

การศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยตู้อบไมโครเวฟ

A STUDY OF BIODIESEL PRODUCTION USING MICROWAVE OVEN



โครงการที่เสนอนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยตู้อบไมโครเวฟ

A STUDY OF BIODESEL PRODUCTION USING MICROWAVE OVEN



นาย โชติพัฒน์ นีวัฒน์เดชบดินท์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการวิจัยและการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาก่อนได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

A STUDY OF BIODESEL PRODUCTION USING MICROWAVE OVEN



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED PHYSICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยัง DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE ครั้งที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวบ่มไมโครเวฟ
 ชื่อนักศึกษา นายโชติพัฒน์ นีวัฒน์เดชบัณฑิต รหัสนักศึกษา 54050511
 ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต พิสิกส์ประยุกต์
 ภาควิชา ฟิสิกส์
 ปีการศึกษา 2557
 อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กัจปัญญา สุวรรณสุโข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
 ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. พิษชานันท์ อีเศรษฐโคธาน	
ดร. ประธาน บุรณศิริ	
ดร. เชษฐฐา รัตนพันธ์	
ดร.กัจปัญญา สุวรรณสุโข	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยตู้อบไมโครเวฟ
ชื่อนักศึกษา	นาย โชติพัฒน์ นิวัฒน์เดชบดินทร์ รหัสนักศึกษา 54050511
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กมลปัญญา สุวรรณสุขโข

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาขั้นตอนในการทำปฏิกิริยา ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันในเครื่องไมโครเวฟ ซึ่งจากการศึกษาและรวบรวมงานวิจัยต่างๆ พบว่า ไมโครเวฟสามารถช่วยลดระยะเวลาในการผลิตไบโอดีเซลได้ดีกว่าเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของไบโอดีเซลในไมโครเวฟ โมเลกุลของสารทำปฏิกิริยา คือ แอลกอฮอล์ตอบสนองกับคลื่นไมโครเวฟได้เป็นอย่างดี ทำให้ขั้นตอนในการทำปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์เร็ว อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายได้อย่างมาก โดยในส่วแรกของการทดลอง เพื่อต้องการหาค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในไมโครเวฟที่เงื่อนไขของกำลังตั้งแต่ 160 W – 1440 W โดยสามารถระบุช่วงของการทำงานของไมโครเวฟและอ้างอิงถึงผลที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลได้ในส่วนที่สองคือ ขั้นตอนในการผลิตไบโอดีเซล โดยมีเงื่อนไขในการผลิตไบโอดีเซลที่เวลาตั้งแต่ 1-10 นาที ซึ่งแบ่งออกตามเงื่อนไขของกำลังไมโครเวฟที่ 160 W – 1440 W โดยเราสามารถหาปริมาณไบโอดีเซลที่มากที่สุดที่เงื่อนไขดังกล่าวได้ ในส่วนสุดท้ายของงานทดลองคือ ขั้นตอนตรวจสอบค่าความเป็นกรดในน้ำมัน ซึ่งถือว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดของการทดลอง เนื่องจากผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลอง ไม่สามารถระบุคุณภาพและลักษณะคุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ดีได้จึงต้องมีการตรวจสอบตามมาตรฐาน ASTM D 664 (Acid Value) โดยค่าความเป็นกรดในน้ำมันถือเป็นเรื่องสำคัญในการผลิตไบโอดีเซลอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการใช้น้ำมันที่ใช้แล้วมาทำไบโอดีเซล จะมีปริมาณความเป็นกรดไขมันอิสระสูง ซึ่งเป็นที่มาของการเกิดสบู่ ทำให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้ลดลง

คำสำคัญ : การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันในไมโครเวฟ, การตรวจสอบหาค่าความเป็นกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	A STUDY OF BIODESEL PRODUCTION USING MICROWAVE OVEN
Student	Mr. CHOTIPAT NIWATDATEBADIN Student ID 54050511
Degree	Bachelor of Science in Applied Physics
Department	Physics
Academic Year	2014
Advisor	Dr. Kajpanya Suwansukho

Abstract

This special project is to study the steps in the reaction. Transesterification of oil. In microwave The study and compile research found that the microwave can reduce the time to produce biodiesel is better because of the reaction of biodiesel in the microwave. Alcohol is reactive molecules react to microwave radiation as well. Making steps in the reaction is completed earlier. It also helps reduce costs significantly. In the first part of the experiment, Looking for temperature occurred in the conditions of microwave output power from 160W-1440W can specify the range of functions of the microwave, and according to the results from the production of biodiesel. In the second part is The steps in the production of biodiesel. The conditions to produce biodiesel at a time of 1-10 minutes, which is divided by the conditions of microwave power is 160W-1440W. We can determine the amount of biodiesel that most such conditions. In the final part of the test. Check the pH in oil. This is the most important part of the trial. Because biodiesel yield from the trial. Unable to identify the qualities and characteristics of the biodiesel that has had to be checked by the ASTM D 664 (Acid Value) by the acidity of the oil is important in the production of biodiesel, especially. The oil used to make biodiesel. I would have paid a high amount of fatty acids. This is the origin of the soap. The amount of biodiesel production has decreased.

Keywords : The reaction of Transesterification in the microwave, To determine the Acid Value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับคำแนะนำ คำสั่งสอน คำปรึกษาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จากท่าน ดร. กาจปัญญา สุวรรณสุโข อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชา อบรม สั่งสอนและถ่ายทอดความรู้ที่มีผ่านจิตวิญญาณความเป็นครู ทำให้เกิดความเข้าใจระหว่างลูกศิษย์และครูผู้สอนเป็นอย่างดี นอกจากนี้ในด้านงานวิชาการแล้ว อาจารย์ยังสอนในเรื่องของศีลธรรม จริยธรรม และหน้าที่ ความรับผิดชอบ เพื่อให้เราพัฒนาศักยภาพให้เป็นบุคลากรที่ดีของคนในสังคม และประเทศชาติ อีกทั้งยังแนะนำการใช้ชีวิต และปรัชญาชีวิตต่างๆตามชั่วโมงรักการอ่าน ซึ่งทำให้ผู้จัดทำเกิดความซาบซึ้ง และเกิดแรงบันดาลใจอย่างมากที่จะตั้งใจทำงานโครงการพิเศษชิ้นนี้ให้สำเร็จเป็นอย่างดี ด้วยความพิถีพิถัน และการตรวจสอบที่รัดกุมของท่านอาจารย์ที่ปรึกษา จึงทำให้เล่มโครงการพิเศษเล่มนี้ จักเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้คนที่ศึกษาค้นคว้าในอนาคตสืบต่อไป

สุดท้ายนี้ขอกล่าวขอบพระคุณบุคคลท่านอื่นที่ร่วมแรงร่วมใจและคอยสนับสนุนการเรียน การศึกษาของข้าพเจ้าตลอดมา ขอขอบพระคุณ มารดา ผู้ให้การสนับสนุนและทุนในการศึกษาเล่าเรียน ขอขอบคุณเพื่อนที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือตลอดมา และขอขอบคุณทุกคนที่ผ่านเข้ามาในชีวิต สุดท้าย ขอขอบคุณความผิดพลาดที่จักทำให้เราเรียนรู้กับความสมหวัง

นาย โชติพัฒน์ นีวัฒน์เดชบัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

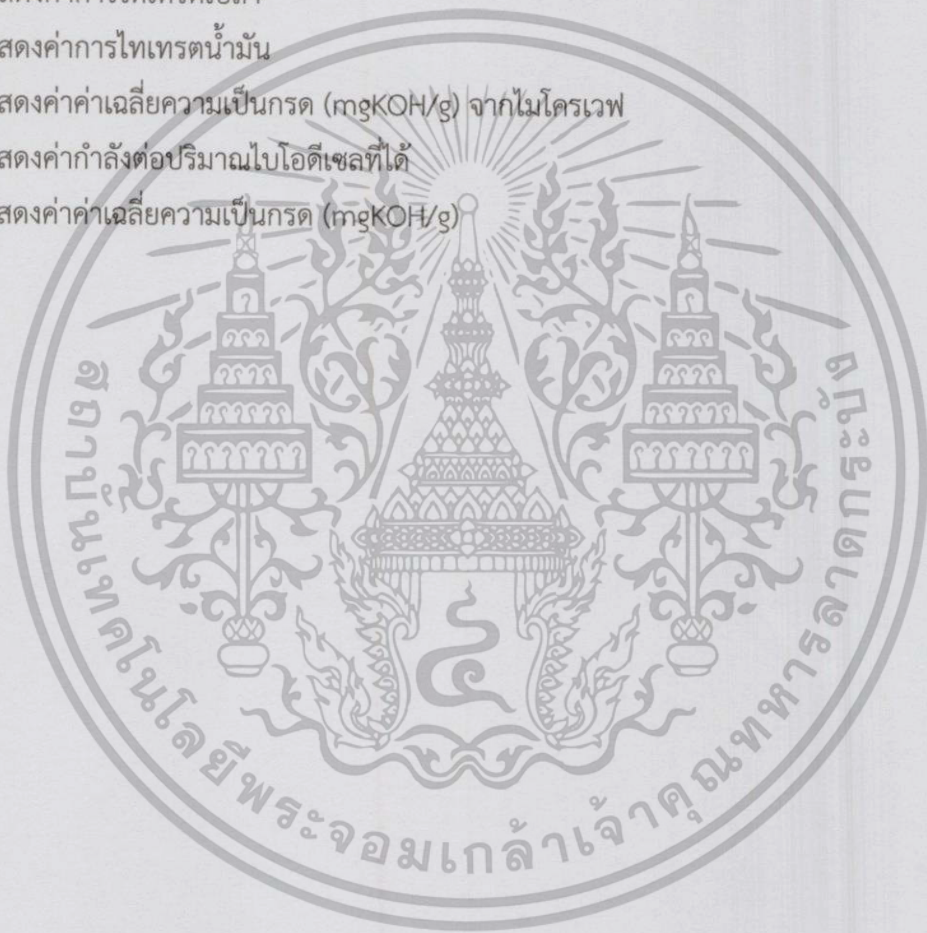
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	1
1.4 ขั้นตอนของโครงการพิเศษและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	3
2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล	4
2.2.1 น้ำมันที่ใช้แล้ว	5
2.3 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน	6
2.3.1 Alkaline catalyzed transesterification	6
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน	7
2.4.1 อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน	7
2.4.2 อุณหภูมิ	7
2.4.3 เวลา	8
2.4.4 ความเข้มข้นและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	8
2.4.5 การบั่นทวน	9
2.5 หลักการทำงานของไมโครเวฟ	9
2.6 การทำให้เกิดความร้อนจากพลังงานไดอิเล็กทริก (dielectric heating)	11
2.6.1 คุณสมบัติไดอิเล็กทริก (dielectric properties) ของอาหารและวัตถุ	11
2.7 กลไกการเกิดความร้อนเนื่องจากไมโครเวฟ	12
2.7.1 การเคลื่อนที่ของไอออน เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า (ionic polarization)	12
2.7.2 การหมุนของสารประกอบที่มีขั้ว (dipole rotation)	12
2.8 หลักการทำงานของเตาไมโครเวฟ	13
2.9 แมกนีตรอน (magnetron)	14

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.10 พลังงานที่ถูกดูดซับในวัตถุ (absorbed power)	18
2.10.1 ปัจจัยที่มีผลต่อพลังงานที่ถูกดูดซับในอาหาร	18
2.11 ประสิทธิภาพของเตาไมโครเวฟ	18
2.12 ความลึกในการทะลุทะลวง (penetration depth) ของไมโครเวฟ	19
2.13 ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	23
3.1 สมมติฐานในการทดลอง	23
3.2 อุปกรณ์ ในการทดลอง	23
3.3 วัสดุดิบ	25
3.4 ขั้นตอนการทดลอง	26
3.4.1 การทำกำลังไฟฟ้าสูงสุดในเครื่องไมโครเวฟ	26
3.4.2 ขั้นตอนในการผลิตไบโอดีเซล	28
3.4.3 ขั้นตอนการไทเทรต	30
3.4.4 การเตรียมสารละลายอ้างอิง	30
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	39
4.1 ผลการวิจัย	39
4.1.1 การทดสอบเพื่อหาค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า	39
4.1.2 ผลการทดลองหาปริมาณไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 1-10 นาที	44
4.1.3 การทดสอบหาค่าความเป็นกรดในน้ำมันไบโอดีเซล	45
4.1.4 การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนจาก Heater	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	49
5.1 สรุปผลการทดลอง เรื่องการวัดอุณหภูมิในไมโครเวฟโดยมีเงื่อนไขของกำลังในการทดลอง	49
5.2 สรุปผลการทดลอง การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟในการทำปฏิกิริยา	50
5.3 สรุปผลการทดลอง เรื่องการตรวจสอบค่าความเป็นกรดในน้ำมัน (มาตรฐาน:ASTM D 664)	51
5.4 สรุปผลการทดลองการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนจาก Heater	52
เอกสารอ้างอิง	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางบันทึกค่ากำลังต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้	33
3.2 ตารางบันทึกผลค่าการไทเทรตเปล่า	38
3.3 ตารางบันทึกผลค่าการไทเทรต	38
4.1 แสดงค่ากำลังต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้จากไมโครเวฟ	44
4.2 แสดงค่าการไทเทรตเปล่า	45
4.3 แสดงค่าการไทเทรตน้ำมัน	45
4.4 แสดงค่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด (mgKOH/g) จากไมโครเวฟ	46
4.5 แสดงค่ากำลังต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้	47
4.6 แสดงค่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด (mgKOH/g)	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงถึงแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	10
2.2 แสดงการเคลื่อนที่ของสารประกอบที่มีขั้วเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า	13
2.3 แสดงระบบของเตาไมโครเวฟ	14
2.4 แสดงเตาไมโครเวฟโดยทั่วไป	15
2.5 แสดงภาพตัดขวางของแมกนีตรอน	15
2.6 ภาพตัดขวางของแอโนดในแมกนีตรอน	16
2.7 แสดงประสิทธิภาพของเตาไมโครเวฟ	20
3.1 เครื่องไมโครเวฟผ่านการเชื่อมต่อแก้วรูปตัวแอล	26
3.2 ระบบทดสอบกำลังไฟฟ้าผ่านเครื่องไมโครเวฟ	27
3.3 แสดงตัวอย่างการหาค่าอุณหภูมิในเครื่องไมโครเวฟ	27
3.4 แสดงขั้นตอนในการผลิตไบโอดีเซล	28
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (วินาที) กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ 160 V - 160 W	39
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (วินาที) กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ 160 V - 180 W	40
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (วินาที) กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ 170 V - 500 W	40
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (วินาที) กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ 170 v - 560 W	40
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (วินาที) กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ 180 V - 830 W	41
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (วินาที) กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ 180 V - 860 W	41
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (วินาที) กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ 190 V - 1050 W	41
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (วินาที) กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ 190 V - 1080 W	42
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (วินาที) กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ 200 V - 1180 W	42
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (วินาที) กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ 200 V - 1200 W	42
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (วินาที) กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ 210 V - 1260 W	43
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (วินาที) กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ 220 V - 1340 W	43
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา (วินาที) กับ อุณหภูมิ (°C) ที่ 230 V - 1440 W	43
5.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองการวัดอุณหภูมิสูงสุดทั้ง 3 ครั้ง	49
5.2 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองการวัดเวลา ณ จุดคงที่ทั้ง 3 ครั้ง	50
5.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณไบโอดีเซลที่ได้โดยใช้ความร้อนจาก Heater และ Microwave	53
5.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นกรดระหว่าง Heater และ Microwave	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ไบโอดีเซล เป็นเชื้อเพลิงดีเซลที่ผลิตได้จากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียนทางธรรมชาติ เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือสาหร่าย ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือก นอกเหนือจากดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียม โดยมีคุณสมบัติการเผาไหม้ เหมือนกับดีเซลจากปิโตรเลียมมาก และสามารถใช้ทดแทนกันได้ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง สำหรับพลังงานทดแทน ในปัจจุบัน และเป็นทรัพยากรที่ขาดแคลนต่อความต้องการของตลาดโลก ในทุกภาคเศรษฐกิจ ซึ่งในขณะนี้ ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล ยังมีราคาแพงกว่าดีเซลจากปิโตรเลียม เมื่อไม่นับรวมถึงอัตราภาษีสรรพสามิต จึงเห็นได้ว่า ไบโอดีเซล ถ้านำมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมต่อความต้องการ ในราคาค่าต้นทุนที่ต่ำกว่า สามารถช่วยประหยัดทั้งทรัพยากร และ ลดการใช้พลังงาน อันเป็นสิ่งจำเป็นที่กำลังหมดไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. เพื่อศึกษาขั้นตอนในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟ
2. ศึกษาหาค่ากำลังที่ใช้ในเครื่องไมโครเวฟ ในทุกช่วงของค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด
3. เพื่อทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจากคลื่นไมโครเวฟ
4. เพื่อทราบถึงปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ โดยมีเวลาและอุณหภูมิเป็นตัวกำหนด
5. สามารถจำแนกคุณสมบัติเบื้องต้นในการทดสอบคุณภาพไบโอดีเซลที่ได้ด้วยการตรวจสอบค่าความเป็นกรด

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. สามารถวัดและวิเคราะห์การใช้กำลังของเครื่องไมโครเวฟที่เหมาะสมต่อขั้นตอนการทำไบโอดีเซลโดยผ่านเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า
2. สามารถกล่าวถึงการวิเคราะห์และตรวจสอบในเบื้องต้นได้ถึงความเหมาะสมที่ใช้ความร้อนในรูปแบบของคลื่นไมโครเวฟ แทนความร้อนจากหุงต้มด้วยเตาแก๊ส ว่าด้วยประโยชน์และความคุ้มค่าต่อการผลิตไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนของโครงการพิเศษและวิธีการดำเนินงาน

โครงการพิเศษนี้ จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการผลิตน้ำมันดีเซลแทนปิโตรเลียมที่ดีกว่าและประหยัดพลังงานที่ใช้มากกว่าต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบัน โดยมีการออกแบบวิธี การถ่ายเทความร้อนในภาชนะที่ใช้เตรียมผลิตน้ำมันไบโอดีเซล แทนการต้ม เพื่อให้ได้ความร้อนสูงที่สุดและเพียงพอต่อขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากความร้อนที่ได้รับเกิดจากคลื่นไมโครเวฟ โมเลกุลของน้ำมันจึงเกิดการสั่น และปลดปล่อยพลังงานในรูปของความร้อน ดังนั้น การควบคุมกำลังงานที่ใช้ในเครื่องไมโครเวฟ สามารถควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นในโมเลกุลของน้ำมัน และสามารถตรวจสอบ กำลังที่ใช้เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการ ต่อการทำปฏิกิริยาของน้ำมัน โดยผ่านเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า วารีแอกส์ ที่สามารถเพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าให้มีคุณลักษณะที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้นอกจากนี้ยังเป็นการลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องไมโครเวฟได้อีกส่วนหนึ่ง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจถึงหลักการทำงานและขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล
2. เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไบโอดีเซลด้วยการให้ความร้อนผ่านเครื่องไมโครเวฟ
3. สามารถเข้าใจถึงปัญหา รวมถึงแนวทางในการแก้ไขของผลกระทบในการผลิตไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

การผลิตไบโอดีเซล สามารถผลิตได้จากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือวัตถุดิบที่อยู่ในรูปโครงสร้างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ โดยจะต้องอาศัยแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิต ซึ่งต้องอาศัยความรู้และการทดสอบน้ำมันในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีประสิทธิภาพจนถึงปัจจุบันยังมีการวิจัย และ ตรวจสอบขั้นตอนการผลิตตลอดเวลา เนื่องจากปัจจัยต่างๆในการผลิต ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลโดยตรง จากที่ได้เห็นในปัจจุบัน อาทิ การตรวจสอบค่าความเป็นกรด ความหนาแน่น ความหนืด จุดวาบไฟ จำนวนซีเทน เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนเหล่านี้เป็นขั้นตอนที่ละเอียดและยุ่งยาก มักมีค่าใช้จ่ายสูงตามมา ดังนั้น การผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบัน จึงไม่ค่อยนิยมได้รับความสนใจ อันเนื่องมาจากมาจากการปรับปรุงและการตรวจสอบที่เป็นอีกสาเหตุหนึ่ง ที่มีค่าใช้จ่ายสูง กระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ การใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ไขมันหรือน้ำมันทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์เพื่อให้ได้เอสเทอร์และ กลีเซอรอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ ต่าง กรด และเอนไซม์ เริ่มจากการนำน้ำมันที่สกัดได้มาให้ความร้อน จากนั้นเติมแอลกอฮอล์ ที่มีโครงสร้างโมเลกุลคาร์บอน 1 - 8 อะตอมและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล และเอทิลแอลกอฮอล์ โดยทั่วไปนิยมใช้เมทานอล และ เอทานอลมากที่สุด การใช้ เอทานอลมีข้อดีคือ ได้จากพืช ทำให้สามารถหาทดแทนได้ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การทำปฏิกิริยาต้องนำน้ำมันหรือไขมันมาผสมกับแอลกอฮอล์โดยเติมตัวเร่งปฏิกิริยาทันที จากนั้นนำไปปั่นกวหรือการผสมกันระหว่างตัวตั้งต้นน้ำมัน และ ตัวทำปฏิกิริยา คือ แอลกอฮอล์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการ ซึ่งขั้นตอนนี้จะมีการกำหนดระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์จะได้สารละลายแยกเป็น 2 ชั้น ชั้นบนเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน และ ชั้นล่างเป็นกลีเซอรอล จากนั้นนำชั้นบนไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการกลั่น แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือจากนั้นนำไปกรองด้วยโซเดียมซัลเฟตเพื่อกำจัดน้ำหรือนำชั้นบนไปทำให้เจือจางด้วยอีเทอร์แล้วล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก และ น้ำกลั่น ตามลำดับ ขั้นตอนต่อไปคือการดูน้ำ ออกด้วยโซเดียมคาร์บอเนต และ ระเหยตัวทำละลายออก จากนั้นหาปริมาณองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ เอสเทอร์ของกรดไขมัน และ กรดไขมันชนิดต่างๆ ที่เหลืออยู่ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น HPLC, GC, TLC และ NMR (สำหรับหาอัตราส่วนพื้นที่ระหว่างหมู่ methoxy และ methylene proton) ซึ่งวิธีการเหล่านี้คือขั้นตอนในการตรวจสอบน้ำมัน ไบโอดีเซลที่เตรียมได้จากโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ในการทำน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และ น้ำมันที่ใช้แล้วซึ่งมีไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นไตรเอสเทอร์ของกลีเซอรอลระหว่างกรดไขมัน 3 ตัวกับกรดคาร์บอกซิลิก ต่อกันเป็นสายโซ่ตรงยาวที่โมเลกุลเป็นโมโนและไดกลีเซอไรด์มาจากการแทนที่ของกรดไขมัน 2 ตัว และ กรดไขมัน 1 ตัว ตามลำดับที่ตำแหน่งของหมู่

