้มปี 2555 (ระบบออนไลน์). แหล่งที่มา http://www.epo.go.th , เข้าดูเมื่อวันที่ 30/01/2558

[3] Sivasothy K., “Palm oil milling technology,” Advances in Palm Oil research,” vol. 1, pp. 745-775, 2000.

[4] Chow M.C. and Ma A.N. , “Processing of fresh palm fruits using microwaves,” Microwave Power Electromagnetic Energy, vol. 40, no. 3, pp. 165-173, April, 2007.

[5] พูนสุข ประเสริฐสรรพ์ และ สุธีระ ประเสริฐสรรพ์. 2537. การศึกษาและวิเคราะห์สถานภาพและศักยภาพของการใช้ประโยชน์จากของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม, ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ, สำนักงานวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

[6] อุกฤษฎ์ สหพัฒน์สมบัติ, ธนกร ตันธนวัฒน์, เอกรัตน์ ไวยนิตย์ และคณะ. 2552. การพัฒนาระบบสกัดน้ำมันปาล์มแบบไม่ใช้ไอน้ำขนาด 1 ตันผลปาล์มต่อชั่วโมง. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5, มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

[7] Umudee I. , Chongcheawchamnan M. , Kiatweerasakul M. and Tongurai C. (2013) Sterilization of Oil Palm Fresh Fruit Using Microwave Technique. International Journal of Chemical Engineering and Applications, Vol. 4, No. 3, June 2013.

[8] AOCS Official Method Ca 5a-40: Free fatty acids, American Oil Chemists' Society, Boulder, Urbana, 2009.

TSAE