การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน ในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน

นางสาวสาวิตรี คำหอม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2551

STUDY OF APPLICATIONS OF BELT TYPE MICROWAVE OVEN IN OIL PALM STERILIZATION PROCESS

Sawitree Khumhom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2008

การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.วีรชัย อาจหาญ)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.ชาญชัย ทองโสภา)
กรรมการ

(อ. ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสน)
กรรมการ

(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์)
กรรมการ

(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สาวิตรี คำหอม : การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน (STUDY OF APPLICATIONS OF BELT TYPE MICROWAVE OVEN IN OIL PALM STERILIZATION PROCESS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรชัย อาจหาญ, 101 หน้า.

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน โดยทำการทดสอบกับผลปาล์มน้ำมันร่วง และมีขั้นตอนการศึกษา คือ (1) ศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน (2) พัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน (3) หาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้น (4) วิเคราะห์ต้นทุนในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้น จากผลการศึกษาพบว่า

การนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน น้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม ใช้เวลา 3 นาที ทำให้ผลปาล์มน้ำมันมีลักษณะนุ่ม ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงจาก 20.98% เป็น 4.63% เมื่อหีบน้ำมันแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ขณะที่ผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการนึ่งเพิ่มเป็น 22.99% ใช้พลังงาน 1.52 กิโลจูลต่อกิโลกรัมผลปาล์มสด

ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟที่พัฒนาขึ้น มีแมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ 2450 MHz จำนวน 20 ตัว แต่ละตัวให้พลังงาน 700 วัตต์ การเปิดปิดของแมกนีตรอนถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ใช้เครื่องปรับอากาศและพัดลมระบายความร้อนให้แมกนีตรอน ขับเคลื่อนชิ้นงานด้วยสายพาน

การนึ่งผลปาล์มน้ำน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้น น้ำหนัก 10 kg ใช้เวลา 20 นาที ทำให้ผลปาล์มน้ำมันมีลักษณะนุ่ม ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงจาก 20.13% เป็น 17.27% เมื่อหีบน้ำมันแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ขณะที่ผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการนึ่งเพิ่มขึ้นเป็น 27.08% ใช้พลังงาน 2.17 กิโลจูลต่อกิโลกรัมผลปาล์มสด ต้นทุนที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้นมีต้นทุนเท่ากับ 0.588 บาทต่อกิโลกรัมผลปาล์มสด

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนักศึกษา สาวิตรี คำหอม

ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

SAWITREE KHUMHOM : STUDY OF APPLICATIONS OF BELT TYPE MICROWAVE OVEN IN OIL PALM STERILIZATION PROCESS.
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. WEERACHAI ARJHARN, Ph.D., 101 PP.

PALM OIL/ STERILIZATION/ MICROWAVE OVEN

The principal purpose of this research is to study the application of belt type microwave oven in oil palm sterilization process using oil palm fruits as a testing material. The study is mainly composed of (1) investigating the technical possibility of oil palm sterilizing by household microwave, (2) developing the prototype of belt type microwave oven, (3) determining the suitable condition of oil palm sterilization using the developed belt type microwave oven and (4) analyzing the cost of sterilizing oil palm using such develop microwave oven.

The results showed that sterilizing the 0.5 kg of oil palm fruits for 3 minutes by household microwave resulted in that texture became soft. The amount of free fatty acid decreased from 20.98% to 4.63% when such sterilized oil palm fruits were extracted to obtain crude palm oil and left it for 24 hours where as that of free fatty acid gradually increased to 22.99% if no sterilizing process was undertaken. The electrical power consumption was 1.52 kilojoules per kilogram of fresh oil palm fruits.

The developed prototype of microwave oven consists of 20 magnetrons generating a frequency of 2450 MHz, each of which is 700 W power output. The power OFF/ON of the magnetrons is controlled via computer. Cooling system was installed associated with air blower in order to release heat generate from the magnetrons. The oil palm fruits were moved forward and backward by belt conveyer.

The experiment showed that when oil palm fruits were sterilized by developed belt type microwave for 20 minutes, the percentage of free fatty reduced from 20.13 to 17.27 by leaving it in surrounding temperature for 48 hours. On the other hands, free fatty acid increased to 27.08% if crude palm oil was left to environment. The electrical power requirement was 2.17 kilojoules per kilogram of fresh oil palm fruits. The total cost of sterilizing oil palm fruits with developed belt type microwave oven is 0.588 Baht per kilogram.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2008

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

Co-advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรชัย อาจหาญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษาด้านวิชาการ ช่วยแก้ไขปัญหา และให้กำลังใจกับผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำปรึกษาด้านวิชาการ ช่วยแก้ไขปัญหา และให้กำลังใจกับผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ อาจารย์ ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสน และอาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการอันเป็นประโยชน์

อาจารย์ ดร.เทวรัตน์ ทิพยวิมล และอาจารย์ พรรษา ลิบลับ ที่คอยให้คำปรึกษาด้านวิชาการอันเป็นประโยชน์

คุณกรรณิกา ประเสริฐสังข์ และบุคลากรศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยให้กำลังใจ กำลังกาย และคำแนะนำปรึกษามาโดยตลอด

คุณจริยาพร ศรีวิไลลักษณ์ และคุณอาภาภรณ์ ศรีอัครวิทยา ที่คอยให้คำแนะนำปรึกษาการจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์ และคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนการศึกษาสำหรับผู้มีศักยภาพเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ที่ดีให้แก่ผู้วิจัย และสำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่งที่ให้การเลี้ยงดู อบรม ส่งเสริมการศึกษา ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ และมีหลักธรรมในการดำเนินชีวิตที่ดีตลอดมา

สาวิตรี คำหอม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (อังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 บทนำ 5
2.2 ปาล์มน้ำมัน 5
2.2.1 ลักษณะทั่วไปของทะลายปาล์มน้ำมัน 7
2.2.2 ผลปาล์มน้ำมัน 7
2.2.3 การเกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมัน 9
2.3 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม (Mill processing) 11
2.3.1 การนึ่งไอน้ำ (Sterilization bunch) 11
2.3.2 การแยกผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลายปาล์มน้ำมัน (Bunch stripping) 13
2.3.3 การย่อยผลปาล์มน้ำมัน (Digestion) 13
2.3.4 การหีบน้ำมันปาล์ม (Pressing) 13
2.3.5 การกรองน้ำมัน (Separation) 13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.6 การแยกน้ำและสิ่งเจือปน (Clarification, washing) 13
2.3.7 การสกัดความชื้น (Drying) 14
2.4 เตาอบไมโครเวฟ 14
2.4.1 หลักการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ 14
2.4.2 หลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุ 15
2.4.3 อันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ 16
2.4.4 องค์ประกอบของเตาอบไมโครเวฟ 17
2.4.5 ข้อดีของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ 20
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20
3 เครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัย 25
3.1 ผลปาล์มน้ำมันร่วง 24
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด 25
3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด 25
3.2.2 หม้อนึ่งความดัน 27
3.2.3 เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน 27
3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 29
3.3.1 สำรวจและศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 29
3.3.2 ศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการนึ่งปาล์มน้ำมัน 30
3.3.3 พัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 31
3.3.4 ทดสอบการทำงานของแตาไมโครเวฟที่พัฒนาขึ้นเบื้องต้น 32
3.3.5 ทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งผลปาล์มร่วง 32
3.3.6 ตรวจสอบคุณภาพและลักษณะโดยทั่วไปของผลปาล์มน้ำมัน ที่ผ่านการนึ่ง 32
3.4 ศึกษาต้นทุนในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟ แบบสายพาน 33
4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล 34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1 การพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 34
4.1.1 แหล่งกำเนิดคลื่น 34
4.1.2 ห้องอบ 35
4.1.3 ระบบสายพาน 36
4.1.4 ระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอน 36
4.1.5 ระบบควบคุม 36
4.2 ผลการทดสอบการทำงานของต้นแบบเตาไมโครเวฟแบบสายพาน 40
4.2.1 การกระจายตัวของคลื่นภายในห้องอบ 40
4.2.2 ผลการทดสอบการนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟ แบบสายพานเบื้องต้น 41
4.3 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ 45
4.3.1 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ 45
4.3.2 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ 49
4.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งด้วยวิธีการต่าง ๆ 51
4.4.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ 51
4.4.2 ปริมาณความชื้น 54
4.4.3 คุณภาพของผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ แบบครัวเรือน 55
4.4.4 คุณภาพของผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ แบบสายพาน 56
4.5 ผลการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มน้ำมัน 56
4.6 ต้นทุนในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 59
4.6.1 ต้นทุนคงที่ 59
4.6.2 ต้นทุนในการเดินระบบ 59
4.6.3 ต้นทุนด้านพลังงาน 59
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 60

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1 สรุปผลการทดลอง....60
5.1.1 ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน....60
5.1.2 การทดสอบการทำงานของต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน....60
5.1.3 อุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ....60
5.1.4 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเตาอบไมโครเวฟ....61
5.1.5 คุณภาพผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งด้วยวิธีการต่าง ๆ....61
5.1.6 พลังงานที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มน้ำมัน....63
5.1.7 ต้นทุนในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟ แบบสายพาน....63
5.2 การนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์....64
5.3 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต....64
รายการอ้างอิง....65
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. วิธีการวิเคราะห์....67
ภาคผนวก ข. ข้อมูลผลการทดลอง....70
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการคำนวณ....84
ภาคผนวก ง. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา....86
ประวัติผู้เขียน....101

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 มาตรฐานการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน 9
2.2 มาตรฐานคุณภาพทะลายปาล์มน้ำมัน 9
4.1 ผลการทดสอบการนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 42
4.2 น้ำหนักของผลปาล์มน้ำมันหลังนึ่ง 48
4.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ 52
4.4 ปริมาณความชื้น 55
4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่ง 57
4.6 แสดงผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของเตาอบไมโครเวฟสำหรับนึ่งผลปาล์มน้ำมัน 58
ก.1 น้ำหนักน้ำมันที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ 68
ข.1 ข้อมูลอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน 71
ข.2 ข้อมูลอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 74
ข.3 ตัวอย่างข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ 78
ข.4 ข้อมูลการใช้พลังงาน น้ำหนักก่อน และหลังของผลปาล์มน้ำมันที่นึ่งด้วยเตาอบ ไมโครเวฟแบบครัวเรือน 79
ข.5 ข้อมูลการใช้พลังงาน น้ำหนักก่อน และหลังของผลปาล์มน้ำมันที่นึ่งด้วยเตาอบ ไมโครเวฟแบบสายพาน 82

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 การใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมัน 6
2.2 ส่วนประกอบของทะลายปาล์มน้ำมัน 7
2.3 สัดส่วนของส่วนประกอบของทะลายปาล์มน้ำมัน (พันธุ์เทเนอรา) 8
2.4 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม 12
2.5 แมกนีตรอน 18
2.6 ส่วนประกอบภายในของแมกนีตรอน 18
2.7 ขั้วแอโนดของแมกนีตรอน 19
2.8 อุปกรณ์สร้างแรงดันไฟฟ้าสูง 20
3.1 ผลปาล์มน้ำมันร่วง 25
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด 26
3.3 หม้อนึ่งความดัน 27
3.4 เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน 28
3.5 ลักษณะการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลภายในห้องอบของเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน 28
3.6 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการศึกษา 29
3.7 ขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการนึ่งปาล์มน้ำมัน 30
3.8 ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 3 มิติ 31
3.9 ลักษณะการวางภาชนะที่บรรจุน้ำเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น 32
3.10 ขั้นตอนการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งผลปาล์มน้ำมัน 33
4.1 ลักษณะการวางแมกนีตรอนของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 34
4.2 ประตูทางออกวัสดุของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 35
4.3 ช่องทางออกของคลื่นและสายพานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 36
4.4 ระบบควบคุมการทำงานของสายพานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 37
4.5 ระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอนของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 37
4.6 ระบบควบคุมของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 38
4.7 แผงวงจรควบคุมแมกนีตรอนของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.8 ชุดควบคุมแมกนีตรอนของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 39
4.9 ชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 39
4.10 ตู้หม้อแปลงของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 40
4.11 ลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 41
4.12 การตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่นของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน..... 41
4.13 การทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยกระสอบ..... 43
4.14 การทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยกล่องพลาสติกพีพี 43
4.15 การทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยแผ่นตะแกรงเหล็ก 2 ชั้น..... 44
4.16 การทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยแผ่นตะแกรงเหล็ก 1 ชั้น..... 44
4.17 การนึ่งปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน..... 46
4.18 ลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน 47
4.19 น้ำหนักของผลปาล์มน้ำมันที่หายไปหลังนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน..... 47
4.20 การนึ่งปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน..... 48
4.21 ลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน..... 49
4.22 กราฟแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน..... 50
4.23 กราฟแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน..... 50
4.24 ปริมาณกรดไขมันอิสระหลังนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน..... 53
4.25 ปริมาณกรดไขมันอิสระหลังนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน 53
4.26 ปริมาณกรดไขมันอิสระหลังนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน..... 54

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

%	=	เปอร์เซ็นต์
AV	=	ค่าความเป็นกรด
FFA	=	ปริมาณกรดไขมันอิสระ
kg	=	กิโลกรัม
$kg_{ทะลายปาล์มสด}$	=	กิโลกรัมทะลายปาล์มสด
$kg_{ผลปาล์มสด}$	=	กิโลกรัมปาล์มสด
kJ	=	กิโลจูล
m	=	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)
MJ_{th}	=	เมกะจูลเทอร์มัล
N	=	ค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
ton_{steam}	=	ตันไอน้ำ
$ton_{ทะลายปาล์มสด}$	=	ตันทะลายปาล์มสด
V	=	ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรต
W_e	=	วัตต์ไฟฟ้า
Temp	=	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
ΔTemp	=	ความต่างอุณหอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
Temp in.	=	อุณหอุณหภูมิขณะนึ่งภายในเตาอบไมโครเวฟ (องศาเซลเซียส)
Temp s.	=	อุณหอุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)
V_{max}	=	ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด (โวลต์)
A_{max}	=	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (แอมแปร์)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศ เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันสูงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น น้ำมันพืช อาหารสัตว์ กรดไขมันที่เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมไม่ต่ำกว่า 200 ผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ปาล์มน้ำมันยังเป็นพืชที่ได้รับการยอมรับว่ามีศักยภาพที่จะนำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลได้ โดยรัฐบาลได้มีนโยบายสนับสนุนการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อนำมาใช้ผลิตไบโอดีเซลอย่างเป็นรูปธรรม ตามมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2548 ที่ให้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ดำเนิน "*โครงการปลูกปาล์มน้ำมันทดแทนพลังงาน*" ในลักษณะโครงการนำร่องเฉพาะบางพื้นที่ที่มีศักยภาพและมีความพร้อมก่อน โดยโครงการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทนนั้นกระจายอยู่ในภาคต่าง ๆ ทั่วประเทศ ในภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ และพื้นที่ทหาร

ในพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของโครงการ ฯ นำร่องบางพื้นที่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันประมาณ 100,000 ไร่ บางส่วนสามารถเก็บผลผลิตได้แล้ว ขณะที่ยังไม่มีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยเกษตรกรจะต้องนำผลผลิตปาล์มน้ำมันที่ได้ไปส่งขายยังโรงงานที่จังหวัดชลบุรี ทำให้สิ้นเปลืองต้นทุนในการขนส่งมาก กอปรกับการสร้างโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะต้องมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากเพื่อให้เพียงพอต่อกำลังผลิตและจะต้องมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในรัศมีไม่เกิน 50 กิโลเมตร จากโรงงาน ด้วยเหตุผลทางด้านความคุ้มทุนและคุณภาพน้ำมันปาล์ม ตามลำดับ โดยปกติผลปาล์มน้ำมันที่เริ่มสุกสีของผลจะเปลี่ยนจากสีม่วงดำเป็นสีส้มแดง ในช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีเอ็นไซม์ไลเปส ทำปฏิกิริยาเปลี่ยนกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันอิสระกับกลีเซอรอล โดยเมื่อผลปาล์มเริ่มสุกแรก ๆ ปริมาณกรดไขมันอิสระจะมีระดับเล็กน้อย แต่เมื่อตัดทะลายปาล์มออกจากต้นกรดไขมันอิสระจะเพิ่มบริเวณส่วนของเปลือกผลปาล์มน้ำมัน ประมาณ 1 - 5% ภายในเวลาประมาณ 20 นาที แต่ถ้าผลปาล์มน้ำมันมีบาดแผลจากการตกกระแทกในช่วงการตัดและขนส่ง ปริมาณกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (กรมส่งเสริมการเกษตร, WWW, 2551) กรดไขมันอิสระเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในน้ำมันปาล์มและเป็นตัวกำหนดคุณภาพมาตราฐานของน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการซื้อขายในทางปฏิบัติ ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์มน้ำมันจะต้องรีบนำส่งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มให้เร็วที่สุด

เท่าที่จะทำได้ตามหลักแล้วควรรีบส่งภายในเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งหากผลผลิตปาล์มน้ำมันถูกขนส่งเป็นระยะทางไกล คุณภาพของน้ำมันปาล์มก็จะต่ำไปด้วย

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นทำให้เกษตรกรที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันที่ห่างไกลจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มพยายามที่จะรวมกลุ่มกันพัฒนาโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดเล็กในระดับชุมชนหรือสหกรณ์ แต่ยังติดปัญหาในด้านการลงทุน เนื่องจากกระบวนการสกัดน้ำมันทั้งระบบมีความซับซ้อนต้องให้ผู้เดินระบบมีความเชี่ยวชาญ การสร้างโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดเล็กจึงไม่เหมาะสมกับการลงทุน

จากการศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มพบว่าในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มนั้นประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก คือ (1) กระบวนการนึ่ง (Sterilization) (2) การแยกผล (Stripping) (3) การสกัดน้ำมัน (Oil extraction) (4) การทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (Clarification) หากเมื่อพิจารณาแต่ละกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มพบว่ากระบวนการนึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ความดันสูง โดยการนำทะลายปาล์มน้ำมันมาทำการนึ่งด้วยไอน้ำ โดยใช้หม้อนึ่งที่มีความดันไอน้ำประมาณ 2.5 - 3.0 บาร์ นาน 50 - 70 นาที ที่อุณหภูมิ 130 - 135 องศาเซลเซียส การนึ่งปาล์มน้ำมันด้วยไอน้ำต้องใช้หม้อนึ่งไอน้ำที่มีความดันสูง จึงจำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญและเงินลงทุนสูง กระบวนการนี้จึงเหมาะกับโรงงานขนาดใหญ่ ที่มีกำลังการผลิตสูง ทำให้นักวิชาการและวิศวกรให้ความสนใจในการพัฒนากระบวนการใหม่ ๆ สำหรับนำมาใช้ทดแทนการนึ่งปาล์มน้ำมันด้วยไอน้ำ เช่น

การทอดสูญญากาศ นำผลปาล์มน้ำมันเข้าหม้อสูญญากาศ ซึ่งภายในมีขดท่อน้ำมันเทอร์มัลให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มและผลปาล์มน้ำมัน อุณหภูมิของน้ำมันเทอร์มัลที่ส่งเข้าหม้อทอดประมาณ 150 -160 องศาเซลเซียส ด้านบนของหม้อทอดมีท่อต่อไปยังระบบสูญญากาศ เป็นหอสูงติดตั้งบารอเมตริกคอนเดนเซอร์สร้างสภาพสูญญากาศได้ 700 มิลลิเมตรปรอท น้ำและความชื้นในผลปาล์มน้ำมันจะระเหยไปยังระบบสูญญากาศที่อุณหภูมิทอดประมาณ 90 องศาเซลเซียส ที่ระดับสูญญากาศ 600 มิลลิเมตรปรอท ระหว่างการทอดจะเงียบ ไม่มีกลิ่น ไม่มีควัน ไม่มีอันตรายจากการระเบิดเพราะเป็นระบบสูญญากาศจึงปลอดภัย ผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้วมีลักษณะกรอบและนิ่มสม่ำเสมอกันทั้งหม้อ เมื่อนำไปสกัดน้ำมันไม่ต้องปรับเครื่องหีบบ่อย การทอดภายในสภาพสูญญากาศทำให้น้ำมันมีสีสวย ไม่คล้ำ เนื่องจากอุณหภูมิทอดไม่ถึง 100 องศาเซลเซียส และไม่มีออกซิเจนทำปฏิกิริยากับน้ำมันระหว่างทอด (สัณห์ชัย กลิ่นพิกุล, WWW, 2549)

การอบแห้ง โดยการนำผลปาล์มน้ำมันบรรจุลงในกะบะซีเมนต์ที่ปูด้วยตะแกรงเหล็กด้านล่างมีช่องให้ลมร้อนไหลขึ้นผ่านตะแกรงเหล็กได้ ลมร้อนที่ใช้มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น ไม้ยางพาราหรือน้ำมันเตา การอบแห้งเช่นนี้ ช่วงแรกไอน้ำจะกลั่นตัวที่ชั้นบนของกองปาล์มน้ำมันที่อุณหภูมิยังต่ำอยู่ ทำให้ไม่อาจยับยั้งปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ได้ นอกจากนั้นยังพบว่าผลปาล์มน้ำมัน

ที่แห้งเกินไปจะแข็งและทำให้สกูหีบสึกหรอได้ง่าย ผลปาล์มน้ำมันชั้นบนที่แห้งไม่สนิทจะมีน้ำปนทำให้ได้น้ำมันปาล์มด้อยคุณภาพ ซึ่งกรรมวิธีการอบแบบนี้ ไม่มีแรงดูดของอากาศจากด้านบนกองปาล์มน้ำมันทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากในระยะแรกที่กองปาล์มน้ำมันยังเย็นอยู่อีกทั้งแรงต้านทานของกองปาล์มน้ำมันทำให้ต้องใช้เครื่องอัดลมร้อนเข้าใต้กะบะอบแห้ง การใช้ลมร้อนโดยการอัดนี้ทำให้อากาศร้อนมีโอกาศรั่วไหลออกจากระบบได้ง่าย ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานและเพิ่มต้นทุน (บัญญัติ นิยมวาส, 2543)

จากกระบวนการที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้ทดแทนการนึ่งปาล์มน้ำมันด้วยไอน้ำทั้งสองวิธีเหมาะสมกับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าเป็นวิธีที่ค่อนข้างซับซ้อนและต้องมีระบบให้ความร้อนไม่ว่าจะเป็นน้ำมันเตาหรือเชื้อเพลิงอื่น ๆ ซึ่งเป็นระบบเผาไหม้ที่ต้องมีการควบคุมเช่นเดียวกันกับระบบนึ่งด้วยไอน้ำ ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนารูปแบบการนึ่งปาล์มน้ำมันแบบใหม่โดยการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟมาใช้ในการนึ่งปาล์มน้ำมัน ซึ่งเตาอบไมโครเวฟมีหลักการทำงาน คือ เตาอบไมโครเวฟจะให้ความร้อนกับวัสดุโดยแผ่คลื่นไมโครเวฟช่วงความถี่ 2450 MHz ผ่านเข้าไปในวัสดุ โมเลกุลของน้ำหรืออื่น ๆ ที่มีขั้ว จะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไปและเกิดเป็นความร้อนขึ้น น้ำจึงระเหยเป็นไอ หากไม่ระบายออกจากวัสดุ วัสดุจะถูกนึ่งหรือต้มด้วยน้ำภายในชิ้นวัสดุเอง มีความเป็นไปสูงในการนำมาใช้กับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดเล็ก

อย่างไรก็ดี การใช้เตาอบไมโครเวฟในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันยังมีข้อจำกัดหลายอย่างที่ต้องทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน เช่น อัตราการนึ่ง ระยะเวลาการนึ่ง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการประยุกต์เตาอบไมโครเวฟ มาใช้ในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน

1.2.2 เพื่อพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

1.2.3 เพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่ใช้ในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน

1.2.4 เพื่อศึกษาต้นทุนในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ในการศึกษานี้ใช้ผลปาล์มน้ำมันร่วงในกรณีศึกษา โดยที่ไม่สนใจ ขนาด สายพันธุ์ และพื้นที่ปลูก

1.3.2 ในการศึกษานี้จะทำการพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน โดยใช้แมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่น จำนวน 20 ตัว ความถี่ 2450 MHz การทำงานของแมกนีตรอนควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ มีระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอนด้วยเครื่องปรับอากาศและพัดลม มีระบบขับเคลื่อนชิ้นงานและกวนคลื่นด้วยสายพาน ควบคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์ ห้องอบมีขนาด ความกว้าง ความยาว และความสูง เท่ากับ 80, 200 และ 45 เซนติเมตร ตามลำดับ ทางเข้าและทางออกของวัตถุดิบมีขนาด ความกว้างและความสูง เท่ากับ 75 และ 43 เซนติเมตร หม้อแปลง (Transformer) ของแมกนีตรอนติดตั้งไว้ภายในห้องแยกส่วนจากแมกนีตรอน การพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานนี้เพื่อใช้ในการศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่จะนำไปสู่การพัฒนาเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานสำหรับใช้ในการนึ่งปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมกับเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันต่อไป

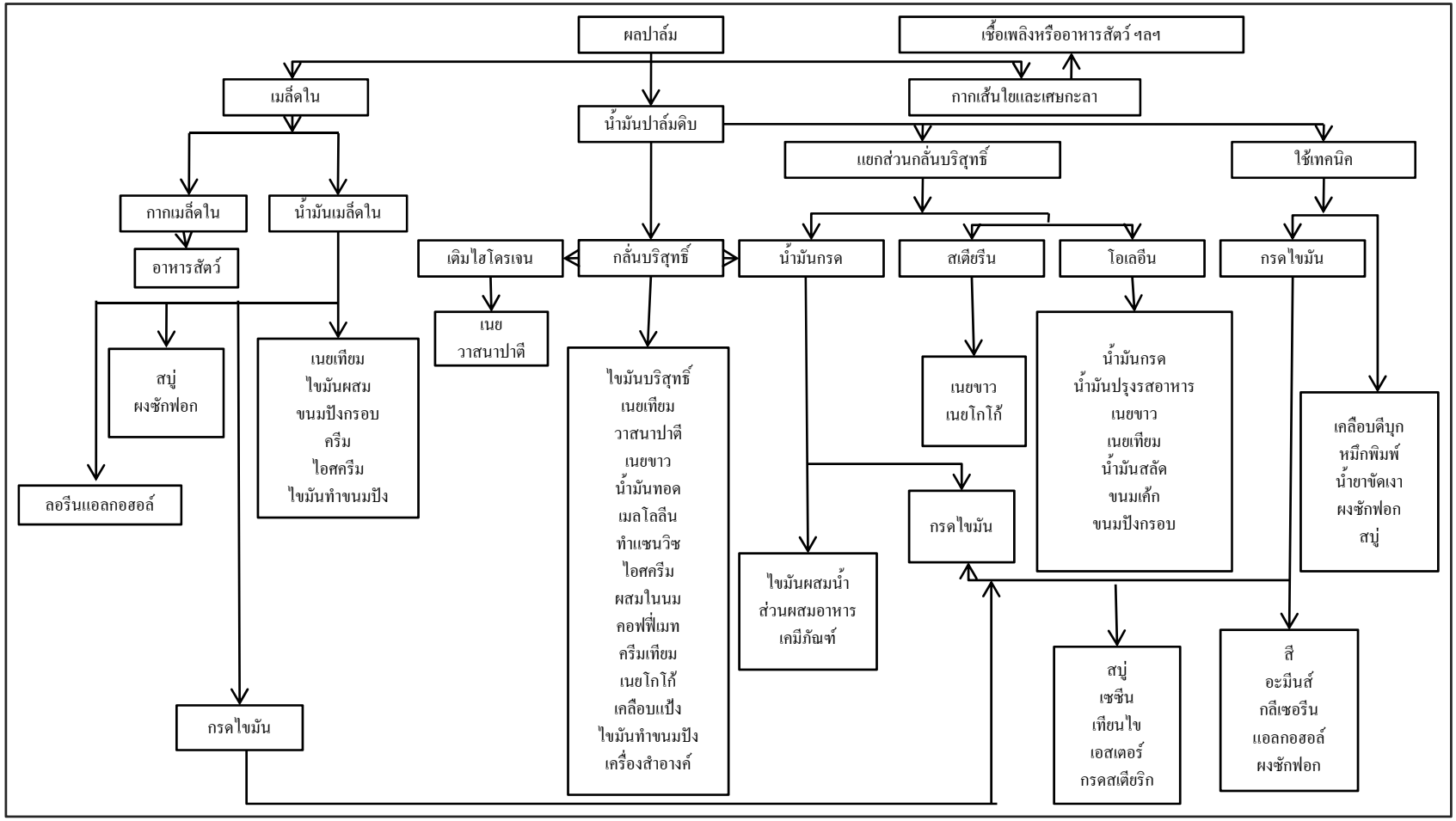
บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงปาล์มน้ำมันในรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับ ลักษณะทั่วไปของทะลายและผลปาล์มน้ำมัน การเกิดกรดไขมันอิสระ กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม รวมถึงรายละเอียดในส่วนของเตาอบไมโครเวฟ ที่อธิบายถึงหลักการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ หลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุ อันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ องค์ประกอบของเตาอบไมโครเวฟ ข้อดีของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2 ปาล์มน้ำมัน

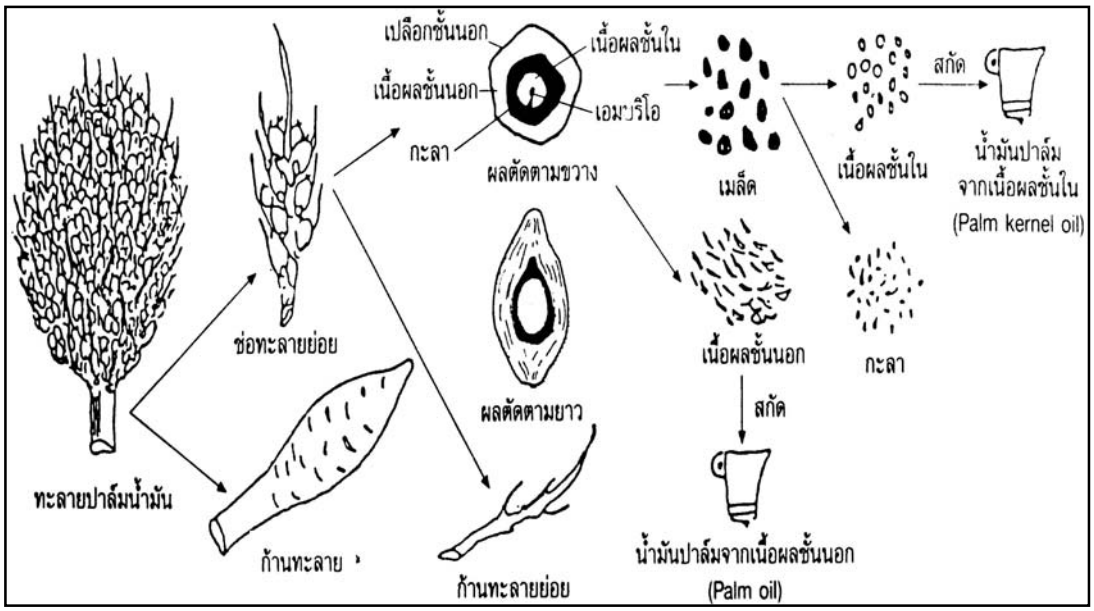
ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันสำหรับใช้ในการบริโภคและอุปโภคที่สำคัญ ให้ปริมาณน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงมากเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น มีแหล่งปลูกที่สำคัญอยู่ที่ทวีปแอฟริกา ทวีปอเมริกากลาง และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศไทยมีการปลูกปาล์มน้ำมันเชิงพาณิชย์เป็นครั้งแรก เมื่อ พ.ศ. 2511 (เครือข่ายสถานีวิทยุร่วมด้วยช่วยกัน, WWW, 2551) จากการศึกษาการใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมันพบว่าในภาคอุตสาหกรรมนำปาล์มน้ำมันไปใช้กันหลากหลาย สามารถสรุปเป็นภาพรวมของการนำไปใช้งาน ดังแสดงใน รูปที่ 2.1 นอกจากนี้ยังมีการนำน้ำมันปาล์มดิบมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปและได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลอย่างจริงจัง โดยในส่วนของปาล์มน้ำมันที่นำมาใช้ผลิตเป็นน้ำมันปาล์มดิบ คือ ผล ซึ่งจะสกัดน้ำมันได้จาก 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจากเปลือกผลชั้นนอกและเนื้อผลชั้นนอก เรียกว่าน้ำมันปาล์ม (Palm oil) และส่วนที่สองจากเนื้อผลชั้นในและเอมบริโอ เรียกว่าน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm kernel oil) น้ำมันทั้ง 2 ชนิด มีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน น้ำมันปาล์มนิยมนำมาใช้บริโภค ส่วนน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีองค์ประกอบและคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าว นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอุปโภค (นคร สาระคุณ, 2545) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 การใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมัน (ที่มา: ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, 2546)