ไฮดรอกซิลของกรดคาร์บอกซิลิก ไชมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบประกอบด้วยกลีเซอไรด์และกรด ไชมันหลายชนิด ซึ่งปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในการผลิตไบโอดีเซลคือ แอลกอฮอล์โดยที่นิยมใช้คือ เมทานอลเนื่องจากมีราคาถูก และมีคุณสมบัติที่ดีในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปกติจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์ สภาพในการทำปฏิกิริยา และการแยกผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งสุทธิมีความยุ่งปฏิกิริยา การเกิดสบู่เป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งเกิดจากไฮดรอกไซด์ของโลหะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ สบู่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดความหนืดเพิ่มขึ้นและทำให้ขั้นตอนในการแยกให้บริสุทธิ์ยากมากขึ้น และ เสียค่าใช้จ่ายสูง นอกจากนี้การทำปฏิกิริยาต้องใช้แอลกอฮอล์ที่มีน้ำน้อย (anhydrous alcohol) คือไม่เกิน 0.1 - 0.3% หรือน้อยกว่า เนื่องจากการมีน้ำจะทำให้เกิดการไฮโดรลิซิสของแอลคิลเอสเทอร์ไปเป็นกรดไขมันอิสระ จากนั้นก็จะเกิดเป็นสบู่ ปกติปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้กรดหรือต่างในการเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย 3 ขั้นตอนที่ผันกลับได้ โดยเริ่มจากไตรกลีเซอไรด์ถูกเปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ และ โมโนกลีเซอไรด์ สุดท้ายเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ 3 โมเลกุลและกลีเซอรอล 1 โมเลกุล ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะต้องไม่มีน้ำปะปนมาเนื่องจากโมเลกุลน้ำจะทำลายโมเลกุลของตัวเร่งปฏิกิริยา จากข้อมูลงานวิจัยพบว่า การกำจัดโมเลกุลของน้ำสามารถใช้เตาอบไมโครเวฟที่ 60°C เป็นเวลา 10 นาทีจากนั้นนำน้ำมันผสมกับเอทานอลที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยขั้นตอนของการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีการใช้เตาอบไมโครเวฟเข้ามาช่วยเพื่อกำจัดน้ำออกไป นอกจากนี้การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันยังใช้ไมโครเวฟช่วยในการปรับปรุงการสกัด และ ช่วยเร่งปฏิกิริยาโดยลดเวลาในการเกิดผลิตภัณฑ์ซึ่งปกติใช้เวลา 75 นาที เหลือเพียง 4 นาทีเท่านั้น อีกทั้งยังเกิดผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุด แต่ต้องมีการควบคุมการใช้ไมโครเวฟไม่ให้ร้อนเกินไปเนื่องจากจะไปทำลายสารประกอบอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์ เนื่องจากโครงสร้างของแอลกอฮอล์จะมีการจัดเรียงตัวในแนวสนามแม่เหล็กที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟทำให้โมเลกุลมีการหมุน และ เกิดความร้อนจากการเสียดสีของการหมุนระหว่างโมเลกุล อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น การใช้ไมโครเวฟจึงทำให้เกิดการทำปฏิกิริยากันอย่างมีประสิทธิภาพ และ ช่วยให้การแยกทำได้ดีขึ้นโดยใช้ไมโครเวฟ 2 - 3 นาทีแล้วปล่อยให้เย็น 3 นาที การแยกชั้นจะเกิดได้อย่างสมบูรณ์ การใช้ไมโครเวฟในการแยกชั้นใช้กับการแยกน้ำมันออกจากน้ำเสียจะช่วยให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเกิดได้เร็วและปลอดภัย

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) หรือปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิส (alcoholysis) คือ การเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำมันหรือไขมันด้วยแอลกอฮอล์เพื่อทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ของกรดไขมันที่เรียกว่า ไบโอดีเซล วัตถุดิบที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น น้ำมัน แอลกอฮอล์ และ ตัวเร่งปฏิกิริยา วัตถุดิบหลักหรือสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซลคือ น้ำมันพืช และ ไขมันสัตว์ ราคาของวัตถุดิบประเภทน้ำมันหรือไขมันคิดเป็น 60 - 75% ของราคาไบโอดีเซลวัตถุดิบที่มีราคาถูก เช่น ไขมันจะทำ

ให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์บริสุทธิ์ การพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยา และ กระบวนการต่างๆ สามารถทำให้ต้นทุนมีราคาถูกลง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชปกติจะมีราคาแพงกว่าน้ำมันดีเซล 10 - 15 % ราคาที่สูงของไบโอดีเซลจึงเป็นอุปสรรคสำคัญทางการค้า มีรายงานว่าน้ำมันที่ใช้แล้ว สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้ โดยมีข้อดีคือ ราคาถูก แต่ข้อเสียคือมีการปนเปื้อนมากกว่า น้ำมันพืชที่ยังไม่ได้ใช้ วัตถุดิบประเภทน้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันมี 3 ชนิด คือ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และน้ำมันที่ใช้แล้ว โดยในส่วนที่ใช้ในการทดลองคือ น้ำมันที่ใช้แล้ว ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 น้ำมันที่ใช้แล้ว

น้ำมันที่ใช้แล้วมีปริมาณกรดไขมันอิสระที่ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลสูงกว่าน้ำมันที่ยังไม่ได้ใช้สามารถตรวจสอบได้โดยการหาค่าความเป็นกรด (acid value) ด้วยวิธีการไทเทรต (titration) พบว่า น้ำมันที่ใช้แล้วมีค่าความเป็นกรด และ มีความหนืดเชิงโคเนติกส์สูงกว่าน้ำมันที่ยังไม่ได้ใช้น้ำมันที่ใช้แล้วต้องเพิ่มความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มากกว่าน้ำมันที่ยังไม่ได้ใช้ประมาณ 10 % ไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันใช้แล้วมีสิ่งเจือปนมากกว่าน้ำมันที่ยังไม่ได้ใช้ แต่มีข้อดีคือ ทำให้ราคาไบโอดีเซลถูกกว่าน้ำมันปิโตรเลียม การใช้วัตถุดิบที่เหลือทิ้ง เช่น น้ำมันจากร้านอาหารหรือโรงงานอุตสาหกรรมมาผลิตไบโอดีเซล จะทำให้น้ำมันไบโอดีเซลมีราคาถูกและช่วยรัฐบาลแบ่งเบาภาระในการกำจัดวัตถุดิบที่ใช้แล้วเหล่านั้น น้ำมันที่ใช้แล้ว และ ไขมันสัตว์ถือว่ามีคุณภาพต่ำกว่าน้ำมันพืชกลั่นบริสุทธิ์ในด้านของปริมาณกรดไขมันอิสระ จึงต้องมีการบำบัดก่อนนำมาผลิตไบโอดีเซล เช่น ไขมันสัตว์อาจมีการปนเปื้อนของกระดูกและเศษเนื้อทำให้ต้องผ่านการกรองก่อน นอกจากนี้อาจมีการเอาน้ำออกและกลั่นด้วยไอน้ำ การฟอกสี การเอาน้ำออกทำได้โดยแยกตามความหนาแน่นโดยใช้ถังในแนวนราบ เพื่อลดความเข้มข้นของน้ำในไขมันที่เหลือทิ้งให้เหลือ 0.5% การเอาน้ำออกมีความจำเป็นสำหรับน้ำมันปรุงอาหารที่อาจมีน้ำปนอยู่ถึง 3 % นอกจากนี้ยังมีการกลั่นด้วยไอน้ำเพื่อทำลายโปรตีนที่เหลืออยู่ในไขมัน และการฟอกสีเพื่อเอาโปรตีนที่เน่าเปื่อยออก แม้ว่าไขมันสัตว์และน้ำมันที่ใช้แล้วจะเป็นแหล่งวัตถุดิบราคาไม่แพงสำหรับผลิตไบโอดีเซลก็ตาม แต่ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่สูงทำให้วัตถุดิบประเภทนี้ไม่เหมาะกับการผลิตไบโอดีเซลร่วมกับต่างโดยตรง เนื่องจากอาจเกิดสบู่ปะปนออกมาด้วย ชนิดของน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เช่น น้ำมันถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ใช้ น้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้ว และ น้ำมันถั่วเหลืองกลั่นบริสุทธิ์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบผลที่ได้คือไบโอดีเซล ที่ได้จากน้ำมันถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ใช้จะมีความเสถียรมาก รองลงมาคือ น้ำมันที่ได้จากน้ำมันถั่วเหลืองกลั่นบริสุทธิ์ และ น้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้ว เนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ใช้มีสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติเช่น สารโทโคเฟอร์รอล ซึ่งเป็นสารเพิ่มความเสถียรในน้ำมัน และ ช่วยให้เกิดออกซิเดชันน้อยลง ส่วนในน้ำมันถั่วเหลืองกลั่นบริสุทธิ์พบว่ากระบวนการผลิตมีส่วนทำให้เกิดการสูญเสียสารต้านอนุมูลอิสระไปบางส่วนในขั้นตอนการกำจัดกลิ่น จะเห็นได้จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ วิตามินดี ส่วนน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้วมี

การเกิดออกซิเดชัน และ การสลายตัวของสารเนื่องจากอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่พึงประสงค์ และ ความเสถียรของเมทิลเอสเตอร์ลดลง ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวสูงจะช่วยทำให้การเก็บรักษามีความเสถียรมากขึ้นเมื่อเทียบกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ เช่น auto-oxidation และ polymerization

2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

2.3.1 Alkaline catalyzed transesterification

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ต่างสามารถเกิดได้เร็วกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่เท่ากัน อีกทั้งเป็นที่นิยมกว่า แต่ก็มีราคาแพง จะเห็นได้จากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ โซเดียมเมทอกไซด์ (CH_3ONa) โพแทสเซียมเมทอกไซด์ (CH_3OK) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) จากการศึกษาพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH , CH_3ONa และ CH_3OK ตามลำดับ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในระดับ อุตสาหกรรมคือ NaOH และ KOH เนื่องจากมีราคาถูก การเกิดปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดจากเมทอกไซด์ไอออนที่เกิดขึ้นได้ 2 ทางคือ กลีเซอรอลและการทำปฏิกิริยาของเมทานอลกับหมู่ไฮดรอกซิลของอัลคาล์ไฮดรอกไซด์ ซึ่งเมทอกไซด์ไอออนจะเป็นนิวคลีโอไฟล์ที่แข็งแรงเพื่อไปชนกับหมู่คาร์บอนิลแล้วเกิดเป็นแอลคิลเอสเตอร์ การใช้ต่างในการเร่งปฏิกิริยานั้นน้ำมันที่ใช้จะต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำไม่เกิน 0.5 % ผลการเปรียบเทียบปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า มีการใช้ NaOH น้อยกว่า KOH และ CH_3ONa เนื่องจากมีมวลโมเลกุลน้อยที่สุด แต่ในเทอมของความเข้มข้นพบว่า CH_3ONa ใช้้น้อยกว่า NaOH และ KOH ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้จาก CH_3ONa มีค่ามากที่สุด การใช้ต่างในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันต้องเป็นภาวะที่ปราศจากน้ำ การเตรียม KOH (NaOH) ต้องใช้เมทานอลแอนไฮดรัสเพื่อให้ได้ CH_3ONa และน้ำเกิดขึ้น ซึ่งน้ำจะทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์และ Na^+ ทำให้เกิดสบู่ จึงมีการสูญเสียไตรกลีเซอไรด์บางส่วนไปขณะที่ CH_3ONa พองแตกตัวให้ CH_3N^- กับ Na^+ นั้นจะไม่มีน้ำเข้ามาทำปฏิกิริยา เมื่อใช้ NaOH และ CH_3ONa จะได้ชั้นเอสเตอร์ที่เป็นของเหลว โดยชั้นล่างเป็นกลีเซอรอลที่มีความหนืดสูงและถ้ามีสบู่ขึ้นจะทำให้จับตัวเป็นก้อน การใช้ KOH จะได้ของเหลว 2 ชั้น ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมมักใช้ KOH เนื่องจากสะดวก และ ง่ายต่อการใช้งาน การเปรียบเทียบราคาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นต่างพบว่า NaOH มีราคาถูกที่สุด รองลงมาคือ KOH และ CH_3ONa โดยสรุปพบว่า NaOH มีความเหมาะสมกว่า KOH ทั้งในด้านราคาและปริมาณการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและการเร่งปฏิกิริยามีอยู่หลายปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิเวลา ความเข้มข้นและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา และการปั่นกวอดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.4.1 อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน

แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยามีหลายชนิด เช่น เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล และเอทิลแอลกอฮอล์ โดยเมทานอลและเอทานอลถูกนำไปใช้ทั้งในระดับการวิจัยและใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากเมทานอลมีราคาถูก ส่วนเอทานอลได้จากผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งสามารถผลิตขึ้นมาใหม่ได้และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเอทานอลจึงเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิง ส่วนบิวทานอลมีข้อดีคือ สามารถจะผสมกับไขมันที่เป็นวัตถุดิบได้ดีกว่า นอกจากนี้การใช้แอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลใหญ่จะมีจุดเดือดสูงกว่าการใช้แอลกอฮอล์โมเลกุลเล็ก ทำให้สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูง แต่ใช้ความดันปานกลาง ซึ่งบิวทานอลจะให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงที่สุดตามมาด้วย 1-propanol และเอทานอล ตามลำดับ แม้ว่าการเร่งปฏิกิริยาด้วยเมทานอลจะให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าที่สุดแต่มี 2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเข้ากันได้ของสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาคือการเพิ่มความไม่มีขั้ว และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเนื่องจากการเพิ่มของน้ำหนักโมเลกุลของแอลกอฮอล์ในทางทฤษฎีพบว่าต้องใช้เมทานอล 3 โมลต่อไตรกลีเซอไรด์ 1 โมลเพื่อให้ได้เมทิลเอสเตอร์ 3 โมลและกลีเซอรอล 1 โมล หมายถึง ต้องใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 3 : 1 อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้น้ำมันบริสุทธิ์โดยใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6 : 1 จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด ถ้ามีปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วและสมบูรณ์ขึ้นรวมทั้งเกิดเอสเตอร์เพิ่มมากขึ้น แต่ปฏิกิริยายังเกิดไม่สมบูรณ์เมื่อใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันสูงกว่าอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6 : 1 นอกจากนี้ยังทำให้การแยกชั้นระหว่างชั้นเอสเตอร์และชั้นน้ำมีความลำบาก ใช้เวลานานและเสียค่าใช้จ่ายในการแยกมากขึ้น สำหรับน้ำมันที่ใช้แล้วพบว่า ต้องใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 7 : 1 จะทำให้ได้เอสเตอร์มากที่สุด โดยมากกว่าการใช้น้ำมันบริสุทธิ์ อาจเป็นเพราะน้ำมันที่ใช้แล้วมีความหนืดสูงกว่าทำให้ต้องใช้ปริมาณเมทานอลมากเพื่อไปละลายน้ำมันและทำให้เกิดการสัมผัสกันของน้ำมันและเมทานอล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันมีผลมากกว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ แม้ว่าการใช้แอลกอฮอล์ต่างชนิดกันจะทำให้มีความแตกต่างกันในกลไกการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณเอสเตอร์ที่ได้

2.4.2 อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตไบโอดีเซล การใช้อุณหภูมิสูงในการทำปฏิกิริยาจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นโดยอุณหภูมิสูงจะทำให้การแยกตัวของแต่ละเฟสลดลง ค่าคงที่ของ

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นและเพิ่มการเข้ากันได้ของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เวลาในการทำปฏิกิริยาลดลง แต่การใช้อุณหภูมิสูงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดสบู่มากขึ้นสำหรับน้ำมันบริสุทธิ์ ส่วนในน้ำมันที่ใช้แล้วการใช้อุณหภูมิสูงจะเพิ่มความหนืดของไบโอดีเซลและมีผลต่อการเกิดสบู่และทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ลดลง ทำให้การละลายของน้ำมันในเมทานอลดีขึ้นและเพิ่มพื้นที่การสัมผัสทำให้เกิดไตรกลีเซอไรด์สูงขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดดีและเร็วแต่มีผลในการเร่งการเกิดสบู่ด้วย แสดงว่าอุณหภูมิสูงมีผลในทางลบต่อน้ำมันบริสุทธิ์ แต่มีผลทางบวกต่อน้ำมันที่ใช้แล้วเพราะทำให้มีความหนืดมาก ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้จะสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ ควรหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิที่มากกว่าจุดเดือดของแอลกอฮอล์เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการเกิดสบู่ของกลีเซอไรด์

2.4.3 เวลา

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดอย่างสมบูรณ์มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา กล่าวคือ ถ้าใช้อุณหภูมิสูง ระยะเวลาที่ใช้จะน้อย แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์จะใช้เวลานานขึ้น ส่วนกลไกการเกิดปฏิกิริยาพบว่า ถ้าใช้เวลา 15 นาทีในการเกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยาจะเกิดเร็วในช่วง 5 นาทีแรกโดยเกิดเป็น เอสเตอร์ถึง 90 % จากนั้นปฏิกิริยาจะเกิดอย่างช้าๆ จนเกิดสมบูรณ์ที่ 15 นาที และถ้าปล่อยเวลาให้ผ่านไปจนกระทั่งอยู่ในช่วง 15 - 30 นาทีพบว่าปริมาณเอสเตอร์ที่ได้ไม่เพิ่มขึ้น แต่จะไปลดผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากเวลาที่มากจะทำให้เกิดการไฮโดรลิซิสของเอสเตอร์ ทำให้ปริมาณเอสเตอร์ลดลง มีกรดไขมันเพิ่มและเกิดสบู่ในที่สุด เมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นสบู่มากขึ้น ดังนั้นต้องควบคุมไม่ให้ใช้เวลานานเกินไปเนื่องจากจะไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาผ่นกลับ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ความเข้มข้นของเมทิลเอสเตอร์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มการผสมกันของสารตั้งต้น และการกระจายตัวของเมทานอลในน้ำมัน

2.4.4 ความเข้มข้นและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาล้าน้อยเกินไปจะไม่เพียงพอต่อการเร่งปฏิกิริยา แต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์น้อยลงเนื่องจากเกิดสบู่ขึ้นแทน ทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มความเข้มข้นของเมทิลเอสเตอร์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากมีการถ่ายเทมวลน้อยของอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันในระดับต่ำ แต่ถ้าใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันสูงจะเพิ่มการสัมผัสของเมทานอลกับน้ำมันมากขึ้น จึงทำให้ความเข้มข้นของเมทิลเอสเตอร์เพิ่มขึ้นด้วย แต่การเพิ่มของเมทานอลที่มากเกินไปจะทำให้เกิดเอสเตอร์เพิ่มและจะไปรบกวนการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเตอร์กับกลีเซอรินเนื่องจากเมทานอลไปทำให้การละลายของทั้งสองชั้นดีขึ้น นอกจากนี้การเกิดผลิตภัณฑ์ที่ลดลงยังเพิ่มการละลายเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นการลดการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเตอร์กับกลีเซอริน อัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณกรดมากขึ้น

แต่การใช้กรดมากจะกระตุ้นให้เกิดอีเทอร์จากปฏิกิริยา alcohol degradation มากขึ้น การใช้ต่าง มากเกินไปจะทำให้ไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นสบู่ ยิ่งมีต่างมากไตรกลีเซอไรด์ยิ่งเปลี่ยนเป็นสบู่มาก ทำให้เปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ได้น้อยลง ตัวอย่างเช่น การลดลงของผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ จาก 0.5 เป็น 1.5 เนื่องจากมีการเกิดสบู่ในปฏิกิริยา การเกิดสบู่จะทำให้เมทิลเอสเทอร์ละลายในชั้นกลีเซอรอล ทำให้การแยกชั้นเมทิลเอสเทอร์กับชั้นกลีเซอรอลทำได้ยากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลถึงการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีมากเกินไปและการกำจัดสบู่ที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลมากกว่าอุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้

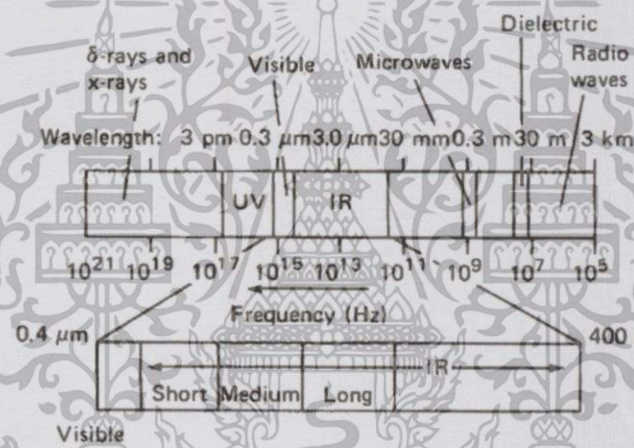
2.4.5 การปั่นกววน

การปั่นกววนมีความสำคัญต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเนื่องจากการปั่นกววนมีส่วนช่วย ในการเริ่มต้นของปฏิกิริยาที่ทำให้น้ำมันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาเริ่มมีการสัมผัสหรือชนกัน เป็น เนื่องจากน้ำมันและแอลกอฮอล์ที่ใช้กันไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ตามธรรมชาติและ สารทั้งสองมีความสามารถในการละลายที่แตกต่างกัน ถ้าไม่มีการปั่นกววนปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเฉพาะ บริเวณรอยต่อของชั้นน้ำมันกับแอลกอฮอล์เท่านั้น ดังนั้นการปั่นกววนจะช่วยทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้มาก ขึ้นและเร็วขึ้น ยิ่งมีการปั่นกววนมาก ปฏิกิริยาจะเกิดมาก แต่ถ้าการปั่นกววนมากกว่าค่าหนึ่งแล้วก็จะ ไม่ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วไปกว่านั้นเนื่องจากค่าๆ นั้นเป็นค่าการสัมผัสของน้ำมันกับแอลกอฮอล์และ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากที่สุด

2.5 หลักการทำงานของไมโครเวฟ

การใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหารเป็นที่นิยมเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในอุตสาหกรรม อาหารสามารถนำไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ได้หลายกระบวนการ ได้แก่การลวก (blanching) การทำให้สุก (cooking) การทำแห้ง (drying) การพาสเจอร์ไรส์ (pasteurizing) การสเตอริไลส์ (sterilizing) การละลายน้ำแข็ง (thawing) การอบ (baking) รวมทั้งกระบวนการอื่นๆ เช่น การควบคุมจุลินทรีย์ การยับยั้งเอนไซม์และการควบคุมแมลง เป็นต้น และในปัจจุบันนี้เนื่องจาก กระแสความต้องการของผู้บริโภคทางด้านอาหารได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยผู้บริโภค ต้องการอาหารที่มีคุณภาพที่ใกล้เคียงกับของสด มีคุณภาพสูง มีความสะดวกสบายในการเตรียม อีกทั้งมีอายุการเก็บรักษาอย่างเพียงพอ โดยเฉพาะอาหารที่ปรุงสุกได้อย่างรวดเร็ว (quick cooking dishes) ที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในสังคมปัจจุบัน จึงทำให้มีการศึกษาการใช้ไมโครเวฟเพื่อตัดแปลง และปรับปรุงกระบวนการแปรรูปอาหารโดยเฉพาะในการให้ความร้อนและได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ ในการแปรรูปอาหารชนิดต่างๆ เช่น อาหารแปรรูปขั้นต้น (minimally processed foods) ทั้งนี้ เนื่องจากไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว และเป็นผลให้เกิดการสูญเสียคุณภาพด้าน ต่าง ๆ เช่น กลิ่นรส สีและเนื้อสัมผัส และ คุณค่าทางโภชนาการน้อยกว่าการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) ที่มีความถี่ระหว่าง 300 เมกะเฮิร์ต (MHz) ถึง 300 จิกะเฮิร์ต (GHz) (ระหว่างความยาวคลื่น 100 เซนติเมตร – 1 มิลลิเมตร) ดังแสดงในภาพที่ 1 ไมโครเวฟไม่ใช่ความร้อนแต่อยู่ในรูปของพลังงาน(energy) และ ถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อน โดยการสั่นสะเทือนของอนุภาคที่มีประจุและ/หรือการหมุนตัวโมเลกุลที่มีขั้ว ทำให้ชนกับอนุภาคหรือโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากที่วัตถุได้รับคลื่น และ มีการดูดซับพลังงานดังกล่าว เป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้น และ มีความแตกต่างจากการให้ความร้อนแบบโอมมิคตรงที่ความร้อนแบบโอมมิค นั้น เกิดจากความต้านทานกระแสไฟฟ้า (electrical resistance) ของอาหาร และ เปลี่ยนเป็นความร้อนโดยตรง และ ข้อดีอีกประการหนึ่งคือ ไมโครเวฟไม่ใช่ป้้มในการลำเลียงอาหารที่อยู่ในท่อให้ผ่านกระบวนการดังกล่าวจึงไม่เป็นการทำลายคุณลักษณะหรือโครงสร้างของอาหาร โดยเฉพาะในการบรรจุแบบปลอดเชื้อและแตกต่างจากกระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมคือเวลาที่ใช้ในการทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดที่กำหนดในการฆ่าเชื้อน้อยกว่า



รูปที่ 2.1 แสดงถึงแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จากการที่คลื่นไมโครเวฟถูกใช้ในเรดาร์ (radar) อุปกรณ์นำทาง (navigational equipment) และ อุปกรณ์สื่อสาร (communication equipment) ดังนั้นในการใช้คลื่นดังกล่าวจึงต้องมีการควบคุม โดยองค์กรระหว่างประเทศที่เรียกว่า International Telecommunication Union (ITU) เพื่อควบคุมดูแลการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ให้เป็นไปอย่างมีระเบียบ โดยการใช้คลื่นที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และการแพทย์ (Industrial, scientific and medical (ISM) frequencies) มีกำหนดการใช้ความถี่ที่ 915 ± 25 MHz $2,450 \pm 50$ MHz $5,000 \pm 75$ MHz และ $22,125 \pm 125$ MHz และกำหนดความถี่ที่ 915 ± 25 MHz และ $2,450 \pm 50$ MHz สำหรับงานให้พลังงานความร้อนในอุตสาหกรรมและการใช้ในบ้านเรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การทำให้เกิดความร้อนจากพลังงานไดอิเล็กทริก (dielectric heating)

จากข้อมูลงานวิจัยพบว่าพลังงานไดอิเล็กทริก (dielectric energy) จากคลื่นไมโครเวฟและความถี่วิทยุ (radio frequency) เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างหนึ่ง ซึ่งส่งผ่านในรูปของคลื่น (wave) และแทรก (penetrate) เข้าไปในอาหาร และ พลังงานนี้จะถูกดูดซับ (absorb) และเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อนขึ้น โดยทั่วไปเราสามารถทำให้เกิดความร้อนในอาหารได้ทั้งโดยตรง (direct method) ซึ่งความร้อนจะเกิดขึ้นภายในตัวของอาหาร เช่น ความร้อนที่เกิดจากไมโครเวฟและคลื่นวิทยุ และ โดยทางอ้อม (indirect method) ซึ่งเป็นการทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายนอก และ ส่งผ่านพื้นผิวหน้าของอาหารไปยังด้านใน โดยเกิดจากการแผ่รังสี (radiation) การพาความร้อน (convection) หรือการนำความร้อน (conduction)

2.6.1 คุณสมบัติไดอิเล็กทริก (dielectric properties) ของอาหารและวัตถุ

จากข้อมูลงานวิจัยพบว่าในกระบวนการแปรรูปด้วยไมโครเวฟจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า (electrical properties) ของวัตถุที่ถูกทำให้เกิดความร้อน ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะมีความสำคัญต่อการสร้างสูตรอาหารเพื่อใช้กับไมโครเวฟ คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สำคัญและแสดงเป็นค่าตัวเลข ได้แก่

1. Relative dielectric constant (ϵ') เป็นค่าที่แสดงความสามารถของวัตถุในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้เมื่อนำวางในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าเก็บพลังงานได้มาก แต่ค่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความชื้นของอาหาร

2. Relative dielectric loss (ϵ'') เป็นค่าที่แสดงความสามารถของวัตถุที่จะกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน ถ้าค่านี้สูงแสดงว่าจะเกิดความร้อนสูง คำว่า "loss" หรือสูญเสีย หมายถึงการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ค่าเหล่านี้จะทำให้ทราบเกี่ยวกับความสามารถในการเป็นฉนวนไฟฟ้า (electrical insulating ability) ของวัตถุ ซึ่งอาหารเป็นฉนวนที่ไม่ดี ดังนั้นอาหารจึงมักจะดูดซับพลังงานส่วนใหญ่ไว้เมื่อสัมผัสกับคลื่นไมโครเวฟและเป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้น (Mudgett, 1986) โดยค่า dielectric loss และ dielectric constant มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\epsilon'' = \epsilon' \tan \delta$$

จากสมการ ค่า loss tangent ($\tan \delta$) แสดงให้เห็นถึงระดับการทะลุทะลวงของสนามไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ค่าเหล่านี้ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าวัตถุจะเกิดความร้อนได้ดีขึ้น Fellows (2000) รายงานว่าอุณหภูมิจะมีผลต่อคุณสมบัติไดอิเล็กทริกอย่างมาก จากรายงานการทดลองพบว่าค่านี้จะลดลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างที่น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็น

ของแข็งโดยเมื่อคลื่นไมโครเวฟผ่านน้ำแข็งจะถูกดูดซับพลังงานไว้น้อยกว่ามากเมื่อคลื่นไมโครเวฟผ่านน้ำ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากการที่โมเลกุลของน้ำนั้นเคลื่อนที่ได้น้อยลงหรือดูดซับพลังงานจากสนามไฟฟ้ากระแสสลับได้น้อยลง ซึ่งสามารถนำความรู้นี้ไปประยุกต์ใช้ในการกระบวนการละลายน้ำแข็ง (thawing) และการละลายน้ำแข็งบางส่วน (tempering) ของอาหารแช่เยือกแข็ง โดยเมื่อทำให้อาหารแช่เยือกแข็งร้อนขึ้นด้วยไมโครเวฟ ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของความร้อนในแต่ละจุดบริเวณของอาหารที่มีการละลายแล้วจะดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มากกว่า จึงทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่บริเวณของอาหารในส่วนที่ยังเป็นน้ำแข็งอยู่จะดูดซับพลังงานได้น้อยกว่า ผลจากการให้ความร้อนทำให้อาหารบางส่วนมีอุณหภูมิที่ต้องการในขณะที่บางส่วนยังมีอุณหภูมิแช่แข็ง

2.7 กลไกการเกิดความร้อนเนื่องจากไมโครเวฟ

จากการที่วัตถุดูดซับพลังงานไมโครเวฟเนื่องจากการมีคุณสมบัติไดโพลีเลกทริก ทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นภายในวัตถุ จากข้อมูลงานวิจัยพบว่าการเกิดความร้อนภายในวัตถุที่สัมผัสกับคลื่นไมโครเวฟนั้นมีสาเหตุมาจากกลไก 2 ประการได้แก่ 1. การเคลื่อนที่ของไอออนเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า (ionic polarization) และ 2. การหมุนของสารประกอบที่มีขั้ว (dipole rotation)

2.7.1 การเคลื่อนที่ของไอออน เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า (ionic polarization)

ภายในเตาไมโครเวฟ (microwave oven) จะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่าแมกนีตรอน (magnetron) ที่ทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสนามไฟฟ้าจะถูกสร้างออกมาในลักษณะ 3 ทิศทาง คือบน-ล่าง ซ้าย-ขวา และหน้า-หลัง เมื่ออนุภาคที่มีประจุในอาหารสัมผัสกับคลื่นไมโครเวฟ จะทำให้เกิดการสั่นและเคลื่อนที่ จึงเกิดการชน (collisions) หรือเสียดสีกับอนุภาคที่อยู่ข้างเคียงเป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้นในอาหารนั้น ซึ่งโดยทั่วไปในอาหารจะมีองค์ประกอบที่ซับซ้อน มีปริมาณน้ำและเกลือที่ละลายได้แตกต่างกันเช่น โซเดียม - โปตัสเซียม - หรือแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้จะแตกตัวให้อิออนบวก (cations) และอิออนลบ (anions) ดังนั้นอนุภาคที่มีประจุจึงสามารถที่จะมีอันตรกิริยา (interactions) กับสนามไฟฟ้าใด ๆ รวมทั้งสนามไฟฟ้าที่ถูกสร้างขึ้นในเตาไมโครเวฟเช่นเดียวกัน

2.7.2 การหมุนของสารประกอบที่มีขั้ว (dipole rotation)

ในอาหารประกอบด้วยน้ำที่มีปริมาณแตกต่างกัน น้ำเป็นโมเลกุลมีขั้ว (polar molecule) ซึ่งในสภาพปกติจะเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (random oriented) เมื่อผ่านสนามไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไป ประจุบวกและลบในโมเลกุลจะหมุนตัวเพื่อเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของสนามไฟฟ้าสลับนั้น ๆ โดยการหมุนตัวกลับไปมาจะเกิดอย่างรวดเร็วตามความถี่ของไมโครเวฟคือ 915 หรือ 2,450 พันล้านครั้งต่อวินาที ทำให้เกิดความร้อนขึ้นและกระจายไปยังโมเลกุลข้างเคียง เนื่องมาจากการชนระหว่าง

โมเลกุลของน้ำในอาหาร แสดงดังภาพที่ 2 ในส่วนของโมเลกุลที่อยู่ในสถานะของแข็งเช่น น้ำแข็งนั้น โมเลกุลของน้ำจะถูกยึดติดกับโครงสร้างที่มีลักษณะเฉพาะของผลึกและไม่สามารถหมุนตัวเองมากพอที่จะชนกับโมเลกุลอื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียงเพื่อทำให้เกิดความร้อนขึ้นได้และในส่วนของโมเลกุลที่อยู่ในสถานะแก๊สหรือไอ จะมีโมเลกุลข้างเคียงจำนวนน้อยมากที่จะชนกันจนสามารถทำให้เกิดความร้อนขึ้นได้เช่นเดียวกัน โดยอันตรกิริยาชนิดนี้มีความสำคัญที่สุดในอาหาร ยกเว้นในอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือสูงมากเช่น แฮม เป็นต้น

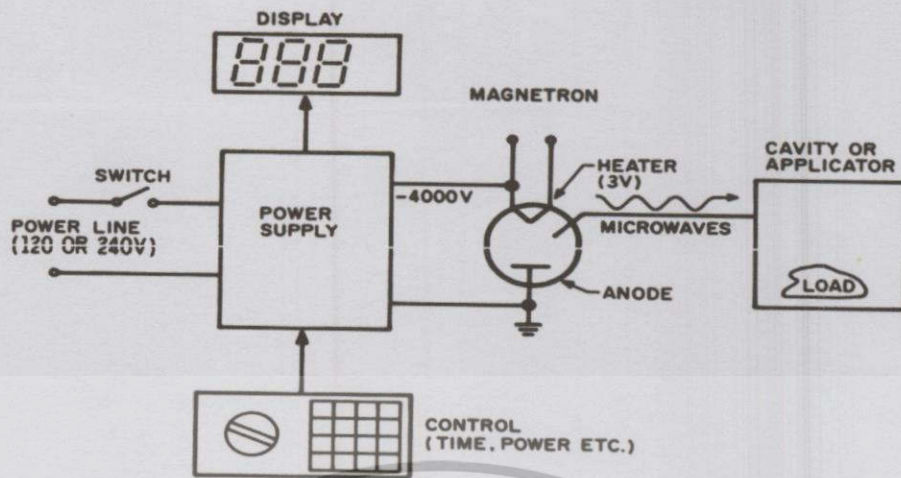


รูปที่ 2.2 แสดงการเคลื่อนที่ของสารประกอบที่มีขั้วเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้า

การเกิดความร้อนในอาหารบริเวณจุดที่สัมผัสกับไมโครเวฟ เนื่องจากกลไกทั้งสองแบบดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ความร้อนจะกระจายออกไปยังส่วนอื่นๆ เนื่องจากผลของการเดือดของน้ำโดยการนำความร้อนและเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับวิธีการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม

2.8 หลักการทำงานของเตาไมโครเวฟ

จากข้อมูลงานวิจัยพบว่าเริ่มแรกที่มีการประดิษฐ์เครื่องไมโครเวฟขึ้นในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สองนั้น มีการประดิษฐ์หลอดสูญญากาศ (vacuum tubes) ที่เรียกว่าแมกนีตรอน (magnetrons) ที่สามารถผลิตคลื่นได้กำลังแม่เหล็กไฟฟ้าหลายกิโลวัตต์ (ในช่วงคลื่นตั้งแต่ 1 - 30 GHz) (ความยาวคลื่นระหว่าง 30 - 0.3 เซนติเมตร) และถูกเรียกว่าไมโครเวฟ แต่ในปัจจุบันคลื่นไมโครเวฟมีความถี่ระหว่าง 300 MHz - 300 GHz ในปี ค.ศ. 1945 ได้มีการจดสิทธิบัตรครั้งแรกในการใช้พลังงานไมโครเวฟเพื่อทำให้เกิดความร้อนแก่อาหาร โดยบริษัท Raytheon Corporation และมีการประดิษฐ์เตาไมโครเวฟขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1947 โดย Percy Spencer ระบบของเตาไมโครเวฟโดยทั่วไปแสดงดังภาพที่ 3 โดยจะประกอบไปด้วยแมกนีตรอนที่ทำหน้าที่สร้างคลื่นไมโครเวฟ แมกนีตรอนที่ใช้ทั่วไปจะมีความต่างศักย์ประมาณ 4,000 โวลท์ และใช้หม้อแปลงไฟฟ้า (transformer) เพื่อเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ให้ได้ตามที่ต้องการ แมกนีตรอนส่วนใหญ่ถูกผลิตเพื่อใช้กับความต่างศักย์ที่คงที่ (constant voltage) ดังนั้นจึงต้องมีวงจรของไดโอด (diode) และตัวเก็บประจุ (capacitor) เพื่อใช้ในการเปลี่ยนความต่างศักย์สลับมาเป็นความต่างศักย์คงที่



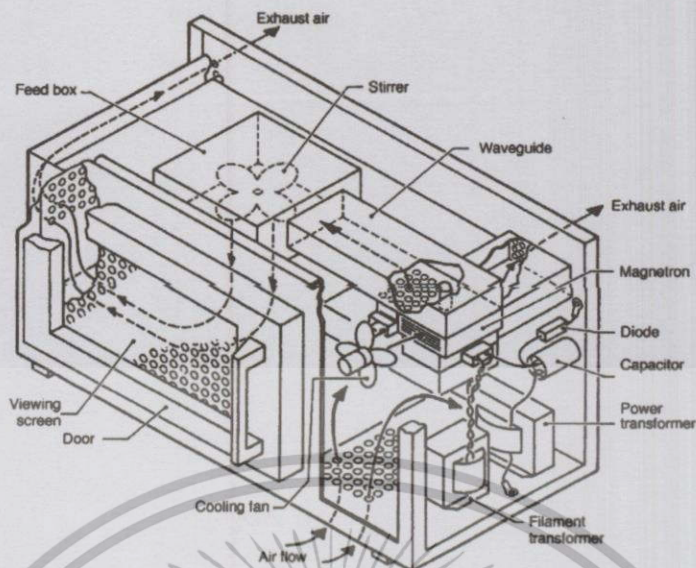
รูปที่ 2.3 แสดงระบบของเตาไมโครเวฟ

ขนาดของพลังงานไมโครเวฟจะถูกควบคุมโดยการปรับกระแสไฟฟ้าภายในวงจรและมีตัวควบคุมเวลาทำหน้าที่ปรับช่วงเวลาการใช้งานของไมโครเวฟ สำหรับเตาไมโครเวฟที่ราคาถูกลง จะมีเฉพาะตัวควบคุมเวลาและอุปกรณ์ควบคุมพลังงาน ในขณะที่เตาไมโครเวฟที่มีราคาสูงขึ้นจะประกอบด้วยระบบที่ควบคุมโดยไมโครโพรเซสเซอร์ ในส่วนสุดท้ายของระบบคือช่องว่างในเตาหรือช่องใส่อาหาร (cavity) ซึ่งเป็นบริเวณที่ให้ไมโครเวฟได้สัมผัสกับอาหาร ภาพรวมโดยทั่วไปของเตาไมโครเวฟแสดงดังรูปที่ 2.3