2.2.1 ลักษณะทั่วไปของทะลายปาล์มน้ำมัน

ทะลายปาล์มน้ำมัน คือ ช่อดอกตัวเมียที่ได้รับการผสมแล้ว ประกอบด้วยก้านทะลาย ช่อทะลายย่อย และผล ในแต่ละทะลายจะมีปริมาณผล 55.0 – 65.0% โดยน้ำหนัก โดยทั่วไปปาล์มน้ำมันสามารถผลิตทะลายได้ไม่ต่ำกว่า 12 ทะลายต่อต้นต่อปี แต่ละทะลายมีน้ำหนัก 10 - 25 กิโลกรัม น้ำหนักของทะลายปาล์มน้ำมันจะแปรผันตามอายุและแปรผกผันกับจำนวนทะลายต่อต้น คือ ปาล์มน้ำมันที่มีอายุน้อยจะมีจำนวนทะลายต่อต้นมากแต่ทะลายมีขนาดเล็กและเมื่อปาล์มมีอายุมากจะมีจำนวนทะลายต่อต้นน้อยแต่ขนาดทะลายจะใหญ่ ดังแสดงใน รูปที่ 2.2

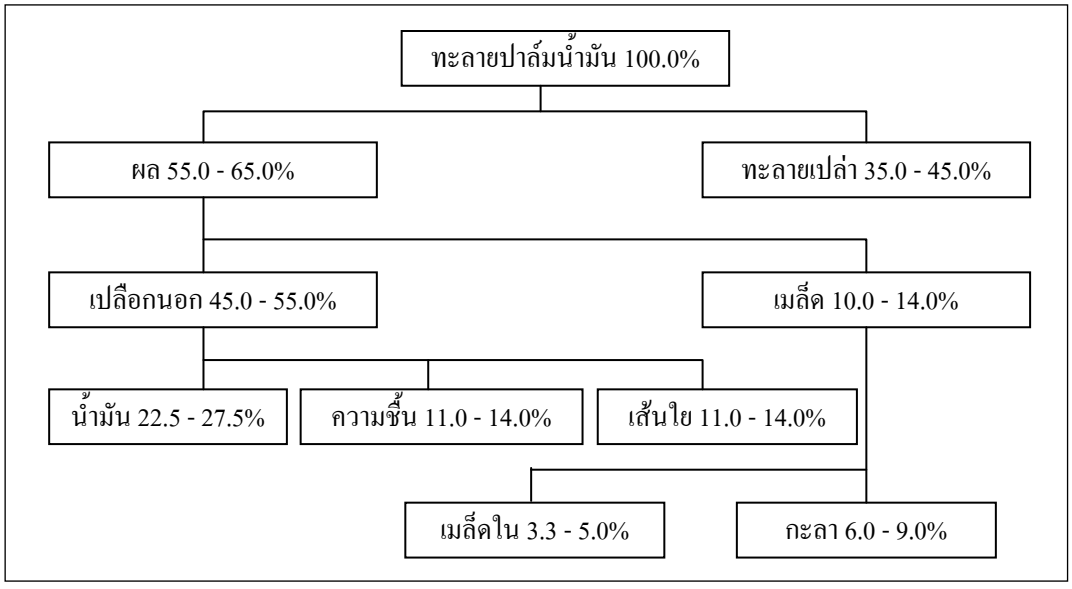


รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของทะลายปาล์มน้ำมัน (ที่มา: นคร สาระคุณ, 2545)

2.2.2 ผลปาล์มน้ำมัน

ผลปาล์มน้ำมันประกอบด้วยเปลือกผลชั้นนอก เนื้อผลชั้นนอก กะลา เนื้อผลชั้นใน และเอมบริโอ ดังแสดงใน รูปที่ 2.2 หากนำมาพิจารณาแยกส่วนประกอบโดยนำทะลายปาล์มน้ำมัน (พันธุ์เทเนอรา) 100.0% มาแยกผลออกจะได้ผลปาล์มประมาณ 55.0 - 65.0% ที่เหลือ 35.0 - 45.0% เป็นทะลายเปล่าแล้วทำการย่อยผลปาล์มน้ำมันได้เปลือกนอก 45.0 - 55.0% และเมล็ด 10.0 - 14.0% ในส่วนของเปลือกนอกมีน้ำมัน 22.5 - 27.5% ความชื้น 11.0 - 14.0% และเส้นใย 11.0 - 14.0% ส่วนเมล็ดนำไปกะเทาะกะลาออกและนำเนื้อเมล็ดในไปสกัดน้ำมัน ได้กะลา 6.0 - 9.0% และเมล็ดในปาล์ม 3.3 - 5.0% (อิบรอเฮม ยีดำ,WWW, 2551) ดังแสดงใน รูปที่ 2.3 ผลปาล์มน้ำมันสุกมีสีแดง

ซึ่งเป็นรงควัตถุจำพวกแคโรทีนอยด์ ทำให้น้ำมันปาล์มที่สกัดได้มีสีแดงส้ม เนื่องจากแคโรทีนอยด์ผสมกับน้ำมันออกมาด้วย ผลที่สุกแล้วหลุดร่วงจากทะลายปาล์มน้ำมันได้ง่าย การเก็บเกี่ยวจะเก็บเกี่ยวในระยะที่ผลปาล์มน้ำมันเริ่มร่วง ซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำมันสะสมอยู่ในผลปาล์มน้ำมันสูงที่สุดหลังจากนั้นหากยังไม่ทำการเก็บเกี่ยว น้ำมันในชั้นเปลือกจะมีการสังเคราะห์เพิ่มขึ้นอีกไม่มาก เมื่อผลหลุดจากทะลายหรือเมื่อทะลายถูกตัดออกจากต้นการสร้างน้ำมันจะหยุดลง ในส่วนของผลปาล์มน้ำมันที่หลุดจากทะลายเรียกว่า ผลปาล์มน้ำมันร่วง ซึ่งจะร่วงอยู่บนพื้นดินรอบบริเวณโคนต้นปาล์มน้ำมัน ทะลายปาล์มน้ำมันที่มีจำนวนผลร่วงสูงจะให้อัตราการสกัดน้ำมันสูงแต่ปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าสูงเช่นเดียวกัน (นคร สาระคุณ, 2545)



รูปที่ 2.3 สัดส่วนของส่วนประกอบของทะลายปาล์มน้ำมัน (พันธุ์เทเนอรา)

ในส่วนของการรับซื้อปาล์มน้ำมันของโรงงานจะรับซื้อทั้งทะลาย (โรงงานบางแห่งมีการรับซื้อผลปาล์มน้ำมันร่วงแยก) โดยมีมาตราฐานการเก็บเกี่ยว ดังแสดงใน ตารางที่ 2.1 ที่เกษตรกรต้องพึงปฏิบัติ สิ่งสำคัญของการส่งปาล์มน้ำมัน คือ ต้องรีบส่งให้เร็วที่สุดภายหลังการเก็บเกี่ยวลงจากต้นเพราะจะเกิดกระบวนการที่เอ็นไซม์ทำให้น้ำมันปาล์มมีปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นกรดที่ทำให้น้ำมันปาล์มดิบมีคุณภาพต่ำ การส่งปาล์มน้ำมันเข้าโรงงานจะส่งทะลายผสมกับผลร่วงที่เก็บมารวมกันในรถบรรทุกแล้วส่งเข้าโรงงาน เมื่อปาล์มน้ำมันถูกส่งถึงโรงงาน จะทำการชั่งน้ำหนักเป็นอันดับแรก ราคาจะถูกกำหนดตามกลไกลตลาดในวันนั้น การรับซื้อจะซื้อตามขนาดของทะลายที่ขึ้นอยู่กับอายุของต้นปาล์มน้ำมัน โดยเฉลี่ยแล้วต้นใหญ่

ทะลายปาล์มน้ำมันจะใหญ่และน้ำมันมากกว่าต้นเล็ก ดังนั้นการตั้งราคาปาล์มน้ำมันโดยทั่วไป ทะลายใหญ่ได้ราคาสูงกว่าทะลายขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังอาจมีการกำหนดราคาหน้าโรงงานที่แปรปรวนตามคุณภาพของทะลาย ดังแสดงใน ตารางที่ 2.2 ความสุกแก่ของผลปาล์มน้ำมัน รวมทั้งการเก็บเกี่ยวและการขนส่งเข้าโรงงาน การซื้อขายในราคาต่าง ๆ ยังอาจขึ้นอยู่กับสวนที่นำส่งด้วย โดยที่โรงงานจะมีข้อมูลเก่าของสวนที่ส่งเป็นประจำ ปาล์มน้ำมันทั้งทะลายและผลร่วงจะถูกเทรวมลงในตู้ที่มีรางเลื่อนเข้าสู่ขั้นตอนตามลำดับของโรงงานต่อไป (พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2549)

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน

ลักษณะทะลายปาล์มน้ำมัน	**สภาพแวดล้อมของการพัฒนาทะลายปาล์มน้ำมัน**	
	สภาพปกติทั่วไป	**สภาพฤดูฝน**
1.ทะลายยังไม่สุก	เปลือกแข็งและดำ ไม่มีผลร่วง	เปลือกแข็งและดำ ไม่มีผลร่วง
2.ทะลายที่ใกล้สุก	เปลือกสีส้มปนดำ ผลร่วงน้อยกว่า 10 ผล	เปลือกสีส้มปนดำ ผลร่วงน้อยกว่า 10 ผล
3.ทะลายที่สุกพอดี	เปลือกสีส้มสด ผลร่วง 10 ผล	เปลือกสีส้มเข้ม ผลร่วงมากกว่า 10 ผล
4.ทะลายที่สุกมากเกินไป	เปลือกสีส้มสด ผลร่วงมากกว่า 50 ผล	เปลือกสีส้มสด ผลร่วงมากกว่า 50 ผล
5.ทะลายเน่า	ผลร่วง 1 ใน 3 ของทะลาย	ผลร่วง 1 ใน 3 ของทะลาย
6.ทะลายเปล่า	ไม่มีผลในทะลาย	ไม่มีผลในทะลาย

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพทะลายปาล์มน้ำมัน

ลักษณะทะลายปาล์มน้ำมัน	**คุณภาพทะลายปาล์มน้ำมัน**
1.ความสด	เป็นผลปาล์มที่ตัดแล้วส่งถึงโรงงานภายใน 24 ชั่วโมง
2.ความสุก	ลูกปาล์มชั้นนอกสุดของทะลายหลุดร่วงจากทะลาย
3.ความสมบูรณ์	ลูกปาล์มเต็มทะลายและเห็นได้ชัดว่าได้รับการดูแลรักษาอย่างดี
4.ความชอกช้ำ	ไม่มีทะลายที่ชอกช้ำและเสียหายอย่างรุนแรง
5.โรค	ไม่มีทะลายเป็นโรคใด ๆ หรือเน่าเสีย
6.ทะลายสัตว์กิน	ไม่มีทะลายสัตว์กินหรือทำความเสียหายแก่ผลปาล์ม
7.ความสกปรก	ไม่มีสิ่งสกปรกเจือปน เช่น ดิน หิน ทราย ไม้กาบหุ้มทะลาย เป็นต้น
8.ทะลายเปล่า	ไม่มีทะลายเจือปน
9.ก้านทะลาย	ความยาวไว้เก็บ 2 นิ้ว

2.2.3 การเกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมัน

กรดไขมันอิสระเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในน้ำมันปาล์มดิบ กรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและจากการปฏิบัติของชาวสวน การเกิดกรดไขมันอิสระนั้น

เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ไลเปส ซึ่งเป็นการเกิดขึ้นหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตทะลายปาล์มออกจากต้นหรือเกิดจากการที่ปาล์มน้ำมันถูกกระแทก ถูกทำให้เกิดแผลหรือรบกวนจากโรคและแมลง ซึ่งเป็นการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ชนิดที่มีอยู่ในผลปาล์มน้ำมัน ในทางปฏิบัตินั้นภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทลายปาล์มน้ำมันจะต้องรีบนำส่งโรงงานสกัดน้ำมันให้เร็วที่สุด ตามหลักแล้วควรส่งภายใน 24 ชั่วโมง หลังเก็บเกี่ยวจากต้น การเก็บเกี่ยวจะต้องลดการทำให้ผลปาล์มน้ำมันกระทบกระเทือนพยามไม่ทำให้ผลปาล์มน้ำมันเป็นแผลอันเกิดจากกระบวนการเก็บเกี่ยว จากการศึกษาพบว่าผลปาล์มน้ำมันที่ทำให้เกิดแผลจะเร่งการทำงานของเอนไซม์ ทำให้เกิดกรดไขมันจาก 1% เป็น 5% ภายในระยะเวลา 20 นาที กระบวนการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระนี้จะเกิดได้ดีอีกกรณีหนึ่ง คือ จะเกิดขึ้นรวดเร็วภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส โดยถ้าอุณหภูมิสูงการทำงานของเอนไซม์จะหยุดทันที เหตุนี้จึงต้องรีบนำผลผลิตปาล์มน้ำมันส่งโรงงานและนึ่งไอน้ำ ผลผลิตปาล์มน้ำมันหลังถูกเก็บเกี่ยวออกจากต้นแล้วถ้ายังไม่ส่งโรงงาน โดยเก็บไว้ในสภาพแวดล้อมปกติหรือการปล่อยให้ผลปาล์มสุกมากเกินไปบนต้นจะมีการเน่าที่เกิดจากเชื้อราชนิดต่าง ๆ เชื้อราจะเริ่มเข้าทำลายที่ส่วนของผิวและผลของปาล์มน้ำมัน การเข้าทำลายของเชื้อรานี้จะทำให้เกิดการเร่งหรือเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ไลเปส ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลน้ำมันปาล์ม อย่างไรก็ตามการเกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันก่อนเข้าส่งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มนี้ยังเกิดบนผลปาล์มน้ำมันตั้งแต่อยู่บนต้นและยังปรากฏว่าการเข้าทำลายของเชื้อแบคทีเรียและไส้เดือนฝอยก็เป็นสาเหตุของการเกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันด้วย โดยสรุปแล้วต้องมีการปฏิบัติที่ถูกต้องจึงทำให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันมีน้อย ได้แก่

- การทำให้เกิดแผลหรือผลกระทบกับผลปาล์มน้ำมันในกระบวนการเก็บเกี่ยวน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้
- การลดการกระแทกหรือเกิดแผลในการย้ายในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
- ลดระยะเวลาให้สั้นที่สุดระหว่างการเก็บเกี่ยวออกจากต้นจนถึงนึ่งไอน้ำในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม
- กระบวนการสกัดน้ำมันในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มควรมีวิธีการต่าง ๆ ที่ไม่ทำให้อุณหภูมิต่ำเนื่องจากเอนไซม์จะทำงานที่อุณภูมิต่ำ
- วัสดุที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันจะต้องไม่เป็นตัวที่ทำให้เกิดการทำงานของเอนไซม์ไลเปส

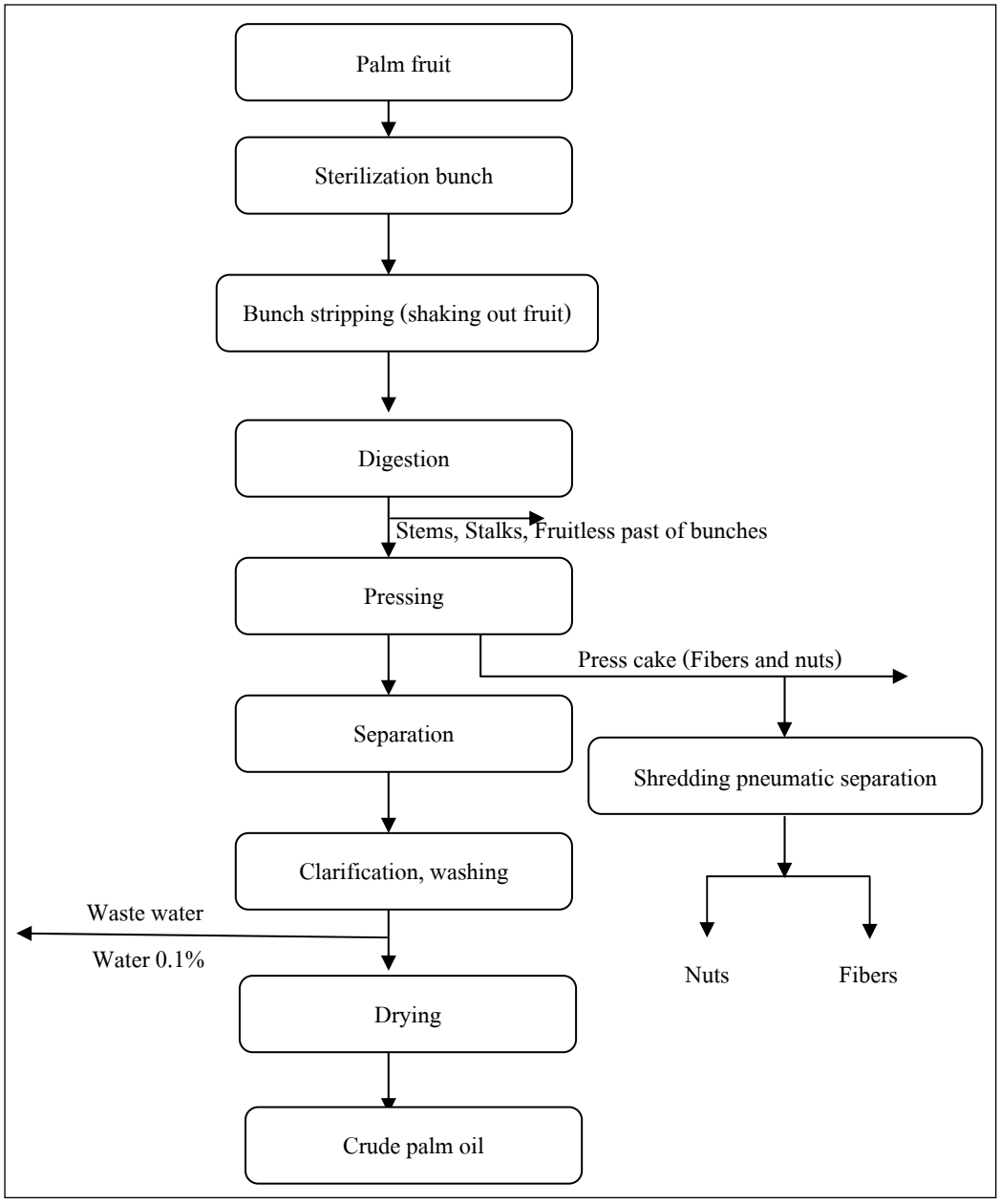
ดังนั้นหลังจากทะลายปาล์มตัดหรือแทงออกจากต้นปาล์มน้ำมันแล้วต้องรีบนำผลผลิตปาล์มน้ำมันส่งโรงงานและเข้าสู่กระบวนการสกัดหรือหีบน้ำมันออกมาใช้ประโยชน์ต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดดังหัวข้อถัดไป

2.3 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม (Mill processing)

หลังการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมัน จะมีการขนส่งผลผลิตเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งกระบวนการสกัดน้ำมันมี 2 แบบ คือ แบบมาตรฐาน (หีบน้ำมันแยก) และแบบหีบน้ำมันผสม โดยโรงงานแบบมาตรฐาน คือ โรงงานจะสกัดน้ำมันจากส่วนเปลือกระยะเดียวและส่งเนื้อในให้โรงงานอื่นสกัดน้ำมันต่อ โรงงานแบบมาตรฐานจะมีกำลังการผลิตสูงและน้ำมันที่ได้จัดเป็นน้ำมันเกรดเอเนื่องจากมีการแยกชนิดของน้ำมันปาล์ม สำหรับโรงงานแบบหีบน้ำมันผสม คือ การที่เกษตรกรนำทะลายปาล์มน้ำมันออกจากต้นแล้วนำมาบ่มและเฉาะผลปาล์มน้ำมันแยกออกจากทะลายแล้วส่งเฉพาะผลสู่โรงงานที่สกัดน้ำมันปาล์มและน้ำมันจากเนื้อในพร้อมกัน โรงงานแบบหีบน้ำมันผสมจะมีกำลังการผลิตต่ำและน้ำมันที่สกัดได้เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการสกัดน้ำมันแบบที่นิยมใช้โดยทั่วไปมาตรฐาน ดังแสดงใน รูปที่ 2.4 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 การนึ่งไอน้ำ (Sterilization bunch)

เป็นกระบวนการที่นำทะลายสดปาล์มน้ำมันเข้าไปอบด้วยความร้อนและความดัน ใช้อุณหภูมิประมาณ 130 - 135 องศาเซลเซียส ความดันไอน้ำ 2.5 - 3.0 บาร์ เวลา 50 - 70 นาที โดยวัตถุประสงค์สำคัญของกระบวนการนี้เพื่อยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ไลเปสและลดปริมาณกรดไขมันอิสระ การนึ่งไอน้ำปาล์มน้ำมันนี้หากใช้เวลานานเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันได้ โดยทั่วไปแล้วการอบความดันและความร้อนตามเวลาที่กำหนดมาตราฐานก็จะมีโอกาศสูญเสียน้ำมันประมาณ 3% ในขณะเดียวกันการอบความร้อนและความดันในระยะเวลาที่สั้นไปก็จะทำให้ผลปาล์มน้ำมันจำนวนหนึ่งไม่สามารถหลุดจากทะลายในขั้นตอนแยกผลปาล์มน้ำมันได้ (พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2549) ในด้านการใช้พลังงานกรณีที่โรงงานสามารถควบคุมประสิทธิภาพของการใช้ไอน้ำในการผลิตได้ดีจะมีอัตราการใช้ไอน้ำ (Specific steam consumption) ประมาณ 0.50 ตันไอน้ำต่อตันผลปาล์มสด สำหรับไอน้ำที่เหลือส่วนมากภายหลังจากการผลิตจะไม่ค่อยมีไอน้ำเหลือทิ้งเนื่องจากภายหลังการนึ่งปาล์มน้ำมันไอน้ำจะควบแน่นและกลายเป็นน้ำเสีย เข้าสู่การบำบัดต่อไป หม้อไอน้ำที่ใช้ในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะใช้กากใยปาล์มและกะลาปาล์มเป็นเชื้อเพลิง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551)



รูปที่ 2.4 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม (ที่มา: ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, WWW, 2551)

2.3.2 การแยกผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลายปาล์มน้ำมัน (Bunch stripping)

กระบวนการนี้จะนำทะลายปาล์มน้ำมันเข้าเครื่องนวด (Stripping) ซึ่งเครื่องจะทำหน้าที่แยกผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลายปาล์มน้ำมัน หมดขั้นตอนนี้ก็จะได้ผลปาล์มน้ำมันและทะลายเปล่าแยกจากกัน โดยสัดส่วนของผลปาล์มน้ำมันกับทะลายปาล์มน้ำมันเปล่ามีประมาณ 55.0 - 65.0% และ 35.0 - 45.0% ตามลำดับ

2.3.3 การย่อยผลปาล์มน้ำมัน (Digestion)

การย่อยผลปาล์มน้ำมัน (Digestion) ทำเพื่อย่อยเปลือกออกจากเมล็ดเมื่อเสร็จขั้นตอนนี้จะได้ส่วนของเปลือกประมาณ 44.0 - 55.0% และส่วนของเมล็ดประมาณ 10.0 - 14.0% กระบวนการย่อยผลปาล์มน้ำมันจะต้องใช้ความร้อนประมาณ 95 องศาเซลเซียส โดยต้องควบคุมอุณหภูมิอยู่ในระดับนี้ตลอดไม่ให้สูง เพราะจะทำให้น้ำเดือด การย่อยนี้จะต้องให้มีความสม่ำเสมอทั่วถึง (พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2549)

2.3.4 การหีบน้ำมันปาล์ม (Pressing)

เป็นกระบวนการต่อจากกระบวนการย่อยผลปาล์มน้ำมัน โดยที่จะเป็นเส้นทางของการทำน้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นน้ำมันที่สกัดจากชั้นเปลือกเท่านั้น เครื่องหีบน้ำมันมีหลายแบบ เช่น แบบเกลียวอัด แบบเครื่องปั่น และแบบอัดไฮดรอลิก การใช้เครื่องหีบแบบเกลียวอัด (Screw press) ใช้ความเร็ว 10 รอบต่อนาที เครื่องที่มีขนาดเล็กสามารถหีบน้ำมันปาล์ม 3 ตันต่อชั่วโมง ถ้าขนาดเครื่องใหญ่สามารถหีบน้ำมันปาล์ม 13 ตันต่อชั่วโมง ส่วนเครื่องปั่น (Centrifuge) ใช้ความเร็ว 950 - 1250 รอบต่อนาที กำลังการผลิต 1 - 2 ตันต่อชั่วโมง ใช้เวลาการปั่นประมาณ 10 นาที การหีบน้ำมันโดยเครื่องปั่นนี้มีข้อดี คือ ได้น้ำมันที่ไม่มีเศษกาก ส่วนเครื่องอัดสามารถผลิตได้ประมาณ 5 ตันผลสดปาล์มน้ำมันต่อชั่วโมง น้ำมันที่ได้จากการหีบด้วยเครื่องปั่น มีน้ำ 40.0 - 50.0% และมีสิ่งเจือปนเล็กน้อย ส่วนน้ำมันดิบที่ได้จากการอัด มีน้ำ 55.0% โดยที่น้ำมันดิบจากเครื่องอัดเกลียวมีน้ำ 60.0% และสิ่งเจือปนมาก การหีบน้ำมันปาล์มจะได้ผลผลิตออกมาเป็นน้ำมันปาล์มที่ยังคงมีสิ่งเจือปนและความชื้นอยู่จึงต้องผ่านขั้นตอนต่อไป (พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2549)

2.3.5 การกรองน้ำมัน (Separation)

กระบวนการกรองน้ำมันต่อจากน้ำมันดิบที่ได้จากการหีบเพื่อแยกกากออกจากน้ำมัน เครื่องกรองน้ำมันเป็นแบบมีแผ่นกรองหลายชั้น เมื่อเสร็จสิ้นการกรองจะได้น้ำมันที่สะอาดปราศจากกากโดยเครื่องจะแยกกากออกไป (พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2549)

2.3.6 การแยกน้ำและสิ่งเจือปน (Clarification, washing)

เป็นการใช้เครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง กระบวนการทำงานของเครื่อง คือ การแยกน้ำและส่งเจือปนออกจากน้ำมันดิบ น้ำมันดิบที่ได้จากการกรองจะยังมีน้ำและสิ่งเจือปนอยู่ (มีน้ำปนอยู่

ประมาณ 40 - 60%) การเหวี่ยงความเร็วสูงและความร้อนเข้าช่วยก็สามารถแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันดิบได้ อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 85 - 95 องศาเซลเซียส น้ำมันจะอยู่ส่วนบน ส่วนน้ำก็ถูกแยกออกมาตามท่อ (พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2549)

2.3.7 การสกัดความชื้น (Drying)

น้ำมันดิบที่เข้าเครื่องเหวี่ยงเรียบร้อยแล้วยังคงมีความชื้นอยู่จึงต้องสกัดความชื้นออกก่อนนำไปบรรจุในถังเพื่อส่งต่อไปยังโรงงานแปรรูปต่อไป น้ำมันดิบที่ได้จะต้องมีมาตราฐานความชื้นตามที่กำหนด เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสกัดความชื้นจะได้น้ำมันดิบ ซึ่งน้ำมันปาล์มที่ดีมีคุณภาพตามกำหนด คือ กรดไขมันอิสระไม่เกิน 5% ความชื้นไม่เกิน 0.5% และสิ่งเจือปนไม่เกิน 0.05% (พรชัย เหลืองอาภาพงศ์, 2549)

2.4 เตาอบไมโครเวฟ

เทคโนโลยีไมโครเวฟเป็นเทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เช่น งานด้านการสื่อสารคมนาคม ด้านอุตสาหกรรม และในครัวเรือน โดยในแต่ละด้านมีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น การสื่อสารคมนาคมจะใช้งานในส่วนของการส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟไปยังเครื่องรับในระบบต่าง ๆ ที่ความถี่ต่างกัน เช่น สัญญาณวิทยุ สัญญาณโทรทัศน์ สัญญาณโทรศัพท์ เป็นต้น ในด้านอุตสาหกรรมใช้ในระบบการผลิต จะใช้คลื่นไมโครเวฟในการผลิตความร้อนสำหรับกระบวนการผลิตต่าง ๆ เช่น การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร การอบแห้งเซรามิก การอบแห้งกระดาษ การอบแห้งพลาสติก ฯลฯ เป็นต้น เช่นเดียวกันกับงานในครัวเรือน คือ การผลิตความร้อน ใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบอาหารเหมือนเตาแก๊สและเตาไฟฟ้า

อย่างไรก็ดีการนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้ในการผลิตเป็นความร้อนสำหรับงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากราคาของเตาอบไมโครเวฟอุตสาหกรรม ซึ่งใช้แมกนีรอน (Magnetron) หรือแหล่งกำเนิดคลื่นที่มีกำลังวัตต์สูงและทนความร้อนสูงเพื่อจะสามารถทำงานได้ต่อเนื่องมีราคาสูงอยู่ในช่วง 50,000 - 100,000 บาทต่อกิโลวัตต์ และไม่มีจำหน่ายในประเทศไทยซึ่งแตกต่างกับเตาอบไมโครเวฟขนาดเล็กที่ใช้ในครัวเรือนที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย และยกระดับการผลิตเป็น Mass production ทำให้ราคาต่ำมากอยู่ในช่วง 1,500 - 2,500 บาทต่อกิโลวัตต์ ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าแมกนีตรอนที่ใช้กับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนสามารถนำมาพัฒนาให้ใช้ได้อย่างต่อเนื่องในงานอุตสาหกรรมได้

2.4.1 หลักการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ

หลักการของเทคโนโลยีนี้สามารถอธิบายเพื่อความเข้าใจอย่างง่าย คือ เครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟจะให้ความร้อนกับวัสดุโดยการแผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ

โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในวัสดุจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไป ซึ่งโมเลกุลของน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า คือ มีประจุบวกและประจุลบที่ตรงกันข้าม เมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปโมเลกุลเหล่านี้ก็จะถูกเหนี่ยวนำและหมุนขั้วเพื่อปรับเรียงตัวตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นเป็นสนามที่เปลี่ยนแปลงสลับไปมาจึงส่งผลให้โมเลกุลเหล่านี้หมุนกลับไปกลับมาทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้น น้ำจึงกลายเป็นไอน้ำออกจากวัสดุซึ่งเวลาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิดที่มีปัจจัยแตกต่างกัน เช่น ความชื้นในชิ้นวัสดุ ความหนาแน่นและองค์ประกอบอื่น ในการกลายเป็นไอน้ำนั้นจะลอยตัวสู่ด้านบนหากต้องการให้วัสดุแห้งจะต้องดูดไอน้ำนี้ออก แต่หากไม่ดูดออกวัสดุจะถูกนึ่งหรือต้มด้วยน้ำภายในชิ้นวัสดุเอง จึงทำให้เตาอบไมโครเวฟสามารถนำใช้งานในครัวเรือนได้อย่างแพร่หลาย

2.4.2 หลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุ

จากการศึกษาหลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุในที่นี้จะอ้างถึง "*พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ*" ของผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551) ที่อธิบายถึงกลไกลการเกิดความร้อน (Heating mechanism) ไว้ว่าในกระบวนการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้นจะต้องอาศัยกลไกลการเปลี่ยนแปลงพลังงาน 2 กลไกล คือ การเหนี่ยวนำเชิงไอออนและกลไกการหมุนทั้งสองขั้ว โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) กลไกชนิดการเหนี่ยวนำเชิงไอออน (Ionic conduction)

กลไกนี้เริ่มขึ้นเมื่อประจุไอออนซึ่งเกิดการแตกตัวในสารละลายถูกเร่งด้วยแรงของสนามไฟฟ้าที่กระทำ ตัวอย่างเช่น สารละลายเกลือในน้ำ ซึ่งในสารละลายจะประกอบไปด้วยไอออนของโซเดียม (Na^+) คลอไรด์ (Cl^-) ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+, H^+) และไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ซึ่งเคลื่อนที่โดยสนามไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกับประจุที่มีอยู่แต่ละไอออน จากการเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้ไอออนชนกับโมเลกุลของน้ำที่ยังไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออนอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พลังงานจลน์เพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้ไอออนเกิดความเร่งและส่งผลเป็นลูกโซ่ต่อการชนของโมเลกุลอื่นคล้ายกับการชนของลูกบิลเลียด เมื่อค่าประจุเปลี่ยนแปลงไอออนจึงมีความเร่งเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม โดยเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดด้วยอัตราความถี่สูงนับล้านครั้งต่อวินาที ทำให้มีการชนและถ่ายเทพลังงานเกิดขึ้นในระดับโมเลกุลอย่างมหาศาล ดังนั้นจึงมีขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน 2 ขั้นตอน คือ พลังงานของสนามไฟฟ้าถูกเปลี่ยนแปลงไปตามพลังงานจลน์ โดยการเหนี่ยวนำแบบบังคับทิศทาง (Ordered kinetic energy) ซึ่งถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นพลังงานจลน์ โดยการเหนี่ยวนำแบบไร้ทิศทาง (Disordered kinetic energy) ณ จุดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อนและพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นด้วยกลไกนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิหรือความถี่

2) กลไกการชนิดการหมุนของทั้งสองขั้ว (Dipolar rotation)