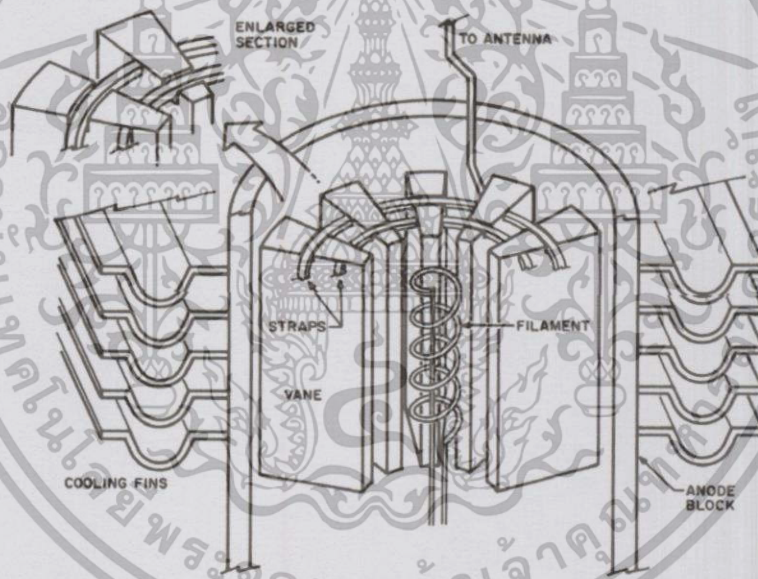
2.9 แมกนีตรอน (magnetron)

แมกนีตรอนเป็นหัวใจของเตาไมโครเวฟ ทำหน้าที่สร้างคลื่นไมโครเวฟ มีลักษณะเป็นหลอดสุญญากาศที่มีโครงภายนอกเป็นโลหะเพื่อเพิ่มความแข็งแรง โดยมีแผ่นลักษณะเป็นปีกเพื่อใช้ในการระบายความร้อน โครงสร้างภายในของแมกนีตรอน ส่วนที่สร้างคลื่นไมโครเวฟเรียกว่าไดโอด (diode) ประกอบด้วยท่อทรงกระบอกทำจากทองแดง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4.5 เซนติเมตร และยาวประมาณ 3.2 เซนติเมตร โดยหลอดจะถูกปิดหัวท้ายด้วยแผ่นทองแดง เพื่อให้ภายในเป็นสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

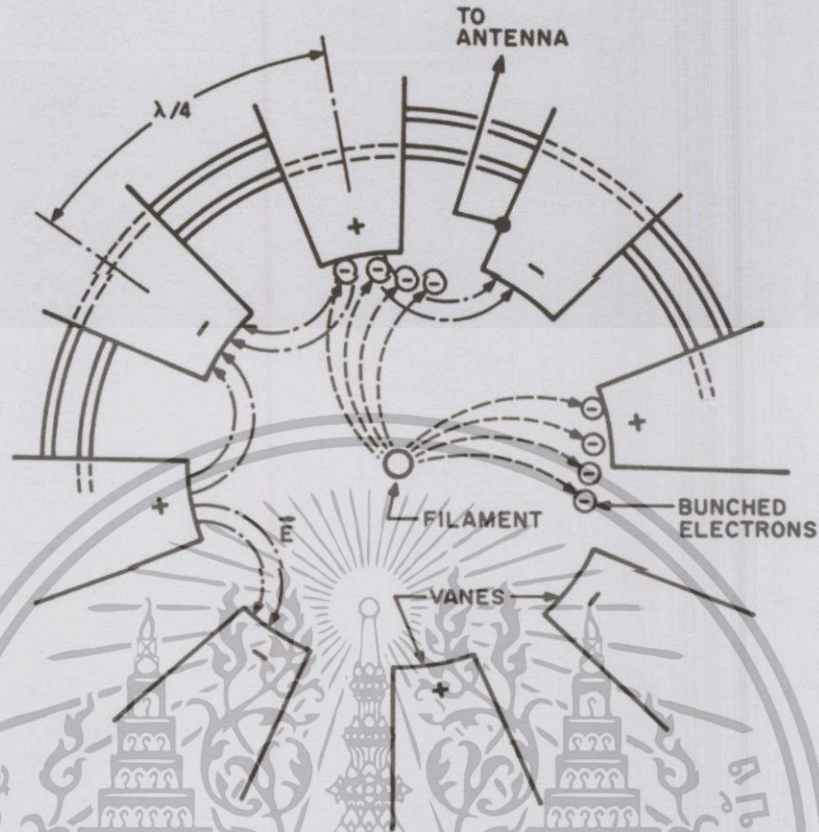


รูปที่ 2.4 แสดงเตาไมโครเวฟโดยทั่วไป



รูปที่ 2.5 แสดงภาพตัดขวางของแมกนีตรอน

ภายในหลอดไดโอด จะประกอบด้วยแผ่นทองแดง (vanes) ซึ่งมีประมาณ 12 แผ่น วางในแนวตั้งโดยหันสันด้านหนึ่งมาเรียงกันในแนววงกลม โดยเว้นช่องว่างตรงกลางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.95 เซนติเมตรไว้ ให้เป็นที่อยู่ของไส้ (filament) ที่เป็นเกลียว (ทำหน้าที่เป็นแคโทด (cathode) และเรียกท่อทองแดงทรงกระบอก และ vanes ว่าเป็นส่วนแอนโนด (anode) การทำงานของแอนโนดในเอกสารนี้แมกนีตรอน ในการทำให้เกิดคลื่นไมโครเวฟแสดงดังภาพที่ 2.5 และเป็นไปตามลำดับดังนี้ โยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะเป็นใครๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ภาพตัดขวางของแอนไนด์ในแมกนีตรอน

1. ไส้ที่เป็นเกิลิว (filament) ถูกทำให้ร้อน
2. อิเล็กตรอนที่อยู่บริเวณผิวหน้าของเส้นแผ่นทองแดงจะถูกกระตุ้นทำให้เกิดหมอกอิเล็กตรอนบริเวณตรงกลางของโคโอด
3. เมื่อผ่านความต่างศักย์ประมาณ 4,000 โวลท์ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า (E) ขึ้นระหว่างแอนไนด์และไส้ filament และเร่งอิเล็กตรอนให้ไปยังแอนไนด์ในแนวรัศมีวงกลม
4. สนามแม่เหล็ก (ที่ถูกสร้างขึ้นจากการนำวงแหวนแม่เหล็ก (ferrite) 2 วง มาวางไว้ด้านบนและล่างของแอนไนด์ สนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นจะมีทิศทางเดียวกันกับแกนของไส้ filament และมีทิศตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า) จะบังคับให้อิเล็กตรอนวิ่งเป็นทางโค้ง (ถ้าความแรงของสนามแม่เหล็กมีขนาดที่พอเหมาะ อิเล็กตรอนจะถูกกวาดออกจากพื้นผิวบริเวณปลายสุดของเส้นแผ่นทองแดง ถ้าสนามแม่เหล็กอ่อนเกินไปจะทำให้อิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนกับแผ่นทองแดง และถ้ามีความแรงเกินไปจะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ย้อนกลับและชนกับไส้ filament)
5. ทันที่ที่อิเล็กตรอนวิ่งถึงแผ่นทองแดง จะเหนี่ยวนำให้เกิดประจุบวกขึ้นภายในแผ่นทองแดง ถ้าแผ่นทองแดงนี้ถูกเชื่อมต่อกันด้วยกระแสไฟฟ้า (เรียกว่า strapping และจุดที่มีการเชื่อมต่อเรียกว่า straps) (ในภาพที่ 6) กับแผ่นทองแดงอีกแผ่นหนึ่งที่อยู่ถัดออกไปจากเดิม 2 แผ่น จะทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายประจุบวกเช่นกัน แผ่นทองแดงที่อยู่ระหว่างแผ่นที่มีประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์สงวนไว้โดยคณะผู้บริหารและบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์บุรีรัมย์

บวก จะถูกเหนี่ยวนำให้มีประจุลบและมีการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับแผ่นที่มีประจุบวก ทำให้แผ่นทองแดงมีสภาพประจุบวกและลบสลับกันไปทั้งวง

6. จากการที่มีแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างประจุที่ต่างและเหมือนกัน ทำให้อิเลคตรอนที่วิ่งวนอยู่ถูกเร่งเข้าไปหาแผ่นทองแดงที่มีประจุบวก ในขณะที่เดียวกันแผ่นทองแดงที่มีประจุลบจะผลักอิเลคตรอนเหล่านี้ไว้ ทำให้กลับมารวมอยู่กับอิเลคตรอนในกลุ่มที่ถูกเร่งจนกลายเป็นกลุ่มก้อนของอิเลคตรอน
7. ทันทีที่กลุ่มอิเลคตรอนนี้วิ่งผ่านแผ่นทองแดงที่อยู่ถัดมา จะเหนี่ยวนำให้เกิดประจุบวกขึ้นในแผ่นทองแดงนั้น ส่วนแผ่นทองแดงที่กลุ่มอิเลคตรอนนี้วิ่งผ่านมาก่อนหน้านี้เปลี่ยนจากสภาพประจุบวกเป็นลบ และเมื่อกลุ่มอิเลคตรอนวิ่งต่อไปเรื่อย ๆ ตามวงโคจร จะทำให้แผ่นทองแดงแต่ละแผ่นเกิดสภาพประจุที่สลับกันไปมาจากบวกเป็นลบและเป็นบวกอีกครั้ง โดยถ้าอิเลคตรอนมีความเร็วที่เหมาะสมกับช่องว่างระหว่างแผ่นทองแดง จะสามารถเปลี่ยนประจุสลับไปมาได้ 2.45 พันล้านครั้งต่อวินาที ประจุที่สลับกันดังกล่าวนี้จะถูกเชื่อมต่อกับเส้นลวดจากแผ่นทองแดงไปยังสายอากาศ(antenna) เพื่อจับคลื่นไมโครเวฟที่เกิดขึ้น แล้วส่งต่อผ่านท่อนำคลื่น (wave guide) และผ่านไปยังไบพัต (stirrer) ทำให้เกิดการแผ่ของคลื่นไมโครเวฟที่มีสัญญาณขนาด 2.45 GHz ในช่องใส่อาหาร

ถ้าคลื่นไมโครเวฟถูกสร้างขึ้นและปล่อยให้ส่งผ่านในอากาศ พลังงานที่ถูกสร้างขึ้นจะไม่ถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่ได้ตามความต้องการ จึงมักใส่สายอากาศ (antenna) เพื่อจับคลื่นและส่งผ่านต่อทรงกระบอกที่เรียกว่า wave guide ซึ่งจะนำทางคลื่นไมโครเวฟให้ตรงไปสู่ช่องใส่อาหารโดยอาจมีไบพัต (stirrer) เพื่อกระจายคลื่นไปสัมผัสกับอาหาร ไบพัตจะช่วยทำให้คลื่นไมโครเวฟไปทำให้จุลร้อนและจุดเย็นในอาหารร้อนขึ้นสม่ำเสมอและทั่วถึง ปัญหาที่สำคัญในการใช้ไมโครเวฟคือการทำอาหารแต่ละจุดถูกทำให้ร้อนไม่ทั่วถึง ส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากเตาไมโครเวฟและมีความเกี่ยวข้องกับความไม่สม่ำเสมอของสนามไฟฟ้า ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของเตาไมโครเวฟ นอกจากนั้นการจัดเรียงของอาหารภายในไมโครเวฟและคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของอาหาร จะมีผลต่อความสม่ำเสมอของความร้อนที่เกิดขึ้น เมื่อไมโครเวฟถูกปล่อยให้เข้ามาในช่องใส่อาหาร (cavity) จะสะท้อนที่ผนังโลหะ การสะท้อนของโลหะเกิดขึ้นเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่มีทิศทางเดียวกันกับผนังโลหะถูกทำให้ลัดวงจร (short circuit) โดยโลหะเป็นตัวเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้น ทำให้สนามไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์ ในส่วนของไบพัต (stirrer) ทำมาจากโลหะ เป็นไบพัตที่หมุนอยู่ในช่องใส่อาหาร โดยใช้มอเตอร์ขนาดเล็กหรือใช้แรงลมที่ได้จากระบบระบายความร้อนให้แก่แมกนีตรอนและพาความร้อนออกไป ด้านนอกเตาไมโครเวฟนอกจากนี้ยังมีวิธีการอื่น ๆ ในการกระจายความร้อน เช่น การใช้จานแก้วหรือเซรามิกส์ที่สามารถหมุนและถอดออกได้ ในระบบนี้คลื่นไมโครเวฟจะสัมผัสกับอาหารที่ทำให้หมุนบนจาน ทำให้จุลร้อนและเย็นได้รับพลังงานโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกัน เตาไมโครเวฟอาจใช้ระบบใดระบบหนึ่งหรือใช้ควบคู่ทั้งสองระบบ เพื่อช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการทำความร้อนแก่อาหารให้ดียิ่งขึ้น

2.10 พลังงานที่ถูกดูดซับในวัตถุ (absorbed power)

จากข้อมูลงานวิจัยพบว่าพลังงานไมโครเวฟเองไม่ใช่พลังงานความร้อน (Thermal energy) แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจาก อันตรกิริยาระหว่างพลังงานไมโครเวฟ และ วัตถุที่มีคุณสมบัติ ไดอิเล็กทริก การเปลี่ยนพลังงานไมโครเวฟไปเป็นความร้อนหรือพลังงานที่ถูกดูดซับในอาหาร สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$PD = 55.61 \times 10^{-14} E^2 f \epsilon' \tan \delta$$

โดย	PD	= พลังงานที่สารดูดซับ (วัตต์/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
	E	= ความเข้มสนามไฟฟ้า (โวลต์/เซนติเมตร)
	f	= ความถี่ของไมโครเวฟ (Hz)
	ϵ'	= relative dielectric constant
	$\tan \delta$	= loss tangent

จากสมการค่าความถี่ของไมโครเวฟ ได้แก่ 915 หรือ 2,450 GHz ส่วนค่า ϵ' เป็นค่าคุณสมบัติ ไดอิเล็กทริก ซึ่งหาได้จากหนังสืออ้างอิงทั่วไป ค่า E ซึ่งเป็นความเข้มสนามไฟฟ้า (electrical field strength ; V/cm) ภายในช่องใส่อาหาร จะขึ้นอยู่กับกรอบแบบของเตาไมโครเวฟ คุณสมบัติไดอิเล็กทริกของอาหาร และ รูปทรงของอาหาร จากสมการจะเห็นว่าความเข้มของสนามไฟฟ้ามีผลอย่างมากต่อพลังงานที่ถูกดูดซับหรือความร้อนที่เกิดขึ้นสารหรือวัตถุที่ดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ดีจะเรียกว่ามี lossy หรือ lossiness สูง ซึ่งสารประเภทนี้จะทำให้อุ่นได้อย่างรวดเร็วเมื่อสัมผัสกับคลื่นไมโครเวฟ นอกจากนั้นรูปแบบของน้ำและเกลือแร่ที่เบี่ยงประกอบอาหาร ลักษณะทางกายภาพของอาหาร อุณหภูมิและความถี่ของคลื่นไมโครเวฟจะมีผลต่อปริมาณพลังงานของไมโครเวฟที่ถูกดูดซับ โดยน้ำที่อยู่ในรูปน้ำอิสระ (free water) จะดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้ดีกว่าน้ำที่จับอยู่กับสารประกอบอื่น ๆ (bound water) เช่น ที่จับกับโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรต ส่วนเกลือแร่ถ้าอยู่ในรูปที่แตกตัว (dissociated) จะทำให้อาหารนั้นดูดซับไมโครเวฟได้ดีกว่าเกลือแร่ที่รวมตัวกับสารอื่น ๆ (associated) เป็นต้น

2.10.1 ปัจจัยที่มีผลต่อพลังงานที่ถูกดูดซับในอาหาร

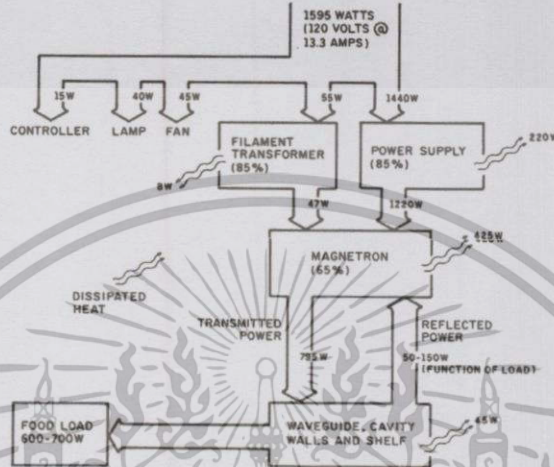
1. แมกนีตรอน คุณสมบัติเฉพาะของแมกนีตรอนทำให้เตาไมโครเวฟมีความสามารถในการทำ ความร้อนแก่อาหารแตกต่างกันไป ปัญหาที่สำคัญของแมกนีตรอนคือตัวแม่เหล็กที่ใช้ ถ้าได้รับความร้อนแล้วความแรงของสนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างขึ้นจะลดลง เป็นผลให้กำลังไฟออก น้อยลง ซึ่งอาจสูญเสียมากถึง 20% และมักเกิดขึ้นในช่วง 5-10 นาทีแรกหลังจากเริ่มเปิด เครื่อง

2. แหล่งพลังงาน (power supply) มีผลต่อพลังงานที่ถูกสร้างขึ้นและที่ถูกดูดซับในอาหาร โดยจะมีผลประมาณ + 15% ของพลังงานที่ถูกสร้างขึ้น
3. ขนาดอาหาร (load volume) พลังงานที่ถูกดูดซับจะขึ้นอยู่กับขนาดของอาหารซึ่งจะเป็นไปตามขนาดของช่องใส่อาหาร (cavity) จากการทดสอบพบว่าปริมาณพลังงานที่ถูกดูดซับจะลดลงเมื่อขนาดของอาหารมีค่าลดลง
4. สัณฐานของอาหาร (load geometry) มีผลต่อการเกิดความร้อนในอาหารชนิดเดียวกันและมีมวลเท่ากัน อย่างไรก็ตามยังไม่มีผลการรายงานที่ชัดเจนเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสัณฐานของอาหาร และการจัดเรียงของอาหารรวมทั้งช่องใส่อาหาร
5. อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์หรืออาหาร คุณสมบัติไดอิเล็กทริกและพลังงานที่ถูกดูดซับในอาหารขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในลักษณะที่ซับซ้อน รวมทั้งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหาร อัตราการเกิดความร้อนในอาหาร (ซึ่งคุณสมบัติเกี่ยวกับการดูดซับพลังงานจะลดลงตามอุณหภูมิ) จะเกิดช้าลงเมื่ออาหารถูกทำให้ร้อนขึ้น แต่ในแฮม (ham) ซึ่งคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมินั้น จะเกิดความร้อนสูงขึ้นเรื่อยๆ จนอาจทำให้ไหม้ได้ ถ้าไม่ระมัดระวัง ทั้งนี้เป็นผลจากการหมุนของสารที่มีขั้วตั้งที่ได้กล่าวนำมาแล้ว
6. ความร้อนจำเพาะ (specific heat) ของภาชนะบรรจุอาหารและอุณหภูมิ โดยคุณสมบัติด้านความร้อน (thermal properties) หรืออุณหภูมิของภาชนะบรรจุซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร จะสามารถทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่ถูกดูดซับจากอาหารไปยังภาชนะบรรจุหรือสิ่งที่หุ้มห่ออาหารได้ ตัวอย่างเช่น แก้วที่บรรจุน้ำปริมาตร 1 ลิตร เมื่อนำไปไมโครเวฟอาจทำให้สูญเสียพลังงานไปยังแก้วสูงถึงประมาณ 6%
7. ตำแหน่งและขนาดของช่องใส่อาหารในเตาไมโครเวฟ จะมีผลต่อความสม่ำเสมอของการทำให้อาหารร้อนถึงประมาณ + 20% โดยเฉพาะชิ้นอาหารที่มีขนาดเล็ก
8. เตาไมโครเวฟ ลักษณะต่างๆของเตาไมโครเวฟที่ (อาจ) มีผลต่อพลังงานที่ถูกดูดซับได้แก่ ขนาด (size) ช่องใส่อาหาร โดยปกติช่องใส่อาหารที่มีขนาดใหญ่กว่าพบว่าพลังงานที่ถูกดูดซับในอาหารจะมีค่าน้อยกว่า สัณฐาน (geometry) ของช่องใส่อาหารแต่ยังไม่มีการศึกษาที่แน่ชัด วัสดุ (materials) ที่ใช้ทำช่องใส่อาหาร ถ้าใช้วัสดุที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้า (conductivity) สูงกว่า จะทำให้มีพลังงานที่อาหารดูดซับมากกว่า และระบบของเตาไมโครเวฟ แต่ยังไม่มีการศึกษาที่แน่ชัดในเรื่องนี้

2.11 ประสิทธิภาพของเตาไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสิทธิ์ของไมโครเวฟ สามารถคำนวณได้จากกฎทางไฟฟ้า โดยคำนวณจากค่าตัวเลขไม่ว่าจะจากด้านหลังหรือด้านข้างของเตาไมโครเวฟ ตัวอย่างเช่น ตัวเลขแสดง 13.3 แอมแปร์ (A) 120 โวลต์ (V) ดังนั้นกำลังไฟฟ้า $P = IV = 13.3 \times 120 = 1,596$ วัตต์ (Watts) ถ้าพลังงานที่ถูกดูดซับในอาหาร

มีค่า 700 W (จากการทดสอบ) ดังนั้นประสิทธิภาพของไมโครเวฟ $(700/1,596)100 = 44\%$ ซึ่งจะเห็นว่ามีย่านค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังที่ใช้ในการแปรรูปโดยวิธีอื่นๆโดยทั่วไปประสิทธิภาพของไมโครเวฟจะมีค่าประมาณ 50% ไม่ว่าจะเป็เตาที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไปหรือในอุตสาหกรรม โดยพลังงานส่วนใหญ่ที่สูญเสียกระจายไปเป็นความร้อนในส่วนของ แมกนีตรอน ดังนั้นเตาไมโครเวฟจึงจำเป็นต้องมีระบบระบายความร้อนโดยใช้พัดลม ภาพที่ 8 แสดงประสิทธิภาพของเตาไมโครเวฟ



รูปที่ 2.7 แสดงประสิทธิภาพของเตาไมโครเวฟ

จากภาพ จะเห็นว่ามีการสูญเสียความร้อนเล็กน้อยในส่วนของหม้อแปลง (transformer) หลอดไฟ (light bulb) และแผงวงจรไฟฟ้า (electronic circuit) และเมื่อเกิดคลื่นไมโครเวฟ จะเห็นว่าการส่งถ่ายพลังงานไปยังอาหารที่มีขนาดใหญ่สูงถึง 85 - 90% แต่จะมีการสูญเสียพลังงานไปยังแหล่งต่างๆ เช่นแมกนีตรอน ช่องใส่อาหารจนถึงตัวอาหาร จนมีประสิทธิภาพเหลือประมาณ 44% ตามที่ได้ยกตัวอย่างไว้

2.12 ความลึกในการทะลุทะลวง (penetration depth) ของไมโครเวฟ

คุณสมบัติทางไฟฟ้า (electrical properties) ของวัตถุมิผลต่อการถ่ายเทพลังงานระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัตถุที่สัมผัสกับไมโครเวฟ ความลึกของการทะลุทะลวงของไมโครเวฟ หาได้จากสมการดังนี้

$$z = (\lambda / 2\pi) \{2 / (\epsilon' (1 + \tan^2 \delta)^{1/2} - 1)\}^{1/2}$$

โดย z คือความลึกของการทะลุทะลวง (ที่ต่ำจากผิวของวัตถุ)

จากสมการจะเห็นว่าพลังงานไมโครเวฟที่ความถี่ 915 MHz จะสามารถทะลุทะลวงได้ลึกกว่าที่ 2,450 MHz เนื่องจากมีความยาวคลื่นมากกว่า โดยปัจจัยที่มีผลต่อการทะลุทะลวงผ่านเข้าไปในชั้นอาหารมีความสำคัญต่อการออกแบบหรือเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะอาหาร เช่น ถ้าชั้นอาหารที่จะแปรรูปด้วยไมโครเวฟมีความหนามาก ก็ควรเลือกคลื่นไมโครเวฟที่ต่ำกว่า

2.13 ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

รายงานถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ จะเกี่ยวข้องกับระบบไมโครเวฟและวัตถุที่ถูกทำให้ร้อนขึ้น ปัจจัยหลักของอาหารที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุที่ใช้กับไมโครเวฟ ได้แก่

1. อุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ เมื่ออาหารได้รับความร้อนจากไมโครเวฟ การเพิ่มของอุณหภูมิจะขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอาหารหลายอย่าง โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดอัตราและเวลาการให้ความร้อน โดยทั่วไปในกระบวนการให้ความร้อนใด ๆ อุณหภูมิเริ่มต้นยิ่งสูง อาหารจะยิ่งสุกเร็วขึ้น ส่วนปัจจัยที่สำคัญอื่นๆ ที่มีผลต่ออุณหภูมิที่จะได้ คือ ความร้อนแฝง (เช่น น้ำแข็งในอาหารแช่เยือกแข็งที่เปลี่ยนไปเป็นน้ำ จะต้องการพลังงานเพิ่มขึ้น) คุณสมบัติไดอิเล็กทริกและคุณสมบัติทางความร้อนของอาหาร
2. ขนาด เมื่อทำให้ชิ้นอาหารร้อนขึ้น อาหารที่มีขนาดเหมือนกันจะร้อนขึ้นอย่างสม่ำเสมอและขนาดของชิ้นอาหารที่เล็กกว่าต้องการพลังงานน้อยกว่าอาหารที่มีขนาดใหญ่กว่า
3. รูปร่าง ลักษณะสัณฐานของอาหารมีความสำคัญ โดยอาหารที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมออาจเป็นการให้ความร้อนมากเกินไป (over heating) ส่วนอาหารที่มีรูปร่างกลมมนมีแนวโน้มที่จะร้อนขึ้นอย่างสม่ำเสมอมากกว่าชิ้นอาหารที่มีมุมแหลมหรือที่มีทั้งส่วนหนาและบาง อย่างไรก็ตามตามทรงกลมหรือผิวที่โค้งคล้ายกับทรงกลมอาจจะมีส่วนตรงกลางที่ร้อนกว่า แต่การให้ความร้อนมากเกินไปไม่สามารถสังเกตได้ในชิ้นอาหารที่มีขนาดรัศมีเกิน 0 – 50 มิลลิเมตร
4. ความหนาแน่นหรือความเป็นเนื้อเดียวกัน อาหารโดยส่วนใหญ่มักมีความเป็นเนื้อเดียวกันที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งมีผลต่ออาหารที่ทำให้ร้อนขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการให้ความร้อนที่สม่ำเสมอ อาหารที่แน่นกว่ามีแนวโน้มที่จะใช้เวลาในการให้ความร้อนนานกว่าอาหารที่มีองค์ประกอบที่เปื่อยและเป็นรูพรุนมากกว่า
5. ความร้อนจำเพาะ ความร้อนจำเพาะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่ควบคุมการให้ความร้อนอาหาร ความจุความร้อนจำเพาะนิยามให้เป็นปริมาณความร้อนที่ต้องการเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของมวลหนึ่งหน่วยขึ้น 1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นกาวิตความสามารถของสารที่จะจุความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับของน้ำ หน่วยของความจุความร้อนจำเพาะคือ จูล/กรัมองศาเซลเซียส (J/g °C) ความจุความร้อนของน้ำเท่ากับ 1.0 J/g °C ส่วนไขมันส่วนใหญ่ประมาณ 0.5 J/g °C หมายความว่า สำหรับไขมันที่มีน้ำหนักเท่า กับน้ำ ไขมันต้องการความร้อนเพียงครึ่งเดียวของน้ำ ความร้อนจำเพาะจะขึ้นกับอุณหภูมิ โดยเฉพาะในสภาวะอุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียสเพียงเล็กน้อยนั้น ความร้อนจำเพาะจะมีค่าสูงมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นรอบๆ จุดเยือกแข็งของอาหาร และ ผลของความร้อนแฝงที่ต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นในการทำให้ละลาย ดังนั้นปริมาณพลังงานที่ต้องการระหว่างกาเปลี่ยนสภาวะทางกายภาพระหว่างน้ำและน้ำแข็ง ดังนั้นปริมาณพลังงานที่ต้องการ

ใช้จะเพิ่มขึ้นถ้าให้ความร้อนแก่อาหารแช่เยือกแข็งด้วยไมโครเวฟเนื่องจากผลของความร้อนแฝงเหล่านี้

6. สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) ถ้าต้องการให้เกิดสภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสม เราจำเป็นต้องทราบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแต่ละองค์ประกอบของอาหารที่นำมาแปรรูป จากการศึกษาของผิวอาหารที่ได้รับความร้อนมากเกินไป แต่ภายในชิ้นของอาหารยังเย็นอยู่นั้น เกิดจากการให้ความร้อนที่มากเกินไปต่อผิวของอาหารซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ โดยอัตราการให้ความร้อนที่เหมาะสมต้องเข้ากันได้ (matching) กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอาหาร
7. คุณสมบัติไดอิเล็กทริกของอาหาร คุณสมบัตินี้เป็นตัวกำหนดว่าอาหารหรือวัตถุจะสามารถดูดซับไมโครเวฟได้ดีเพียงใด ซึ่งมีความสำคัญมากต่อผู้ผลิตอาหารซึ่งใช้กับกระบวนการที่ใช้ไมโครเวฟ ค่าคุณสมบัติไดอิเล็กทริกที่แสดงเป็นตัวเลขดังที่กล่าวมาแล้ว มีอยู่ 3 ค่า ได้แก่ค่า dielectric constant (ϵ') ค่า dielectric loss factor (ϵ'') และค่า dielectric loss tangent ($\tan \delta$) ซึ่งถ้าค่าเหล่านี้สูงขึ้น แสดงว่าวัตถุจะร้อนได้ดียิ่งขึ้น ค่า ϵ' เป็นการวัดความสามารถของวัตถุที่จะเก็บพลังงานไมโครเวฟ ส่วน ϵ'' แสดงให้เห็นถึงความสามารถของวัตถุที่จะกระจายพลังงานออกไปเป็นความร้อน เมื่อเราต้องการวิเคราะห์การให้ความร้อนแก่อาหาร เรามักใช้ค่า $\tan \delta$ ซึ่งเป็นการวัดความสามารถของวัตถุที่ยอมให้พลังงานไมโครเวฟทะลุทะลวงผ่านไปได้ โดยคุณสมบัติไดอิเล็กทริกจะมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เกลือ และ ปริมาณน้ำ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สมมุติฐานในการทดลอง

จากทฤษฎีหรือบทความสำหรับขั้นตอนในการผลิตไบโอดีเซล จะเห็นได้ว่าการผลิตไบโอดีเซลไม่ค่อยเป็นที่นิยมในปัจจุบัน เนื่องจากปัญหาในการผลิตนั้นจำเป็นต้องใช้ต้นทุนที่สูง ทำให้การลงทุนเกิดความไม่คุ้มค่าหรือไม่ได้รับความสนใจ ดังนั้น การใช้เตาไมโครเวฟเข้ามาช่วยเพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดเวลาในการผลิตจึงเป็นส่วนสำคัญ โดยในส่วนของ การทดลองจะมุ่งเน้นไปที่กำลังของไมโครเวฟที่ต้องจ่ายแก่ระบบ เพื่อให้ทราบถึงค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการผลิตไบโอดีเซล และเวลาที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล โดยจะหาเงื่อนไขที่ดีที่สุด ที่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ปริมาณมากที่สุด

3.2 อุปกรณ์ ในการทดลอง

1. เตาอบไมโครเวฟ



2. เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า

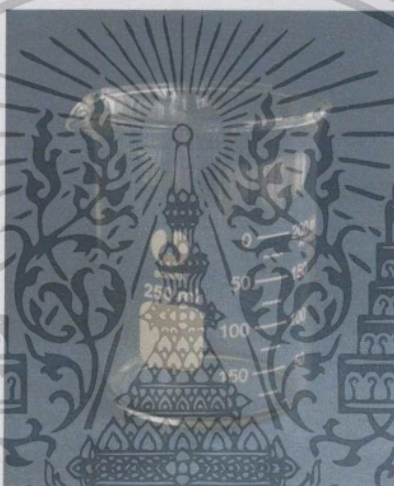


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลอดแก้วรูปตัว L



4. ปีกเกอร์วัดปริมาตร



5. บิวเรต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขั้นตอนแรกคือการวัดอุณหภูมิของน้ำเทียบกับเวลา โดยมีเงื่อนไขในการทดลองตามค่ากำลังที่วัดจาก Power Meter ที่ต่อเข้ากับ output ของเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า หรือ จุดที่เชื่อม input ของเครื่องไมโครเวฟซึ่งแสดงให้เห็นถึงค่ากำลังที่แปรผันตามการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เห็นถึงอุณหภูมิที่ไมโครเวฟสามารถทำงานได้และการคงที่ของอุณหภูมิเมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง แสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ในส่วนถัดมาคือขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลโดยให้ความร้อนผ่านเครื่องไมโครเวฟให้ได้ปริมาณที่มากและมีเงื่อนไขของเวลาให้น้อยที่สุดเพื่อให้เกิดความคุ้มค่า และมีคุณภาพมากที่สุดสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในแต่ละครั้ง โดยในส่วนของอุปกรณ์ทางเคมี ใช้สำหรับขั้นตอนการเตรียมสารตัวทำปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะต้องมีการไทเทรตเพื่อหาค่ากรดไขมันอิสระ โดยกระบวนการนี้ จะทำให้กรดไขมันอิสระมีค่าเป็นกลาง ซึ่งขั้นตอนในการผลิตจะอธิบายในส่วนถัดไป

3.3 วัตถุดิบ



- 3.3.1 น้ำมันที่ใช้แล้ว
- 3.3.2 น้ำบริสุทธิ์หรือน้ำกลั่น
- 3.3.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
- 3.3.4 ตัวทำปฏิกิริยา เมทานอล

ในการทดลองนั้นเราจะแยกออกเป็นสามกระบวนการ โดยส่วนแรกจะเป็นการให้ความร้อนแก่น้ำผ่านเครื่องไมโครเวฟเพื่อหาค่ากำลังที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตไบโอดีเซลให้คุ้มค่าและเกิดคุณภาพที่ดี โดยในส่วนที่สองคือ ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งวิธีการจะเสมือนการผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไป ซึ่งจะแตกต่างกันเพียงขั้นตอนการให้ความร้อน จะให้ความร้อนจากเตาไมโครเวฟแทนเชื้อเพลิงความร้อนจากการหุงต้ม ซึ่งในบทความวิจัยจะเห็นได้ว่าการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟสามารถประหยัดทั้งเวลาและเงินในการลงทุนได้ โดยในการทดลองนี้จะใช้น้ำมันที่ใช้แล้วเป็นวัตถุดิบ

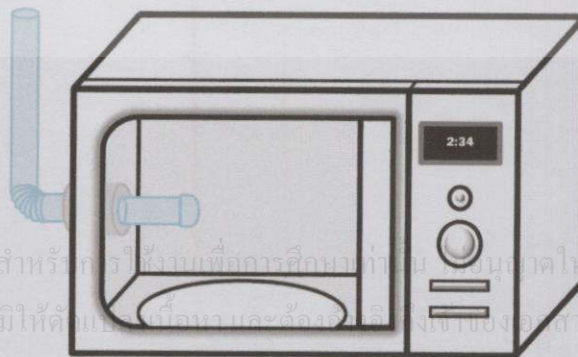
ในการผลิตไบโอดีเซล ในส่วนการหาค่ากำลังจะใช้เครื่อง Power Meter เป็นตัวกำหนดกำลังของเครื่องไมโครเวฟ โดยค่าที่ได้มีผลมาจากตัวแปรต้นของค่าความต่างศักย์ที่จ่ายเข้าไปในระบบตั้งแต่ 160 V, 170 V, 180 V, 190 V, 200 V 210 V, 220 V และ 230 V ตามลำดับ ตัวแปรตามของการทดลองนี้ คือ อุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไป โดยตัวแปรควบคุมที่กำหนดไว้คือ ปริมาตรของน้ำ อุณหภูมิของห้องที่ใช้ในการทดลอง เพื่อป้องกันความผิดพลาดของการทดลองให้น้อยที่สุด เนื่องจากปัญหาใหญ่ของการทดลองนี้ คือเรื่องของการวัดอุณหภูมิ ซึ่งจะทำให้การออกแบบการทดลองนี้ มีบางส่วนเป็นระบบเปิด เพื่อที่ต้องการวัดค่าของอุณหภูมิดังกล่าว ในส่วนที่สองของการทดลอง ตัวแปรต้นคือ ตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวแปรตาม คือ น้ำมันที่ใช้แล้ว ในขณะที่ ตัวแปรควบคุมคือ อุณหภูมิและปริมาณของน้ำมัน ที่ใช้ในการทดลอง และส่วนสุดท้ายคือการหาค่าความเป็นกรดในน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งในส่วนของการทดลองจะแบ่งออกเป็นทั้งหมด 13 ชุดการทดลองตามค่าของกำลังที่ใช้ในไมโครเวฟ โดยแต่ละชุดของการทดลองจะทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง หรือ 10 ผลการทดลอง ซึ่งจะแบ่งตามเวลาที่ใช้ในการทดสอบแต่ละค่า มาทำการไทเทรตเพื่อหาค่าความเป็นกรดในน้ำมัน โดยมีรายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบตามรูปแบบของการหาค่าความเป็นกรดที่แสดงในส่วนถัดไป

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 การหาค่าอุณหภูมิสูงสุดในเครื่องไมโครเวฟ

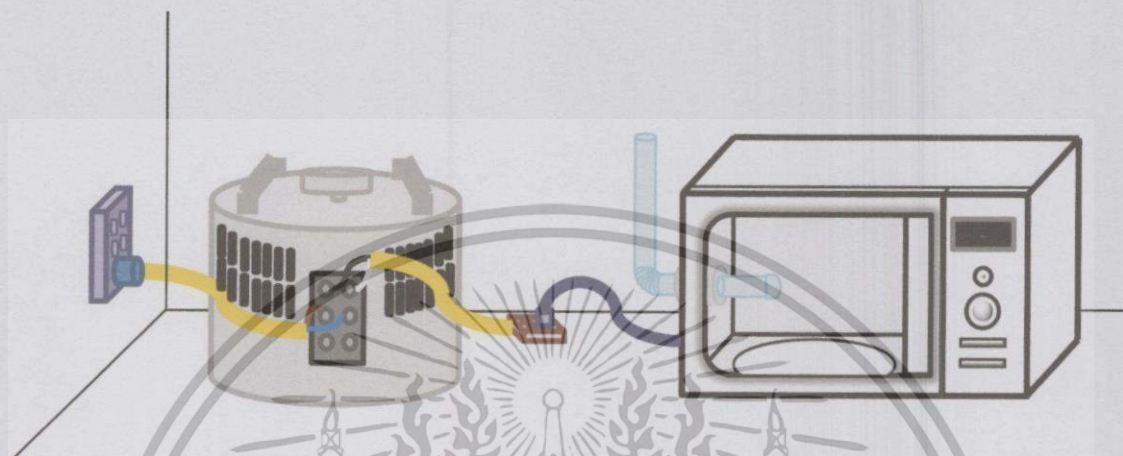
สำหรับในส่วนการทดลองนี้ เพื่อต้องการหาค่าอุณหภูมิของไมโครเวฟ โดยมีปัจจัยหลายอย่าง อาทิ เวลา แรงดันอินพุต เข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการและสามารถนำไปทดสอบกับการผลิตไบโอดีเซลได้อย่างเหมาะสม โดยกำลังที่ได้ จะเป็นตัวแปรหนึ่งในขบวนการผลิตไบโอดีเซล

ในส่วนแรก คือการดำเนินการเพื่อเซตระบบเครื่องไมโครเวฟ เพื่อวัดอุณหภูมิจากภายนอก โดยการต่อท่อแก้วรูปตัวแอล ผ่านด้านข้างของเครื่องไมโครเวฟ ซึ่งต้องทำการวัดและเจาะรูด้านข้างของเครื่องไมโครเวฟ โดยที่ปลายท่อด้านในเป็นปลายปิด เพื่อใส่น้ำจากภายนอกเข้าสู่ระบบ ซึ่งวิธีการนี้ สามารถดัดแปลงจากเครื่องไมโครเวฟได้โดยตรงดังรูปที่ 3.1



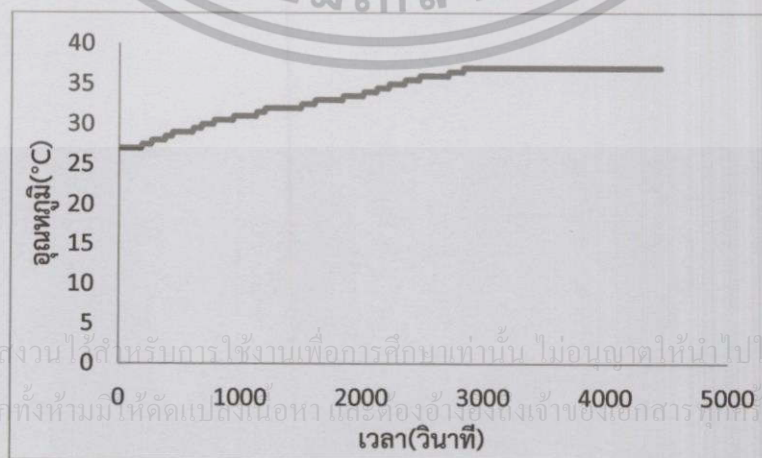
รูปที่ 3.1 เครื่องไมโครเวฟผ่านการเชื่อมต่อแก้วรูปตัวแอล

เมื่อได้ส่วนของไมโครเวฟแล้ว สามารถนำเครื่องไปต่อกับเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้าได้ โดยใช้สายไฟขนาด 5 มม. ต่อเข้ากับอินพุตซึ่งจะเป็นขั้วบวกและขั้วลบของเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า ในขณะที่ปลายอีกด้านคือปลั๊กตัวเมีย สำหรับต่อเข้ากับเครื่องไมโครเวฟ ในส่วนเอาต์พุตของเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า ต่อเข้ากับไฟบ้านโดยตรงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ระบบทดสอบกำลังไฟฟ้าผ่านเครื่องไมโครเวฟ

เมื่อเซตระบบให้ได้ดังรูปที่ 3.2 จึงสามารถนำไปทดสอบกำลังและอุณหภูมิของไมโครเวฟได้ ซึ่งอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะแปรตามกับแรงดันอินพุตที่ป้อนให้แก่ระบบ โดยขั้นตอนแรก เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของระบบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว หมุนความดันของเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้าไปที่ 160V (ก่อนจะเปิดสวิตช์ไฟบ้าน) จากนั้นจึงใส่น้ำบริสุทธิ์ที่วัดปริมาตรของน้ำไว้แล้ว 20 ml. ในพ็อกเก็ตที่ต่อเข้ากับเครื่องไมโครเวฟ เปิดสวิตช์ไฟ ให้ไฟจากไฟบ้าน 220 V ไหลในระบบ โดยจะผ่านเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า เพื่อลดความต่างศักย์ให้เหลือประมาณ 160 V ก่อนเข้าสู่เครื่องไมโครเวฟ จากนั้นจึงจับเวลา แล้ววัดอุณหภูมิของน้ำ จนน้ำมีอุณหภูมิคงที่ ตามการทดลองในแต่ละครั้ง แล้ววัดบันทึกผลที่ได้ เพื่อนำข้อมูลไปเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการหาค่าอุณหภูมิในเครื่องไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

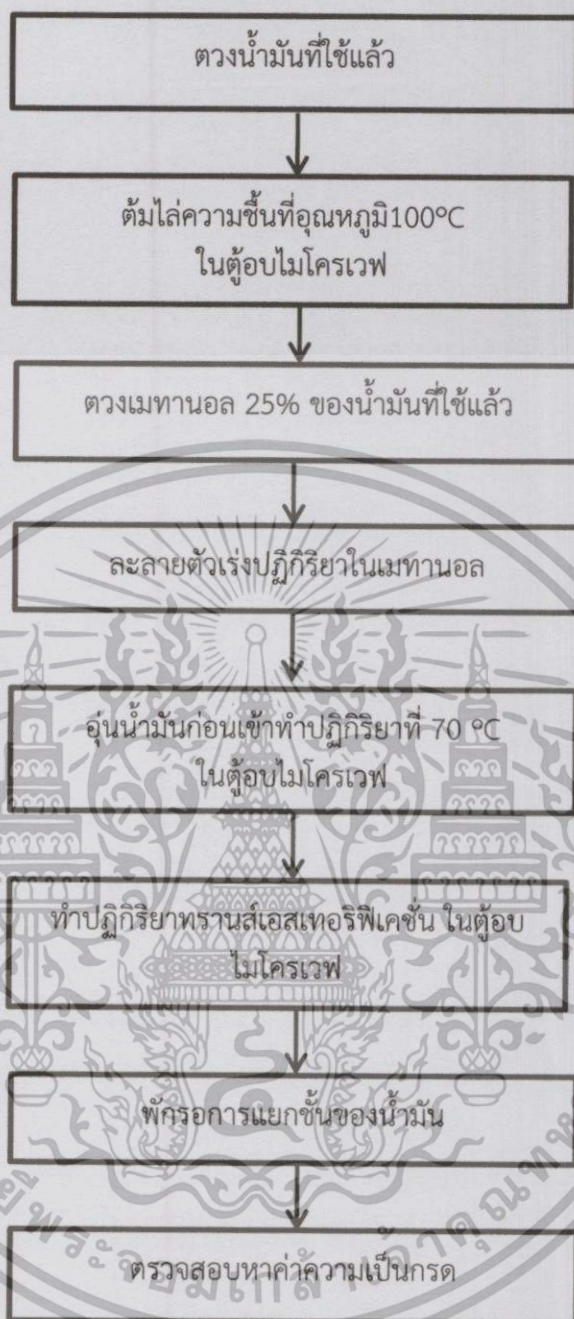
จากรูปที่ 3.3 เป็นตัวอย่างของการทดลองที่ความต่างศักย์ 160 V ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำคองที่เมื่อเวลาผ่านไป นานที่ โดยการทดลองจะเก็บค่าเริ่มตั้งแต่การปรับค่าความต่างศักย์ที่ 160 V, 170V, 180V, 190V, 200V, 210V 220V ตามลำดับ ทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง และเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้ สามารถอ้างอิงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงและค่าของกำลังไมโครเวฟ แปรผันตามกำลังการใช้งาน โดยสามารถสรุปได้จากการทดลองดังกล่าว

3.4.2 ขั้นตอนในการผลิตไบโอดีเซล

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมน้ำมันที่ไม่ใช่แล้ว สำหรับในการทดลอง ซึ่งขั้นตอนนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นปัจจัยหลักสำคัญที่จะบ่งบอกคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ หากเป็นน้ำมันใหม่สามารถนำมาทำไบโอดีเซลได้เลย ไม่ต้องมีการจัดการเตรียมน้ำมัน เพียงแต่ให้แน่ใจว่าในน้ำมันไม่ควรมีน้ำปนมาเพราะจะมีผลต่อการทำปฏิกิริยา ถ้ามีน้ำมากต้องนำไปต้มเพื่อระเหยน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส หากเป็นน้ำมันเก่าใช้แล้วต้องทำการเตรียมน้ำมัน เพื่อให้ น้ำมันที่นำมาใช้มีความใส ไม่ขุ่นข้น ซึ่งมีวิธีการเตรียมมีดังนี้ เมื่อได้น้ำมันมาให้ ตั้งทิ้งไว้ รอให้แยกชั้น ดึงเอาแต่ชั้นใสออกไปเก็บ ส่วนล่างที่เป็นตะกอนให้นำไปผสมน้ำเล็กน้อย (ประมาณ 10-15%) แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100-120 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้แยกชั้นอีก 1-2 วัน แล้วนำส่วนที่ใสมารวมกัน เพื่อใช้เป็นน้ำมันในการทดลอง ขั้นตอนที่ 2 หาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องใช้ โดยการไทเทรต โดยทั่วไปน้ำมันที่ใช้แล้วมักมีค่าความเป็นกรดสูงกว่าน้ำมันใหม่ เพราะเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน ตำแหน่งของไฮโดรเจนในโมเลกุลจะทำให้เกิดสภาพเป็นกรดได้ง่าย และเกิดเป็นกรดไขมันอิสระขึ้น กรดไขมันอิสระเป็นผลมาจากการทอดน้ำมันให้ร้อน มันจะลอยเป็นอิสระปะปนอยู่กับไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมัน การกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ใช้แล้ว ต้องใช้ต่างซึ่งคือตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่มากขึ้น กระบวนการตรงนี้ คือ การทำให้กรดไขมันอิสระเป็นกลาง (Neutralizing) จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับว่าน้ำมันเป็นกรดมากน้อยแค่ไหน ซึ่งการหาค่ากรดไขมันอิสระ เพื่อที่ต้องการหาปริมาณต่างที่ต้องใช้ในปริมาณที่พอดีนั้น สามารถทำได้โดยการไทเทรต ด้วยสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ซึ่งขั้นตอนแรก เริ่มจากละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ลงในน้ำกลั่น 1ลิตร ได้ความเข้มข้นของสารละลาย 0.1 % จากนั้นนำน้ำมันที่เตรียมไว้ผสมกับแอลกอฮอล์ แล้วหยดสารละลายที่เตรียมไว้ ทีละหยด คนอย่างสม่ำเสมอ เพื่อสังเกตการณ์เปลี่ยนสีของสารละลายจนกระทั่งเป็นสีชมพูถาวร จึงหยุด แล้วหาค่าปริมาณของสารละลายที่ใช้ จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งได้สรุปเป็นแผนผังกระบวนการผลิตดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มีอยู่ผู้ใดก็ตามไปเผยแพร่บนสื่อเป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงขั้นตอนในการผลิตไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ขั้นตอนการไทเทรต

น้ำมันพืชที่ใช้แล้วจะมีค่าความเป็นกรดสูงมากเนื่องจากเมื่อวัสดุที่มีน้ำมันผสมอยู่ถูกทอดในน้ำมันร้อน น้ำมันบางส่วนจะถูกปลดปล่อยออกมาและทำปฏิกิริยากับโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นสิ่งที่เรียกว่ากรดไขมันอิสระ หรือ free fatty acid (FFA) นี้คือโมเลกุลของน้ำมันที่ไม่ได้จับพันธะกับกลีเซอริน กรดไขมันเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกเบสแล้วกลายเป็นสบู่ ซึ่งเป็นอุปสรรคของการทำน้ำมันไบโอดีเซล อย่างไรก็ตาม ค่า FFA สามารถทำให้เป็นกลางได้ง่ายๆโดยการเพิ่มเบสเข้าไปในอัตราส่วนที่พอดี ซึ่งจะไม่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน ในขั้นตอนการพิจารณาว่าเราจะต้องเพิ่มเบสเท่าไร เราจำเป็นต้องพิจารณาความเป็นกรดของน้ำมันพืชให้ได้ โดยกระบวนการที่เรียกว่าไทเทรต สามารถเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดในน้ำมันพืชเก่าทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายอ้างอิงที่รู้ความเข้มข้นของเบส โดยมีขั้นตอนการไทเทรต ดังนี้

3.4.4 การเตรียมสารละลายอ้างอิง

สารละลายอ้างอิงพื้นฐานที่รู้ความเข้มข้นจะถูกพิจารณาความเข้มข้นของกรดในน้ำมันพืชเก่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยสารละลายอ้างอิงนี้คือสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1% ซึ่งมีวิธีการเตรียมดังนี้

1. ละลาย KOH 1g ในน้ำกลั่น 1 ลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เทสารละลายตามข้อ 1 ลงในบิวเรต (burette)



การเตรียมสารละลายเพื่อการวิเคราะห์

1. เตรียมไอโซโพรพานอล (Isopropanol alcohol) 10 ml

2. เทสารละลายในข้อ 1 ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หยดฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) 10 หยด ลงในข้อ 2 เขย่าให้เข้ากัน



4. เติมน้ำมันพืชเก่า 1 ml ลงในข้อ 3 เขย่าให้เข้ากัน

5. เตรียมสารละลายตามข้อ 1-4 อีก 2 ชุด

การไตเตรท

1. วางบีกเกอร์จากข้างต้นไว้ใต้บิวเรตที่มีสารละลายอ้างอิง
2. จดบันทึกปริมาณเริ่มต้นของสารละลายอ้างอิงในบิวเรต (V_i)
3. ค่อยๆหยดสารละลายอ้างอิงลงในสารละลายที่จะวิเคราะห์ (ทำซ้ำๆ)
4. เขย่าให้เข้ากันในขณะหยด ทำไปจนกระทั่งสารละลายวิเคราะห์เปลี่ยนเป็นสีชมพู ตั้งทิ้งไว้ 30 วินาที ถ้าไม่เปลี่ยนกลับไปเป็นเหมือนเดิมให้หยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

5. จดบันทึกปริมาณสารอ้างอิงที่ใช้เป็น V_f ลีท และคำนวณสารละลายอ้างอิงที่ใช้ทั้งหมดด้วยการคำนวณว่าครีโอลิตที่สมการ $T = N_f - V_f$ แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำซ้ำข้อ 1-5 อีก 2 ชุด

ซึ่งในส่วนของการขั้นตอนการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน การให้ความร้อน จะใช้เครื่องไมโครเวฟเป็นตัวช่วยของปฏิกิริยานี้ เพื่อดูความแตกต่างทั้งเวลา และปริมาณ ไบโอดีเซลที่ได้ เมื่อเทียบกับกำลังของเครื่องไมโครเวฟ ซึ่งจะสามารถสรุปได้ว่า ณ ที่ กำลัง และเวลา เท่าใด ที่มีความเหมาะสมแก่การผลิตไบโอดีเซลได้มากที่สุด โดยรูปแบบที่กล่าวนั้น จะบันทึกผลเป็นตาราง ดังนี้

ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ (yields)(ml)										
เวลา (นาที) กำลัง (W)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
160										
180										
500										
560										
830										
860										
1050										
1080										
1180										
1200										
1260										
1340										
1440										

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกค่ากำลังต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้

เมื่อได้ค่าปริมาณไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ในทุกการทดลอง โดยมีค่ากำลังของไมโครเวฟเป็นตัวอ้างอิง ซึ่งรวมไปถึงปริมาณกลีเซอรอลที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยในเบื้องต้น ไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ อาจมีประสิทธิภาพในการใช้งานได้ไม่เท่าเทียมกัน ซึ่งต้องมีการตรวจสอบเพื่อหาค่าสมบัติและคุณภาพของไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM โดยเราจะเลือกทดสอบเพื่อหาค่าความเป็นกรดในน้ำมัน เนื่องจากเชื้อเพลิงที่มีความเป็นกรดสูงจะเกิดการกัดกร่อนและเกิดสิ่งก่อกัดภายในเครื่องยนต์ หรือทำให้เครื่องยนต์ผิด ซึ่งเป็นข้อเสียหลักที่จำเป็นต้องตรวจสอบและขจัดปัญหาเหล่านี้ออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการตรวจสอบเพื่อหาค่าความเป็นกรดทำได้โดยวิธีการไทเทรตดังต่อไปนี้

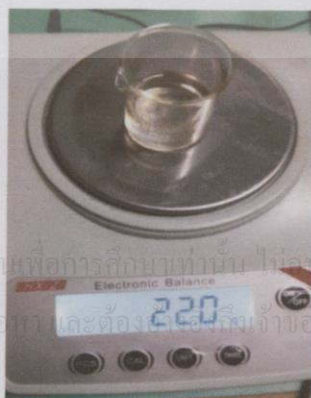
1. ชั่งไบโอดีเซลปริมาณ 2 กรัม



2. เตรียมไอโซโพรพานอล 10 ml



3. เตรียมโทลูอิน 10 ml



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผสมข้อ 2 และ ข้อ 3 เข้าด้วยกัน
5. หยดฟีนอล์ฟทาลีน 3-5 หยด ลงในข้อ 4



6. ชั่ง KOH ปริมาณ 0.56 กรัม (ข้อ 6-8 เป็นการเตรียม KOH 0.1 normal)

7. เตรียมน้ำกลั่น 100 ml

8. ผสมข้อ 6 ลงในข้อ 7 จะได้สารละลาย KOH 0.1 นอร์มัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ทำการไทเทรตโดยการหยดข้อ 8 ลงในข้อ 5 จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีชมพูหรือสีบานเย็น



10. บันทึกปริมาณที่ได้จากการไทเทรตเปล่า
11. เตรียม ข้อ 2 ข้อ 3 และข้อ 4 อีกครั้ง
12. เติมน้ำข้อ 1 ลงใน ข้อ 11 คนให้เข้ากัน ถ้าไม่เข้ากันให้อุ่นเล็กน้อย
13. หยดฟีนอล์ฟทาลีน 3-5 หยด ลงในข้อ 12
14. ทำการไทเทรตโดยหยด ข้อ 8 ลงใน ข้อ 13 จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีชมพูหรือสีบานเย็น
15. บันทึกปริมาตรที่ได้จากการไทเทรต
16. คำนวณค่าความเป็นกรดดังนี้

ค่าความเป็นกรด (Acid Value)

$$AV = \frac{(A - B) \times M \times 56.1}{W} \quad (\text{mgKOH} / \text{g})$$

A = ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรต (ml)

B = ปริมาตรที่ได้จากการไทเทรตเปล่า (ml)

M = ความเข้มข้นของ KOH (mol/L)

W = มวลน้ำมันไบโอดีเซล (g)

การเตรียม KOH 0.1 normal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

0.1 normal = 0.1 mol/l

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{mol} = \frac{\text{น้ำหนักของสาร}}{\text{มวลโมเลกุลของสาร}}$$

$$0.1 \text{ mol} = \frac{\text{น้ำหนัก KOH}}{56.11} \quad \text{มวลโมเลกุล KOH} = 39.10 + 16.00 + 1.01 = 56.11 \text{ g/mol}$$

น้ำหนัก KOH = 5.611 g (หมายความว่า ถ้าต้องการ KOH 0.1 normal จะต้องชั่ง KOH 5.611 g ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร)

แต่ถ้าต้องการ KOH 0.1 normal ปริมาณ 100 ml

1000 ml ใช้ KOH 5.611 g

100 ml ใช้ KOH 0.5611 g

(ชั่ง KOH 0.56 g ละลายในน้ำกลั่น 100 ml)

จากวิธีการทดสอบเพื่อหาค่าความเป็นกรดในน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งมีขั้นตอนในการไทเทรต 2 ขั้นตอน คือผลการทดลองที่ได้ โดยได้จากการไทเทรตเปล่า และการนำน้ำมันที่ทดสอบมาไทเทรต ผลที่ได้จากการไทเทรตสามารถนำมาคำนวณได้จากสูตรดังกล่าว ผลลัพธ์ที่ได้หน่วยมิลลิกรัม โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม ต้องมีค่าไม่สูงกว่า 0.50 มิลลิกรัมโพตัสเซียม/กรัม จึงจะผ่านมาตรฐาน หรือมีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี โดยผลการทดสอบนี้เป็นเพียง 1 ในการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันไบโอดีเซลที่ดี ซึ่งถ้าหากต้องการตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลเพิ่มเติม อาจใช้วิธีการตรวจสอบในรูปแบบอื่นๆได้อีกในงานวิจัยต่อไป ค่าของไทเทรตจะทำการทดลองถึง 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาณที่ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น โดยจะทำการบันทึกในตารางดังกล่าวเพื่อหาค่าที่เฉลี่ยที่ได้ โดยวิธีนี้ถือเป็นการป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อได้ผลผลิตในการผลิตไบโอดีเซล และผลของการตรวจสอบหาค่าความเป็นกรด จะนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองการผลิตไบโอดีเซลในรูปแบบปกติ ซึ่งจะใช้ความร้อนจาก Heater มาทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน ในช่วงเวลาตั้งแต่ 1-10 นาที เพื่อหาปริมาณไบโอดีเซลและนำมาหาค่าความเป็นกรด เพื่อดูผลลัพธ์ของกระบวนการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธี ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการเปรียบเทียบคุณภาพที่ได้ใช้จากความร้อนในไมโครเวฟอย่างชัดเจน โดยขั้นตอนในการบันทึกผลของการหาค่าความเป็นกรด จะทำการไทเทรตทั้ง 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของ A และ B โดยที่ A คือผลที่ได้จากการไทเทรตในน้ำมัน และ B คือผลที่ได้จากการไทเทรต ดังตารางที่ 3.2 และ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกค่าการไทเทรตเปล่า

ตารางบันทึกค่าการไทเทรตเปล่า			
Set No.	B_i	B_f	B_{av}
1			
2			
3			
			เฉลี่ย

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกผลค่าการไทเทรตเปล่า

ตารางบันทึกค่าการไทเทรต

ตารางบันทึกค่าการไทเทรต			
Set No.	A_i	A_f	A_{av}
1			
2			
3			
			เฉลี่ย

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลค่าการไทเทรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

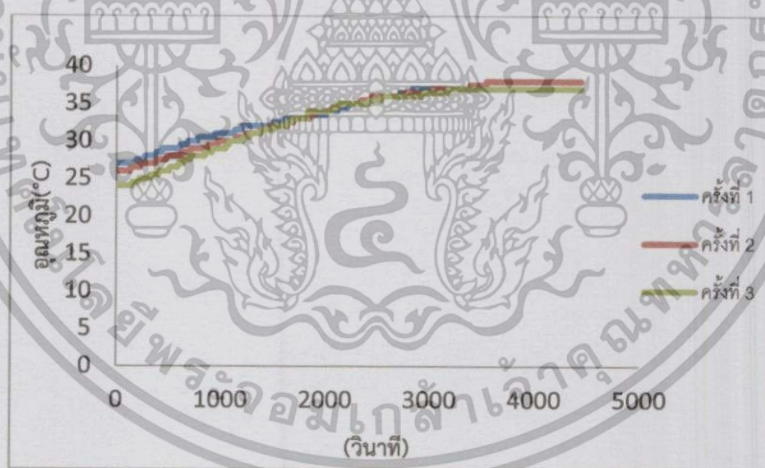
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการทดลองเพื่อหาปริมาณไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟ สามารถสรุป และ รายงานผลการทดลองได้เป็น 3 ขั้นตอนหลักๆ โดยขั้นตอนแรกคือการตรวจวัดอุณหภูมิของ ไมโครเวฟที่ใช้ช่วงกำลังที่แตกต่างกันตามเงื่อนไขดังนี้ คือ ช่วงของกำลังตั้งแต่ 160 W, 180 W, 500 W, 560 W, 830 W, 860 W, 1050 W, 1080 W, 1200 W, 1260 W, 1340 W และ 1440 W ตามลำดับ ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อให้เกิดข้อมูลที่แน่นอนและป้องกัน ความผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยสรุปในรูปแบบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังต่อไปนี้