สำหรับโมเลกุลหลาย ๆ ชนิด เช่น โมเลกุลน้ำซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสองขั้ว (Dipole) โดยธรรมชาติ หมายถึง โมเลกุลมีสมบัติของการกระจายความจุที่ไม่สมมาตร เมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางส่วนโมเลกุลของสสารชนิดอื่นจะเกิดความไม่สมมาตรได้หากเกิดการเหนี่ยวนำโดยสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป ทั้งนี้เพราะสนามไฟฟ้าทำให้เกิดหน่วยแรงเค้นภายในโมเลกุล โดยขั้วทั้งสองได้รับอิทธิจากกลไกดังกล่าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงขั้วอย่างรวดเร็วตามสนามไฟฟ้าที่มากระทำ ตัวอย่างเช่น คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz สามารถทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของขั้วประจุถึง 4900 ล้านครั้งต่อหนึ่งรอบคลื่น แม้ว่าในตอนที่เริ่มประจุในโมเลกุลจะมีการกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบหรืออย่างสุ่มก็จะได้รับผลให้มีการจัดเรียงประจุตามทิศทางหรือขั้วของสนามไฟฟ้าที่มากระทำ อย่างไรก็ตามเมื่อสนามไฟฟ้าที่มากระทำมีค่าลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ทำให้ขั้วที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าดังกล่าวเปลี่ยนกลับมามีการกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบเช่นเดิม คือ การคลายสนาม (Pelaxes) เช่นกัน เมื่อสนามไฟฟ้ามากระทำในทิศทางตรงกันข้ามดังนั้นการสร้างหรือการจัดเรียง (Alignment) และการคลายสนามที่ความถี่หนึ่งจะเกิดขึ้นนับล้านครั้งในหนึ่งวินาที เป็นการแปลงพลังงานสนามไฟฟ้าเป็นศักย์เก็บไว้ในวัสดุแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์หรือพลังงานความร้อนนั้นเอง นอกจากนั้นขนาดของโมเลกุลที่ขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิในขณะที่มีการสร้างหรือการจัดเรียงและการคลายสนามไฟฟ้านั้นจะถูกนิยามเป็นความถี่ของการคลายสนาม โดยโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก เช่น น้ำและโมโนเมอร์จะมีค่าความถี่ของการคลายสนามมากกว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟและมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นเหตุให้การเปลี่ยนพลังงานไปเป็นความร้อนได้ช้าลง ในทางตรงกันข้ามกับโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เช่น โพลิเมอร์จะมีค่าความถี่ของการคลายสนามน้อยกว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟมีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นได้ในบางสภาวะซึ่งนั้นก็คือมีการแปลงพลังงานไปเป็นความร้อนได้สูงและนำไปสู่การเกิดปรากฏการณ์เทอร์มอลรันอะเวย์ (Thermal runaway) ในวัสดุได้ง่าย มีข้อสนับสนุนถึงความจริงอย่างหนึ่งที่ว่าของเหลว เช่น น้ำและโมโนเมอร์จะเป็นตัวดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้ดีกว่าโพลิเมอร์ เหตุนี้จึงสามารถนำไมโครเวฟไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการอบแห้งที่มีองค์ประกอบเป็นของเหลวและโมโนเมอร์ได้

2.4.3 อันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ

จากการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ ในที่นี้จะอ้างถึง “*พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ*” ของผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551) ซึ่งได้แบ่งประเภทของวัสดุที่มีอันตรกิริยากับคลื่นไมโครเวฟเป็น 4 ชนิด คือ

1) วัสดุตัวนำไฟฟ้า (Conductors)

วัสดุที่มีอิเล็กตรอนอิสระ (Free electrons) เช่น โลหะที่สามารถสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคล้ายกับแสงซึ่งสะท้อนเมื่อกระทบกับกระจก ปกติวัสดุเหล่านี้ถูกใช้ออกแบบเป็นบริเวณกักเก็บคลื่นเพื่อควบคุมทิศทางการแพร่กระจายของคลื่น เป็นผนังท่อนำคลื่น และคาวิตี้หรือแอพพลิเคเตอร์

2) วัสดุฉนวนไฟฟ้า (Insulators)

วัสดุประเภทไม่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า เช่น เซรามิกและอากาศ โดยฉนวนนี้จะสามารถสะท้อนและดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ไปจนถึงส่งผ่านคลื่นได้ โดยปกติจะถูกใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มหรือบรรจุวัสดุที่ต้องการทำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ฐานรองรับจาน และวัสดุอื่นๆ

3) วัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric)

วัสดุที่สามารถดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแปลงเป็นพลังงานความร้อนได้ เช่น น้ำ น้ำมัน ไม้ และอาหารที่มีความชื้น เป็นต้น

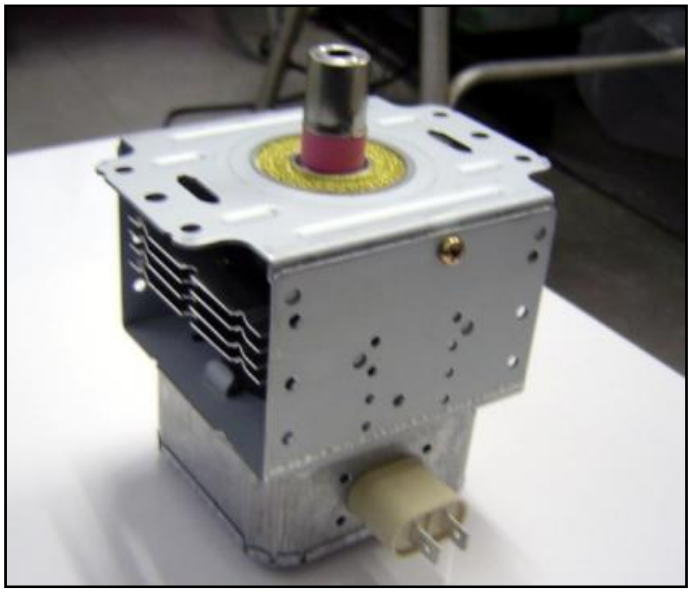
4) วัสดุที่มีองค์ประกอบของแม่เหล็ก (Magnetic compounds)

วัสดุประเภทนี้ เช่น แร่เหล็ก จะมีอันตรกิริยากับองค์ประกอบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ สนามแม่เหล็กแปลงสภาพจนเกิดเป็นความร้อนอย่างรวดเร็ว

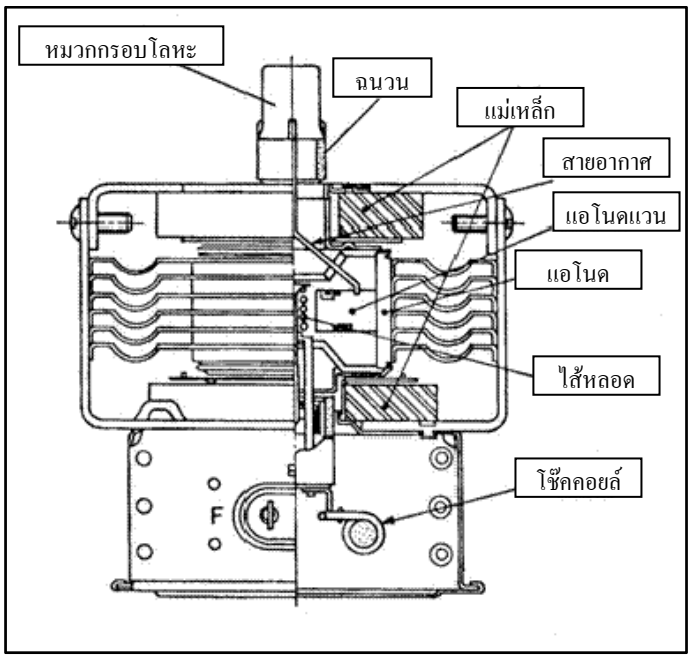
2.4.4 องค์ประกอบของเตาอบไมโครเวฟ

1) แหล่งกำเนิดคลื่น

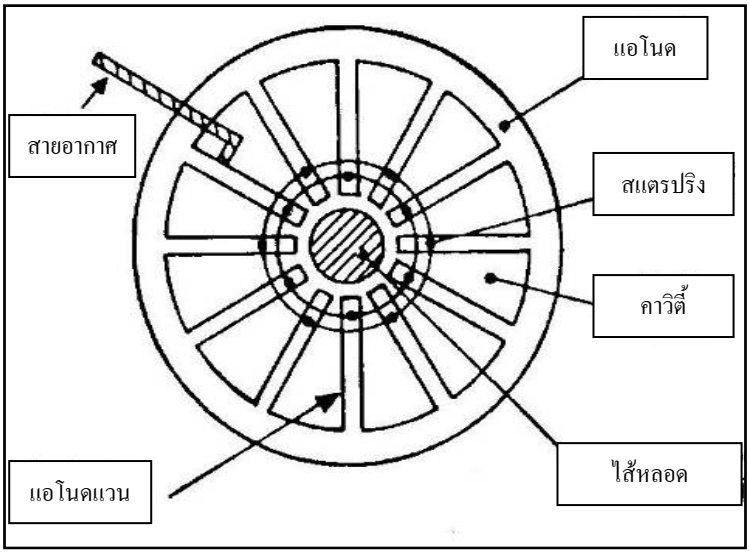
แมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่น ความถี่ 2450 MHz ลักษณะภายนอกของแมกนีตรอน ดังแสดงใน รูปที่ 2.5 ส่วนโครงสร้างภายในของแมกนีตรอนประกอบไปด้วย แอโนด (Anode) สายอากาศ (Antenna) ไส้หลอด (Filament or Heater) ซึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทด (Cathode) และอื่น ๆ ดังแสดงใน รูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 แมกนีตรอน (ที่มา: เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2551)



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบภายในของแมกนีตรอน (ที่มา: เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2551)



รูปที่ 2.7 ขั้วแอโนดของแมกนีตรอน (ที่มา: เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2551)

รูปที่ 2.7 แสดงขั้วแอโนด ซึ่งทำเป็นครีบโลหะต่อกับวงแอโนดด้านนอก พุ่งเข้าไปหาแคโทดภายในตรงกลาง ซึ่งครีบนี้เรียกว่าแอโนดเวน (Anode vane) ปกติมักจะมีจำนวนครีบเป็นเลขคู่ โดยมีช่องว่างระหว่างครีบเรียกว่า เคาวิตี้ (Cavity) ภายในหลอดแมกนีตรอนนี้เป็นสูญญากาศ ตัวสายอากาศถูกต่ออยู่ที่ครีบและออกสู่ภายนอกโดยผ่านยอดกลม (Dome) ซึ่งทำเป็นฉนวนกันสายอากาศช๊อตกับขั้วแอโน ฉนวนนี้มักทำด้วยเซรามิค ต่อจากปลายของสายอากาศเหนือฉนวนขึ้นไปจะทำเป็นหมวกทรงกระบอกกลม (Cap) มาครอบอีกครั้งหนึ่ง

2) วงจรสร้างความดันไฟฟ้าสูง

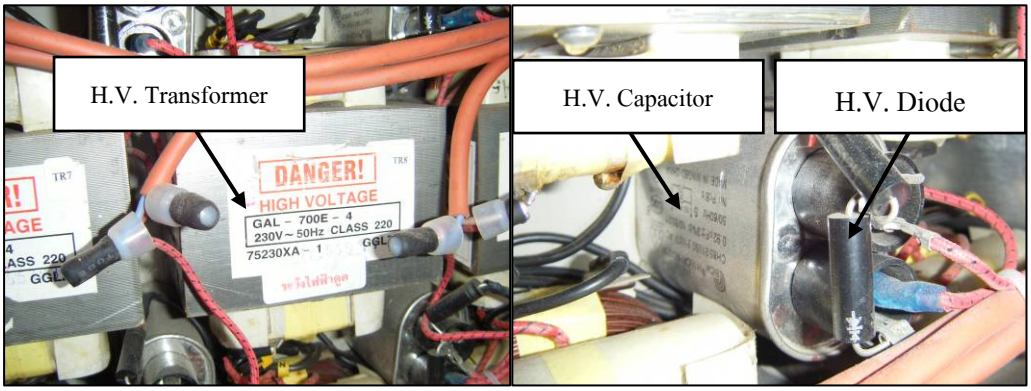
ชุดวงจรสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงประกอบด้วย High Voltage Transformer High Voltage Diode และ High Voltage Capacitor เพื่อสร้างความต่างศักย์ของแรงดันระหว่างขั้วแอโนดและแคโทด ลักษณะของอุปกรณ์วงจรสร้างความดันไฟฟ้าสูง ดังแสดงใน รูปที่ 2.8

3) ท่อนำคลื่น (Wave guide)

โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นท่อกลมหรือท่อเหลี่ยม ทำมาจากทองแดงหรืออะลูมิเนียม ทำหน้าที่นำคลื่นจากแมกนีตรอนไปสู่ห้องอบ

4) ห้องอบ (Cavity)

ห้องอบประกอบด้วยทางเข้าออกของวัสดุ ช่องระบายความชื้น ทางออกของคลื่น และอุปกรณ์กวนคลื่นสำหรับสร้างความสม่ำเสมอของการกระจายคลื่น โดยห้องอบจะถูกออกแบบให้ป้องกันการรั่วไหลของคลื่นสู่ภายนอก(ไม่เกิน 10 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)



รูปที่ 2.8 อุปกรณ์สร้างแรงดันไฟฟ้าสูง

5) ระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอน

การทำงานของแมกนีตรอนจะมีความร้อนเกิดขึ้นบริเวณโดยรอบ ต้องมีการระบายความร้อนออกโดยทั่วไปใช้พัดลมเป่าผ่านแมกนีตรอนสำหรับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน สำหรับในเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในอุตสาหกรรมระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอนจะขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ เช่น การใช้น้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น

6) ระบบควบคุม

เตาอบไมโครเวฟมีระบบควบคุมการทำงานของส่วนประกอบของเครื่อง เช่น การทำงานของแมกนีตรอน การทำงานของพัดลม และอุปกรณ์อื่น ๆ ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ

2.4.5 ข้อดีของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ

การใช้เตาอบไมโครเวฟในการนึ่งจัดได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง รวดเร็ว ไม่มีของเสียออกจากกระบวนการที่ใช้เทคโนโลยีนี้ หลักการของเทคโนโลยีนี้สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย รวมถึงใช้งานได้สะดวก จึงทำให้เตาอบไมโครเวฟสามารถนำใช้งานในครัวเรือนได้อย่างแพร่หลาย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาพบว่าที่ผ่านมามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเตาอบไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้เพื่อลดการเกิดกรดไขมันอิสระ ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์ไลเปสในวัสดุต่าง ๆ และนึ่งปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีรายละเอียดสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

จากการศึกษาของ Chow MC and Ma AN (2007) พบว่าเตาอบไมโครเวฟสามารถทำให้ผลปาล์มน้ำมันอ่อนนุ่มและหยุดปฏิกิริยา Lypolysis ส่วนน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในที่สกัด

ออกมามีคุณภาพดี กรดไขมันอิสระน้อย ซึ่งเทคโนโลยีนี้อาจจะมีความเป็นไปได้ในกระบวนการแบบต่อเนื่องและเทคโนโลยีนี้เป็นเทคโนโลยีที่สะอาด

จันทร์สม แก้วอุดร (2546) อ้างถึงใน ปราการ กาญจนวดี และ ธีระพงศ์ จันทรนิยม (2544) ที่ได้ศึกษาการใช้ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 850 วัตต์ เพื่ออบผลปาล์มน้ำมัน โดยใช้เวลาในการอบ 14 นาที พบว่าผลปาล์มน้ำมันเหลือความชื้นเพียง 4.07% (จากเริ่ม 47.07%) ปัจจุบันการยับยั้งเอนไซม์ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มที่ได้มาตรฐานใช้วิธีนึ่งด้วยไอน้ำสำหรับแนวทางการใช้เตาอบไมโครเวฟอาจใช้ทดแทนการใช้ฟืนย่างผลปาล์มน้ำมันที่ใช้ผลิตน้ำมันปาล์มชนิดคุณภาพรองลงมา

Jiaxun,T., R.Roa and J.Liuzzo (1993) ได้อบรำข้าวด้วยเตาอบไมโครเวฟความถี่ 2450 MHz โดยใช้เวลาอบ 3 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ หลังจากนั้นนำรำข้าวไปวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระพบว่ามีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจาก 4.00% เป็น 4.90% ในรำข้าวที่ได้จากข้าวที่ผ่านการอบ ส่วนรำข้าวที่ไม่ผ่านการอบมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 68.30%

จันทร์สม แก้วอุดร (2546) อ้างถึงใน Ramezadeh, F.M., R.M.Rao, W.Prinyawiwa tkul, M.Windhuaser, R.T. Tulley and W.E.Marshall (1999) ได้ศึกษาการป้องกันการเกิดการหืนของรำข้าวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสและออกซิเดชัน โดยการอบรำข้าวด้วยไมโครเวฟที่มีกำลังไฟฟ้า 850 วัตต์ โดยปรับรำข้าวให้มีความชื้น 21.00% นำไปอบ 3 นาที ที่ระดับกำลังไฟฟ้าสูงสุด แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและนำรำข้าวบรรจุแบบสุญญากาศ (Vacuum pack, VP) เปรียบเทียบกับการบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน (PE) จากนั้นเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) และในตู้เย็น (4 - 5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 16 สัปดาห์ ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสทุก 4 สัปดาห์โดยการหาปริมาณกรดไขมันอิสระพบว่ารำข้าวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจาก 2.75% เป็น 11.62 และ 10.93% ในรำข้าวที่บรรจุในถุง PE และ VP สำหรับรำข้าวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิตู้เย็นกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นน้อยกว่า คือ เพิ่มจาก 2.75% เป็น 3.74 และ 3.85%ในรำข้าวที่บรรจุ VP และ PE ตามลำดับ

จันทร์สม แก้วอุดร (2546) ได้รายงานถึงการทำให้รำข้าวมีความคงตัวด้วยเตาอบไมโครเวฟ โดยใช้รำข้าวขาวดอกมะลิ 105 มาหาระดับการปรับความชื้นและระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ 850 วัตต์ แล้วบรรจุในถุงกระสอบ ถุงโพลีเอทิลีน และถุงอะลูมิเนียมฟอล์ยลามีเนตที่ปิดแบบสุญญากาศ เก็บรักษารำข้าวไว้ที่อุณหภูมิห้อง และ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 สัปดาห์ ทดสอบการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระพบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ เมื่ออบรำข้าว 150 กรัม ปรับให้มีความชื้น 21.00% แล้วอบ 5 นาที รำข้าวหลังอบมีความชื้น 4.80% รำข้าวที่ผ่านการอบและบรรจุในถุงกระสอบเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และ 15 องศาเซลเซียส มีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นสูงที่สุด

โดยเพิ่มจาก 3.20% เป็น 17.4 และ 12.1% ตามลำดับ ส่วนรำข้าวที่บรรจุแบบสุญญากาศนั้นมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นน้อยมาก

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นยังมีงานวิจัยที่นำเตาอบไมโครเวฟมาใช้ในงานอื่น ๆ ในงานด้านการอบแห้ง ทั้งการใช้เตาอบไมโครเวฟเพียงอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับระบบอื่น ๆ เช่น ระบบลมร้อนและระบบสูญญากาศ ได้แก่

เหมการ์ จินดาวัฒนภูมิ (2545) ได้ศึกษาผลของความดัน (21, 35 และ 48 กิโลปาสคาล) ปริมาณพริกไทย (200, 400 และ 800 กรัม) และความเร็วรอบในการหมุนโรตารี ดรัม (7, 13, 18 และ 22 รอบต่อนาที) ที่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและอุณหภูมิขณะทำแห้งพริกไทยด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟกับพริกไทยพบว่าช่วงที่ทำการศึกษาทั้ง 3 ปัจจัย ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ปริมาณความชื้น และอัตราการทำแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อัตราการทำแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อลดความดันลงและความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟเพิ่มขึ้น (ปริมาณพริกไทยลดลง)

มยุรี ปฏิมาพรเทพ (2546) ได้อธิบายถึงกระบวนการอบแห้งว่าเป็นกระบวนการกำจัดน้ำในผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมเกษตร ที่ใช้แปรรูปหรือควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยวิธีการที่ใช้ในการอบแห้งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่น่าสนใจ คือ วิธีการอบแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟ เนื่องจากการอบแห้งด้วยวิธีนี้จะมีการแพร่กระจายของคลื่นไมโครเวฟไปทั่วทุกทิศทาง ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงมีสีสันสวยงาม

Tomas Funebo and Thomas Ohlsson (1998) ได้ทำการใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับระบบลมร้อนในการลดความชื้นของแอปเปิ้ลและเห็ดหอม ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพในด้านสีที่ดีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สดและสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ 50 และ 75% สำหรับการอบแห้งแอปเปิ้ลและการอบแห้งเห็ดหอม ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว

Sharma G.P. and Suresh Prasad (2001) ได้ทำการอบแห้งกระเทียมโดยใช้การอบแห้งด้วยลมร้อนเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ โดยใช้พลังงานไมโครเวฟขนาด 40 วัตต์ ต่อเนื่องพบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสามารถลดเวลาในการอบแห้งลงได้ 80 - 90% เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียวและให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งที่ดีกว่า

เทวรัตน์ ทิพยวิมล (2551) ได้ศึกษาการนำพลังงานไมโครเวฟมาใช้ร่วมกับการอบแห้งเพื่อทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน ให้สามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งและลดระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ในเบื้องต้นได้ทำการหาแนวทางในการเสริมพลังงานไมโครเวฟเข้ากับระบบการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยดัดแปลงตู้อบไมโครเวฟเป็นตู้อบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแล้วทำการ

ทดลองอบแห้งพริกและไพลพบว่าการอบแห้งเป็นช่วงใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด มีอัตราการอบแห้งและประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงสุดโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ จากนั้นได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟขึ้น โดยมีชุดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟหรือแมกนีตรอนขนาด 700 วัตต์ จำนวน 3 ชุด แล้วทดสอบประสิทธิภาพการอบแห้งเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียวโดยใช้พริกและไพล ซึ่งผลจากการทดสอบอบแห้งพริกพบว่าการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้ 25% และลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลงได้ 21.91 % สำหรับผลการอบแห้งไพลพบว่าการเพิ่มพลังงานไมโครเวฟในระบบการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้ 20% และลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลงได้ 15.64% นอกจากนี้สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งยังสดกว่าสีของผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดและสารประกอบทางเคมีในไพลไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับไพลสด

I.Albas Ozkan, B.Akbudak and N.Akbudak (2005) ได้ทำการใช้เตาอบไมโครเวฟอบแห้งผักขม พบว่าผักขมที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟมีคุณภาพดีและใช้พลังงานในการอบน้อย

Y.Soysal (2004) ได้ทำการใช้เตาอบไมโครเวฟอบแห้งผักชีฝรั่ง แล้วพบว่าสีของผักชีฝรั่งแห้งยังคงสีเขียวเหมือนขณะที่ยังสดและสามารถลดเวลาการทำแห้งลง 64%

จันทรา ดิษฐนา (2549) ได้ทำการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟในการผลิตดอกไม้แห้ง โดยการการนำดอกไม้ฝังไว้ในซิลิกาเจล แล้วนำเข้าเตาอบไมโครเวฟ น้ำที่ระเหยออกจากดอกไม้จะถูกดูดซับด้วยซิลิกาเจล ทั้งนี้เวลาที่ใช้นั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับดอกไม้แต่ละชนิด วิธีการนี้ดอกไม้แห้งจะมีคุณภาพสีค่อนข้างดีแต่ดีไม่เท่ากับการทำแห้งด้วยความเย็น

Tulasidas T.N., G.S.V. Raghavan and A.S. Mujumdar (1995) ได้ใช้เตาอบไมโครเวฟอบแห้งองุ่นเพื่อทำลูกเกดร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยทำการศึกษาปัจจัย คือ อุณหภูมิของอากาศ ความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟ ความเร็วอากาศต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน และคุณภาพของลูกเกดที่ได้ นอกจากนี้ยังได้ทำการหาสภาพที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลทำให้ได้คุณภาพของลูกเกดที่ดีกว่า ส่วนการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟจะทำให้คุณภาพของลูกเกดลดลง และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของลูกเกดที่ได้จากการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียวพบว่าลูกเกดที่ได้มีคุณภาพในด้านความสว่างของสีที่ดีกว่า

ซึ่งโดยสรุป จากตัวอย่างงานวิจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นสามารถเป็นข้อยืนยันได้ถึงข้อดีของเตาอบไมโครเวฟ ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี สามารถยืดอายุการเก็บรักษา ใช้พลังงานน้อย ไม่มีของเสียออกจากระบบ และเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้กับงานในหลาย ๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานด้านอุตสาหกรรมเกษตรที่เป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศไทย

บทที่ 3
เครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ผลปาล์มน้ำมันร่วง

ผลปาล์มน้ำมันร่วงที่ใช้นำมาจาก บริษัท อีสเทิร์น ปาล์ม ออยล์ จำกัด จังหวัดชลบุรี บริษัทได้รับซื้อปาล์มน้ำมันทั้งทะลายสดและผลปาล์มน้ำมันร่วงรวมกันจากเกษตรกรแล้วแบ่งขายผลปาล์มน้ำมันร่วง งานวิจัยนี้ได้นำผลปาล์มน้ำมันเหล่านั้นมาทำการวิจัย ซึ่งผลปาล์มน้ำมันนั้นถูกเก็บจากต้นมาแล้วเป็นเวลามากกว่า 24 ชั่วโมง ดังแสดงใน รูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ผลปาล์มน้ำมันร่วง

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เทอร์โมคัปเปิล เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเรเซอร์ ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DP - 88 นาฬิกาจับเวลา เครื่องวัดความชื้นในน้ำมัน ยี่ห้อ Metrohm เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 43 และภาชนะสำหรับใส่ผลปาล์มน้ำมันเพื่อนึ่งในเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน มีลักษณะเป็นแผ่นตะแกรงเหล็กขนาด กว้าง ยาว และสูง เท่ากับ 64, 102 และ 3.8 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

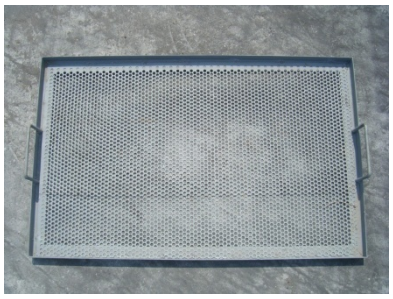
ก) เทอร์โมคัปเปิล

ข) เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเรเซอร์

ค) นาฬิกาจับเวลา

ง) เครื่องวัดความชื้นในน้ำมัน

จ) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า



ฉ) ภาชนะใส่ผลปาล์มน้ำมัน

รูปที่ 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.2.2 หม้อนึ่งความดัน (Autoclave)

หม้อนึ่งความดันที่นำมาใช้นึ่งผลปาล์มน้ำมัน ความดันสูงสุด 3 บาร์ อุณหภูมิสูงสุด 120 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน รูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 หม้อนึ่งความดัน

3.2.3 เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

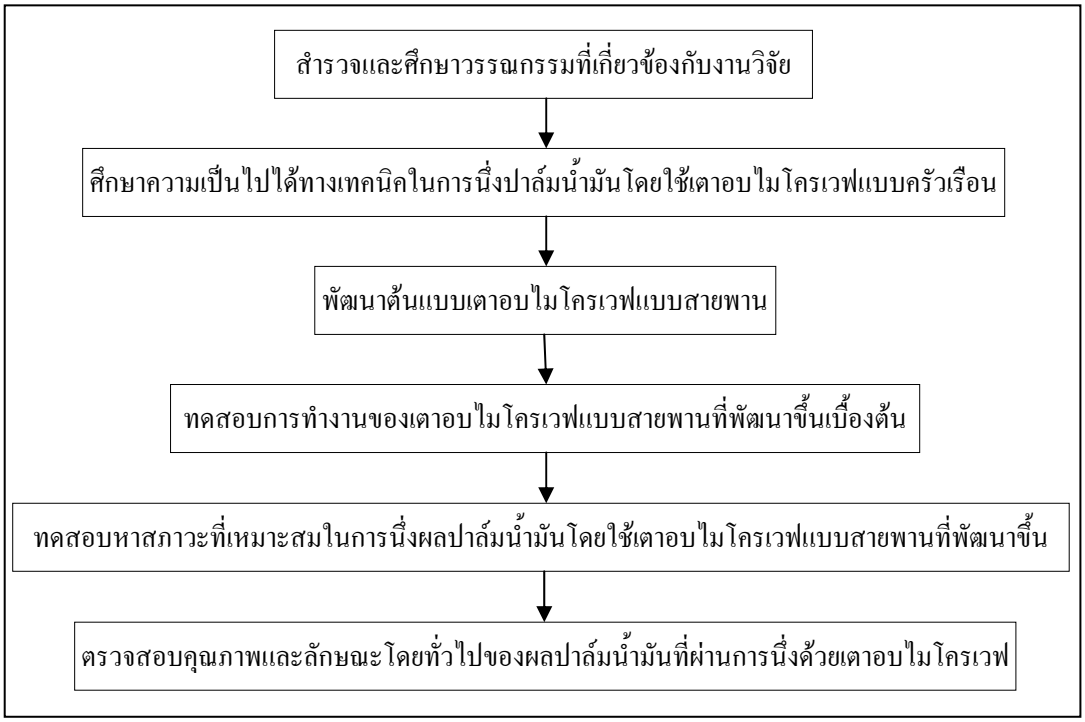
ในการศึกษานี้มีการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคของการนำเตาอบไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน โดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน ยี่ห้อMITRON รุ่น P70D17L - D5 ใช้พลังงานรวมทั้งระบบ 1200 วัตต์ ให้พลังงาน 700 วัตต์ ห้องอบมีขนาด สูง กว้าง และลึก เท่ากับ 210, 315 และ 279 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีความจุเท่ากับ 17 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล บริเวณด้านข้างของผนังห้องอบเพื่อวัดอุณหภูมิภายในห้องอบขณะทำการนึ่ง ดังแสดงใน รูปที่ 3.5

รูปที่ 3.4 เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

รูปที่ 3.5 ลักษณะการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลภายในห้องอบของเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันประกอบด้วย สำรวจและศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน พัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน ทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้นเบื้องต้น ทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้น ตรวจสอบคุณภาพและลักษณะโดยทั่วไปของผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ ดังแสดงใน รูปที่ 3.6



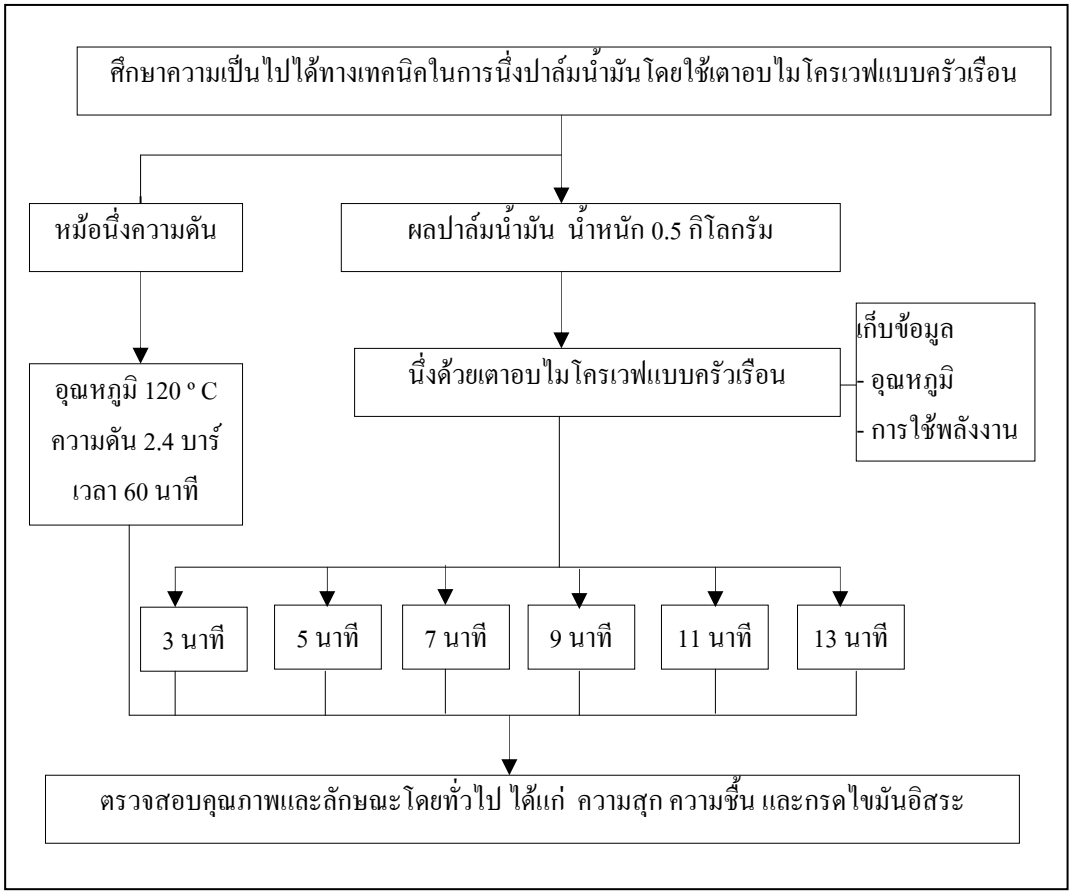
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการศึกษา

3.3.1 สำรวจและศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ทำการรวบรวมข้อมูลสำคัญต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ เช่น การตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปาล์มน้ำมัน กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม เตาอบไมโครเวฟ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงข้อมูลการนึ่งปาล์มน้ำมันด้วยหม้อนึ่งไอน้ำเพื่อศึกษาพลังงานที่ใช้และนำมาเปรียบเทียบกับการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ โดยได้สรุปข้อมูลไว้ในบทที่ 2

3.3.2 ศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการนึ่งปาล์มน้ำมัน

การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคของการนำเตาอบไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน โดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน ใช้ผลปาล์มน้ำมัน 0.5 กิโลกรัม นึ่งที่เวลา 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 นาที แล้วบันทึกอุณหภูมิและการใช้พลังงาน นำผลปาล์มน้ำมัน 0.5 กิโลกรัม นึ่งในหม้อนึ่งความดัน ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความดัน 2.4 บาร์ เวลา 60 นาที หลังจากการนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟและหม้อนึ่งความดันแล้ว ทำการพิจารณาความสุกของผลเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการนึ่งในปริมาณที่กำหนดด้วยสายตาและการสัมผัสความนุ่ม ในส่วนของการตรวจคุณภาพของผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านนึ่งแล้ว จะทำการหีบเป็นน้ำมันแล้ววิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระทั้งก่อนและหลังการนึ่งด้วยวิธีการทั้งสอง ใช้มาตราฐานการวิเคราะห์ AOCS Ca 5a - 40 รวมถึงวิเคราะห์หาความชื้นในน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการนึ่งและในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการนึ่ง ใช้มาตราฐาน EN ISO 12937 ดังแสดงใน รูปที่ 3.7

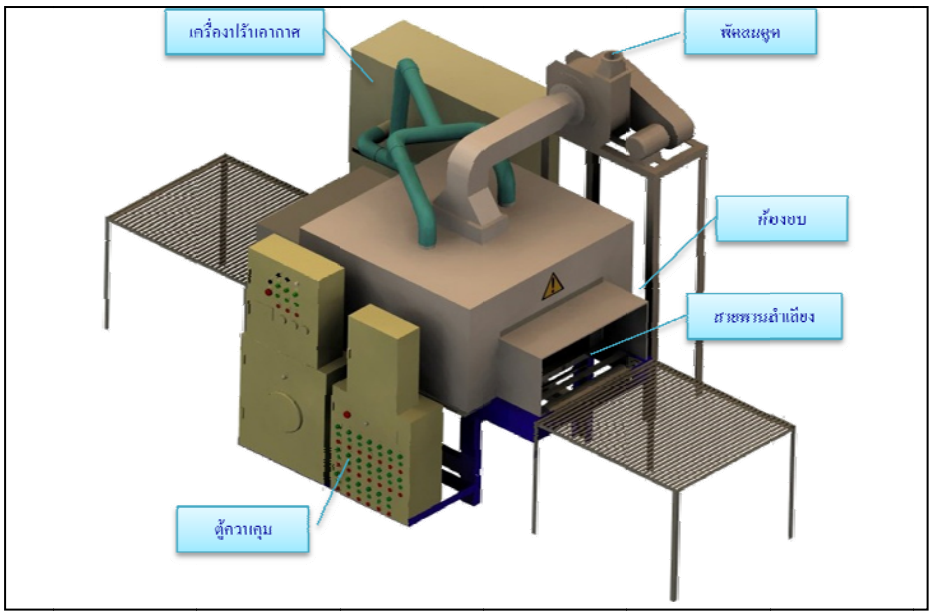


รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการนึ่งปาล์มน้ำมัน

3.3.3 พัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

การนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้ในการผลิตเป็นความร้อนสำหรับนึ่งปาล์มน้ำมันนั้น จะต้องมีกำลังวัตต์สูง มีความทนทานต่อความร้อน เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง คุณสมบัติที่กล่าวมานั้น ต้องใช้แหล่งกำเนิดคลื่นหรือแมกนีตรอนที่มีราคาสูงอยู่ในช่วง 50,000 - 100,000 บาทต่อกิโลวัตต์ และไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย โดยทั่วไปจะใช้สำหรับงานอุตสาหกรรม ในประเทศไทยยังไม่แพร่หลาย ซึ่งต่างกับเตาอบไมโครเวฟขนาดเล็กที่ใช้ในครัวเรือนนั้น มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทยและยกระดับการผลิตเป็น Mass production ทำให้ราคาต่ำมากอยู่ในช่วง 1,500 - 2,500 บาทต่อกิโลวัตต์

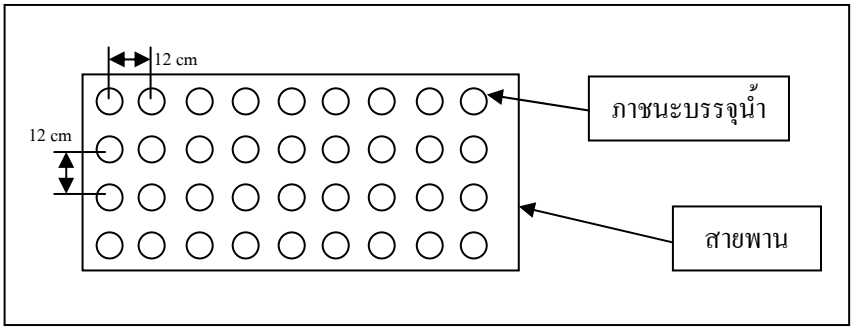
ในงานวิจัยนี้จะใช้แมกนีตรอนยี่ห้อ MITRON รุ่น P70D17L - D5 ที่ใช้กับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนมาใช้สร้างต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน โดยใช้แมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่น จำนวน 20 ตัว ความถี่ 2450 MHz ระบบการเปิดปิดการทำงานของแมกนีตรอนควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ มีระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอนด้วยเครื่องปรับอากาศและพัดลม มีระบบขับเคลื่อนชิ้นงานด้วยสายพาน ควบคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์ ห้องอบมีขนาด กว้าง ยาว และสูง เท่ากับ 80, 200 และ 45 เซนติเมตร ตามลำดับ ทางเข้าออกของวัตถุดิบมีขนาด กว้างและสูง เท่ากับ 75 และ 43 เซนติเมตร ชุดหม้อแปลงของแมกนีตรอนติดตั้งไว้ภายในห้องแยกส่วนจากแมกนีตรอน ดังแสดงใน รูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน 3 มิติ

3.3.4 ทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้นเบื้องต้น

เมื่อทำการพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานแล้วทำการทดสอบการใช้งานโดยการนำน้ำใส่ภาชนะที่ยอมให้คลื่นผ่านและไม่ดูดซับคลื่น (แก้วพลาสติก จำนวน 36 ใบ แต่ละใบบรรจุน้ำ 100 กรัม วางห่างกันเป็นระยะ 12 เซนติเมตร x 12 เซนติเมตร) นำไปวางในห้องอบแล้วเปิดให้แมกนีตรอนทำงาน ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นในแต่ละจุดว่ามีความสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุดหรือไม่ เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น ดังแสดงใน รูปที่ 3.9



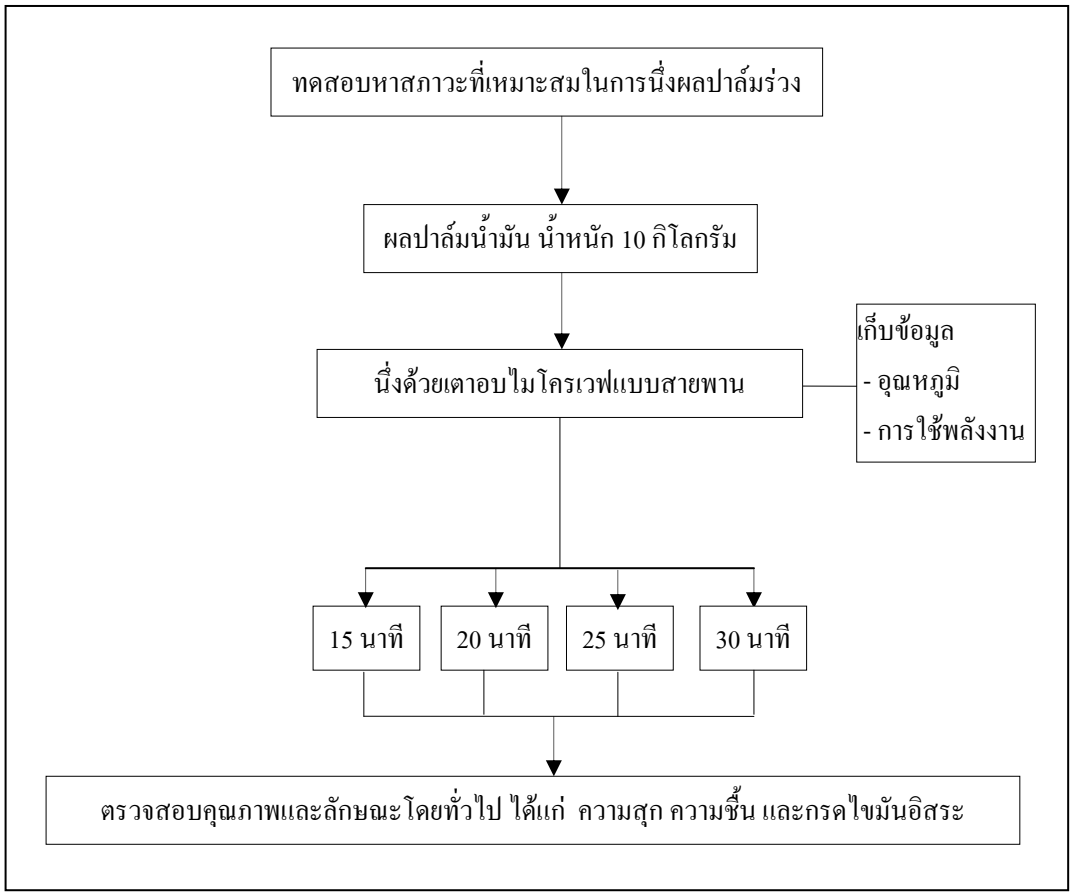
รูปที่ 3.9 ลักษณะการวางภาชนะที่บรรจุน้ำเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น

3.3.5 ทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งผลปาล์มน้ำมัน

ทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน ควบคุมความเร็วของสายพานในการขับเคลื่อนชิ้นงานที่ความเร็ว 0.061 เมตรต่อวินาที เท่ากันทุกการทดลอง โดยใช้ผลปาล์มน้ำมัน 10 กิโลกรัม นึ่งที่เวลา 15, 20, 25 และ 30 นาที แล้วเก็บข้อมูล อุณหภูมิและการใช้พลังงาน ดังแสดงใน รูปที่ 3.10

3.3.6 ตรวจสอบคุณภาพและลักษณะโดยทั่วไปของผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่ง

หลังจากนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานแล้วพิจารณาความสุกของผลปาล์มน้ำมันเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการนึ่งในปริมาณที่กำหนดด้วยสายตาและการสัมผัส ในส่วนของการตรวจคุณภาพของผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านนึ่งแล้ว จะทำการหีบผลปาล์มน้ำมันและวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระทั้งก่อนและหลังการนึ่ง โดยใช้มาตราฐานการวิเคราะห์ AOCS Ca 5a - 40 รวมถึงวิเคราะห์หาความชื้นในน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการนึ่งและในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการนึ่งโดยใช้มาตราฐาน EN ISO 12937



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งผลปาล์มน้ำมัน

3.4 ศึกษาต้นทุนในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

หลังจากพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานและทำการศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ได้แก่ อัตราการนึ่ง ระยะเวลาการนึ่ง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ แล้ววิเคราะห์ต้นทุนในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานเพื่อเป็นองค์ความรู้ในการออกแบบและพัฒนาเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานสำหรับใช้ในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันต่อไป

บทที่ 4
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 การพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

ในการพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานนี้จะอธิบายในส่วนขององค์ประกอบเท่านั้น โดยต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้นมีองค์ประกอบ ได้แก่

4.1.1 แหล่งกำเนิดคลื่น

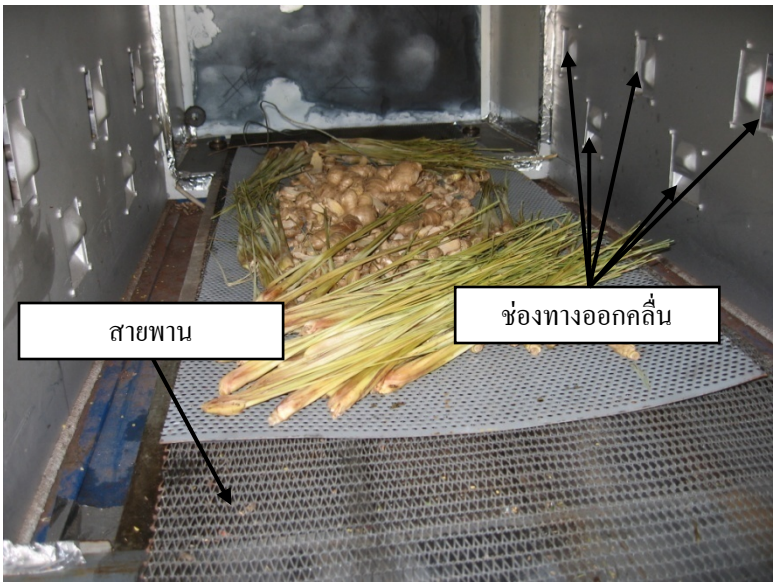
เตาอบไมโครเวฟใช้แมกนีตรอนช่วงความถี่ 2450 MHz เป็นแหล่งกำเนิดคลื่น ซึ่งเป็นแมกนีตรอนที่ใช้สำหรับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน จำนวน 20 ตัว แต่ละตัวมีขนาด 700 วัตต์ โดยมีลักษณะการวางแมกนีตรอน ดังแสดงใน รูปที่ 4.1 ในการวางแมกนีตรอนแต่ละตัวมีการออกแบบลักษณะการวางเพื่อไม่ให้เกิดการหักล้างกันและทำลายกัน ในขณะที่เปิดใช้งานแมกนีตรอนพร้อมกัน รวมถึงเพื่อการกระจายตัวที่สม่ำเสมอภายในห้องอบ

รูปที่ 4.1 ลักษณะการวางแมกนีตรอนของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

4.1.2 ห้องอบ

ห้องอบมีขนาด กว้าง ยาว และสูง เท่ากับ 80, 200 และ 45 เซนติเมตร ตามลำดับ มีทางเข้าออกของวัตถุดิบ 2 ด้าน ขนาด กว้าง และสูง เท่ากับ 75 และ 43 เซนติเมตร ภายในห้องอบประกอบด้วย ทางเข้าออกของวัสดุ ดังแสดงใน รูปที่ 4.2 สายพานและช่องทางออกคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ห้องอบมีการออกแบบให้ป้องกันการรั่วไหลของคลื่นสู่ภายนอก โดยมีการทดสอบการรั่วไหลของคลื่นด้วยเครื่องวัดคลื่น (Wave detector) แล้วพบว่าไม่มีการรั่วไหลของคลื่นออกสู่ภายนอกห้องอบ

รูปที่ 4.2 ประตูทางเข้าออกวัสดุของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน



รูปที่ 4.3 ช่องทางออกของคลื่นและสายพานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

4.1.3 ระบบสายพาน

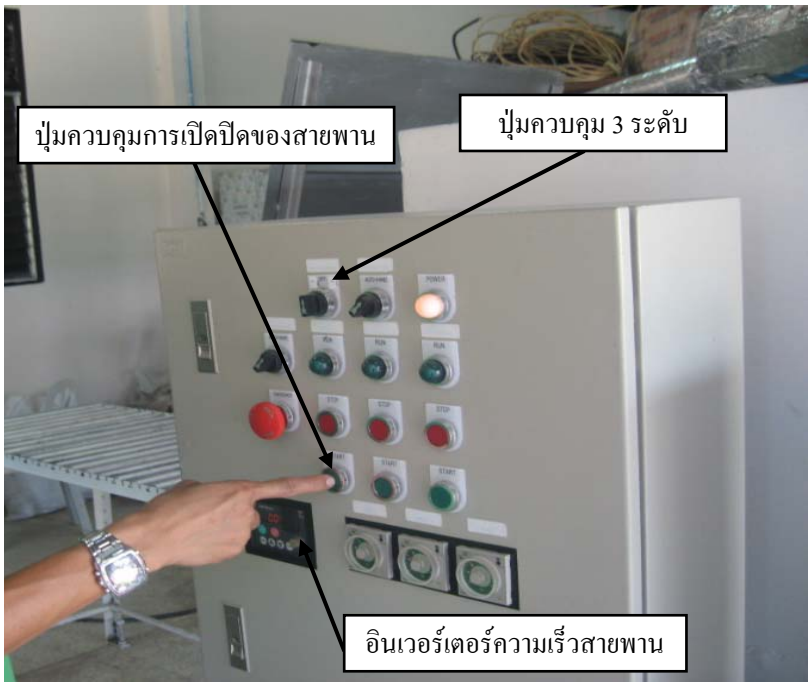
สายพานที่ใช้ในระบบเป็นสายพานโลหะมีคุณสมบัติไม่ดูดซับคลื่นไมโครเวฟและไม่ยอมให้คลื่นทะลุผ่าน เมื่อคลื่นตกกระทบจะสะท้อนกลับ ดังแสดงใน รูปที่ 4.3 ใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมความเร็วของสายพานมีระบบเปิดปิดการทำงานของสายพานอัตโนมัติด้วยปุ่มปรับ 3 ระดับ คือ เดินหน้า ถอยหลัง และอัตโนมัติ สามารถตั้งเวลาการทำงานของสายพานได้ ควบคุมเวลาการเดินหน้าหรือถอยหลังด้วย Timer ดังแสดงใน รูปที่ 4.4

4.1.4 ระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอน

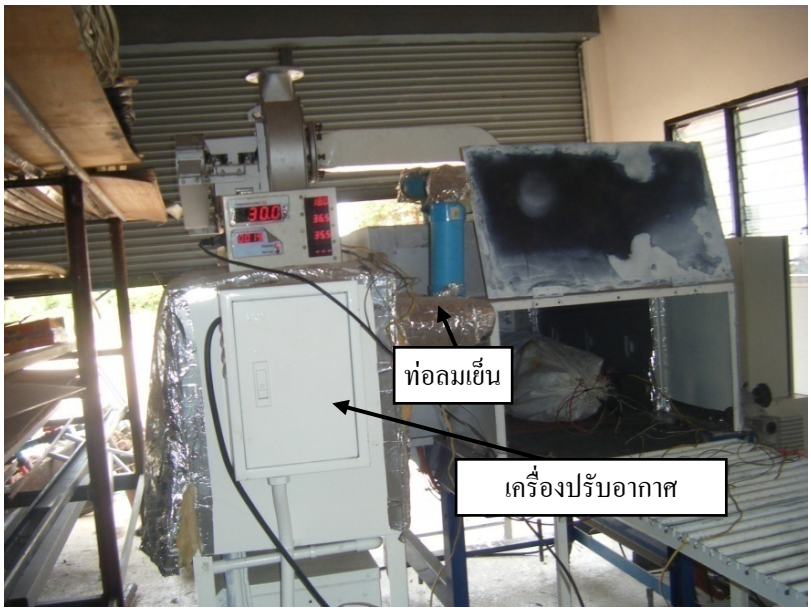
การทำงานของแมกนีตรอนจะมีความร้อนเกิดขึ้นบริเวณโดยรอบ จำเป็นต้องมีการระบายความร้อนออก โดยการใช้ลมเย็นจากเครื่องปรับอากาศและใช้พัดลมดูดผ่านแมกนีตรอน เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายกับแมกนีตรอนเมื่อทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน ดังแสดงใน รูปที่ 4.5

4.1.5 ระบบควบคุม

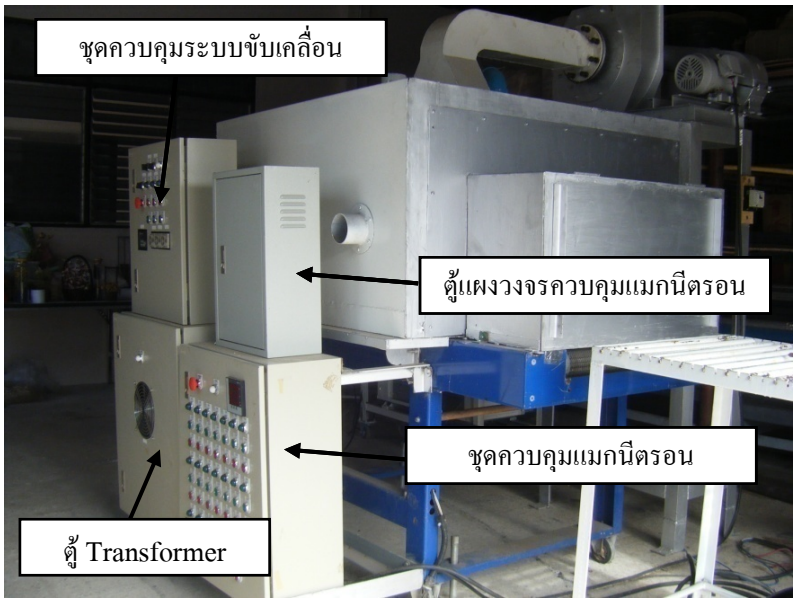
ระบบควบคุมของต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยระบบควบคุมการทำงานของสายพาน ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และระบบควบคุมการทำงานของแมกนีตรอน ในส่วนของการทำงานของแมกนีตรอนถูกควบคุมผ่านระบบคอมพิวเตอร์ สามารถควบคุมการเปิดปิดได้อัตโนมัติ ดังแสดงใน รูปที่ 4.6 - 4.10



รูปที่ 4.4 ระบบควบคุมการทำงานของสายพานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

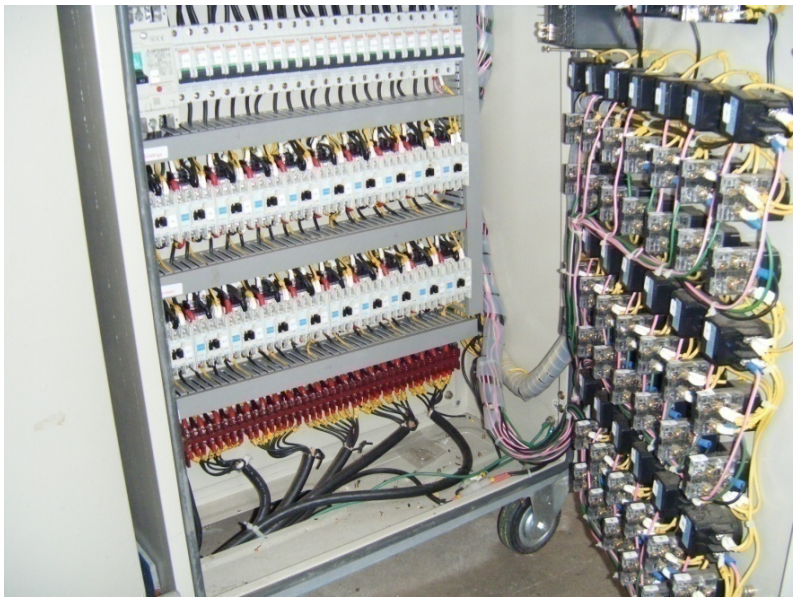


รูปที่ 4.5 ระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอนของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน



รูปที่ 4.6 ระบบควบคุมของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

รูปที่ 4.7 ตู้แผงวงจรควบคุมแมกนีตรอนของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน



รูปที่ 4.8 ชุดควบคุมแมกนีตรอนของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

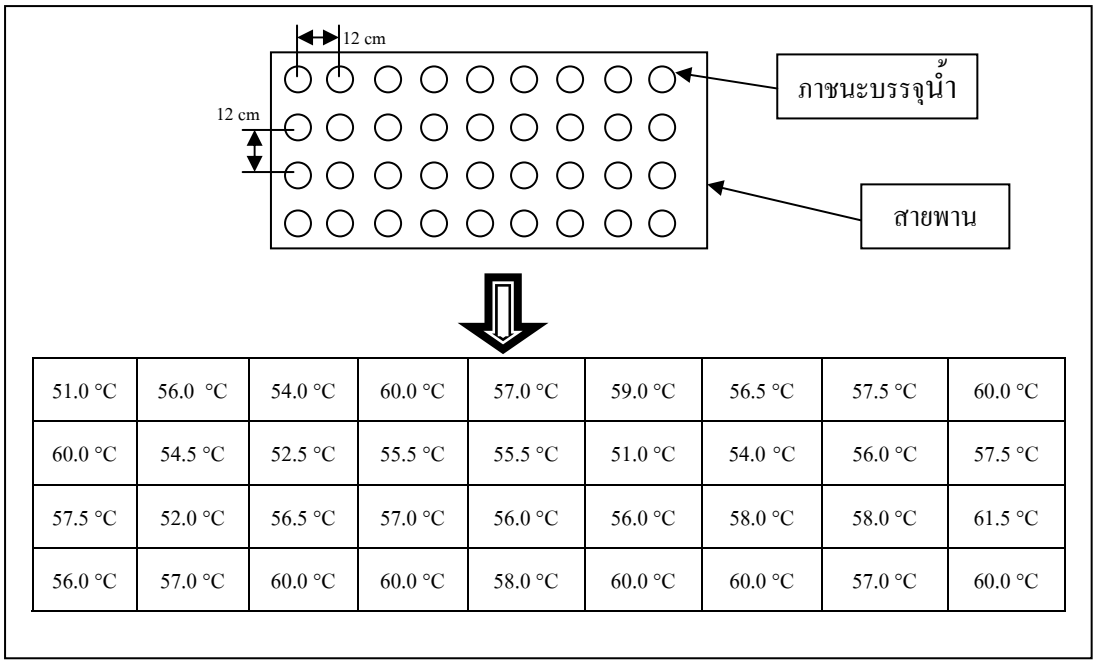
รูปที่ 4.9 ชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

รูปที่ 4.10 ตู้หม้อแปลงของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

4.2 ผลการทดสอบการทำงานของต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

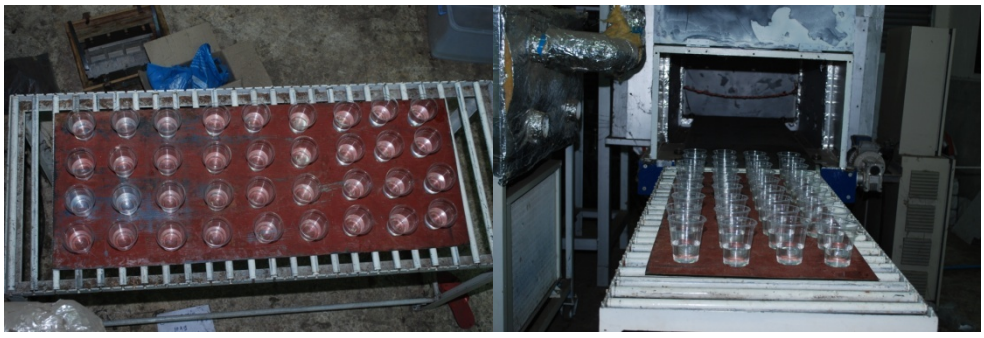
4.2.1 การกระจายตัวของคลื่นภายในห้องอบ

จากการทดสอบการใช้งานเตาอบไมโครเวฟที่พัฒนาขึ้นโดยการนำน้ำใส่แก้วพลาสติก จำนวน 36 ใบ แต่ละใบบรรจุน้ำ 100 กรัม วางห่างกันเป็นระยะ 12 เซนติเมตร x 12 เซนติเมตร นำไปวางในห้องอบ เปิดให้แมกนีตรอนทำงานเป็นเวลา 10 นาที แล้วทำการตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นในแต่ละจุดพบว่าอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นในแต่ละจุดว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 51.0 - 61.5 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 56.9 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน รูปที่ 4.11 - 4.12 แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของคลื่นมีลักษณะค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่ยังมีบางจุดที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ อาจมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่ของสายพานที่มีการเคลื่อนที่ไปและเคลื่อนที่กลับด้วยเวลาที่เท่ากัน แต่มีระยะทางที่แตกต่างกันเล็กน้อย ทำให้การดูดซับพลังงานของน้ำมีค่ามากน้อยต่างกันในบางจุด และอาจเป็นสาเหตุมาจากทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นที่มีทิศทางตามลักษณะของทางออกคลื่นที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งการวางแมกนีตรอนทำให้การกระจายของคลื่นไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องทำการปรับปรุงแก้ไขต่อไป



51.0 °C	56.0 °C	54.0 °C	60.0 °C	57.0 °C	59.0 °C	56.5 °C	57.5 °C	60.0 °C
60.0 °C	54.5 °C	52.5 °C	55.5 °C	55.5 °C	51.0 °C	54.0 °C	56.0 °C	57.5 °C
57.5 °C	52.0 °C	56.5 °C	57.0 °C	56.0 °C	56.0 °C	58.0 °C	58.0 °C	61.5 °C
56.0 °C	57.0 °C	60.0 °C	60.0 °C	58.0 °C	60.0 °C	60.0 °C	57.0 °C	60.0 °C

รูปที่ 4.11 ลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน



รูปที่ 4.12 การตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่นของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

4.2.2 ผลการทดสอบการนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานเบื้องต้น

หลังจากที่ปรับปรุงประเมินสมรรถนะของเตาไมโครเวฟและปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องแล้วได้ทำการทดสอบการนึ่งผลปาล์มน้ำมันเบื้องต้น เพื่อทดสอบหาภาชนะที่เหมาะสมและลักษณะการนึ่งก่อนทำการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมโดยทำการทดลองนึ่งในภาชนะต่าง ๆ ได้แก่ กระสอบ กล่องพลาสติกพีพี และแผ่นตะแกรงเหล็ก ที่เวลาและน้ำหนักต่างกัน

การทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยกระสอบน้ำหนัก 30 และ 25 กิโลกรัม โดยใช้เวลา 30 นาที ผลปาล์มน้ำมันมีลักษณะอ่อนนุ่มเมื่อทดสอบด้วยการสัมผัสเพียงบริเวณรอบ ๆ ผนังของกระสอบ แต่ในบริเวณที่ลึกเข้าไปถึงกลางกระสอบผลปาล์มน้ำมันมีลักษณะแข็ง มีสาเหตุมาจากความสามารถในการทะลุทะลวงของคลื่นหรืออาจอธิบายได้โดยง่าย คือ บริเวณรอบนอกนั้นดูดซับพลังงานไว้หมดจนไม่มีพลังงานเข้าไปสู่ภายในได้จึงไม่เกิดความร้อนขึ้น ผลของปาล์มน้ำมันจึงมีลักษณะแข็ง ดังแสดงใน รูปที่ 4.13

การทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยกล่องพลาสติกพีพี น้ำหนัก 10 กิโลกรัม โดยใช้เวลา 20 นาที ผลปาล์มน้ำมันมีลักษณะแข็งไม่อ่อนนุ่มเช่นเดียวกับการทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยกระสอบ อาจเกิดจากสาเหตุเดียวกันในเรื่องความหนาของการซ้อนทับกันของผลปาล์มน้ำมันซึ่งเกี่ยวข้องกับความสามารถในการทะลุทะลวง ดังแสดงใน รูปที่ 4.14

การทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยแผ่นตะแกรงเหล็ก ในลักษณะการวางตะแกรงเหล็กซ้อน 2 ชั้น และชั้นเดียว พบว่าจากการทดลองวางตะแกรงเหล็กซ้อน 2 ชั้น นั้นเป็นการลดความหนาของการซ้อนทับของผลปาล์มน้ำมันเพื่อให้คลื่นสามารถทะลุทะลวงได้ แต่ขณะเดียวกันการซ้อนของตะแกรงเหล็กทำให้คลื่นสะท้อนได้ไม่ทั่วถึงทำให้ผลปาล์มน้ำมันไม่สุกเช่นเดียวกัน ดังแสดงใน รูปที่ 4.15 และได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยวางตะแกรงเหล็กชั้นเดียวและลดปริมาณผลปาล์มน้ำร่วงลง ซึ่งผลที่ได้ คือ ผลปาล์มน้ำมันมีลักษณะอ่อนนุ่ม ดังแสดงใน รูปที่ 4.16 โดยมีรายละเอียดแสดงใน ตารางที่ 4.1 ดังนั้นในการศึกษานี้จึงใช้ตะแกรงเหล็ก 1 ชั้น ในการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันต่อไป

ตาราง 4.1 ผลการทดสอบการนึ่งผลปาล์มร่วงด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

ภาชนะ	**เวลา (นาที)**	**น้ำหนัก (kg)**	**ลักษณะผล**
กระสอบ	30	30	แข็ง
	30	25	แข็ง
กล่องพลาสติกพีพี	20	10	แข็ง
แผ่นตะแกรงเหล็ก 2 ชั้น	20	15	แข็ง
แผ่นตะแกรงเหล็ก 1 ชั้น	20	15	แข็ง
	20	10	อ่อนนุ่ม
	15	10	อ่อนนุ่ม
	25	10	อ่อนนุ่ม
	30	10	อ่อนนุ่ม
	60	25	แข็ง

รูปที่ 4.13 การทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยกระสอบ

รูปที่ 4.14 การทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยกล่องพลาสติกพีพี