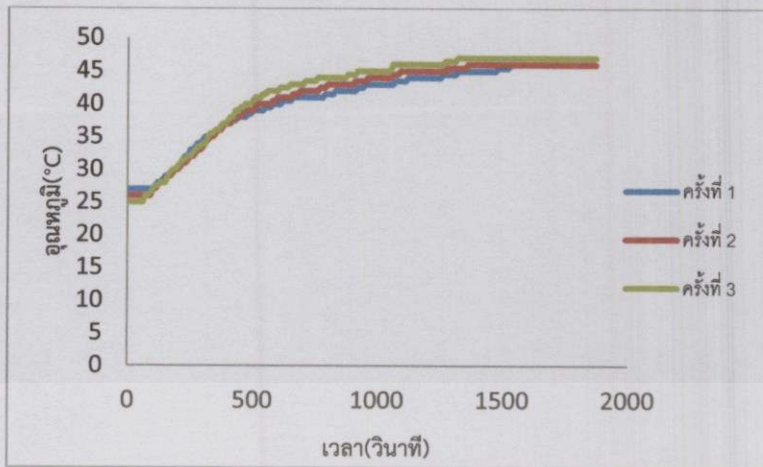
4.1 ผลการวิจัย

4.1.1 การทดสอบเพื่อหาค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา(วินาที) กับ อุณหภูมิ(°C) ที่ 160 V - 160 W

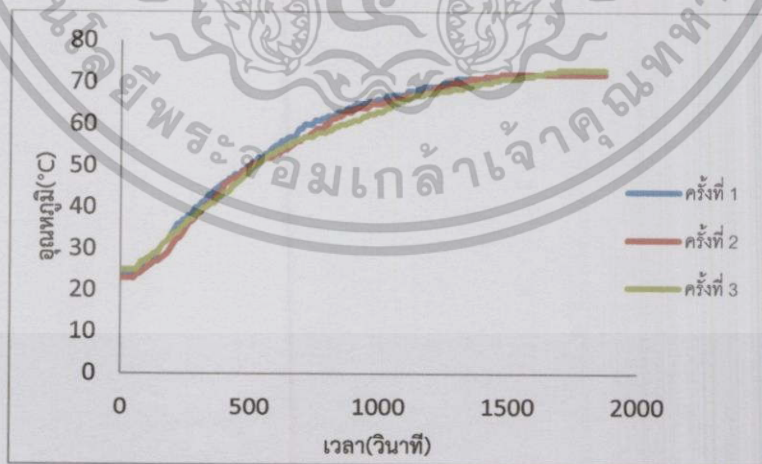
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา(วินาที) กับ อุณหภูมิ(°C) ที่ 160 V - 180 W

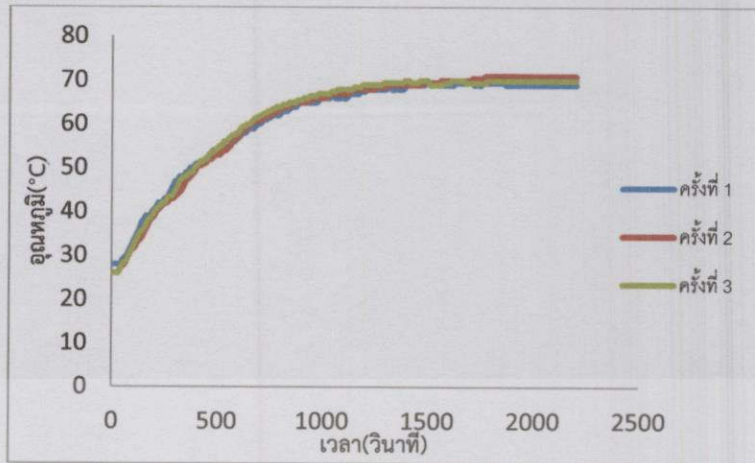


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา(วินาที) กับ อุณหภูมิ(°C) ที่ 170 V - 500 W

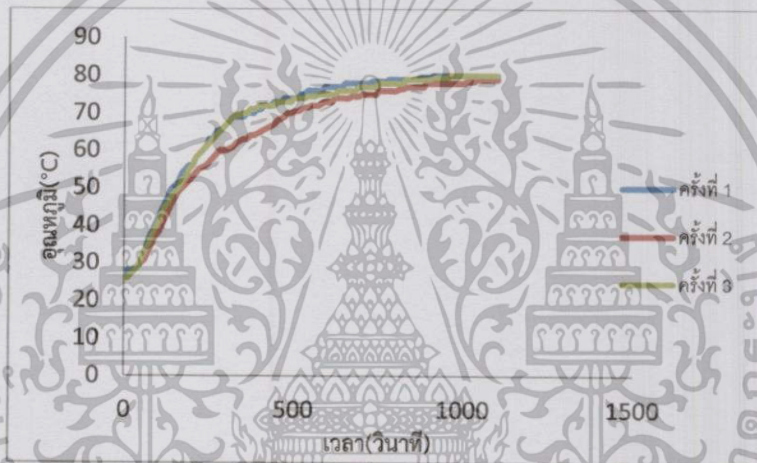


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา(วินาที) กับ อุณหภูมิ(°C) ที่ 170 v - 560 W

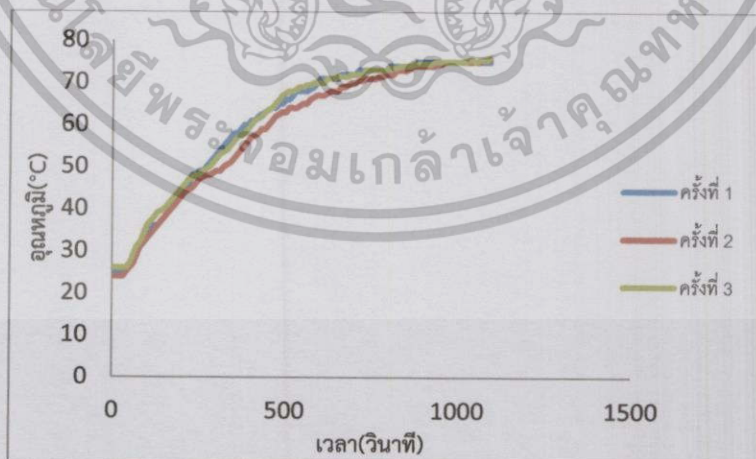
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



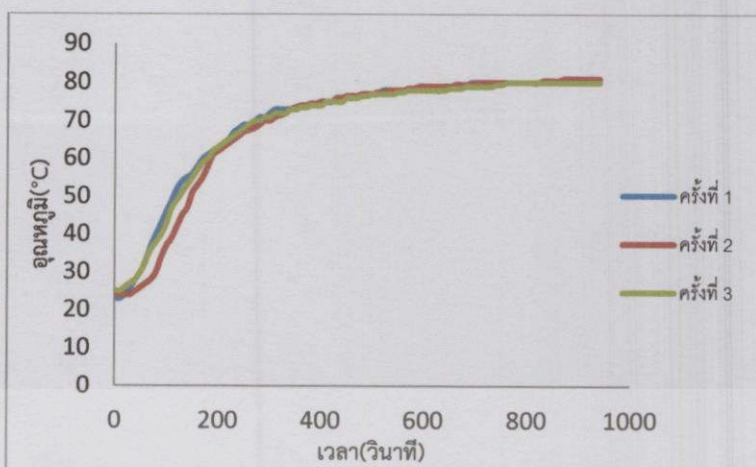
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา(วินาที) กับ อุณหภูมิ(°C) ที่ 180 V - 830 W



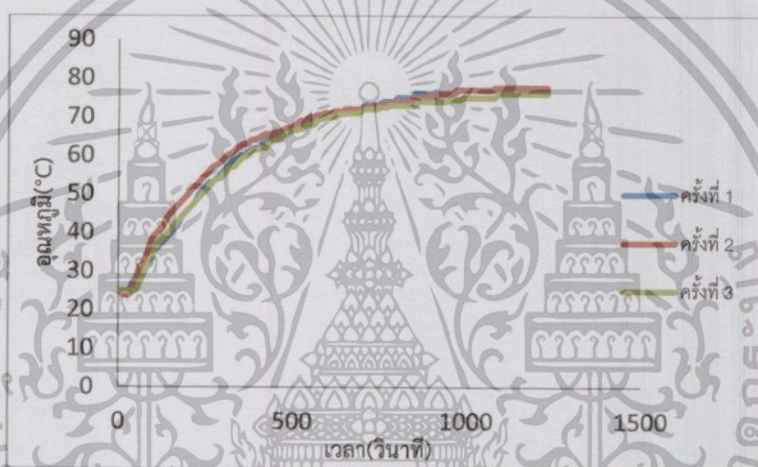
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา(วินาที) กับ อุณหภูมิ(°C) ที่ 180 V - 860 W



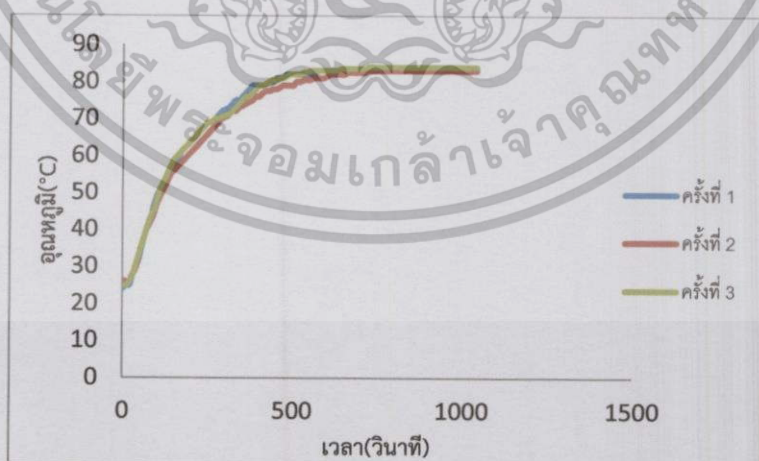
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา(วินาที) กับ อุณหภูมิ(°C) ที่ 190 V - 1050 W,
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา(วินาที) กับ อุณหภูมิ(°C) ที่ 190 V - 1080 W

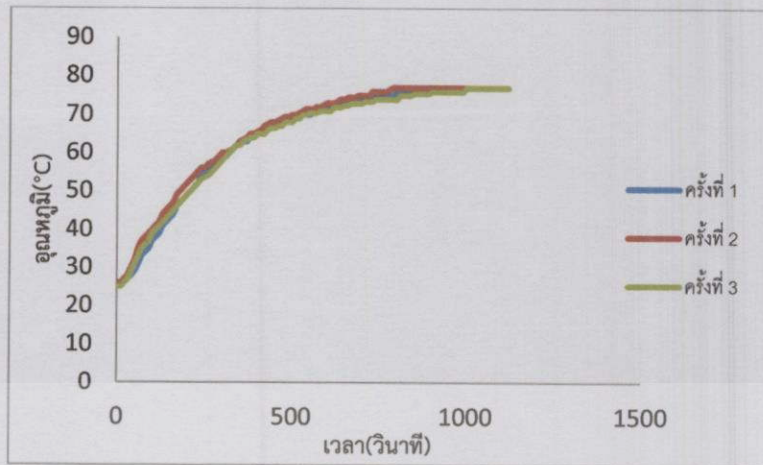


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา(วินาที) กับ อุณหภูมิ(°C) ที่ 200 V - 1180 W

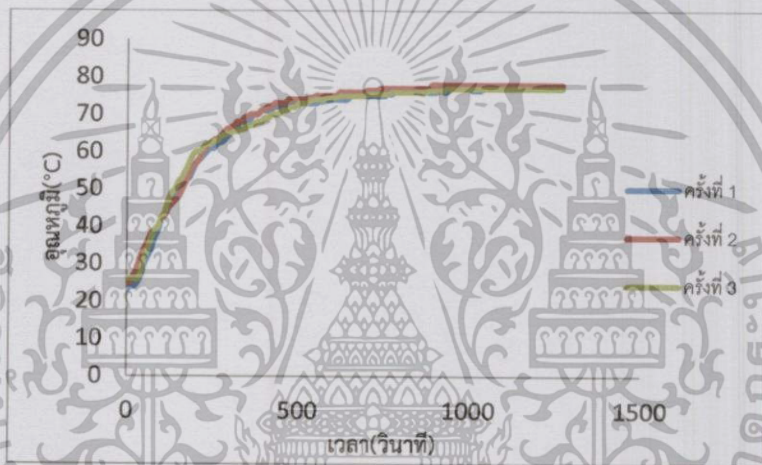


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา(วินาที) กับ อุณหภูมิ(°C) ที่ 200 V - 1200 W

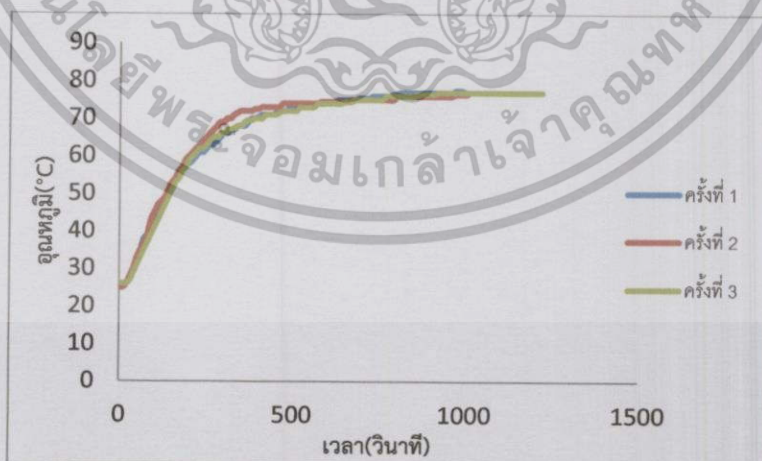
เอกสารนี้เป็นเอกสารทึ่งงาน เวล้าหรับการ ใช้งานเพื่อการศีกษาเท่านั้น ไม่อนุญัตติให้ไป ไซบระ โยจนดานการค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งล้น อีกท้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา(วินาที) กับ อุณหภูมิ(°C) ที่ 210 V - 1260 W



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา(วินาที) กับ อุณหภูมิ(°C) ที่ 220 V - 1340 W



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา(วินาที) กับ อุณหภูมิ(°C) ที่ 230 V - 1440 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการทดลองเรื่องที่ 2 คือขั้นตอนในการผลิตไบโอดีเซลโดยให้ความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟในการทำปฏิกิริยารานเอสเทอร์รีฟเคชัน โดยพิจารณาผลที่ได้จากปริมาณไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นเทียบกับปริมาณกลีเซอรินในแต่ละชุดการทดลองที่เกิดขึ้นตามมาจากผลของปฏิกิริยารานเอสเทอร์รีฟเคชัน ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ มีเงื่อนไขของกำลังไมโครเวฟตั้งแต่ 160W-1440W และเวลาที่ใช้ทดลองตั้งแต่ 1-10 นาที ดังนี้

4.1.2 ผลการทดลองหาปริมาณไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 1-10 นาที

ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ (yields)(ml)										
เวลา (นาที) กำลัง (W)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
160	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7
180	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7
500	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7
560	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7	98.7
830	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8
860	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8
1050	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8
1080	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8	96.8
1180	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	97.9	97.9
1200	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	97.9	97.9
1260	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	97.9	97.8
1340	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	97.9	97.8	97.8
1440	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	97.9	97.8	97.8

ตารางที่ 4.1 แสดงค่ากำลังต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้จากไมโครเวฟ

ในส่วนสุดท้ายคือกระบวนการทดสอบหาค่าความเป็นกรดในน้ำมัน ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สามารถชี้วัดให้เห็นถึงคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นมา เนื่องจากไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ส่วนใหญ่จะมีความเป็นกรดไขมันอิสระสูง อีกทั้งการให้ความร้อนในปฏิกิริยารานเอสเทอร์รีฟเคชันจะส่งผลต่อการแปรสภาพโมเลกุลของไตรกรีเซอไรด์โดยตรง ซึ่งผลที่เกิดขึ้นอาจทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นมาไม่คุณภาพได้ไม่ดีพอ และไม่สามารถนำไปใช้งานได้ โดยเฉพาะกรดไขมันอิสระนั้นจะแปรสภาพในน้ำมันไบโอดีเซลให้มีความหนืดสูง หรืออาจกลายเป็นสบู่ ซึ่งเมื่อนำไปใช้งานในเครื่องยนต์ ทำให้เครื่องยนต์ทำงานหนัก และ เสื่อมคุณภาพเร็วกว่ากำหนด นอกจากนี้ ปัจจัยในเรื่องสารทำปฏิกิริยาหรือเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยา KOH มีผลต่อกระบวนการเกิดไบโอดีเซลอย่างยิ่ง

ซึ่งผลผลิตทางไบโอดีเซลจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวแปรเหล่านี้ เพราะในกระบวนการ หากอัตราส่วนที่ใช้เกินความพอดีหรือน้อยเกินไป จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์แบบ ไบโอดีเซลที่ผลิตจะมีปริมาณลดลง ในส่วนของวิธีการทดสอบจะแสดงผลโดยวิธีการไทเทรตดังตารางต่อไปนี้

4.1.3 การทดสอบหาค่าความเป็นกรดในน้ำมันไบโอดีเซล

ตารางบันทึกค่าการไทเทรตเปล่า			
Set No.	B_i (ml)	B_f (ml)	B_{av} (ml)
1	20.2	20.3	0.1
2	20.3	20.4	0.1
3	20.4	20.5	0.1
			เฉลี่ย = 0.1

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการไทเทรตเปล่า

จากการทดลอง เมื่อหยดสารละลาย KOH 0.1 normal ประมาณ 2-3 หยด บีกเกอร์ที่ใช้ทดสอบเกิดการเปลี่ยนสีอย่างชัดเจน โดยในการทดลองทั้ง 3 ครั้ง วัดปริมาตรค่าเฉลี่ยได้ 0.1 ml. ในการทดสอบหาค่าความเป็นกรดจะใช้ค่าการไทเทรตเปล่าในตารางที่ 4.1.3 เป็นมาตรฐานในการทดสอบน้ำมันที่ใช้วัดทุกเงื่อนไขของการทดลอง โดยในการทดลองแรกคือ การทดสอบน้ำมันที่ 160 V – 160 W ได้ผลในการไทเทรตดังนี้

ตารางบันทึกค่าการไทเทรตน้ำมัน			
Set No.	A_i (ml)	A_f (ml)	A_{av} (ml)
1	25.4	25.5	0.1
2	25.5	25.6	0.1
3	25.6	25.7	0.1
			เฉลี่ย = 0.1

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการไทเทรตน้ำมัน

นำค่า A_{av} และ B_{av} มาคำนวณหาค่าความเป็นกรดจากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$AV = \frac{(A - B) \times M \times 56.1}{W} \dots\dots\dots(1)$$

- โดยที่ A = ค่าเฉลี่ยจากการไทเทรตน้ำมัน มีค่าเท่ากับ 0.1 (ml)
 B = ค่าเฉลี่ยจากการไทเทรตเปล่า มีค่าเท่ากับ 0.1 (ml)
 M = ค่าความเข้มข้นของKOH (mol/L) มีค่าเท่ากับ 0.1 (normal)
 W = มวลน้ำมันไบโอดีเซล (g) มีค่าเท่ากับ 2 (g)

เมื่อแทนค่าตัวแปรต่างๆในสมการ จะสามารถหาค่าอัตราความเป็นกรดได้ ดังนี้

$$AV = \frac{(0.1 - 0.1) \times 0.1 \times 56.1}{2} = 0 \text{ (mgKOH/g)}$$

ผลที่ออกมาเป็นศูนย์ แสดงว่าผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ ไม่มีความเป็นกรดในตัวเอง ซึ่งถือได้ว่าเป็นไบโอดีเซลที่มีมาตรฐานตามข้อกำหนดของการตรวจสอบคุณสมบัติและคุณลักษณะของไบโอดีเซล ASTM D664 โดยขั้นตอนการหาค่าความเป็นกรดนี้เป็นเพียงหนึ่งในวิธีการตรวจสอบคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ซึ่งสามารถตรวจสอบในรูปแบบอื่นๆได้ ตามงานวิจัยในปัจจุบันที่ได้มีการศึกษาค้นคว้า หรือตามมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2544 อาทิ การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ การทดสอบการหนืด จุดไหล ถ่วงตะกอน ปรากฏาน จำนวนซีเทน สิ่งปนเปื้อน เป็นต้น

จากการทดสอบเพื่อหาค่าความเป็นกรดในไบโอดีเซล ในส่วนของการทดลองจะใช้ไบโอดีเซลที่ผ่านความร้อนทุกเงื่อนไขที่กล่าวถึงตั้งแต่ 160W – 1440W เวลาตั้งแต่ 1 นาที ถึง 10 นาที โดยแสดงผลการทดลองดังตารางต่อไปนี้

เวลา (นาที) / กำลัง (W)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
560	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
830	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19	0.19
860	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19	0.19
1050	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19	0.19
1080	0	0	0	0	0	0	0	0	0.19	0.19
1180	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0.08	0.08
1200	0	0	0	0	0	0	0.08	0.08	0.19	0.19
1260	0	0	0	0	0	0.08	0.08	0.19	0.28	0.19
1340	0	0	0	0	0.08	0.08	0.19	0.28	0.19	0.28
1440	0	0	0	0	0.08	0.19	0.19	0.28	0.28	0.28