รูปที่ 4.15 การทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยแผ่นตะแกรงเหล็ก 2 ชั้น

รูปที่ 4.16 การทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยแผ่นตะแกรงเหล็ก 1 ชั้น

4.3 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ

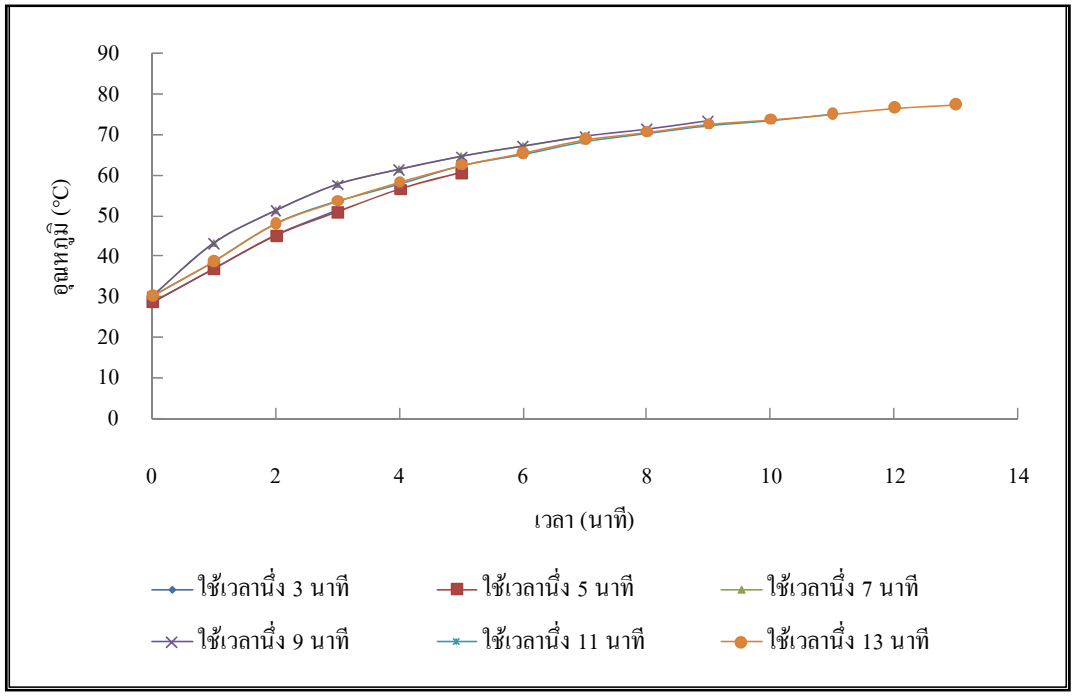
4.3.1 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ

ลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการนึ่งภายในเตาอบไมโครเวฟนั้นเกิดจากแมกนีตรอนหรือแหล่งกำเนิดคลื่น ปล่อยคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ ผ่านเข้าไปในผลปาล์มน้ำมัน แล้วเกิดเป็นความร้อนขึ้น โดยเกิดจาก 2 กลไกล ได้แก่ กลไกชนิดการเหนี่ยวนำเชิงไอออน กลไกนี้เริ่มขึ้นเมื่อประจุไอออน ซึ่งเกิดการแตกตัวในสารละลายถูกเร่งด้วยแรงของสนามไฟฟ้าที่กระทำ ซึ่งเคลื่อนที่โดยสนามไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกับประจุที่มีอยู่แต่ละไอออน จากการเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้ไอออนชนกับโมเลกุลของน้ำที่ยังไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออนอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พลังงานจลน์เพิ่มขึ้นและเป็นเหตุให้ไอออนเกิดความเร่ง ส่งผลเป็นลูกโซ่ต่อการชนของโมเลกุลอื่น ๆ คล้ายกับการชนของลูกบิลเลียด เมื่อค่าประจุเปลี่ยนแปลงไอออนจึงมีความเร่งเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม โดยเหตุการณ์ดังกล่าวจะเกิดด้วยอัตราความถี่สูงนับล้านครั้งต่อวินาที ทำให้มีการชนและถ่ายเทพลังงานเกิดขึ้นในระดับโมเลกุลอย่างมหาศาล ทำให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนขึ้น ส่วนกลไกที่ทำให้เกิดความร้อนอีกกลไก คือ กลไกชนิดการหมุนของทั้งสองขั้ว สำหรับโมเลกุลหลาย ๆ ชนิด เช่น โมเลกุลน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นสองขั้ว (Dipole) โดยธรรมชาติซึ่งหมายถึงโมเลกุลมีสมบัติของการกระจายความจุที่ไม่สมมาตร เมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางส่วนโมเลกุลของสสารชนิดอื่นก็จะเกิดความไม่สมมาตรได้หากเกิดการเหนี่ยวนำโดยสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป ทั้งนี้เพราะสนามไฟฟ้าทำให้เกิดหน่วยแรงเค้นภายในโมเลกุล ขั้วทั้งสองจะได้รับอิทธิจากกลไกดังกล่าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงขั้วอย่างรวดเร็วตามสนามไฟฟ้าที่มากระทำ ทำให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนขึ้น

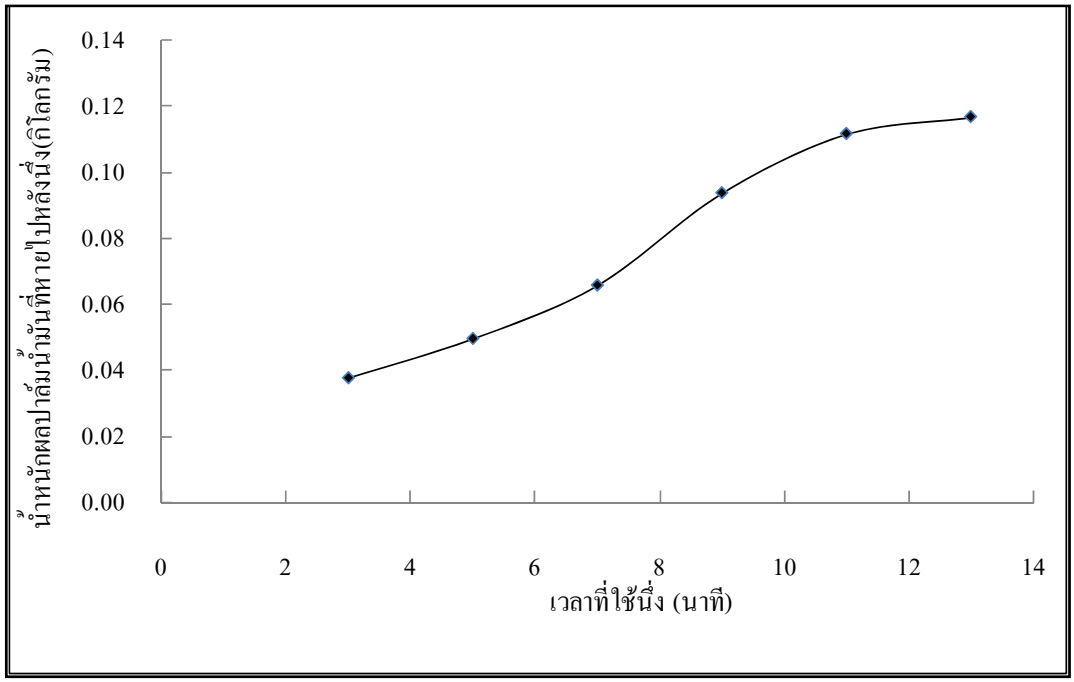
จากการศึกษาการนึ่งปาล์มน้ำมัน น้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม ด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน โดยใช้เวลา 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 นาที ดังแสดงใน รูปที่ 4.17 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับเวลาในลักษณะแปรผันตรง โดยในช่วงเวลา 0 - 5 นาที มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แต่หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน รูปที่ 4.18 เนื่องจากในช่วงเวลาแรก ๆ น้ำและองค์ประกอบอื่น ๆ ที่สามารถดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟภายในผลปาล์มน้ำมัน จะทำการดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟแล้วเกิดเป็นความร้อนระเหยกลายเป็นไอ หลังจากเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของน้ำและอื่น ๆ ที่สามารถดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟภายในผลปาล์มน้ำมันจะมีปริมาณลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับพลังงานลดลง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจึงลดลงเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์น้ำหนักปาล์มที่หายไปหลังนึ่ง ดังแสดงใน รูปที่ 4.19 ที่แสดงความ สัมพันธ์ของน้ำหนักปาล์มที่หายไปหลังนึ่งกับเวลาที่ใช้นึ่งในลักษณะแปรผันตรงเช่นเดียวกัน ดังรายละเอียดที่แสดงใน ตาราง 4.2

ส่วนการนึ่งปาล์มน้ำมัน น้ำหนัก 10 กิโลกรัม ด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน โดยใช้เวลา 15, 20, 25 และ 30 นาที ดังแสดงใน รูปที่ 4.20 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการนึ่งภายในเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังแสดงใน รูปที่ 4.21 ที่แสดงความสัมพันธ์ของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกับเวลาในลักษณะแปรผันตรงเช่นเดียวกันกับการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนแต่มีความแตกต่างกัน คือ การนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วตลอดระยะเวลาการนึ่ง ส่วนการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนเมื่อใช้เวลานึ่งเพิ่มขึ้นการเพิ่มของอุณหภูมิจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานมีน้ำหนักที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ดังรายละเอียดที่แสดงใน ตารางที่ 4.2

รูปที่ 4.17 การนึ่งปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน



รูปที่ 4.18 ลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

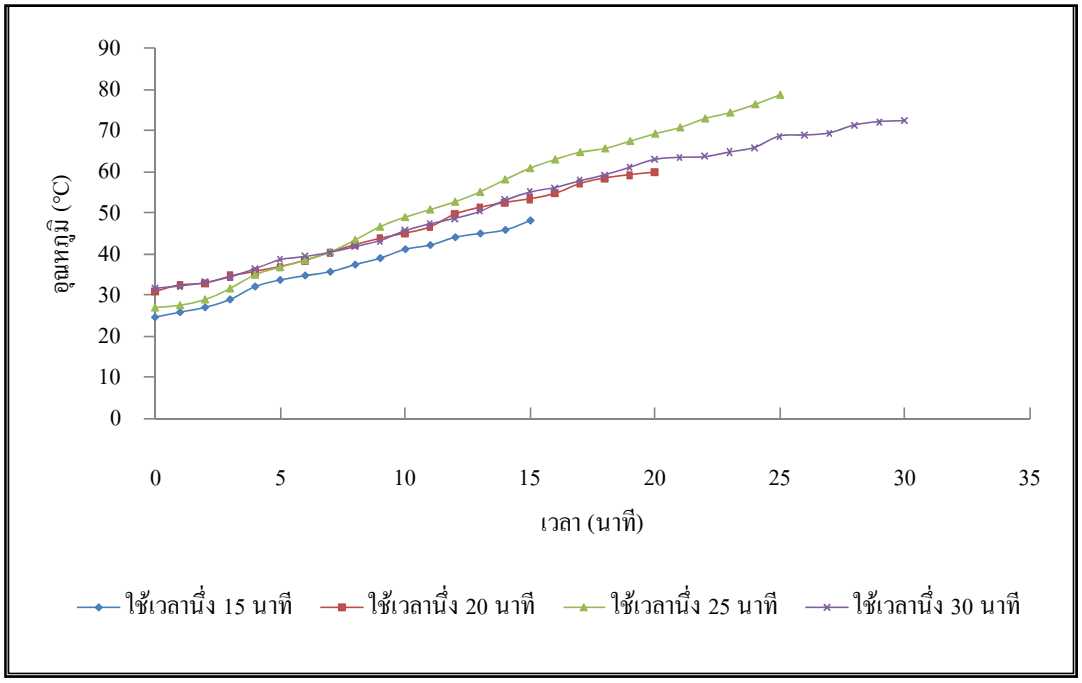


รูปที่ 4.19 น้ำหนักของผลปาล์มน้ำมันที่หายไปหลังนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักของผลปาล์มน้ำมันหลังนึ่ง

อุปกรณ์นึ่ง	เวลา (นาที)	น้ำหนักเริ่มต้น (กิโลกรัม)	น้ำหนักหลังนึ่ง (กิโลกรัม)	น้ำหนักผลปาล์มน้ำมันที่หายไปหลังนึ่ง (กิโลกรัม)
เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน	3	0.50	0.46	0.04
	5	0.50	0.45	0.05
	7	0.50	0.43	0.07
	9	0.50	0.41	0.09
	11	0.50	0.39	0.11
	13	0.50	0.38	0.12
เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน	15	10.00	10.00	0.00
	20	10.00	10.00	0.00
	25	10.00	10.00	0.00
	30	10.00	10.00	0.00
หม้อนึ่งความดัน	60	0.50	0.46	0.04

รูปที่ 4.20 การนึ่งปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

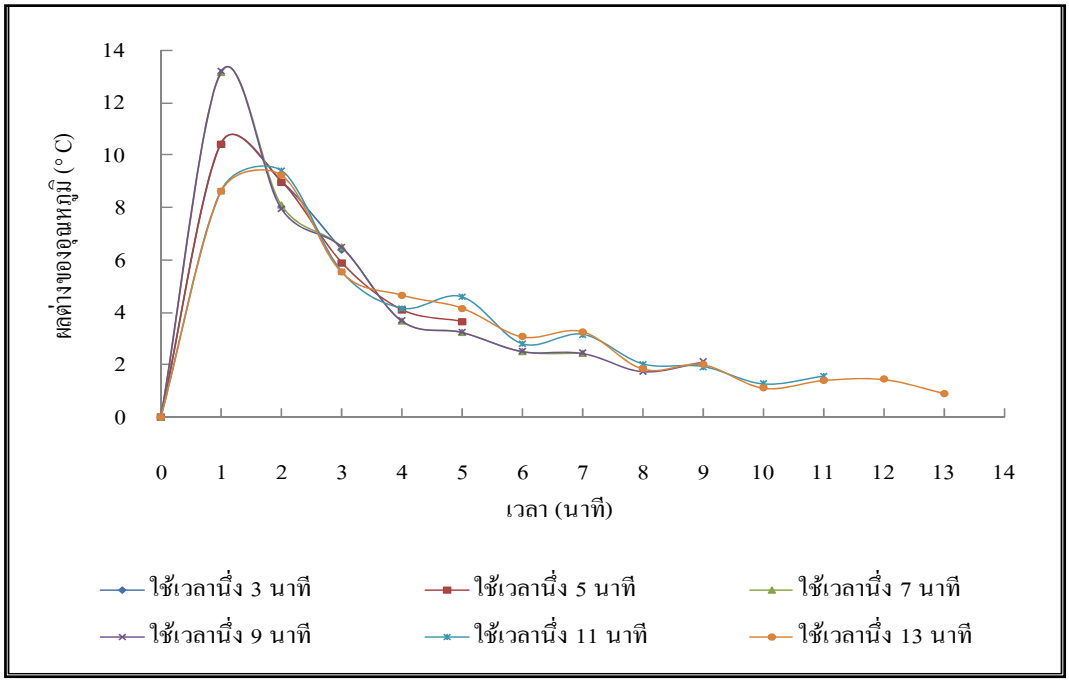


รูปที่ 4.21 ลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

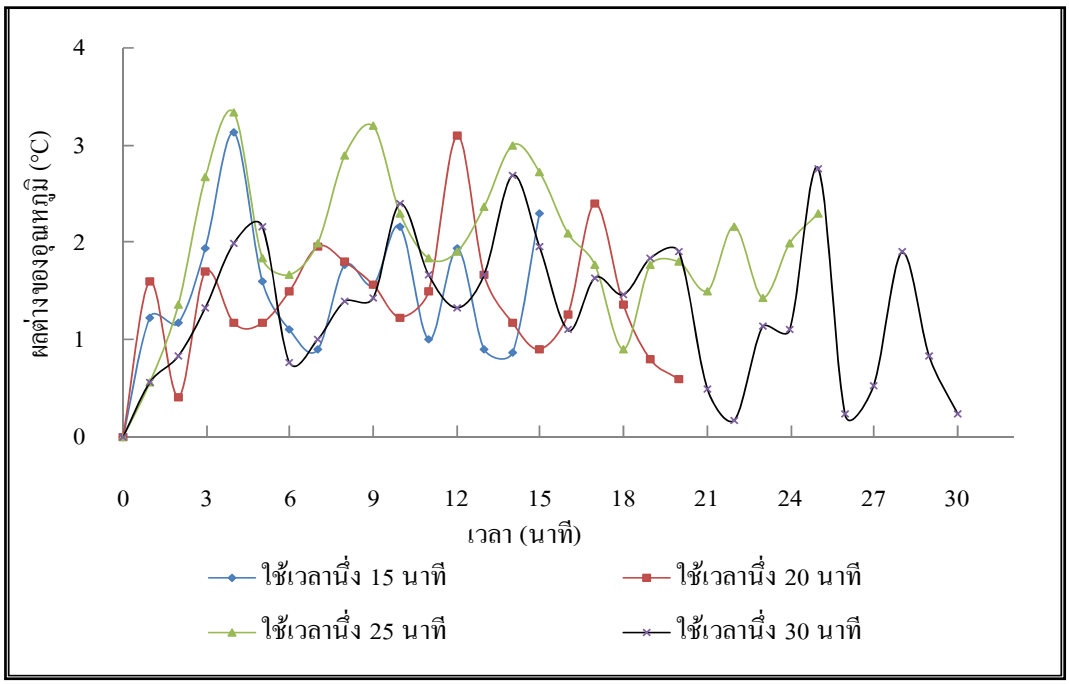
4.3.2 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ

จากการศึกษาการนึ่งผลปาล์มน้ำมัน น้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม ด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน โดยใช้เวลา 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 นาที พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ในช่วงแรกจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิค่อนข้างสูงประมาณ 9 - 13 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปแนวโน้มอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงอาจเป็นเพราะปริมาณน้ำในผลปาล์มน้ำมันลดลงเนื่องจากเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนมีช่องระบายอากาศเพื่อระบายความชื้นออกทำให้ตัวดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟลดน้อยลงส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลดลง ดังแสดงใน รูปที่ 4.22

แตกต่างกันกับการนึ่งผลปาล์มน้ำมัน น้ำหนัก 10 กิโลกรัม ด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน โดยใช้เวลา 15, 20, 25 และ 30 นาที อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอประมาณ 1 - 3 องศาเซลเซียส เนื่องจากขณะนึ่งภายในห้องอบเป็นระบบปิดไอน้ำที่เกิดขึ้นจึงไม่สามารถออกสู่ภายนอกได้ส่งผลให้ผลปาล์มน้ำมันสามารถดูดซับพลังงานได้อย่างต่อเนื่องดังแสดงใน รูปที่ 4.23



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

4.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งด้วยวิธีการต่าง ๆ

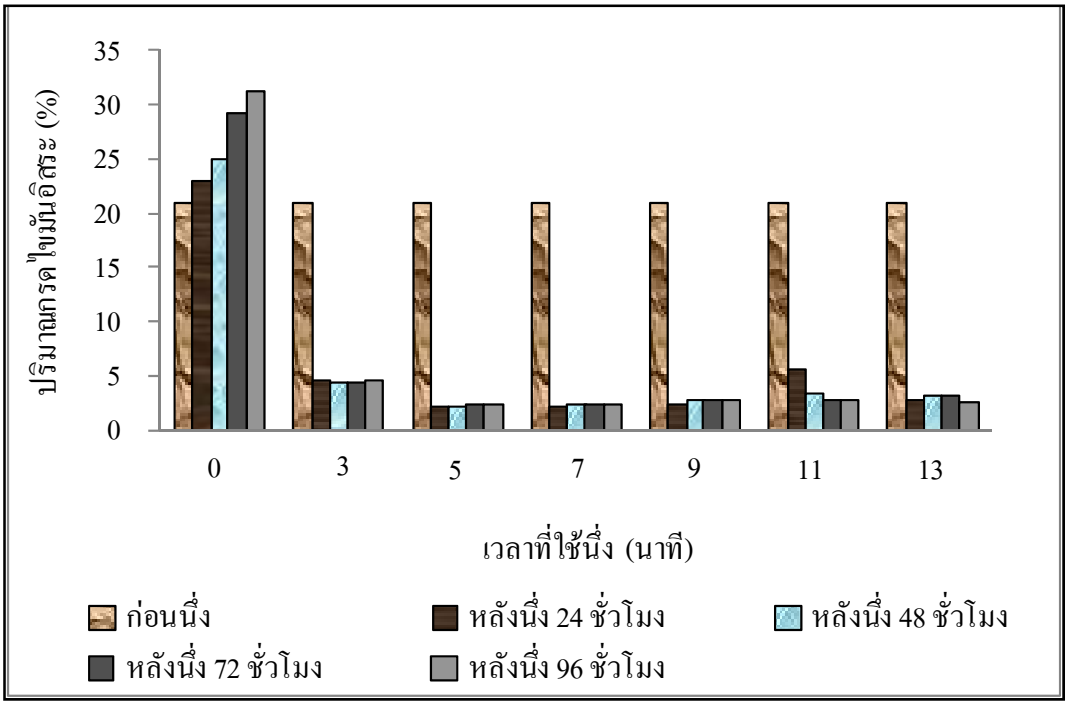
4.4.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของผลปาล์มน้ำมันหลังผ่านการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนนึ่งมีค่า 20.98% และเมื่อนึ่งที่เวลา 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 นาที แล้วทำการหีบน้ำมันตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเหลือ 4.63, 2.15, 2.30, 2.54, 5.60 และ 2.81% ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมัน เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แต่ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 22.99, 25.04, 29.16 และ 31.20% เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังแสดงใน รูปที่ 4.24 ซึ่งมีผลใกล้เคียงกับผลการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน ที่ปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนนึ่งมีค่า 20.98% และเมื่อทำการนึ่งที่เวลา 60 นาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความดัน 2.4 บาร์ แล้วทำการหีบน้ำมัน ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ,48, 72 และ 96 ชั่วโมง มีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 2.77, 3.83, 3.59 และ 3.85% ตามลำดับ ดังแสดงใน รูปที่ 4.25 รายละเอียด ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ของ Jiaxun et al. (1993) ที่ทำการอบรำข้าวด้วยไมโครเวฟ ที่มีความถี่ 2450 MHz โดยใช้เวลาในการอบ 3 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่ามีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจาก 4.0% เป็น 4.9% ในรำข้าวที่ผ่านการอบ ในขณะที่รำข้าวที่ไม่ผ่านการอบมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 68.3%

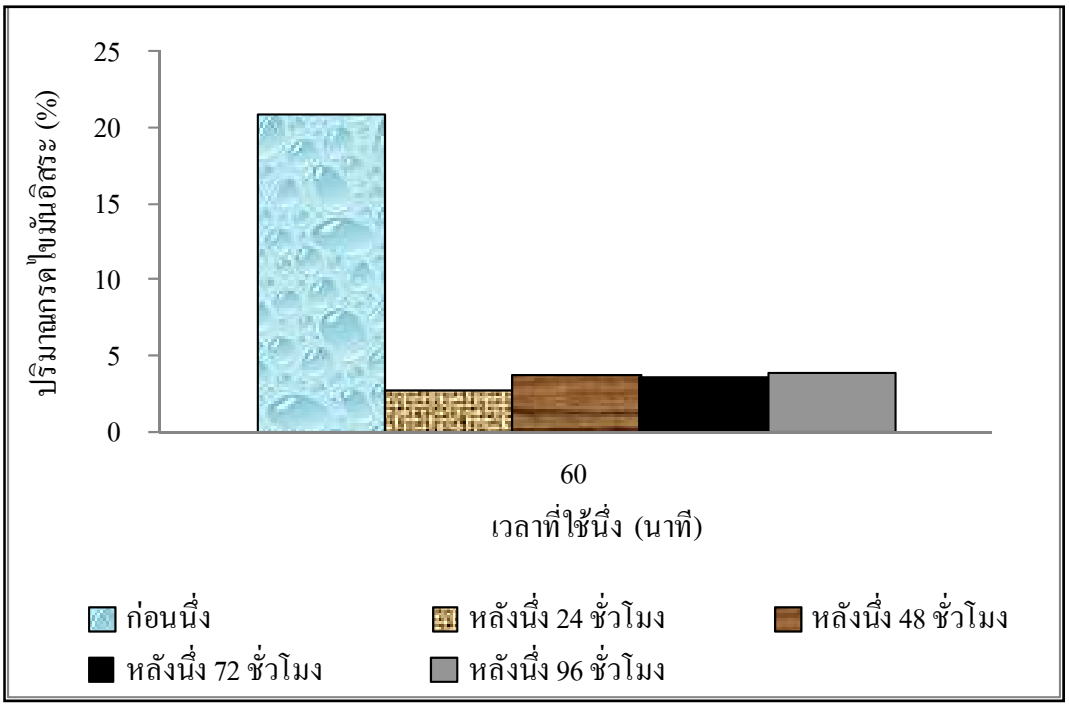
การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของผลปาล์มน้ำมันหลังผ่านการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนนึ่งมีค่า 20.13% และเมื่อทำการนึ่งที่เวลา 15, 20, 25 และ 30 นาที แล้วทำการหีบน้ำมันตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเหลือ 17.90, 17.27, 13.12 และ 15.05% ตามลำดับ และเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ยกเว้นน้ำมันที่ผ่านการนึ่งที่เวลา 15 นาที จะมีผลแตกต่างกัน คือ มีปริมาณกรดไขมันเพิ่มขึ้นเป็น 18.63 และ 19.3% เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากเวลาดังกล่าวไม่เพียงพอที่จะทำให้ผลปาล์มน้ำมันสุกและมีลักษณะอ่อนนุ่มได้ความร้อนที่เกิดขึ้นจึงไม่สามารถหยุดการทำงานของเอ็นไซม์ไลเปสได้ ปริมาณกรดไขมันอิสระจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับผลปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการนึ่ง ดังแสดงใน รูปที่ 4.26 รายละเอียด ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

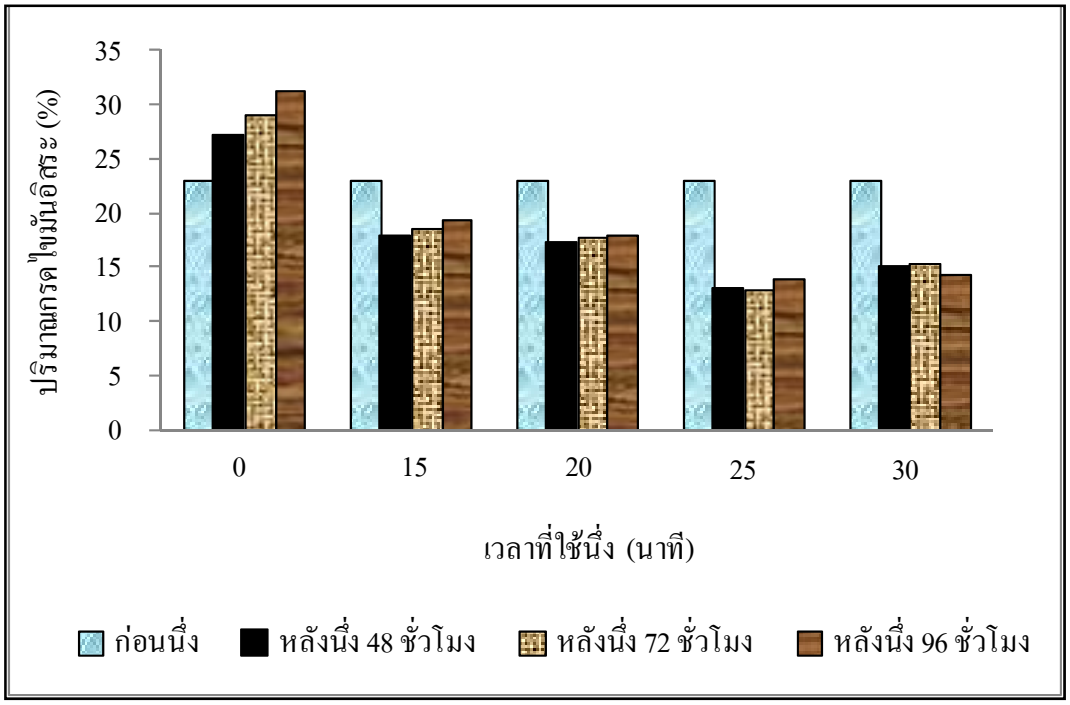
อุปกรณ์นึ่ง	เวลานึ่ง (นาที)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%)				
		ก่อนนึ่ง	หลังนึ่ง (ชั่วโมง)			
			24	48	72	96
เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน	ไม่นึ่ง	20.98	22.99	25.04	29.16	31.20
	3	20.98	4.63	4.56	4.34	4.55
	5	20.98	2.15	2.14	2.32	2.35
	7	20.98	2.3	2.52	2.51	2.49
	9	20.98	2.54	2.88	2.88	2.87
	11	20.98	5.6	3.46	2.73	2.8
	13	20.98	2.81	3.34	3.12	2.68
เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน	ไม่นึ่ง	23.13	N/A	27.08	29.13	31.23
	15	23.13	N/A	17.90	18.63	19.31
	20	23.13	N/A	17.27	17.75	17.92
	25	23.13	N/A	13.12	13.00	13.89
	30	23.13	N/A	15.05	15.34	14.45
หม้อนึ่งความดัน	60	20.98	2.77	3.83	3.59	3.85



รูปที่ 4.24 ปริมาณกรดไขมันอิสระหลังนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน



รูปที่ 4.25 ปริมาณกรดไขมันอิสระหลังนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน



รูปที่ 4.26 ปริมาณกรดไขมันอิสระหลังนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

4.4.2 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นในน้ำมันปาล์มมีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการนึ่งในลักษณะแปรผกผัน คือ เมื่อใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนนึ่งผลปาล์มน้ำมันที่เวลา 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 นาที ปริมาณความชื้นหลังนึ่งมีค่า 3.32, 3.10, 2.51, 2.98, 2.14 และ 0.47% ตามลำดับ จากความชื้นเริ่มต้นก่อนนึ่ง 6.68% ดังแสดงใน ตารางที่ 4.4 เนื่องจากการนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนนั้น จะเกิดความร้อนขึ้นทำให้น้ำระเหยออกจากผลปาล์มน้ำมันและออกสู่ภายนอกห้องอบ ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในผลปาล์มน้ำมันจึงลดลง ส่งผลให้ปริมาณความชื้นในน้ำมันลดลงเช่นเดียวกัน เมื่อใช้เวลาในการนึ่งเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่มีค่าความชื้นลดลงเมื่อเวลาการนึ่งเพิ่มขึ้น จากความชื้นเริ่มต้นของผลปาล์มน้ำมันก่อนนึ่ง 1.54 % เมื่อนึ่งที่เวลา 15, 20, 25 และ 30 นาที ปริมาณความชื้นหลังนึ่งมีค่าลดลงเหลือ 1.40, 1.05, 1.07 และ 0.98% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของปราการ กาญจนวดี และคณะ (2544) ที่ศึกษาการใช้เตาอบไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 850 วัตต์ เพื่ออบผลปาล์มน้ำมัน โดยใช้เวลาในการอบ 14 นาที พบว่าผลปาล์มน้ำมันจะเหลือความชื้นเพียง 4.07% จากเริ่ม 47.07% แต่ผลที่ได้จากการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟนั้นมีความแตกต่างจากการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันเพราะการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันจะใช้ไอน้ำผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งจึงมีน้ำเป็นองค์ประกอบเพิ่มขึ้นความชื้นจึงสูงขึ้น

ตารางที่ 4.4 ปริมาณความชื้น

อุปกรณ์นึ่ง	เวลานึ่ง	ปริมาณความชื้น (%)	
	(นาที)	ก่อนนึ่ง	หลังนึ่ง
เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน	3	6.68	3.32
	5	6.68	3.10
	7	6.68	2.51
	9	6.68	2.98
	11	6.68	2.14
	13	6.68	0.47
เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน	15	1.54	1.40
	20	1.54	1.05
	25	1.54	1.07
	30	1.54	0.98
หม้อนึ่งความดัน	60	6.68	12.55

4.4.3 คุณภาพของผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

จากการพิจารณาและวิเคราะห์คุณภาพของผลปาล์มน้ำมันหลังการนึ่งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนด้าน ความชื้น ความสุก อุณหภูมิสูงสุด และปริมาณกรดไขมันอิสระ ที่เกิดขึ้นของน้ำมันปาล์มพบว่าลักษณะของเนื้อผลปาล์มน้ำมันหลังการนึ่งมีความอ่อนนุ่มและหีบน้ำมันง่าย โดยใช้เวลานึ่งน้อยที่สุด 3 นาที ความชื้นลดลงเมื่อเวลานึ่งเพิ่มขึ้นโดยความชื้นต่ำสุดเหลือเพียง 0.47% (จากเริ่มต้น 6.68%) และอุณหภูมิสูงสุด 77 องศาเซลเซียส (สำหรับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนวัดอุณหภูมิบริเวณผนังห้องอบ) ที่เวลานึ่ง 13 นาที หากพิจารณาปริมาณกรดไขมันอิสระจะพบว่าเวลานึ่ง 3 นาที สามารถทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงจาก 20.98% เป็น 4.56% โดยที่บริเวณผนังห้องอบมีอุณหภูมิ 57 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน ตารางที่ 4.5 ปกติอุณหภูมิต่ำสุดในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันที่สามารถยับยั้งการเกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบได้ คือ 55 องศาเซลเซียส (สภาอุตสาหกรรมจังหวัดกระบี่ และ บริษัท เอส.ที.อี.อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, WWW, 2550)

4.4.4 คุณภาพของผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นสามารถยืนยันได้ถึงความสามารถของการนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้ในการนึ่งผลปาล์มน้ำมัน แต่อย่างไรก็ดีการนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน มีขนาดเล็กไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง จึงได้ทำการทดลองกับเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการนึ่งผลปาล์มน้ำมันปริมาณมาก

จากผลการทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานพบว่าระยะ เวลาที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันแล้วทำให้ผลปาล์มน้ำมันนุ่ม คือ 20 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่สามารถทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเหลือ 17.27% (จาก 23.23%) เมื่อทำการนึ่งต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 30 นาที พบว่าค่าความชื้นลดลงจาก 1.54% เป็น 0.98% การนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานจะใช้เวลาเพียง 20 นาที ในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสได้ เนื่องจากอุณหภูมิขณะนึ่งประมาณ 60 องศาเซลเซียส (วัดอุณหภูมิบริเวณผลปาล์มน้ำมันขณะนึ่ง) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิมาตราฐานที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดกรดไขมันอิสระ แต่ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ลดลงนั้นยังลดลงในปริมาณน้อยหากทำการนึ่งที่เวลาเพิ่มขึ้นจะสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงได้อีก ซึ่งปริมาณกรดไขมันอิสระที่ลดได้ยังสูงกว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบ ที่มาตราฐาน คือ 3% การลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบจะเกิดขึ้นในขั้นตอนต่อไปของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

4.5 ผลการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มน้ำมัน

จากตารางที่ 4.6 พบว่าพลังงานจำเพาะที่ใช้นึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนและแบบสายพานมีค่า 1.52 และ 2.17 กิโลจูลต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำที่มีอัตราการใช้ไอน้ำ 0.50 ตันไอน้ำต่อตันทะลายปาล์มน้ำมันสด หรือ 1357.28 เมกกะจูลเทอร์มัลต่อตันทะลายปาล์มสด ใช้เวลานึ่ง 60 นาที จะใช้พลังงานจำเพาะในการนึ่ง 1.36 กิโลจูลเทอร์มัลต่อกิโลกรัมทะลายปาล์มสด (รายละเอียดการคำนวนแสดงในภาคผนวก ค.) ซึ่งจะเห็นว่าการใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันจะใช้พลังงานมากกว่าการนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำแต่เมื่อพิจารณาเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนพบว่าจะใช้พลังงานใกล้เคียงกันซึ่งอาจเป็นเพราะขนาดของเตาอบ (ห้องอบ) และลักษณะของการวางแมกนีตรอนทำให้ประสิทธิภาพของการนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานไม่ดีเท่าที่ควร

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่ง

อุปกรณ์นึ่ง	**เวลา (นาที)**	**ลักษณะผลปาล์มน้ำมันหลังนึ่ง**	**ความชื้น (%)**	**ความสุก**	**อุณหภูมิสูงสุด (°C)**	**ปริมาณกรดไขมันอิสระหลังนึ่ง 48 ชั่วโมง (%)**
เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน	ไม่นึ่ง	แข็ง	6.68	-	-	20.98
	3	อ่อน นุ่ม	3.32	สุก	57*	4.56
	5	อ่อน นุ่ม	3.10	สุก	60*	2.14
	7	อ่อน นุ่ม	2.51	สุก	69*	2.52
	9	อ่อน นุ่ม	2.98	สุก	73*	2.88
	11	อ่อน นุ่ม	2.14	สุก	75*	3.46
	13	อ่อน นุ่ม	0.47	สุก	77*	3.34
เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน	ไม่นึ่ง	แข็ง	1.54	-	-	23.13
	15	แข็ง	1.40	ไม่สุก	48**	17.90
	20	อ่อน นุ่ม	1.05	สุก	60**	17.27
	25	อ่อน นุ่ม	1.07	สุก	79**	13.12
	30	อ่อน นุ่ม	0.98	สุก	72**	15.05
หม้อนึ่งความดัน	ไม่นึ่ง	แข็ง	6.68	-	-	23.47
	60	อ่อน นุ่ม	12.55	สุก	120	3.83

หมายเหตุ: * วัดอุณหภูมิบริเวณผนังห้องอบด้านในขณะนึ่ง (เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน)

** วัดอุณหภูมิบริเวณผลปาล์มน้ำมันขณะนึ่ง (เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน)

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานสำหรับนึ่งผลปาล์มน้ำมัน

อุปกรณ์นึ่ง	**เวลา (นาที)**	**พลังงาน (W_e)**	**พลังงานที่ใช้ทั้งหมด (MJ_{th})**	**พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด (MJ_{th}/1 kg ผลปาล์มน้ำมันสด)**
เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน (น้ำหนัก 0.50 kg)	3	1,145	0.76	1.52
	5	1,087	1.19	2.38
	7	1,028	1.55	3.10
	9	1,022	1.98	3.96
	11	1,042	2.48	4.96
	13	1,032	2.88	5.76
เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน (น้ำหนัก 10.00 kg)	15	5265	17.06	1.71
	20	5038	21.74	2.17
	25	5709	30.82	3.08
	30	5250	34.02	3.04
หม้อนึ่งความดัน* (น้ำหนัก 1,000.00 kg)	60	-	1357.28**	1.36

หมายเหตุ: * กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, WWW, 2551

** Specific enthalpy of steam (Total heat) ที่ Absolute pressure 2.4 bar Boiling point 126°C เท่ากับ 2714.55 kJ/kg

4.6 ต้นทุนในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

4.6.1 ต้นทุนคงที่

ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานราคา 200,000 บาท มีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปี

4.6.2 ต้นทุนในการเดินระบบ

ระหว่างการใช้งานต้องมีการเปลี่ยนแมกนีตรอน เนื่องด้วยแมกนีตรอนมีอายุการใช้งานประมาณ 10,000 ชั่วโมง กำหนดให้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนแมกนีตรอนประมาณ 3 ครั้ง ครั้งละ 20 ตัว ตลอดอายุการใช้งาน แมกนีตรอนราคาตัวละ 450 บาท รวมเป็นค่าใช้จ่าย 27,000 บาท

4.6.3 ต้นทุนด้านพลังงาน

เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานมีอัตราการนึ่งเท่ากับ30 กิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสดต่อชั่วโมง ใช้พลังงานไฟฟ้า 5038 วัตต์ หรือประมาณ 5.038 หน่วย โดยคิดเป็นเงินทั้งสิ้น 17.63 บาท (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.5 บาท) หรือเท่ากับ 0.588 บาทต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด ซึ่งหากนำมาเปรียบเทียบกับการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน ที่มีอัตราการใช้ไอน้ำ (Specific steam consumption) อยู่ที่ 0.50 ตันไอน้ำต่อตันผลปาล์มน้ำมันสด โดยทั่วไปราคาต้นทุนด้านพลังงานที่ใช้ผลิตไอน้ำประมาณ 500 บาทต่อตันไอน้ำ ดังนั้นค่าพลังงานที่ใช้นึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยไอน้ำเท่ากับ 0.25 บาทต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด หากนำต้นทุนของการนึ่งทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกัน การนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานยังคงมีต้นทุนด้านพลังงานสูงกว่าการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน อย่างไรก็ดีหากเกษตรกรจะทำการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้ไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงอื่น ๆ เช่น น้ำมันเตา หรือLPG จะมีต้นทุนผลิตไอน้ำประมาณ 850 และ 1,300 บาทต่อตันไอน้ำ ตามลำดับ ทำให้ต้นทุนนึ่งปาล์มน้ำมันสูงขึ้นเป็น 0.45 และ 0.65 บาทต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด ตามลำดับ ซึ่งมีราคาสูงเทียบเคียงกับการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาในด้านอื่น ๆ ประกอบด้วย ของเสียและมลพิษที่เกิดขึ้นพบว่าการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานไม่มีของเสียออกจากระบบทำให้ไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้แตกต่างกับการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันที่มีน้ำเสียออกจากระบบซึ่งต้องมีการเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้นจากเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนมีแมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ 2450 MHz จำนวน 20 ตัว แต่ละตัวให้พลังงาน 700 วัตต์ การเปิดปิดของแมกนีตรอนถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ มีระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอนด้วยเครื่องปรับอากาศและพัดลม มีระบบขับเคลื่อนชิ้นงานด้วยสายพานแบบต่อเนื่อง ควบคุมความเร็วของสายพานด้วยอินเวอร์เตอร์ ห้องอบแห้งมีขนาด กว้าง ยาว และสูง เท่ากับ 80 200 และ 45 เซนติเมตร ตามลำดับ ทางเข้าออกของวัตถุดิบมีขนาดกว้างและสูง เท่ากับ 75 และ 43 เซนติเมตร ห้องอบมีการออกแบบให้ป้องกันการรั่วไหลของคลื่นสู่ภายนอก ส่วนชุดหม้อแปลงของแมกนีตรอนติดตั้งไว้ภายในห้องแยกส่วนจากแมกนีตรอนเพื่อสะดวกและง่ายต่อการดูแลรักษา

5.1.2 การทดสอบการทำงานของต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

ลักษณะการกระจายตัวของคลื่นภายให้ห้องอบของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานค่อนข้างสม่ำเสมอแต่ยังมีบางจุดที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิ

การทดสอบการนึ่งผลปาล์มน้ำมันเบื้องต้นเพื่อทดสอบหาภาชนะและลักษณะการนึ่งก่อนทำการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมโดยทำการทดลองนึ่งในภาชนะต่าง ๆ ได้แก่ กระสอบ กล่องพลาสติกพีพี และแผ่นตะแกรงเหล็ก 2 ชั้น ที่เวลาและน้ำหนักต่างกันพบว่าการทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยกระสอบน้ำหนัก 30.0 และ 25.0 กิโลกรัม โดยใช้เวลา 30 นาที นั้นผลปาล์มน้ำมันมีลักษณะอ่อนนุ่มเมื่อทดสอบด้วยการสัมผัสเพียงบริเวณรอบ ๆ ผนังของกระสอบ แต่ในบริเวณที่ลึกเข้าไปถึงกลางกระสอบผลปาล์มน้ำมันมีลักษณะแข็ง ส่วนการนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยกล่องพลาสติกพีพี น้ำหนัก 10.0 กิโลกรัม โดยใช้เวลา 20 นาที นั้นผลปาล์มน้ำมันก็มีลักษณะแข็งไม่อ่อนนุ่มและการนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยแผ่นตะแกรงเหล็ก 2 ชั้น ผลปาล์มน้ำมันก็มีลักษณะแข็งไม่อ่อนนุ่มเช่นเดียวกันแต่การนึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยตะแกรงเหล็กชั้นเดียว สามารถทำให้ผลปาล์มน้ำมันมีลักษณะอ่อนนุ่มได้

5.1.3 อุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟ

จากการนึ่งปาล์มน้ำมัน น้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม ด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน โดยใช้เวลา 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 นาที พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับเวลาใน

ลักษณะแปรผันตรง โดยในช่วงประมาณ 0 - 5 นาที แรกมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นแต่หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

ส่วนการนึ่งปาล์มน้ำมัน น้ำหนัก 10.0 กิโลกรัม ด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน โดยใช้เวลา 15, 20, 25 และ 30 นาที พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกับเวลามีความสัมพันธ์กันในลักษณะแปรผันตรงเช่นเดียวกันกับการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนแต่มีความแตกต่างกัน คือ การนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างรวดเร็วตลอดระยะเวลาการนึ่ง แต่การนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนเมื่อใช้เวลานึ่งเพิ่มขึ้นการเพิ่มของอุณหภูมิจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ

5.1.4 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเตาอบไมโครเวฟ

อัตราการเพิ่มขึ้นของเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนในช่วงแรกจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิค่อนข้างสูงประมาณ 9 - 13 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปแนวโน้มอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงอาจเป็นเพราะปริมาณน้ำในปาล์มน้ำมันลดลง ซึ่งแตกต่างจากเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้นอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอประมาณ 1 - 3 องศาเซลเซียส

5.1.5 คุณภาพผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งด้วยวิธีการต่าง ๆ

1) ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของผลปาล์มน้ำมันหลังผ่านการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนนึ่งมีค่า 20.98% และเมื่อนึ่งที่เวลา 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 นาที แล้วทำการหีบน้ำมันตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเหลือ 4.63, 2.15, 2.30, 2.54, 5.60 และ 2.81% ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมัน เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แต่ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 22.99, 25.04, 29.16 และ 31.20% เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งมีผลใกล้เคียงกับผลการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน ที่ปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนนึ่งมีค่า 20.98% และเมื่อทำการนึ่งที่เวลา 60 นาที อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความดัน 2.4 บาร์ แล้วทำการหีบน้ำมัน ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ,48, 72 และ 96 ชั่วโมง มีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 2.77, 3.83, 3.59 และ 3.85% ตามลำดับ

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของผลปาล์มน้ำมันหลังผ่านการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนนึ่งมีค่า 20.13% และเมื่อทำ

การนึ่งที่เวลา 15, 20, 25 และ 30 นาที แล้วหีบน้ำมันตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเหลือ 17.90, 17.27, 13.12 และ 15.05% ตามลำดับ และเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ยกเว้นน้ำมันที่ผ่านการนึ่งที่เวลา 15 นาที จะมีผลแตกต่างกัน คือ มีปริมาณกรดไขมันเพิ่มขึ้นเป็น 18.63 และ 19.3% เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ

2) ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นในน้ำมันปาล์มมีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการนึ่งในลักษณะแปรผกผัน คือ เมื่อใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนนึ่งผลปาล์มน้ำมันที่เวลา 3, 5, 7, 9, 11 และ13 นาที ปริมาณความชื้นหลังนึ่งมีค่า 3.32, 3.10, 2.51, 2.98, 2.14 และ 0.47% ตามลำดับ จากความชื้นเริ่มต้นก่อนนึ่ง 6.68% เช่นเดียวกับการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่มีค่าความชื้นลดลงเมื่อเวลาการนึ่งเพิ่มขึ้น จากความชื้นเริ่มต้นของผลปาล์มน้ำมันก่อนนึ่ง 1.54% เมื่อนึ่งที่เวลา 15, 20, 25 และ 30 นาที ปริมาณความชื้นหลังนึ่งมีค่าลดลงเหลือ 1.40, 1.05, 1.07 และ 0.98%ตามลำดับ

3) คุณภาพของผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

คุณภาพของผลปาล์มน้ำมันหลังการนึ่งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนด้าน ความชื้น ความสุก อุณหภูมิสูงสุด และปริมาณกรดไขมันอิสระ ที่เกิดขึ้นของน้ำมันปาล์มพบว่าลักษณะของเนื้อผลปาล์มน้ำมันหลังการนึ่งมีความอ่อนนุ่มและหีบน้ำมันง่าย โดยใช้เวลานึ่งน้อยที่สุด 3 นาที ความชื้นลดลงเมื่อเวลานึ่งเพิ่มขึ้นโดยความชื้นต่ำสุดเหลือเพียง 0.47% (จากเริ่มต้น 6.68%) และอุณหภูมิสูงสุด 77 องศาเซลเซียส (สำหรับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนวัดอุณหภูมิบริเวณผนังห้องอบ) ที่เวลานึ่ง 13 นาที หากพิจารณาปริมาณกรดไขมันอิสระจะพบว่าเวลานึ่ง 3 นาที สามารถทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงจาก 20.98% เป็น 4.56% โดยที่บริเวณผนังห้องอบมีอุณหภูมิ 57 องศาเซลเซียส

4) คุณภาพของผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

การทดลองนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันแล้วทำให้ผลปาล์มน้ำมันนุ่ม คือ 20 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่สามารถทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเหลือ 17.27% (จาก 23.23%) เมื่อทำการนึ่งต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 30 นาที พบว่าค่าความชื้นลดลงจาก 1.54% เป็น 0.98% การนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานจะใช้เวลาเพียง 20 นาที ในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสได้ เนื่องจากอุณหภูมิขณะนึ่งประมาณ 60 องศาเซลเซียส

5.1.6 พลังงานที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มน้ำมัน

พลังงานจำเพาะที่ใช้นึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนและแบบสายพานมีค่า 1.52 และ 2.17 กิโลจูลต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำที่มีอัตราการใช้ไอน้ำ 0.50 ตันไอน้ำต่อตันทะลายปาล์มน้ำมันสด หรือ 1357.28 เมกกะจูลเทอร์มัลต่อตันทะลายปาล์มสด ใช้เวลานึ่ง 60 นาที จะใช้พลังงานจำเพาะในการนึ่ง 1.36 กิโลจูลเทอร์มัลต่อกิโลกรัมทะลายปาล์มสด

5.1.7 ต้นทุนในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

1) ต้นทุนคงที่

ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานราคา 200,000 บาท มีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปี

2) ต้นทุนในการเดินระบบ

ระหว่างการใช้งานต้องมีการเปลี่ยนแมกนีตรอนเนื่องด้วยแมกนีตรอนมีอายุการใช้งานประมาณ 10,000 ชั่วโมง กำหนดให้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนแมกนีตรอนประมาณ 3 ครั้ง ครั้งละ 20 ตัว ตลอดอายุการใช้งานแมกนีตรอนราคาตัวละ 450 บาท รวมเป็นค่าใช้จ่าย 27,000 บาท

3) ต้นทุนด้านพลังงาน

เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานมีอัตราการนึ่งเท่ากับ 30 กิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสดต่อชั่วโมง ใช้พลังงานไฟฟ้า 5038 วัตต์ หรือประมาณ 5.038 หน่วย โดยคิดเป็นเงินทั้งสิ้น 17.63 บาท (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.5 บาท) หรือเท่ากับ 0.588 บาทต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด ซึ่งหากนำมาเปรียบเทียบกับการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน ที่มีอัตราการใช้ไอน้ำอยู่ที่ 0.50 ตันไอน้ำต่อตันผลปาล์มน้ำมันสด โดยทั่วไปราคาต้นทุนด้านพลังงานที่ใช้ผลิตไอน้ำประมาณ 500 บาทต่อตันไอน้ำ ดังนั้นค่าพลังงานที่ใช้นึ่งผลปาล์มน้ำมันด้วยไอน้ำเท่ากับ 0.25 บาทต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด หากนำต้นทุนของการนึ่งทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกัน การนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานยังคงมีต้นทุนด้านพลังงานสูงกว่าการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน อย่างไรก็ดีหากเกษตรกรจะทำการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้ไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงอื่น ๆ เช่น น้ำมันเตาหรือLPG จะมีต้นทุนผลิตไอน้ำประมาณ 850 และ 1,300 บาทต่อตันไอน้ำ ตามลำดับ ทำให้ต้นทุนนึ่งปาล์มน้ำมันสูงขึ้นเป็น 0.45 และ 0.65 บาทต่อกิโลกรัมผลปาล์มน้ำมันสด ตามลำดับ

5.2 การนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟในกระบวนนึ่งปาล์มน้ำมันพบว่าสามารถยับยั้งการเกิดกรดไขมันอิสระได้ ทำให้ผลปาล์มอ่อนนิ่มง่ายต่อการหีบน้ำมัน ใช้เวลาน้อย ไม่มีของเสียออกจากระบบ ใช้งานสะดวก ซึ่งเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่จะนำไปสู่การพัฒนาเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานสำหรับใช้ในการนึ่งปาล์มที่เหมาะสมกับเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมันต่อไป

5.3 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต

ในการประยุกต์เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันพบว่าสามารถยับยั้งเอนไซม์ไลเปสและลดปริมาณกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันได้ในระยะเวลาที่สั้นกว่าการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำ ในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระนั้นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงซึ่งต้องทำการทดลองหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นต่อไป เมื่อพิจารณาพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการนึ่งพบว่าการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้นมีค่าค่อนข้างสูง จำเป็นต้องทำการออกแบบห้องอบและลักษณะการจัดวางหัวแมกนีตรอนใหม่ โดยมีเป้าหมายให้มีประสิทธิภาพเทียบเคียงกับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน ซึ่งมีพลังงานจำเพาะในการนึ่งปาล์มน้ำมันเทียบเคียงกับการนึ่งโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำ

รายการอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2551). **Process น้ำมันปาล์ม** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www2.dede.go.th/Wboard/Question.asp.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2551). **ปาล์มน้ำมัน**[ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.doae.go.th/plant/palm.htm.

จันทรา ดิษฐนา. (2549). **การทำแห้งดอกกุหลาบด้วยระบบปั๊มความร้อนและสูญญากาศ.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จันทร์สม แก้วอุดร. (2546). **การทำให้รำข้าวมีความคงตัวด้วยเตาอบไมโครเวฟ**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์อาหาร) ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จันทร์สม แก้วอุดร. (2546). อ้างถึงใน ปราการ กาญจนวดี และ ธีระพงศ์ จันทรนิยม. (2544). หน้า 18. **การทำให้รำข้าวมีความคงตัวด้วยเตาอบไมโครเวฟ**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์อาหาร) ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จันทร์สม แก้วอุดร. (2546). อ้างถึงใน Ramezadeh, F.M., R.M.Rao, M. Windhuaser, R.T. Tulley, W.prinyawiwa tkul and W.E.Marshall. (1999). หน้า 14. **การทำให้รำข้าวมีความคงตัวด้วยเตาอบไมโครเวฟ**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์อาหาร) ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เทวรัตน์ ทิพยวิมล. (2551). **การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟเพื่ออบแห้งสมุนไพร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก วิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. (2546). **คู่มือน้ำมันปาล์มและการจัดการสวน**. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นคร สาระคุณ. (2545). **การจัดการการผลิตปาล์มน้ำมัน.** เอกสารการสอน ชุดวิชา การจัดการการผลิตพืชไร่อุตสาหกรรม สาขาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

บัญญัติ นิยมวาส. (2544). **การพัฒนาระบบอบแห้งผลปาล์มน้ำมัน.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. (2551). **พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ.** กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. (2549). **คัมภีร์ปาล์มน้ำมัน พืชเศรษฐกิจเพื่อบริโภคและอุปโภค.** กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มติชน.

มยุรี ปฏิมาพรเทพ. (2546). ชุดวัดความชื้นในเตาอบไมโครเวฟสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชามาตรวิทยาทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. (2551). **กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม**[ออนไลน์]. ได้จาก: http://it.doa.go.th/palm/breed.html.

สัณห์ชัย กลิ่นพิกุล. (2551). **โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการทอดผลปาล์มภายใต้สภาพสุญญากาศ**[ออนไลน์]. ได้จาก:http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th**.**

เหมการ์ จินดาวัฒนภูมิ. (2545). **การศึกษาแบบจำลองการทำแห้งระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟกับพริกไทย.** ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อิบรอเฮม ยีดำ. (2551). ปาล์มน้ำมัน[ออนไลน์]. ได้จาก:http://www.natres.psu.ac.th/Department/PlantSci*ence/*510-211/lecturenote/slidePPT/oilpalm.ppt.

Chow MC and Ma AN. (2007). **Processing of fresh palm fruits using microwaves**[On-line]. Available:http://www.nlm.nih.gov/sites/entrez.

D.Firestone. (1999). Official methods and recommended practices of the american oil chemists society. **American Oil Chemists Society Method Ca 5a-40**.

I.Albas Ozkan B.Akbudak and N.Akbudak. (2005). Microwave drying characteristics of spinach. **Journal of Food Engineering**, 78: 577-583.

Jiaxun, T., R.Roa and J.Liuzzo. (1993). Microwave heating for rice bran stabilization . **Journal of Microwave Power and Electromanetic Energy**. 28(3): 156-164.

Sharma G.P. and Suresh Prasad. (2002). Dielectric properties of garlic (Allium sativum) at 2450 MHz as function of temperature and moisture content. **Journal of Food Engineering**, 52: 343-348.

Tomas Funebo and Thomas Ohlsson. (1998). Microwave - assisted air dehydration of apple and mushroom. **Journal of Food Engineering**, 38: 353-367.

Tulasidas T.N., G.S.V. Raghavan and A.S. Mujumdar. (1995). Microwave drying of Grapes in a Single mode cavity at 2540 MHz I: Drying Kinetics. **Drying Technology**, 13 (8&9): 1949-1971.

Y.Soysal. (2004). Microwave drying characteristics of parsiey. **Biosystems engineering**, 89(2): 167-173.

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์ค่าของกรดไขมันอิสระ

ก1. คำนิยาม

กรดไขมันอิสระ คือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาเป็นกลางกับกรดไขมันอิสระ (Free fatty acids, FFA) ที่มีในน้ำมันหนักหนึ่งกรัม

ก2. สารละลายที่ใช้และวิธีเตรียม

- เตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำกลั่น ความเข้นข้น 0.1 นอร์มัล ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5.61 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 1 ลิตร
- เตรียมสารผสมโพรพานอลกับโทลูอีนในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาตร และทำให้เป็นกลางต่อฟีนอล์ฟทาลีนด้วยสารละลายสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
- เตรียมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ ละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1 กรัม ในโพรพานอลทำให้เป็น 100 มิลลิลิตร

ก3. วิธีวิเคราะห์

- ชั่งน้ำมันที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันปริมาณ ดังแสดงใน ตารางที่ ก1. ให้ได้น้ำหนักแน่นอนใส่ในขวดรูปชมพู่พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักน้ำมัน

ตารางที่ ก1. น้ำหนักน้ำมันที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ค่าของกรด %	น้ำหนักน้ำมัน (±10%) กรัม	ความละเอียดในการชั่ง ± กรัม
0 - 1	20	0.05
1 - 4	10	0.02
4 - 15	2.5	0.01
15 - 75	0.5	0.001
มากกว่า 75	0.1	0.0002

- เติมสารผสมโพรพานอลกับโทลูอีน ปริมาณ 125 มิลลิลิตร โดยใช้กระบอกตวง เขย่าให้น้ำมันละลาย อาจใช้ความร้อนในกรณีที่น้ำมันไม่ละลายในสารละลาย
- เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ ปริมาณ 2 มิลลิลิตร
- ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จนสารละลายเริ่มเปลี่ยนสีเป็น สีชมพูอ่อนและคงตัวอยู่ 30 วินาที บันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ก4. วิธีการคำนวณ

ค่าความเป็นกรด

$$AV = \frac{56.1 \times N \times V}{m}$$

AV = ค่าความเป็นกรด, มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน
N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์, นอร์มัล
V = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรต, มิลลิลิตร
m = น้ำหนักน้ำมัน, กรัม

ปริมาณกรดไขมันอิสระ

$$\%FFA \text{ (As palmitic acid)} = \frac{AV}{2.19}$$

ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA = ปริมาณกรดไขมันอิสระ, ร้อยละโดยน้ำหนัก)

ปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปเปอร์เซ็นต์กรดปาล์มมิติกใช้สำหรับน้ำมันที่มีกรดปาล์มมิติกเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง เช่น น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มโอเลอิน ปาล์มสเตียริน

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ข1. ข้อมูลอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

ทดลอง ……3……. นาที										
TIME (min)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			เฉลี่ย
	Temp.	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	ΔTemp.
0	27.00	29.00	0.00	28.90	29.00	0.00	30.10	28.50	0.00	0.00
1	31.00	29.00	4.00	38.80	29.00	9.90	41.10	28.50	11.00	10.45
2	37.50	29.00	6.50	47.30	29.00	8.50	50.60	28.50	9.50	9.00
3	43.20	29.00	5.70	53.80	29.00	6.50	56.90	28.50	6.30	6.40
ทดลอง ……5……. นาที										
TIME (min)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			เฉลี่ย
	Temp.	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	ΔTemp.
0	26.80	29.10	0.00	28.60	28.50	0.00	30.00	28.40	0.00	0.00
1	30.80	29.10	4.00	38.50	28.50	9.90	41.00	28.30	11.00	10.45
2	37.30	29.10	6.50	47.00	28.50	8.50	50.50	28.30	9.50	9.00
3	43.00	29.00	5.70	52.50	28.50	5.50	56.80	28.30	6.30	5.90
4	51.50	29.00	8.50	57.50	258.50	5.00	60.00	28.30	3.20	4.10
5	56.50	28.90	5.00	61.50	28.50	4.00	63.30	28.20	3.30	3.65
ทดลอง ……7……. นาที										
TIME (min)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			เฉลี่ย
	Temp.	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	ΔTemp.
0	30.40	28.20	0.00	29.80	28.20	0.00	29.30	28.10	0.00	0.00
1	41.30	28.20	10.90	41.90	28.20	12.10	45.80	28.10	16.50	13.17
2	51.20	28.20	9.90	51.80	28.20	9.90	50.30	28.10	4.50	8.10
3	57.00	28.10	5.80	58.00	28.20	6.20	57.80	28.10	7.50	6.50
4	61.20	28.10	4.20	61.80	28.20	3.80	60.80	28.10	3.00	3.67
5	63.70	28.10	2.50	64.80	28.20	3.00	65.00	28.00	4.20	3.23
6	66.70	28.10	3.00	66.50	28.20	1.70	67.80	28.00	2.80	2.50
7	68.50	28.10	1.80	70.30	28.10	3.80	69.50	28.00	1.70	2.43

ตารางที่ข1. ข้อมูลอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน (ต่อ)

ทดลอง ……9……. นาที										
TIME (min)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			เฉลี่ย
	Temp.	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	ΔTemp.
0	30.50	28.20	0.00	29.80	28.20	0.00	29.30	28.10	0.00	0.00
1	41.50	28.20	11.00	41.90	28.20	12.10	45.80	28.10	16.50	13.20
2	51.00	28.20	9.50	51.80	28.20	9.90	50.30	28.10	4.50	7.97
3	56.80	28.10	5.80	58.00	28.20	6.20	57.80	28.10	7.50	6.50
4	61.00	28.10	4.20	61.80	28.20	3.80	60.80	28.10	3.00	3.67
5	63.50	28.10	2.50	64.80	28.20	3.00	65.00	28.00	4.20	3.23
6	66.50	28.10	3.00	66.50	28.20	1.70	67.80	28.00	2.80	2.50
7	68.30	28.10	1.80	70.30	28.10	3.80	69.50	28.00	1.70	2.43
8	70.00	28.10	1.70	71.50	28.10	1.20	71.80	28.00	2.30	1.73
9	72.30	28.10	2.30	73.30	28.10	1.80	74.00	28.00	2.20	2.10
ทดลอง ……11……. นาที										
TIME (min)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			เฉลี่ย
	Temp.	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	ΔTemp.
0	30.60	28.00	0.00	30.00	27.10	0.00	29.10	27.00	0.00	0.00
1	39.70	28.00	9.10	37.00	27.10	7.00	39.00	27.00	9.90	8.67
2	49.10	28.00	9.40	46.00	27.10	9.00	48.90	27.00	9.90	9.43
3	55.80	28.00	6.70	51.00	27.10	5.00	53.90	27.00	5.00	5.57
4	59.20	28.00	3.40	56.00	27.10	5.00	58.00	27.00	4.10	4.17
5	63.00	28.00	3.80	61.00	27.10	5.00	63.00	27.00	5.00	4.60
6	66.30	28.00	3.30	64.10	27.10	3.10	65.00	27.00	2.00	2.80
7	68.40	28.00	2.10	68.10	27.10	4.00	68.40	27.00	3.40	3.17
8	70.30	27.70	1.90	70.00	27.10	1.90	70.70	27.00	2.30	2.03
9	72.30	27.70	2.00	73.10	27.10	3.10	71.40	27.00	0.70	1.93
10	73.40	27.70	1.10	74.20	27.10	1.10	73.00	27.00	1.60	1.27
11	75.10	27.70	1.70	75.20	27.10	1.00	75.00	27.00	2.00	1.57

ตารางที่ข1. ข้อมูลอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน (ต่อ)

ทดลอง ……13……. นาที										
TIME	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			เฉลี่ย
(min)	Temp.	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	ΔTemp.
0	30.50	27.90	0.00	30.30	27.30	0.00	29.50	27.10	0.00	0.00
1	39.80	27.90	9.30	37.50	27.30	7.20	38.90	27.10	9.40	8.63
2	49.00	27.80	9.20	46.50	27.30	9.00	48.50	27.10	9.60	9.27
3	55.30	27.80	6.30	51.50	27.30	5.00	53.80	27.10	5.30	5.53
4	59.80	27.80	4.50	56.50	27.30	5.00	58.30	27.10	4.50	4.67
5	63.00	27.80	3.20	61.30	27.30	4.80	62.80	27.10	4.50	4.17
6	66.50	27.80	3.50	64.50	27.30	3.20	65.30	27.00	2.50	3.07
7	68.80	27.70	2.30	68.80	27.20	4.30	68.50	27.00	3.20	3.27
8	70.50	27.70	1.70	70.80	27.20	2.00	70.30	27.00	1.80	1.83
9	72.80	27.70	2.30	73.00	27.20	2.20	71.80	27.00	1.50	2.00
10	73.80	27.70	1.00	74.80	27.30	1.80	72.30	27.00	0.50	1.10
11	75.00	27.70	1.20	75.80	27.30	1.00	74.30	27.00	2.00	1.40
12	76.80	27.70	1.80	76.80	27.30	1.00	75.80	27.00	1.50	1.43
13	77.80	27.70	1.00	78.00	27.30	1.20	76.30	27.00	0.50	0.90

ตารางที่ ข2. ข้อมูลอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

ทดลอง ……15……. นาที										
TIME (min)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			เฉลี่ย
	Temp.	Temp .s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	ΔTemp.
0	24.80	24.80	0.00	24.30	24.30	0.00	24.00	24.00	0.00	0.00
1	25.00	24.80	0.20	25.00	24.30	0.70	26.80	24.00	2.80	1.23
2	26.50	24.80	1.50	26.50	24.30	1.50	27.30	24.00	0.50	1.17
3	28.80	24.80	2.30	28.80	24.30	2.30	28.50	24.00	1.20	1.93
4	32.50	24.80	3.70	32.00	24.30	3.20	31.00	24.00	2.50	3.13
5	34.00	24.80	1.50	33.80	24.30	1.80	32.50	24.00	1.50	1.60
6	34.80	24.80	0.80	35.00	24.30	1.20	33.80	24.00	1.30	1.10
7	36.50	24.80	1.70	35.80	24.30	0.80	34.00	24.00	0.20	0.90
8	37.80	24.80	1.30	37.80	24.30	2.00	36.00	24.00	2.00	1.77
9	39.00	24.80	1.20	39.80	24.30	2.00	37.50	24.00	1.50	1.57
10	40.50	24.80	1.50	42.50	24.30	2.70	39.80	24.00	2.30	2.17
11	42.00	24.80	1.50	43.30	24.30	0.80	40.50	24.00	0.70	1.00
12	45.30	24.80	3.30	44.30	24.30	1.00	42.00	24.00	1.50	1.93
13	46.30	24.80	1.00	45.50	24.30	1.20	42.50	24.00	0.50	0.90
14	46.30	24.80	0.00	46.80	24.30	1.30	43.80	24.00	1.30	0.87
15	48.00	24.80	1.70	48.30	24.30	1.50	47.50	24.00	3.70	2.30

ตารางที่ ข2. ข้อมูลอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน (ต่อ)

ทดลอง ……20……. นาที										
TIME (min)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			เฉลี่ย
	Temp.	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	ΔTemp.
0	32.00	32.00	0.00	30.00	30.00	0.00	31.00	31.00	0.00	0.00
1	33.80	32.00	1.80	32.00	30.00	2.00	32.00	31.00	1.00	1.60
2	33.00	32.00	0.80	33.00	30.00	1.00	33.00	31.00	1.00	0.40
3	35.80	32.00	2.80	34.00	30.00	1.00	34.30	31.00	1.30	1.70
4	36.00	32.00	0.20	34.80	30.00	0.80	36.80	31.00	2.50	1.17
5	37.50	32.00	1.50	35.30	30.00	0.50	38.30	31.00	1.50	1.17
6	39.50	32.00	2.00	36.30	30.00	1.00	39.80	31.00	1.50	1.50
7	42.50	32.00	3.00	37.50	30.00	1.20	41.50	31.00	1.70	1.97
8	43.30	32.00	0.80	39.30	30.00	1.80	44.30	31.00	2.80	1.80
9	43.80	32.00	0.50	41.50	30.00	2.20	46.30	31.00	2.00	1.57
10	44.50	32.00	0.70	43.30	30.00	1.80	47.50	31.00	1.20	1.23
11	45.00	32.00	0.50	45.30	30.00	2.00	49.50	31.00	2.00	1.50
12	49.80	32.00	4.80	47.50	30.00	2.20	51.80	31.00	2.30	3.10
13	50.80	32.00	1.00	49.30	30.00	1.80	54.00	31.00	2.20	1.67
14	51.50	32.00	0.70	50.80	30.00	1.50	55.30	31.00	1.30	1.17
15	52.00	32.00	0.50	51.80	30.00	1.00	56.50	31.00	1.20	0.90
16	54.00	32.00	2.00	52.80	30.00	1.00	57.30	31.00	0.80	1.27
17	56.00	32.00	2.00	56.50	30.00	3.70	58.80	31.00	1.50	2.40
18	57.80	32.00	1.80	57.30	30.00	0.80	60.30	31.00	1.50	1.37
19	58.50	32.00	0.70	57.50	30.00	0.20	61.80	31.00	1.50	0.80
20	59.30	32.00	0.80	58.00	30.00	0.50	62.30	31.00	0.50	0.60

ตารางที่ ข2. ข้อมูลอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน (ต่อ)

ทดลอง ……25……. นาที										
TIME	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			เฉลี่ย
(min)	Temp.	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	ΔTemp.
0	26.30	26.30	0.00	26.00	26.00	0.00	29.00	29.00	0.00	0.00
1	27.00	26.30	0.70	27.00	26.00	1.00	29.00	29.00	0.00	0.57
2	28.80	26.30	1.80	28.50	26.00	1.50	29.80	29.00	0.80	1.37
3	31.80	26.30	3.00	30.80	26.00	2.30	32.50	29.00	2.70	2.67
4	35.80	26.30	4.00	33.80	26.00	3.00	35.50	29.00	3.00	3.33
5	38.30	26.30	2.50	34.80	26.00	1.00	37.50	29.00	2.00	1.83
6	40.30	26.30	2.00	36.80	26.00	2.00	38.50	29.00	1.00	1.67
7	42.30	26.30	2.00	37.80	26.00	1.00	41.50	29.00	3.00	2.00
8	46.00	26.30	3.70	39.80	26.00	2.00	44.50	29.00	3.00	2.90
9	48.80	26.30	2.80	43.30	26.00	3.50	47.80	29.00	3.30	3.20
10	49.80	26.30	1.00	46.00	26.00	2.70	51.00	29.00	3.20	2.30
11	53.30	26.30	3.50	47.50	26.00	1.50	51.50	29.00	0.50	1.83
12	55.00	26.30	1.70	48.50	26.00	1.00	54.50	29.00	3.00	1.90
13	56.00	26.30	1.00	51.80	26.00	3.30	57.30	29.00	2.80	2.37
14	59.30	26.30	3.30	54.80	26.00	3.00	60.00	29.00	2.70	3.00
15	63.00	26.30	3.70	56.50	26.00	1.70	62.80	29.00	2.80	2.73
16	63.50	26.30	0.50	58.80	26.00	2.30	66.30	29.00	3.50	2.10
17	64.80	26.30	1.30	61.80	26.00	3.00	67.30	29.00	1.00	1.77
18	65.00	26.30	0.20	63.30	26.00	1.50	68.30	29.00	1.00	0.90
19	67.80	26.30	2.80	63.80	26.00	0.50	70.30	29.00	2.00	1.77
20	69.30	26.30	1.50	65.50	26.00	1.70	72.50	29.00	2.20	1.80
21	69.30	26.30	0.00	66.50	26.00	1.00	76.00	29.00	3.50	1.50
22	71.00	26.30	1.70	70.00	26.00	3.50	77.30	29.00	1.30	2.17
23	72.00	26.30	1.00	72.80	26.00	2.80	77.80	29.00	0.50	1.43
24	74.50	26.30	2.50	74.80	26.00	2.00	79.30	29.00	1.50	2.00
25	77.50	26.30	3.00	77.00	26.00	2.20	81.00	29.00	1.70	2.30

ตารางที่ ข2. ข้อมูลอุณหภูมิของการนึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน (ต่อ)

ทดลอง ……30……. นาที										
TIME	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			เฉลี่ย
(min)	Temp.	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	Temp. in	Temp.s	ΔTemp.	ΔTemp.
0	32.00	32.00	0.00	33.30	33.30	0.00	29.80	29.80	0.00	0.00
1	33.00	32.00	1.00	33.80	33.30	0.50	30.00	29.80	0.20	0.57
2	33.50	32.00	0.50	34.80	33.30	1.00	31.00	29.80	1.00	0.83
3	34.50	32.00	1.00	35.00	33.30	0.20	33.80	29.80	2.80	1.33
4	36.80	32.00	2.30	36.50	33.30	1.50	36.00	29.80	2.20	2.00
5	37.50	32.00	0.70	41.00	33.30	4.50	37.30	29.80	1.30	2.17
6	38.00	32.00	0.50	41.30	33.30	0.30	38.80	29.80	1.50	0.77
7	38.80	32.00	0.80	42.00	33.30	0.70	40.30	29.80	1.50	1.00
8	40.30	32.00	1.50	43.00	33.30	1.00	42.00	29.80	1.70	1.40
9	42.50	32.00	2.20	43.30	33.30	0.30	43.80	29.80	1.80	1.43
10	45.00	32.00	2.50	45.80	33.30	2.50	46.00	29.80	2.20	2.40
11	45.30	32.00	0.30	48.50	33.30	2.70	48.00	29.80	2.00	1.67
12	47.00	32.00	1.70	49.80	33.30	1.30	49.00	29.80	1.00	1.33
13	48.50	32.00	1.50	50.80	33.30	1.00	51.50	29.80	2.50	1.67
14	51.30	32.00	2.80	53.30	33.30	2.50	54.30	29.80	2.80	2.70
15	53.50	32.00	2.20	56.30	33.30	3.00	55.00	29.80	0.70	1.97
16	53.80	32.00	0.30	57.80	33.30	1.50	56.50	29.80	1.50	1.10
17	55.00	32.00	1.20	59.00	33.30	1.20	59.00	29.80	2.50	1.63
18	56.80	32.00	1.80	59.80	33.30	0.80	60.80	29.80	1.80	1.47
19	59.80	32.00	3.00	62.30	33.30	2.50	60.80	29.80	0.00	1.83
20	61.30	32.00	1.50	66.00	33.30	3.70	61.30	29.80	0.50	1.90
21	62.00	32.00	0.70	66.30	33.30	0.30	61.80	29.80	0.50	0.50
22	62.30	32.00	0.30	65.80	33.30	0.50	62.50	29.80	0.70	0.17
23	63.50	32.00	1.20	67.00	33.30	1.20	63.50	29.80	1.00	1.13
24	64.30	32.00	0.80	68.50	33.30	1.50	64.50	29.80	1.00	1.10
25	66.80	32.00	2.50	72.80	33.30	4.30	66.00	29.80	1.50	2.77
26	68.00	32.00	1.20	72.80	33.30	0.00	65.50	29.80	0.50	0.23
27	68.30	32.00	0.30	72.30	33.30	0.50	67.30	29.80	1.80	0.53
28	70.30	32.00	2.00	72.50	33.30	0.20	70.80	29.80	3.50	1.90
29	71.80	32.00	1.50	73.80	33.30	1.30	70.50	29.80	0.30	0.83
30	71.50	32.00	0.30	74.80	33.30	1.00	70.50	29.80	0.00	0.23

ตารางที่ ข3. ตัวอย่างข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ว ด ป	4 12 51			5 12 51		
Sample	นน.ตัวอย่าง	0.1 N KOH ml	% FFA	นน.ตัวอย่าง	0.1 N KOH ml	% FFA
M 3 1	2.0711	4.3	5.32	2.4283	4.6	4.85
M3 2	2.4053	4.4	4.69	2.0219	3.3	4.18
M3 3	3.1021	4.7	3.88	2.0946	3.8	4.65
เฉลี่ย			**4.63**			**4.56**
M5 1	2.3978	2	2.14	2.1006	1.8	2.20
M5 2	2.2124	1.9	2.20	2.1415	1.9	2.27
M5 3	2.1751	1.8	2.12	2.6068	2.0	1.97
เฉลี่ย			**2.15**			**2.14**
M7 1	2.2868	2	2.24	2.2527	2.3	2.62
M7 2	2.3952	2.2	2.35	2.1394	2.0	2.39
M7 3	2.223	2	2.30	2.6203	2.6	2.54
เฉลี่ย			**2.30**			**2.52**
M9 1	2.6124	2.5	2.45	2.1147	2.5	3.03
M9 2	2.3572	2.4	2.61	2.1163	2.4	2.91
M9 3	2.8912	2.9	2.57	2.5479	2.7	2.71
เฉลี่ย			**2.54**			**2.88**
M11 1	2.0991	2.2	2.68	2.1128	2.3	2.79
M11 2	3.3091	3.2	2.48	1.1969	2.3	4.92
M11 3	2.3236	2.4	2.65	2.1987	2.3	2.68
เฉลี่ย			2.60			3.46
M13 1	2.1225	2.3	2.78	2.2736	3.1	3.49
M13 2	1.9246	2.1	2.80	2.4418	3.1	3.25
M13 3	2.3206	2.6	2.87	2.3525	3.0	3.27
เฉลี่ย			**2.81**			**3.34**

ตารางที่ ข4. ข้อมูลการใช้พลังงาน น้ำหนักก่อน และหลังของผลปาล์มน้ำมันที่นึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

ทดลอง ……3……. นาที				
ครั้งที่	1	2	3	หน่วย
ว ด ป	26 11 51			
เวลา	17:00	17:15	17:30	น.
v_{max}	233	238.1	237.1	V
v_{min}	231.2	233	235.2	V
v_{evg}	232.4	236	234.1	V
A_{max}	5.26	4.9	4.8	A
A_{min}	4.54	4.5	4.7	A
A_{evg}	4.95	4.87	4.85	A
Power	1150.27	1149.21	1135.27	W
น้ำหนักเริ่มต้น	500	500	500	กรัม
น้ำหนักหลังอบ	467.08	460.1	459	กรัม
ทดลอง ……5……. นาที				
ครั้งที่	1	2	3	หน่วย
ว ด ป	26 11 51			
เวลา	17:55	18:14	18:24	น.
v_{max}	233.6	238.2	237.4	V
v_{min}	231.5	233.2	235.4	V
v_{evg}	232.3	236.1	234.4	V
A_{max}	5.27	4.79	4.47	A
A_{min}	4.55	4.42	4.3	A
A_{evg}	4.91	4.63	4.39	A
Power	1140.48	1093.04	1028.92	W
น้ำหนักเริ่มต้น	500	500	500	กรัม
น้ำหนักหลังอบ	443.08	455.95	451.54	กรัม

ตารางที่ ข4. ข้อมูลการใช้พลังงาน น้ำหนักก่อนและหลังของผลปาล์มน้ำมันที่นึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน (ต่อ)

ทดลอง ……7……. นาที				
ครั้งที่	1	2	3	หน่วย
ว ด ป	26 11 51			
เวลา	16:15	16:30	16:45	น.
v_{max}	237.40	239.80	236.30	V
v_{min}	237.80	235.00	231.70	V
v_{evg}	237.10	236.00	234.50	V
A_{max}	4.46	4.40	4.54	A
A_{min}	4.20	4.10	4.10	A
A_{evg}	4.34	4.30	4.44	A
Power	1028.91	1014.70	1041.08	W
น้ำหนักเริ่มต้น	500.00	500.00	500.00	กรัม
น้ำหนักหลังอบ	435.00	427.90	439.33	กรัม
ทดลอง ……9……. นาที				
ครั้งที่	1	2	3	หน่วย
ว ด ป	26 11 51			
เวลา	18:36	18:54	19:16	น.
v_{max}	237.90	239.90	236.80	V
v_{min}	237.10	235.80	231.90	V
v_{evg}	237.10	237.00	235.10	V
A_{max}	4.47	4.45	4.56	A
A_{min}	4.19	4.14	4.13	A
A_{evg}	4.33	4.29	4.35	A
Power	1026.54	1016.63	1022.59	W
น้ำหนักเริ่มต้น	500.00	500.00	500.00	กรัม
น้ำหนักหลังอบ	405.83	407.30	405.44	กรัม

ตารางที่ ข4. การใช้พลังงาน น้ำหนักก่อนและหลังของผลปาล์มน้ำมันที่นึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน (ต่อ)

ทดลอง ……11……. นาที				
ครั้งที่	1	2	3	หน่วย
ว ด ป	26 11 51			
เวลา	15:30	15:45	16:00	น.
v_{max}	239.00	238.00	239.00	V
v_{min}	235.10	234.00	233.00	V
v_{evg}	238.80	235.70	236.00	V
A_{max}	4.62	5.00	4.80	A
A_{min}	4.00	4.00	4.10	A
A_{evg}	4.30	4.50	4.40	A
Power	1026.74	1060.55	1038.30	W
น้ำหนักเริ่มต้น	500.00	500.00	500.00	กรัม
น้ำหนักหลังอบ	398.00	388.00	379.00	กรัม
ทดลอง ……13……. นาที				
ครั้งที่	1	2	3	หน่วย
ว ด ป	26 11 51			
เวลา	19:41	20:26	20:58	น.
v_{max}	240.20	238.80	238.90	V
v_{min}	235.30	234.30	234.00	V
v_{evg}	237.80	235.60	235.70	V
A_{max}	4.67	5.01	4.70	A
A_{min}	4.09	4.05	4.14	A
A_{evg}	4.32	4.43	4.35	A
Power	1027.20	1043.61	1025.20	W
น้ำหนักเริ่มต้น	500.00	500.00	500.00	กรัม
น้ำหนักหลังอบ	459.87	358.87	360.91	กรัม

ตารางที่ ข5. ข้อมูลการใช้พลังงาน น้ำหนักก่อนและหลังของผลปาล์มน้ำมันที่นึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

ทดลอง ……15……. นาที				
ครั้งที่	1	2	3	หน่วย
ว ด ป	21 12 51			
เวลา	20:50	21:17	21:41	น.
v_{max}	236.2	234.7	235.5	V
v_{min}	222.8	223.9	224	V
v_{evg}	230.3	229.9	229.6	V
A_{max}	51	32.9	32.9	A
A_{min}	3.6	3.5	0.1	A
A_{evg}	23.5	22.6	22.6	A
Power	5411.52	5195.23	5188.45	W
น้ำหนักเริ่มต้น	10	10	10	กรัม
น้ำหนักหลังอบ	10	10	10	กรัม
ทดลอง ……20……. นาที				
ครั้งที่	1	2	3	หน่วย
ว ด ป	21 12 51			
เวลา	14:18	14:53	15:20	น.
v_{max}	234.4	234.1	234.1	V
v_{min}	226.6	226.2	223	V
v_{evg}	229.8	229.5	227.9	V
A_{max}	32.5	35.3	38.8	A
A_{min}	36	3.5	3.4	A
A_{evg}	21.6	21.1	23.3	A
Power	4963.20	4841.98	5309.55	W
น้ำหนักเริ่มต้น	10	10	10	กรัม
น้ำหนักหลังอบ	10	10	10	กรัม

ตารางที่ ข5. ข้อมูลการใช้พลังงาน น้ำหนักก่อนและหลังของผลปาล์มน้ำมันที่นึ่งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน (ต่อ)

ทดลอง ……25……. นาที				
ครั้งที่	1	2	3	หน่วย
ว ด ป	21 12 51			
เวลา	18:40	19:30	20:06	น.
v_{max}	236.6	236.4	236.8	V
v_{min}	225	225.7	225.2	V
v_{evg}	230.3	230.2	231.1	V
A_{max}	35.7	36.6	36.6	A
A_{min}	3.6	3.5	0	A
A_{evg}	25.5	25.3	23.5	A
Power	5872.08	5823.49	5430.32	W
น้ำหนักเริ่มต้น	10	10	10	กรัม
น้ำหนักหลังอบ	10	10	10	กรัม
ทดลอง ……30……. นาที				
ครั้งที่	1	2	3	หน่วย
ว ด ป	21 12 51			
เวลา	15:56	17:28	18:08	น.
v_{max}	235.4	238	238.1	V
v_{min}	223.5	221.8	224.1	V
v_{evg}	229.7	229.7	230.4	V
A_{max}	32.1	51.4	36.5	A
A_{min}	3.5	3.4	3.6	A
A_{evg}	20.9	23.7	23.9	A
Power	4800.26	5443.36	5506.02	W
น้ำหนักเริ่มต้น	10	10	10	กรัม
น้ำหนักหลังอบ	10	10	10	กรัม

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวนพลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมผลปาล์มสด

ค1. กรณีใช้เตาอบไมโครเวฟ

ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานนึ่งผลปาล์มน้ำมันสดน้ำหนัก 10.0 กิโลกรัม ใช้เวลา 20 นาที และใช้พลังงานไฟฟ้า 5038 วัตต์ วิธีคำนวนหาพลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมผลปาล์มสด คือ

พลังงานที่ใช้ทั้งหมด = 3.6 x พลังงานไฟฟ้า x เวลา

= 3.6 x 5038 วัตต์ x 20 นาที

= 3.6 x (5038 J/s) x (20 mim x 60 s / 1 min)

= 21764160 J

= 21.76 MJ

ดังนั้น นึ่งผลปาล์มน้ำมันสด 10.0 กิโลกรัม ใช้พลังงาน = 21.76 MJ

ถ้านึ่งผลปาล์มน้ำมันสด 1 กิโลกรัม ใช้พลังงาน = (21.76 MJ x 1 กิโลกรัม)/ (10 กิโลกรัม)

= 2.17 MJ

ค2. กรณีใช้หม้อนึ่งความดัน

ใช้หม้อนึ่งความดันความดัน 2.4 บาร์ นึ่งผลปาล์มน้ำมันสด น้ำหนัก 1,000.0 กิโลกรัม ใช้เวลา 60 นาที และใช้พลังงานไอน้ำ 0.5 ตันไอน้ำ (Specific enthalpy of steam (Total heat) ที่ Absolute pressure 2.4 bar Boiling point 126.09 °C เท่ากับ 2714.55 kJ/kg $_{steam}$) วิธีคำนวนหาพลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมผลปาล์มสด คือ

พลังงานที่ใช้ทั้งหมด = Specific enthalpy of steam (Total heat) x พลังงานไอน้ำ

= 2714.55 kJ/kg $_{steam}$ x 500 kg$_{steam}$

= 1357275 kJ

= 1357.26 MJ

ดังนั้น นึ่งผลปาล์มน้ำมันสด 1,000.0 กิโลกรัม ใช้พลังงาน = 1357.26 MJ

ถ้านึ่งผลปาล์มน้ำมันสด 1.0 กิโลกรัม ใช้พลังงาน = (1357.26 MJ x 1.0 / 1,000.0)

= 1.36 MJ

ภาคผนวก ง

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

สาวิตรี คำหอม และ วีรชัย อาจหาญ. (2551). **การศึกษาผลกระทบของสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลต่อค่าความร้อน.** การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9. เทคโนโลยีเพื่อการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่ยั่งยืน. หน้า 192.

สาวิตรี คำหอม วีรชัย อาจหาญ และ ชาญชัย ทองโสภา. (2552). **การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน.** การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10. นวัตกรรมการผลิตทางการเกษตร อาหาร และพลังงานทดแทนเพื่อมนุษยชาติ. หน้า 36.

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 ประจำปี 2551
31 มกราคม 2551 - 1 กุมภาพันธ์ 2551

การศึกษาผลกระทบของสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลต่อค่าความร้อน

Study of the Effects of Biomass Properties on the Heating Value

สาวิตรี คำหอม[1] และ วีรชัย อาจหาญ[*2]
Sawitree Kamhom [1] and Weerachai Arjharn[*2]

บทคัดย่อ

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง แสดงถึงปริมาณพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาขณะเผาไหม้เชื้อเพลิงต่อหน่วยน้ำหนักในรูปของความร้อน ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิง ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลกระทบของสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลต่อค่าความร้อน โดยทำการทดสอบกับเชื้อเพลิงชีวมวล 10 ชนิด คือ ไม้กระถินยักษ์ ไม้ยูคาลิปตัส ไม้กระถินเทพา แกลบ กะลามะพร้าว ซังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง เปลือกมันสำปะหลัง ปีกไม้ยางพารา ทางปาล์ม และมีขั้นตอนการศึกษาคือ 1) ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล คือ ความชื้น สมบัติแบบประมาณและ สมบัติแบบแยกธาตุ 2) ทำการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ความชื้นต่างๆ 3) ทำการศึกษาผลกระทบของธาตุองค์ประกอบต่อค่าความร้อน ผลการศึกษาพบว่า ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลมีผลต่อค่าความร้อน โดยค่าความร้อนจะมีน้อยลงเมื่อเชื้อเพลิงมีความชื้นเพิ่มขึ้น โดยที่องค์ประกอบของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนมีผลต่อค่าความร้อน ทั้งนี้พบว่า สมบัติแบบประมาณ คือ ปริมาณสารระเหย เถ้า และ คาร์บอนคงตัวมีผลต่อค่าความร้อนน้อยมาก

คำสำคัญ : เชื้อเพลิงชีวมวล ค่าความร้อน ค่าความชื้น สมบัติแบบประมาณ สมบัติแบบแยกธาตุ

ABSTRACT

Heating value of fuels is defined as the amount of heat produced from the complete combustion of a unit of fuel. Normally, the heating value of various kinds of biomass is different. It depend on theirs properties and chemical compositions. The objective of this study is to investigate the effect of biomass properties to the heating value. Ten different kinds of biomass fuels including Giant Leucaena (wood), Eucalyptus (wood), Mangium (wood), Rice Hush, Coconut Shell, Corn Cop, Cassava Rhizome, Cassava Bark, Para Rubber (wood) and Palm Bark were used as materials. The study procedures were consisted of 1) evaluating moisture content, proximate and ultimate analysis, 2) analyzing heating value of each biomass fuels with various amounts of moisture content and 3) investigating the effect of chemical composition to heating value. The results showed the heating value will decrease when the moisture content of biomass increases. For the effect of chemical compositions, carbon and hydrogen affect to heating value. It also found that the proximate properties such as volatile matter, ash and fixed carbon have little effect on heating value.

KEYWORDS: biomass fuel, heating value, moisture content, proximate analysis, ultimate analysis

[1]Master Student, School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000.
[2]Assistant Professor, School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000.
* Corresponding author. Tel./Fax: 0-4422-4834; E-mail address: arjharh@sut.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยมีเชื้อเพลิงชีวมวลหรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวนมากทั้งที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการ เกษตรที่อยู่ในโรงงานอุสาหกรรมแปรรูปผลผลิตเกษตรและไร่ นา สวนเกษตร ซึ่งจากข้อมูลการสำรวจปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลคงเหลือในปี 2549 ของมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม พบว่า มีเชื้อเพลิงชีวมวลที่ยังไม่ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานความร้อนหรือไฟฟ้า อีกกว่า 34 ล้านตัน คิดเป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 7,200 ตัน (ktoe) ทั้งนี้เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ที่คงเหลือจะกระจัดกระจายไปในแปลงเกษตร ใช้ต้นทุนสูงในการรวบรวม นอกจากนี้ยังพบว่า เชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่ มีขนาดและความชื้น ที่ยังไม่เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง อย่างไรก็ดีในสภาวะที่เชื้อเพลิงขาดแคลนทำให้โรงไฟฟ้าหรือโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล มองข้ามข้อจำกัดด้านสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยการซื้อ-ขายเชื้อเพลิงชีวมวลในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐาน อาศัยความพึงพอใจระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย ทำให้ธุรกิจด้านเชื้อเพลิงชีวมวล ยังไม่เติบโตในวงกว้างเท่าที่ควร

โดยสากลแล้วการซื้อ-ขายเชื้อเพลิง เช่น ถ่านหินหรือ เชื้อเพลิงชีวมวล จะมีการกำหนดมาตรฐาน โดยใช้สมบัติของเชื้อเพลิง เช่น ความชื้น ปริมาณสารระเหยได้ คาร์บอนคงตัว เถ้า หรือ ปริมาณองค์ประกอบของคาร์บอน ความหนาแน่น และที่สำคัญที่สุด คือ ค่าความร้อน ซึ่งตามทฤษฎีแล้ว ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง หมายถึง พลังงานที่ปลดปล่อยออกมาของเชื้อเพลิงขณะเผาไหม้ต่อหน่วยน้ำหนัก โดยหาได้จากเครื่อง Bomb Calorimeter ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้สำหรับการหาค่าความร้อน ภายใต้สภาวะที่เกิดการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ ในการที่จะส่งเสริมให้เกิดธุรกิจการซื้อ-ขายเชื้อเพลิงชีวมวลอย่างเป็นระบบจำเป็นที่จะต้องมีข้อมูลการวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอย่างละเอียด ซึ่งจะนำไปสู่การกำหนดมาตรฐานและราคาของเชื้อเพลิงในอนาคตเป็นลำดับต่อไป

จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยพบว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการเปลี่ยนคาร์บอนและไฮโดรเจนในองค์ประกอบของเชื้อเพลิงไปเป็น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลขึ้นอยู่กับ สมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis) และสมบัติแบบแบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้มีความแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของชีวมวลแต่ละชนิด (Senelwa และ Sims, 1999) สอดคล้องกับผลการวิจัยของ A.DEMIRBAS (2007) ซึ่งได้ทำการศึกษากับวัสดุชีวมวลถึง 16 ชนิด

นอกจากนี้ A.DEMIRBAS (2007) ยังได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง สมบัติแบบแยกธาตุ สมบัติแบบประมาณ (Proximate analysis) และความชื้น กับค่าความร้อน โดยพบว่า สมบัติแบบประมาณ คือ คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) และ ปริมาณสารระเหยได้ (Volatile matter) มีผลกับค่าความร้อน นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาผลกระทบของความชื้น และไฮโดรเจนต่อค่าความร้อน พบว่าค่าความชื้นในวัสดุชีวมวลเป็นผลทำให้ค่าความร้อนลดลงเพราะค่าความชื้นในวัสดุชีวมวลถูกเก็บไว้ในระหว่างช่องว่างในเซลล์ที่ตาย และผนังเซลล์ ค่าความร้อนจึงลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น และค่าความร้อนสูงของวัสดุชีวมวลจะเพิ่มขึ้นเมื่อไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น เพราะไฮโดรเจนเป็นธาตุองค์ประกอบที่ใช้ในการเผาไหม้ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความร้อนยังขึ้นอยู่กับค่าออกซิเจน คือเมื่อออกซิเจนเพิ่มขึ้นค่าความร้อนจะลดลง โดยแสดงความสัมพันธ์ เอาไว้เป็นสมการที่ (1) ดังนี้

$$LHV_{Biomass} = HHV - 2535\,(9H + W) \qquad (1)$$

เมื่อ LHV และ HHV เป็นค่าความร้อนต่ำ และ ค่าความร้อนสูงตามลำดับ โดยที่ H และ W เป็น สัดส่วนของไฮโดรเจนและ ความชื้น ตามลำดับ

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลต่อค่าความร้อนโดยทำการหา ความสัมพันธ์ของสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทยกับค่าความร้อน เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดมาตรฐานและราคาเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นลำดับต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

1. เครื่อง Bomb Calorimeter
2. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ C H N S Elemental Analyzer
3. เตาเผา (Muffle Furnace)
4. เตาอบ (Drying Oven)
5. เครื่องบดวัตถุดิบ

6. เชื้อเพลิงชีวมวล 10 ชนิด ได้แก่ ไม้กระถินยักษ์ ไม้ยูคาลิปตัส ไม้กระถินเทพา แกลบ กะลามะพร้าว ซังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง เปลือกมันสำปะหลัง ปีกไม้ยางพารา และทางปาล์ม แสดงไว้ใน ภาพที่ 2

ก. เครื่อง Bomb Calorimeter

ข. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ C H N S

ค. เตาเผา (Muffle Furnace)

ง. เตาอบ (Drying Oven)

ภาพที่ 1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวัด

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างชีวมวล ทั้ง 10 ชนิด โดยใช้เครื่องบดเชื้อเพลิง ให้มีลักษณะเป็นผงละเอียด
2. วิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบชนิดต่างๆ (Proximate and Ultimate Analysis)

การวิเคราะห์สมบัติของชีวมวล ได้ดำเนินการวิเคราะห์ตัวอย่างชีวมวลแต่ละชนิด โดยทำการวิเคราะห์สมบัติของชีวมวล 2 แบบ คือ สมบัติแบบประมาณและสมบัติแบบแยกธาตุ ทั้งนี้มีขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

2.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) ใช้วิธีการวิเคราะห์คือ

- ปริมาณความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM D1762 – 84
- ปริมาณสารระเหย ตามมาตรฐาน ASTM D1762 – 84
- ปริมาณเถ้า ตามมาตรฐาน ASTM D1762 – 84
- ปริมาณคาร์บอนคงตัว (By Difference)

2.2 การวิเคราะห์แบบแบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ โดยใช้เครื่อง Carbon, Hydrogen, Nitrogen and Sulfur Analyzer (CHNS-932)

3.วิเคราะห์หาค่าความร้อนตามมาตรฐาน ASTM D2015 ของตัวอย่างชีวมวลแต่ละชนิด โดยวิเคราะห์หาค่าความร้อนที่ความชื้นต่างๆ คือ 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์

ก. แกลบอัดแท่ง

ข. เปลือกมันสำปะหลังอัดแท่ง

ค. ไม้กระถินยักษ์สับ

ง. ไม้ยูคาลิปตัสสับ

จ. ปีกไม้ยางพาราสับ

ฉ. ทางปาล์มสับ

ช. เปลือกไม้ยูคาลิปตัส

ซ. กะลามะพร้าว

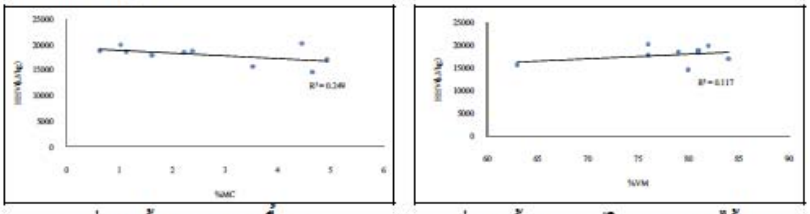
ฌ. ซังข้าวโพด

ญ. เหง้ามันสำปะหลัง

<u>ภาพที่ 2</u> เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการวิเคราะห์

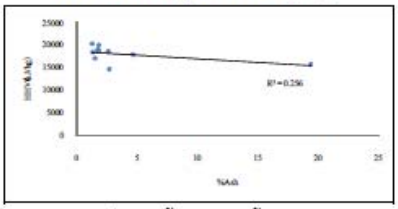
* simple linear regression

** Multi linear regression

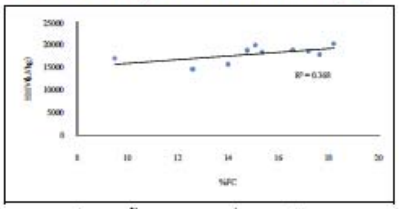


ก. ค่าความร้อนสูง VS ความชื้น (MC)

ข. ค่าความร้อนสูง VS ปริมาณสารระเหยได้ (VM)



ค. ค่าความร้อนสูง VS เถ้า (Ash)



ง. ค่าความร้อนสูง VS คาร์บอนคงตัว (FC)

<u>ภาพที่ 3</u> แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนสูงกับสมบัติแบบประมาณ

3. ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติแบบแยกธาตุกับค่าความร้อนสูง

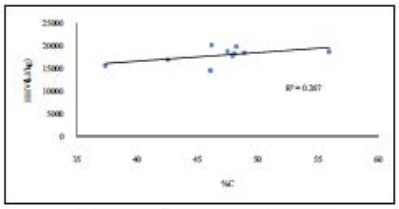
การหาผลกระทบของสมบัติแบบประมาณ ต่อค่าความร้อนสูง (HHV) สามารถทำโดยการหาความสัมพันธ์ ระหว่างผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ อันประกอบด้วย ปริมาณคาร์บอน (C) ปริมาณไฮโดรเจน (H) ปริมาณไนโตรเจน (N) ปริมาณซัลเฟอร์ (S) ปริมาณออกซิเจน (O) พบว่า มีความสัมพันธ์กันน้อยมาก เมื่อทำ Simple linear regression พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ต่ำทุกองค์ประกอบ (<u>ภาพที่ 4</u>) ซึ่งเมื่อใช้วิธีการหาความสัมพันธ์ โดยใช้ วิธี Multi linear regression พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เพิ่มขึ้นเป็น 0.561 แสดงให้เห็นว่า สมบัติแบบแยกธาตุของเชื้อเพลิงชีวมวลมีผลกระทบต่อค่าความร้อนเล็กน้อยคล้ายกันกับสมบัติแบบประมาณ ดังแสดงไว้ใน<u>ตารางที่ 3</u>

<u>ตารางที่ 3</u> สมการความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติแบบแยกธาตุกับค่าความร้อน

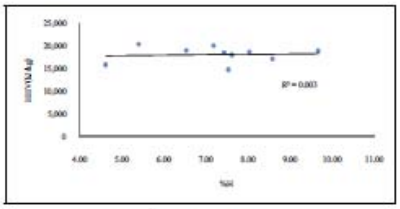
	Correlation (HHV,KJ/kg)	Coefficent,R^2
Ultimate	**Analysis**	
HHV*	= 193.5*C + 8889	0.267
HHV*	= 70.47*H + 17454	0.003
HHV*	= -2234*N + 19430	0.084
HHV*	= -5951*S+18163	0.006
HHV*	= -125.8*O + 23646	0.175
HHV**	= 1157.728*C + 791.737*O – 13732.4*S - 71544	0.561

* Simple linear regression

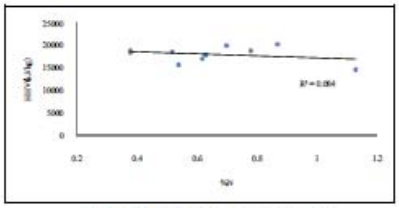
** Multi linear regression



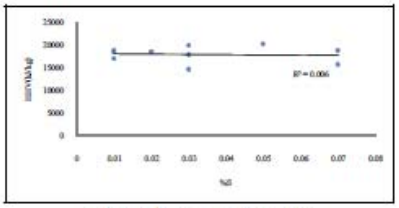
ก. ค่าความร้อนสูง VS คาร์บอน (C)



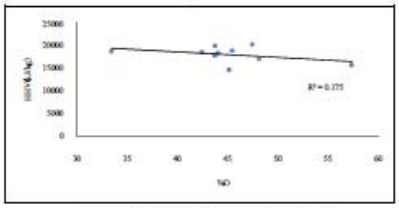
ข. ค่าความร้อนสูง VS ไฮโดรเจน (H)



ค. ค่าความร้อนสูง VS ไนโตรเจน (N)



ง. ค่าความร้อนสูง VS ซัลเฟอร์ (S)



จ. ค่าความร้อนสูง VS ออกซิเจน (O)

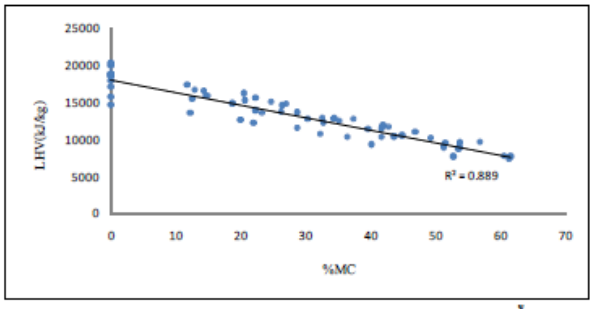
ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนสูงกับสมบัติแบบแยกธาตุ

4. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับค่าความร้อน

การหาผลกระทบของปริมาณความชื้น ต่อค่าความร้อนในหัวข้อนี้จะใช้ ค่าความร้อนที่วิเคราะห์ได้ ณ ความชื้นใดๆ ของแต่ละเชื้อเพลิง ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่าความร้อนต่ำ (LHV)ซึ่งพบว่าค่าความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อทำ Simple linear regression พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงถึง 0.889 สาเหตุเนื่องจากเมื่อเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ จะได้ผลผลิตคือ คาร์บอนไดออกไซด์ กับ น้ำ และะพลังงาน ซึ่งเมื่อชิวมวลมีความชื้นสูงนั่นหมายถึง มีน้ำอาศัยอยู่ภายในเซลล์จำนวนมากเมื่อเกิดการเผาไหม้ น้ำเหล่านี้บางส่วนจะแตกตัวเป็น ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน แต่บางส่วนจะยังคงสภาวะเป็นน้ำอยู่ จะดูดกลืนพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ไว้บางส่วนพลังงานที่ออกมาจึงมีค่าลดลง สามารถนำสมการการทำนายค่าความร้อนในตารางที่ 4 ไปใช้ได้

ตารางที่ 4 สมการสำหรับทำนายค่าค่าความร้อน

	Correlation (HHV,KJ/kg)	Coefficent,R^2
LHV	= -169.2M + 17991	0.889



ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับค่าความชื้น

5. การหาความสัมพันธ์ของค่าความร้อนกับองค์ประกอบต่างๆของชีวมวล

โดยใช้วิธี Multi linear regression ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนกับองค์ประกอบแบบประมาณ องค์ประกอบแบบแยกธาตุ ความชื้น สามารถนำมาใช้ทำนาย ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สมการสำหรับทำนายค่าค่าความร้อน

	Correlation (HHV,KJ/kg)	Coefficent,R^2
LHV	= 0.624*HHV + 175.173[1.2358*H –M + 30.1368]	0.982

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาพบว่าสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล มีผลกระทบต่อค่าความร้อน โดยสมบัติแบบประมาณ คือ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และ ปริมาณเถ้า มีผลต่อค่าความร้อนน้อยมาก เป็นไปในทางเดียวกันกับสมบัติแบบแยกธาตุ ซึ่งองค์ประกอบธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนมีผลต่อค่าความร้อนเล็กน้อย ส่วนสมบัติที่มีผลต่อค่าความร้อนมากที่สุด คือ ความชื้น ซึ่งจะเป็นตัวดูดกลืนความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาขณะเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ ทั้งนี้เราสามารถนำสมการการทำนายค่าความร้อนไปใช้งาน และใช้ในการกำหนดมาตรฐานและราคาเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นลำดับต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณภารกิจโครงการประสานงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

Demirbas A, 2001.Relationships between lignin contents and heating values of biomass. Energy Conversion & Management 42, 183-188.

Ayhan Demirbas ,1997.Calculation of higher heating values of biomass fuels.Educational Faculty,Technical University of BlackSea ,Turkey.

Demirbas A, 2007.Effects of Moisture and Hydrogen Content on the Heating Value of Fuels. Energy Sources.part A29,649-655.

Kingiri Senelwaa,Ralph E.H. Sims, 1999. Fuel characteristics of short rotation forest biomass. Biomass and Bioenergy, 127-140.

Perry Peralta ,Audimar P.Bangi .Sensible heating approach to controlling the equilibrium moisture content of wood. Agriculture Journals.

Vytenis Babrauskas, 2006. Effective heat of combustion for flaming combustion of conifers.Canadian Journal of Forest Research.

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10 ประจำปี 2552
1 – 3 เมษายน 2552 ณ สุรสัมมนาคาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน
Study of applications of belt type microwave oven in oil palm sterilization process

สาวิตรี คำหอม[1] วีรชัย อาจหาญ[2] และชาญชัย ทองใสภา[3]
Sawitree Khumhom [1] Weerachai Arjharn[2] and Chanchai Tongsopa[3]

บทคัดย่อ

ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมีกระบวนการสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบคือ กระบวนการนึ่ง (Sterilization) เพื่อการยับยั้งการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน โดยทำการทดสอบกับผลปาล์มน้ำมันร่วง และมีขั้นตอนการศึกษาคือ 1) ศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน และเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้น 2) ตรวจสอบคุณภาพ และ3) วิเคราะห์พลังงานการนึ่งปาล์มเปรียบเทียบกับการนึ่งโดยโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำ ผลการศึกษาการประยุกต์เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานมาใช้ในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันพบว่าสามารถยับยั้งเอนไซม์ไลเปส และลดปริมาณกรดไขมันอิสระ ในผลปาล์มน้ำมันได้ ในระยะเวลาที่สั้นกว่าการนึ่งปาล์มโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำ แต่เมื่อพิจารณาพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการนึ่งพบว่า การนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานมีค่าค่อนข้างสูงซึ่งจำเป็นต้องทำการปรับปรุงประสิทธิภาพในลำดับต่อไป

คำสำคัญ : ปาล์มน้ำมัน การนึ่ง เตาอบไมโครเวฟ

ABSTRACT

In palm oil industry, one of the most important processes affecting to the crude palm oil quality is sterilization process, inhibits the increase in free fatty acid level in crude oil. The objective of this research was to study the applicability of belt type microwave oven by using palm fruit. The study procedure comprises of 1) study on the possibility of oil palm via a household microwave and the developed belt type microwave oven, 2) examining the derived crude oil from the corresponding tests and 3) analyzing the energy requirement of the developed microwave oven in comparison with conventional autoclave. The results show that the developed device is able to inhibit lipase enzyme and decrease the free fatty acid in palm fruit. In addition, it needs less time than conventional autoclaves. Nevertheless, when specific energy consumption is taken into account, the sterilization by means of developed belt type microwave oven is somewhat high which needs further efficiency improvement.

Keywords: Palm oil Sterilization Microwave oven

บทนำ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศ เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันสูง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น น้ำมันพืช อาหารสัตว์ กรดไขมันต่างๆ สารตั้งต้นในอุตสาหกรรมต่างๆ ไม่ต่ำกว่า 200 ผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ปาล์มน้ำมันยังเป็นพืชที่ได้รับการยอมรับว่ามีศักยภาพที่จะนำมาผลิตเป็นน้ำมันไบ

[1]Master Student, School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000.
[2]Assistant Professor, School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000.
[3]Assistant Professor, School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000.

ไอดีเซลได้ โดยรัฐบาลได้มีนโยบายสนับสนุนการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อนำมาใช้ผลิตไบโอดีเซลอย่างเป็นรูปธรรม จากมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 2 สิงหาคม 2548 ให้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ดำเนินการโครงการปลูกปาล์มน้ำมันทดแทนพลังงาน ในลักษณะโครงการนำร่องเฉพาะบางพื้นที่ที่เห็นว่ามีศักยภาพและมีความพร้อมก่อน โดยโครงการปลูกปาล์มน้ำมันทดแทนพลังงานนั้นกระจายอยู่ในภาคต่าง ๆ ทั่วประเทศ ในภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และ ภาคใต้ ปัจจุบันในพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในโครงการนำร่องบางพื้นที่ เช่น ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีพื้นที่ส่งเสริมการปลูกปาล์มน้ำมันประมาณ 100,000 ไร่ บางส่วนสามารถเก็บผลผลิตได้แล้ว ขณะที่ยังไม่มีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเกิดขึ้นในพื้นที่ทำให้เกษตรกรจะต้องนำผลผลิตปาล์มน้ำมันที่ได้ไปส่งขายยังโรงงานที่จังหวัดชลบุรี ทำให้สิ้นเปลืองต้นทุนในการขนส่งมาก กอปรกับระยะเวลาการขนส่งที่นานทำให้น้ำมันปาล์มเสื่อมคุณภาพ เนื่องจากช่วงเวลาในการขนส่งจะมีเอ็นไซม์ไลเปส ทำปฏิกิริยาเปลี่ยนกลีเซอไรด์เป็นกรดไขมันอิสระกับกลีเซอรอลโดยเมื่อผลปาล์ม เริ่มสุกแรก ๆ ปริมาณกรดไขมันอิสระจะมีระดับเล็กน้อย แต่เมื่อตัดทะลายปาล์มออกจากต้นกรดไขมันอิสระจะเพิ่มบริเวณส่วนของเปลือกผลปาล์มน้ำมันประมาณ1-5 % ภายในเวลาประมาณ 20 นาที แต่ถ้าผลปาล์มน้ำมันเกิดบาดแผลจากการตกกระแทกในช่วงการตัดและขนส่ง กรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) โดยเฉพาะในผลปาล์มน้ำมันร่วง ซึ่งเกิดกรดไขมันอิสระอย่างรวดเร็วเพราะเกิดบาดแผลตรงบริเวณรอยต่อระหว่างผลกับทะลาย จากปัญหาคุณภาพน้ำมันปาล์มที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าหากสามารถหาวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวโดยลดอัตราการเกิดกรดไขมันอิสระจะสามารถรักษาคุณภาพของน้ำมันโดยการขนส่งเป็นน้ำมันปาล์มดิบและหากทำการหีบน้ำมันที่สวนปาล์มได้ก็จะสามารถลดต้นทุนการขนส่ง

จากการศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มพบว่ากระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มประกอบด้วยขั้นตอนหลักคือ กระบวนการนึ่ง (Sterilization) การแยกผล (Stripping) การสกัดน้ำมัน (Oil extraction) และการทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (Clarification) ในขอบเขตของการศึกษานี้จะเน้นการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการนึ่ง ซึ่งปกติกระบวนการดังกล่าวเป็นขั้นตอนแรกก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มต่อไป

ในปัจจุบันกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันมีวิธีการที่แตกต่างกันออกไป เช่น การนึ่งด้วยไอน้ำ การทอดสูญญากาศ การอบแห้ง ซึ่งแต่ละวิธีการมีวัตถุประสงค์หลักเดียวกัน คือ เพื่อการยับยั้งการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบทั้งนี้ยังไม่พบว่ามีการนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้ในการนึ่งปาล์มน้ำมัน

การนึ่งปาล์มน้ำมันด้วยเตาอบไมโครเวฟ มีหลักการการทำงานคือ เตาอบไมโครเวฟจะให้ความร้อนกับวัสดุนึ่งโดยการแผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ ช่วงความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ ผ่านเข้าไปในวัสดุ โมเลกุลของน้ำหรือสิ่งอื่นๆ ที่มีขั้ว จะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไป และเกิดเป็นความร้อนขึ้น น้ำจึงระเหยเป็นไอ หากไม่ระบายออกจากวัสดุวัสดุจะถูกนึ่งหรือต้มด้วยน้ำภายในชิ้นวัสดุเอง ด้วยหลักการดังกล่าวจึงสามารถนำเตาอบไมโครเวฟไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการนึ่ง ปาล์มน้ำมัน

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อ ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งปาล์มน้ำมัน คือ อัตราการนึ่ง ระยะเวลาการนึ่ง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ และคุณภาพของปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่ง โดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน และการนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการนำเทคโนโลยีเตาอบไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการผลิตทางการเกษตรให้แพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์ม

อุปกรณ์และวิธีการ

ผลปาล์มน้ำมันร่วง

ผลปาล์มน้ำมันร่วงที่ใช้มาจาก บริษัท อีสเทิร์นปาล์ม ออยล์ จำกัด จังหวัดชลบุรี ผลปาล์มน้ำมันร่วงที่เก็บจากต้น มาแล้วเป็นเวลามากกว่า 24 ชั่วโมง

เตาอบไมโครเวฟ

เตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยมี 2 แบบ คือ 1) เตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือน สำหรับใช้การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการนำมาใช้นึ่งผลปาล์มน้ำมัน และ 2) เตาอบไมโครเวฟที่พัฒนาขึ้น โดยที่พิกัดของเตาอบไมโครเวฟทั้ง 2 แบบ แสดงไว้ในตารางที่ 1 และ ภาพที่ 1 ถึง 2

ตารางที่ 1 พิกัดของเตาอบไมโครเวฟ

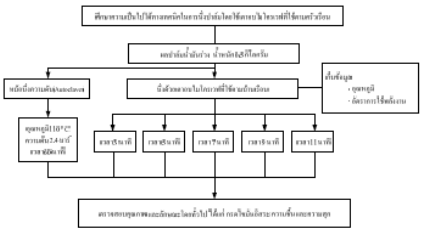
ประเภทเตาอบไมโครเวฟ	จำนวนแมกนีตรอน	กำลัง (W)	ขนาด(มม.) (กx ย xส)	ปริมาตร (ลิตร)
เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน	1	700	210x315x279	17
เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน(พัฒนาโดย มทส)	20	14,000	800x2000x450	720

ภาพที่ 1 เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

ภาพที่ 2 เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน(พัฒนาโดย มทส)

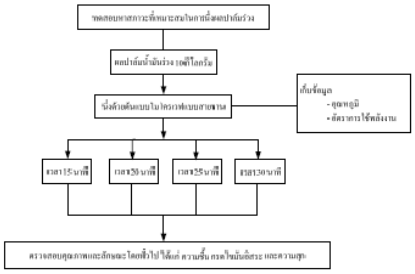
ขั้นตอนการทดลอง

ในขั้นตอนแรกจะทำการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคของการนำเตาอบไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการนึ่งปาล์ม โดยใช้เตาอบไมโครเวฟที่ใช้ตามครัวเรือน โดยใช้ผลปาล์มน้ำมันร่วง 0.5 กิโลกรัม นึ่งที่เวลา 3 ,5,7,9,11 และ 13 นาที แล้วเก็บข้อมูล อุณหภูมิ โดยติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) บริเวณด้านข้างของผนังห้องอบ และอัตราการใช้พลังงาน และนึ่งในหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 110 °C ความดัน 24 บาร์ เวลา 60 นาที ดังแสดงใน Flow chart **ภาพที่ 3**



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

ขั้นตอนต่อมาจะทำการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งผลปาล์มร่วงโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน ควบคุมความเร็วของสายพานในการขับเคลื่อนชิ้นงานที่ความเร็ว 0.061 เมตร/วินาที เท่ากันทุกการทดลอง โดยใช้ผลปาล์มน้ำมันร่วง 10 กิโลกรัม นึ่งที่เวลา 15, 20, 25 และ 30 นาที แล้วเก็บข้อมูล อุณหภูมิ และอัตราการใช้พลังงาน ดังแสดงใน Flow chart **ภาพที่ 4**



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการนึ่งผลปาล์มร่วงโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

การตรวจคุณภาพ

หลังจากการนึ่งผลปาล์มน้ำมันร่วงทำการพิจารณาความสุกของผลเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการนึ่งในปริมาณที่กำหนดด้วยสายตาและการสัมผัสความนุ่ม

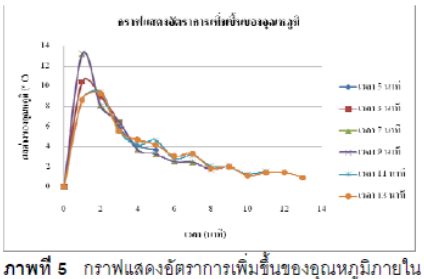
การตรวจคุณภาพของผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านนึ่งแล้วจะทำการหีบเป็นน้ำมัน และวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระโดยใช้มาตราฐานการวิเคราะห์ AOCS Ca 5a-40 ที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านการนึ่งแล้ว เมื่อทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง รวมถึงวิเคราะห์หาความชื้นในน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการนึ่ง และในน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการนึ่งโดยใช้มาตราฐาน EN ISO 12937

ผลการทดลองและวิจารณ์

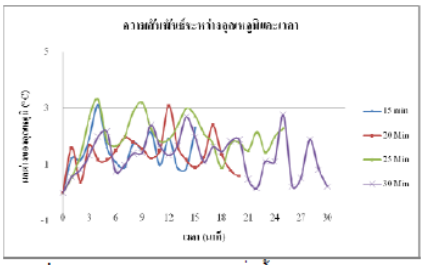
อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเตาอบไมโครเวฟ

จากการศึกษาการนึ่งปาล์มน้ำมัน น้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม ด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบบ้านเรือนทั่วไป โดยใช้เวลา 3, 5, 7, 9, 11และ 13 นาที พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ในช่วงแรกจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิค่อนข้างสูงประมาณ 9-13 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปแนวโน้มอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงอาจเป็นเพราะปริมาณน้ำในปาล์มน้ำมันลดลง เนื่องจากเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนมีพัดลมดูดอากาศเพื่อดูดความชื้นออก ทำให้ตัวดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟลดน้อยลงส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลดลง ดังแสดงไว้ใน**ภาพที่ 5**

แตกต่างกันกับการนึ่งปาล์มน้ำมัน น้ำหนัก10 กิโลกรัม ด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน โดยใช้เวลา 15, 20, 25 และ 30 นาที อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอประมาณ 1- 3 องศาเซลเซียส/นาที เนื่องจากขณะทำการทดลองไม่มีการเปิดพัดลมดูดอากาศ ทำให้ความชื้นอยู่ในเตาอบ และในวัสดุสามารถดูดซับพลังงานได้อย่างต่อเนื่อง ดังแสดงไว้ใน**ภาพที่ 6**



ภาพที่ 5 กราฟแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนขณะนึ่งผลปาล์มน้ำมัน



ภาพที่ 6 กราฟแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานขณะนึ่งผลปาล์มน้ำมัน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่ง

เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

จากการพิจารณาและวิเคราะห์คุณภาพของผลปาล์มน้ำมันหลังการนึ่งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนในส่วนของ ความชื้น ความสุก อุณหภูมิสูงสุด และปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นของน้ำมันปาล์มดิบ ที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่า ลักษณะของเนื้อผลปาล์มน้ำมันหลังการนึ่งมีความอ่อนนุ่มสุกและหีบน้ำมันง่าย เมื่อใช้เวลาการนึ่งที่ 3, 5, 7 ,9,11 และ 13 นาที ความชื้นลดลงเหลือเพียง 0.47 % อุณหภูมิสูงสุด 77.37 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เวลาการนึ่งที่ 13 นาที โดยระยะเวลาที่ใช้เพียง 3 นาที สามารถทำการยับยั้งเอ็นไซม์ไลเปส โดยที่ผลปาล์มน้ำมันมีอุณหภูมิ 57 องศาเซลเซียส ซึ่งปกติอุณหภูมิต่ำสุดในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันที่สามารถยับยั้งการเกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบได้คือ 55 องศาเซลเซียส(สภาอุตสาหกรรมจังหวัดกระบี่และบริษัท เอส.ที.อี.อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, 2550)

เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นสามารถยืนยันได้ถึงความสามารถของการนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้ในการนึ่งผลปาล์มน้ำมัน แต่อย่างไรก็ดีการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน มีขนาดเล็กไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง จึงได้ทำการทดลองกับเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานที่ทางคณะผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการนึ่งปาล์มที่มีปริมาณมาก

จากผลการทดลองนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้ เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการนึ่งปาล์มน้ำมันเพื่อให้ผลสุก เริ่มจาก 20 นาที สามารถทำให้กรดไขมันอิสระ ในผลปาล์มลดลง เหลือ 17.27 % เมื่อทำการนึ่งต่อเนื่องโดยใช้เวลา 30 นาที พบว่า กรดไขมันอิสระ มีแนวโน้มคงที่ ขณะที่ค่าความชื้นคงเหลือ 0.98 % อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเห็นว่าการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมครเวฟแบบสายพานจะใช้เวลาเพียง 20 นาที ในการยับยั้งเอนไซม์ไลเปสได้ อย่างไรก็ดี ค่ากรดไขมันอิสระยังสูงกว่ากรดไขมันอิสระของ น้ำมันปาล์มดิบ(COP) ที่มาตราฐานคือ 3% ซึ่งการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบจะเกิดขึ้นในขั้นตอนต่อไปของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

ผลการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการนึ่งปาล์ม

จากตารางที่ 2 พบว่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการนึ่งผลปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน และแบบสายพานมีค่า 1.52 และ2.17 $kJ/kg_{ผลปาล์มสด}$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำที่มีอัตราการใช้ไอน้ำ0.5 $ton_{steam}/1ton_{ทะลายปาล์มสด}$หรือ1357.28 $MJ_{th}/1$ $ton_{ทะลายปาล์มสด}$ ใช้เวลานึ่ง 60 นาที จะใช้พลังงานจำเพาะในการนึ่ง 1.36 $kJ_{th}/kg_{ทะลายปาล์มสด}$ ซึ่งจะเห็นว่าการใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในการนึ่งปาล์มน้ำมันจะใช้พลังงานมากกว่าการนึ่งปาล์มโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำ แต่เมื่อพิจารณาเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนพบว่าจะใช้พลังงานใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจเป็นเพราะขนาดของเตาอบ (ห้องอบ) และลักษณะของการวางหัวแมกนีตรอนทำให้ประสิทธิภาพของการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานไม่ดีเท่าที่ควร

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ผลปาล์มน้ำมันที่ผ่านการนึ่ง

เวลา (นาที)	ลักษณะผลปาล์มน้ำมันหลังนึ่ง	ความชื้น (%)	ความสุก	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ หลังนึ่ง48 ชั่วโมง (%)
เตาอบไมโครเวฟที่ใช้ตามครัวเรือน					
0	แข็ง	6.68	-	-	23.47
3	อ่อน นุ่ม	3.32	สุก	57	4.56
5	อ่อน นุ่ม	3.10	สุก	60	2.14
7	อ่อน นุ่ม	2.51	สุก	69	2.52
9	อ่อน นุ่ม	2.98	สุก	73	2.88
11	อ่อน นุ่ม	2.14	สุก	75	3.46
13	อ่อน นุ่ม	0.47	สุก	77	3.34
เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน					
0	แข็ง	1.54	-	-	27.08
15	แข็ง	1.40	ไม่สุก	48	18.75
20	อ่อน นุ่ม	1.05	สุก	60	17.27
25	อ่อน นุ่ม	1.07	สุก	79	13.12
30	อ่อน นุ่ม	0.98	สุก	72	15.05
หม้อนึ่งความดัน (Auto clave)					
0	แข็ง	6.68	-	-	23.47
60	อ่อน นุ่ม	12.55	สุก	120	3.83

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของเตาอบไมโครเวฟ สำหรับนึ่งผลปาล์มน้ำมัน

เวลา (นาที)	พลังงาน (W_r)	พลังงานที่ใช้ทั้งหมด (MJ_a)	พลังงานที่ใช้/1 kg ผลปาล์มสด (MJ_a/1 kg ผลปาล์มสด)
เตาอบไมโครเวฟที่ใช้ตามครัวเรือน (น้ำหนักผลปาล์มน้ำมัน 0.5 กิโลกรัม)			
3	1,145	0.76	1.52
5	1,087	1.19	2.38
7	1,028	1.55	3.10
9	1,022	1.98	3.96
11	1,042	2.48	4.96
13	1,032	2.88	5.76
เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน (น้ำหนักผลปาล์มน้ำมัน 10 กิโลกรัม)			
15	5265	17.06	1.71
20	5038	21.74	2.17

เวลา (นาที)	พลังงาน (W_s)	พลังงานที่ใช้ทั้งหมด (MJ_a)	พลังงานที่ใช้/1 kg ผลปาล์มสด (MJ_a/1 kg ผลปาล์มสด)
25	5709	30.82	3.08
30	5250	34.02	3.04
หม้อนึ่งความดัน* (น้ำหนักผลปาล์มน้ำมัน 1,000 กิโลกรัม)			
60	-	1357.28**	1.36

* ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2551

** Specific enthalpy of steam (Total heat) ที่ Absolute pressure 2.4 bar Boiling point 126.09 °C เท่ากับ 2714.55 kJ/kg

สรุปและเสนอแนะ

การศึกษาการประยุกต์เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานมาใช้ในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมันพบว่า สามารถยับยั้งเอนไซม์ไลเปส และลดปริมาณกรดไขมันอิสระ ในผลปาล์มน้ำมันได้ ในระยะเวลาที่สั้นกว่าการนึ่งปาล์มโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำ แต่เมื่อพิจารณาพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการนึ่งพบว่า การนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานมีค่าค่อนข้างสูงซึ่งจำเป็นต้องทำการออกแบบเตาอบ และและลักษณะการจัดวางหัวแมกนีตรอนใหม่ โดยมีเป้าหมายให้มีประสิทธิภาพเทียบเคียงกับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนซึ่งมีพลังงานจำเพาะในการนึ่งปาล์มน้ำมันเทียบเคียงกับการนึ่งโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำ ซึ่งการใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานมาใช้ในการนึ่งปาล์มจะเป็นการเพิ่มโอกาศให้เกษตรกรรายย่อยสามารถพัฒนาโรงหีบน้ำมันขนาดเล็กโดยไม่ต้องพึ่งพาระบบผลิตไอน้ำที่ต้องใช้วิศวกรควบคุมประจำโรงงาน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.2551. process น้ำมันปาล์ม(ใช้ไอน้ำ(steam)ในการอบปาล์ม) [ออนไลน์].ได้จาก http://www2.dede.go.th/Wboard/Question.asp

กรมส่งเสริมการเกษตร 2551.ปาล์มน้ำมัน [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.doae.go.th/plant/palm.htm

เทวรัตน์ ทิพยวิมล.2551.การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟเพื่ออบแห้งสมุนไพร.วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บัญญัติ นิยมวาส.2544. การพัฒนาระบบอบแห้งผลปาล์ม.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช.2551.พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ.สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

สภาอุตสาหกรรมจังหวัดกระบี่ และบริษัท เอส.ที.ซี.อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด.2550.เอกสารประกอบการฝึกอบรม. โรงแรมคริสตัล จังหวัดกระบี่.

สัณห์ชัย กลิ่นพิกุล. 2551.โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการทอดผลปาล์มภายใต้สภาพสุญญากาศ [ออนไลน์].ได้จาก http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2551. กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม [ออนไลน์].ได้จาก

Chow MC, Ma AN. 2007. Processing of fresh palm fruits using microwaves [On-line]. Available:http://www.nlm.nih.gov/sites/entrez

I.Albas Ozkan,B.Akbudak and Akbudak.2005. Microwave drying characteristics of spinach. Journal of Food Engineering ,78:577-583.

Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, edited by D.Firestone, American Oil Chemists' Society , 1999,Method Ca 5a-40.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสาวิตรี คำหอม เกิดเมื่อ วันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ. 2526 ณ อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นบุตรของพ่อประชุม คำหอม และ แม่เบียบ คำหอม ศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 - 6 ที่โรงเรียนวัดบ้านสระ ตำบลบ้านสระ อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 - 6 ที่โรงเรียนสามชุกรัตนโภคาราม ตำบลสามชุก อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี จากนั้นเข้าศึกษาต่อระดับอุดมศึกษา ในสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา หลังจากสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2549 ได้เข้าทำงานที่สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในตำแหน่งผู้ช่วยสอนและวิจัย

ในปี พ.ศ. 2550 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนจากกองทุนการศึกษาสำหรับผู้มีศักยภาพเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาและทำงานในตำแหน่งวิศวกรเกษตร ประจำหน่วยปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และเป็นผู้ร่วมวิจัยในโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 3 โครงการ คือ "*การศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน*" "*การศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน (ระยะที่ 2)*" และ "*การศึกษาต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน*" และเป็นผู้ร่วมวิจัยในโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน คือ "*โครงการศึกษาแนวทางบริหารจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน (ระดับชุมชน)*"

ผลงานวิจัยในระหว่างที่ทำการศึกษาได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 ประจำปี พ.ศ. 2551 เรื่อง "*การศึกษาผลกระทบของสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลต่อค่าความร้อน*" และได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10 ประจำปี พ.ศ. 2552 เรื่อง"*การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน*"