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยความเป็นกรด (mgKOH/g) จากไมโครเวฟ

จากตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรดในการทดลอง มีผลโดยตรงมาจากการหดยดสารละลาย KOH 1 normal ซึ่งตัวเลขที่ได้จากการคำนวณในสมการ $AV = \frac{(A-B) \times M \times 56.1}{W}$ ค่าอื่นที่อยู่ในสมการเป็นค่าคงที่ ยกเว้น ค่าเฉลี่ยการไทเทรตจากน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งพบว่า ตัวเลขที่เกิดขึ้นจากค่าเฉลี่ยนี้เกิดจากการหดยดสารละลาย KOH 1 normal 2-5 หยด ทำให้สีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูเข้มอมม่วง ซึ่งใช้ปริมาตรที่วัดจากบิวเรต 0.1-0.2 ml. ทำให้ผลคำนวณที่เกิดขึ้นมี 4 ค่าผลการทดลอง โดยปริมาตรที่วัดได้จากบิวเรต 0.1 ml ได้ผลการคำนวณคือ 0 mgKOH/g คือไม่เกิดค่าความเป็นกรด ปริมาตรที่วัดได้จากบิวเรต 0.13 ml ได้ผลการคำนวณคือ 0.08 mgKOH/g ปริมาตรที่วัดได้จากบิวเรต 0.17 ได้ผลการคำนวณคือ 0.19 mgKOH/g และปริมาตรสุดท้ายที่มีค่าความเป็นกรดมากที่สุดวัดได้จากบิวเรต 0.2 ได้ผลการคำนวณคือ 0.28 mgKOH/g โดยในการทดสอบหาค่าความเป็นกรดทั้งหมดถือได้ว่าผ่านมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2542 ซึ่งข้อกำหนดในเรื่องของค่าความเป็นกรด ต้องมีอัตราไม่สูงกว่า 0.50 mgKOH/g

4.1.4 การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนจาก Heater

จากผลการทดลองการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนจากเครื่องไมโครเวฟในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน และการตรวจสอบค่าความเป็นกรด เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้ทดลองการผลิตไบโอดีเซลในรูปแบบปกติ โดยใช้ความร้อนที่ได้จาก Heater ในการทำปฏิกิริยา โดยสรุปผลในการทดลองดังตารางที่ 4.5

		ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ (yields)(ml)									
เวลา (นาท)	กำลัง (W)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	360	91	91	89.3	88	88.3	87	85	84	84	83

ตารางที่ 4.5 แสดงค่ากำลังต่อปริมาณไบโอดีเซลที่ได้

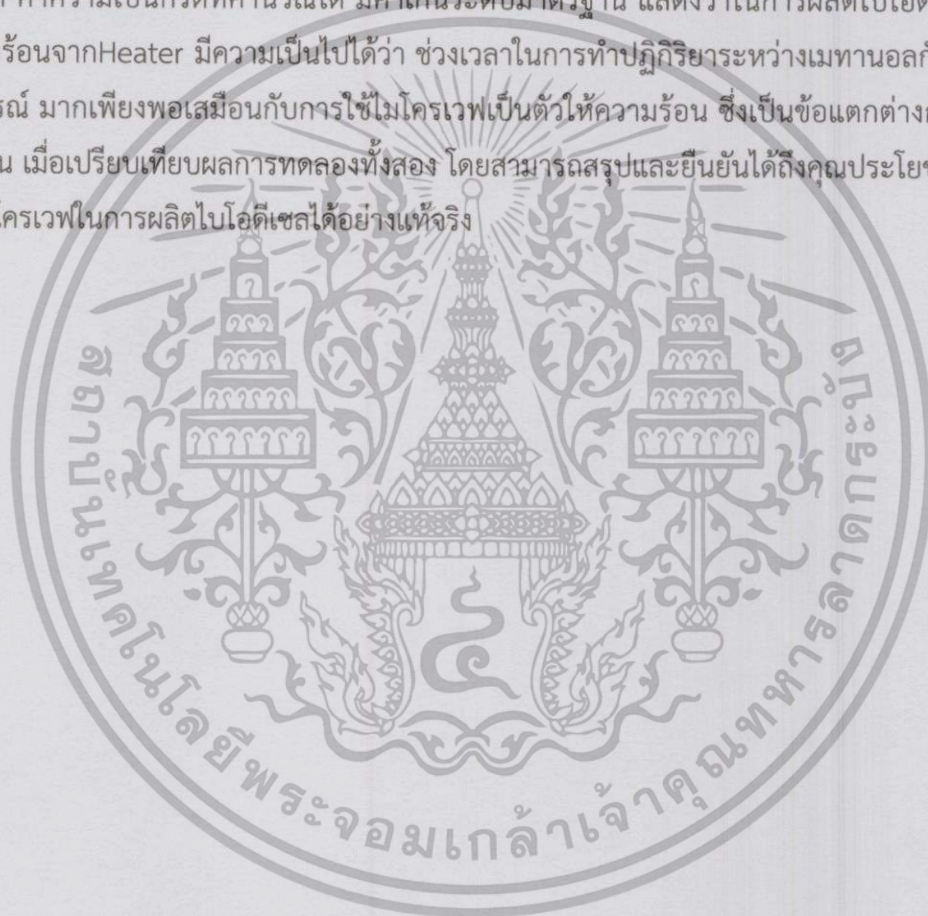
จากกราฟเป็นผลการทดลองการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ Heater ที่กำลัง 360W ภายใต้เงื่อนไขของเวลาที่ใช้ในการทดลองตั้งแต่ 1-10 นาที ปริมาตรที่ใช้ในการทดลองคือ 100 ml เช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.1.1 ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าปริมาณไบโอดีเซลที่ให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ เมื่อนำตรวจสอบหาค่าความเป็นกรดดังตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะมิใช่ทุกสิ่ง อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกค่าเฉลี่ยความเป็นกรด(mgKOH/g)										
เวลา (นาที) กำลัง (W)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
360	0.28	0.28	0.28	1.68	1.68	1.68	2.24	2.24	2.24	2.24

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด(mgKOH/g)

พบว่า ค่าความเป็นกรดที่คำนวณได้ มีค่าเกินระดับมาตรฐาน แสดงว่าในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนจากHeater มีความเป็นไปได้ว่า ช่วงเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างเมทานอลกับน้ำมันไม่สมบูรณ์ มากเพียงพอเสมือนกับการใช้ไมโครเวฟเป็นตัวให้ความร้อน ซึ่งเป็นข้อแตกต่างกันได้อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งสอง โดยสามารถสรุปและยืนยันได้ถึงคุณประโยชน์ของการใช้ไมโครเวฟในการผลิตไบโอดีเซลได้อย่างแท้จริง

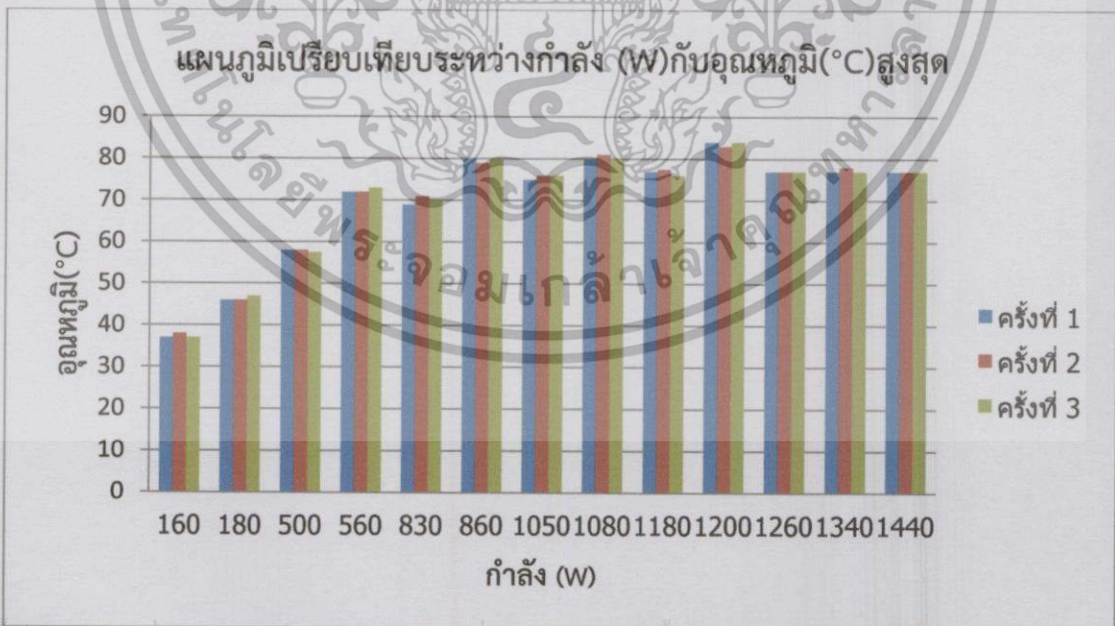


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองเรื่องการวัดอุณหภูมิในไมโครเวฟโดยมีเงื่อนไขของกำลังในการทดลอง

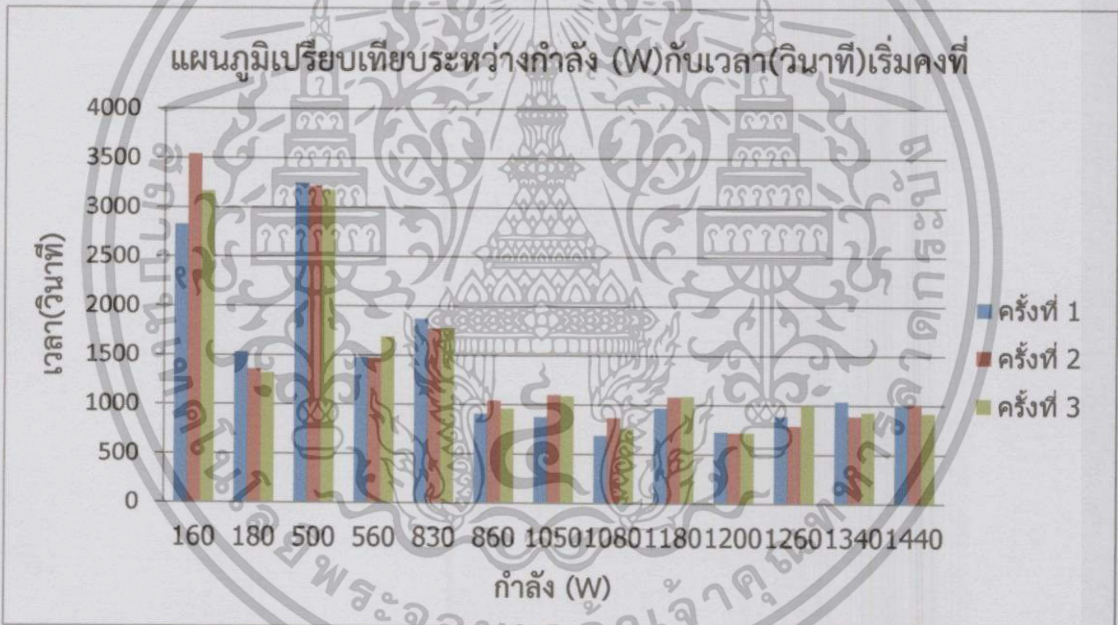
จากการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา และ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในไมโครเวฟ โดยมีเงื่อนไขของกำลังเข้ามาเกี่ยวข้อง สามารถสรุปได้ว่า กำลังของไมโครเวฟ สามารถทำงาน หรือ ให้ความร้อน แก่ระบบได้ คือ ช่วงการทำงานที่ 160 V กำลังที่ 160 W ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งจากกราฟสามารถสรุปได้ว่า ไมโครเวฟสามารถทำงานและให้ความร้อนแก่สารได้จนถึงช่วงเวลาหนึ่ง จนอุณหภูมิคงที่ โดยมีค่าเวลาเฉลี่ยคงที่ ที่ 50 นาที อุณหภูมิคงที่ 37 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มกำลังไมโครเวฟแก่ระบบ อุณหภูมิที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยใช้เวลาที่เกิดอุณหภูมิกงที่น้อยลง ในการทดลองสามารถสังเกตผลการทดลองที่เห็นได้ชัด เมื่อให้ไมโครเวฟทำงานที่ 180 V กำลัง 160 W จนถึง 230 V กำลัง 1440 W ซึ่งช่วงการทำงานนี้ ไมโครเวฟสามารถให้ความร้อนที่อุณหภูมิเฉลี่ย 77 องศาเซลเซียส เป็นค่าอุณหภูมิกงที่ โดยมีเพียงระยะเวลาที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับกำลังของไมโครเวฟ สรุปได้ว่า เมื่อกำลังในการทำงานของไมโครเวฟเพิ่มขึ้น จะใช้เวลาในการทำงานให้อุณหภูมิกงที่น้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองการวัดอุณหภูมิสูงสุดทั้ง 3 ครั้ง

จากรูปที่ 5.1 เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองหาค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของไมโครเวฟจำนวน 3 ครั้ง ซึ่งสีน้ำเงินคือผลการทดลองครั้งที่ 1 กราฟสีแดงคือ ผลการทดลองครั้งที่ 2 และกราฟสีเขียวคือผลการทดลองครั้งที่ 3 โดยมีเงื่อนไขของกำลังไมโครเวฟ ที่เงื่อนไขเริ่มต้นตั้งแต่ 160 W – 1440 W เมื่อมองจากรูปกราฟจะเห็นได้ว่า ที่เงื่อนไขของกำลังไมโครเวฟต่างๆ ผลที่ได้จากการทดลองในแต่ละครั้งไม่แตกต่างกัน โดยจากการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้ มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งอุณหภูมิที่เกิดขึ้นแตกต่างกันน้อยมาก เมื่อมองจากรูปตั้งแต่ช่วง 860 W – 1440 W อุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันในเรื่องของเวลา โดยเมื่อเทียบกำลังกับเวลาดังรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อกำลังยิ่งสูงขึ้น ระยะเวลาในการให้อุณหภูมิคงที่น้อยลง โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 16 นาที ณ ที่ กำลังตั้งแต่ 860 W – 1440 W ซึ่งบ่งบอกได้ถึงจุดในการทำงานที่คงที่ของเครื่องไมโครเวฟ

จากการประมวลผลสรุปแผนภูมิที่ 5.1 และ 5.2 สามารถบอกช่วงการทำงานที่คงที่ของไมโครเวฟได้ เมื่อพิจารณากำลังตั้งแต่ช่วง 860 W – 1440 W จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ไมโครเวฟสามารถทำงานได้คงที่เฉลี่ยอยู่ในช่วง 77°C และใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 15 นาที



รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองการวัดเวลา ณ จุดคงที่ทั้ง 3 ครั้ง

5.2 สรุปผลการทดลองการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟในการทำปฏิกิริยา

จากตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณไบโอดีเซลที่ได้ตั้งแต่ช่วงกำลังที่ 100 W – 1440 W ผลจากการทดลองชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยในบทความงานวิจัยได้กล่าวถึงผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ไมโครเวฟนั้น สามารถลดระยะเวลาในการผลิตได้จาก 1 ชั่วโมงเหลือประมาณ 3 - 5 นาที ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ ปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตอยู่ในช่วงระหว่าง 96 - 98 ml. คิดเป็นอัตราเฉลี่ยร้อยละ

97 จากทั้งหมด 100 โดยส่วนที่เหลือจากผลผลิตไบโอดีเซลคือ กลีเซอริน ซึ่งในการทดลองพบว่า กลีเซอรินที่เกิดขึ้นไม่เกี่ยวข้องกับความร้อนในการทำปฏิกิริยา แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน โดยในการทดลองจากเงื่อนไขของกำลังไมโครเวฟที่ให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยา เราเลือกใช้น้ำมันที่ใช้แล้วมาจากแหล่งต่างๆ ทั้ง 3 แหล่ง ซึ่งผลจากการใช้น้ำมันจากแหล่งอื่นๆ ที่แตกต่างกัน จำเป็นต้องผ่านกระบวนการต้ม ล้าง กรองน้ำมัน การไทเทรตเพื่อหาค่าความเป็นกรด โดยทั้ง 3 แหล่งนี้มีค่าการไทเทรตที่ได้แตกต่างกัน จึงทำให้ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้แตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณกลีเซอรินที่เกิดขึ้นทั้ง 3 แหล่งมีปริมาณที่ใกล้เคียง จึงสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณกลีเซอรินที่เกิดขึ้นมากจากชนิดของแหล่งน้ำมันทั้ง 3 แหล่ง โดยความร้อนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณกลีเซอรินน้อยมากๆ ซึ่งจาก ตารางที่ 4.1 จะพบได้ในช่วงเวลาที่ 8 - 10 นาที โดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟที่กำลังสูง จะมีปริมาณไบโอดีเซลลดลง ที่เกิดจากการแปรสภาพไปเป็นกลีเซอริน อันเนื่องมาจากสาเหตุของกระบวนการให้ความร้อนในไมโครเวฟ ควรอยู่ในระดับที่เหมาะสม เนื่องจากการให้ความร้อนที่มากเกินไป อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน ซึ่งจะทำให้โมเลกุลจับตัวกับความชื้นในอากาศจนแปรสภาพเป็นกลีเซอรินเพิ่มขึ้น โดยเงื่อนไขของการทดลองคือช่วงเวลา 1 - 10 นาที นั้นสามารถบ่งบอกเวลาที่เหมาะสมในขั้นตอนการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน ควรอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 3 - 6 นาที โดยใช้ความร้อนจากกำลังไมโครเวฟไม่สูงเกินไปคือ ช่วงตั้งแต่ 600 W - 1000 W จึงทำให้ผลผลิตของไบโอดีเซลสมบูรณ์ที่สุด

5.3 สรุปผลการทดลองเรื่องการตรวจสอบค่าความเป็นกรดในน้ำมัน (มาตรฐาน:ASTM D 664)

ในขั้นตอนสุดท้ายของการทดลองคือการตรวจสอบน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาในไมโครเวฟที่เงื่อนไขกำลังต่างๆ สามารถสรุปผลได้ว่าสมการที่เกิดขึ้นเพื่อใช้หาค่าความเป็นกรด (Acid Value) มีผลการเปลี่ยนแปลงมาจาก A_{av} และ B_{av} ซึ่ง B_{av} ที่ได้มาจากการไทเทรตเปล่านั้นมีค่าเท่าเดิมทุกเงื่อนไขของการทดลอง เนื่องจากตัวแปรต้นคือ สารละลาย KOH 0.1 normal และตัวแปรตาม คือ ส่วนผสมระหว่างไอโซโพรพานอล โทลูอิน และ ฟีนอล์ฟมาลีน มีค่าสัดส่วนที่เท่ากัน ทำให้ผลในการไทเทรตเปล่านั้นมีค่าเดียวกัน คือ 0.1 ml นอกจากนี้ในสมการการหาค่าความเป็นกรดจากสมการที่ (1)

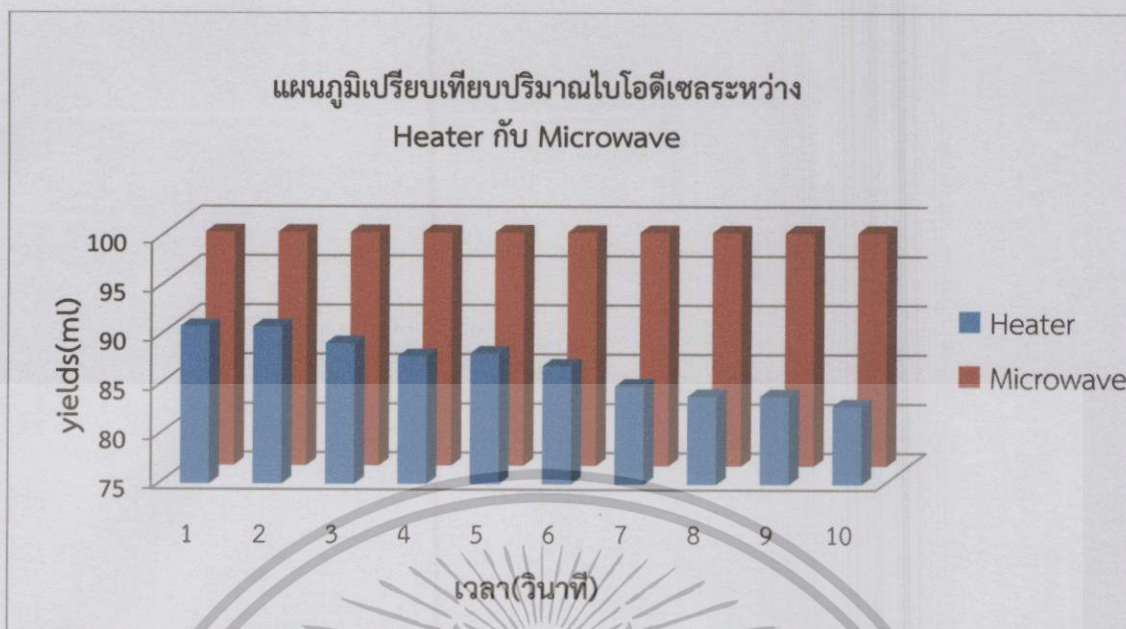
$$AV = \frac{(A - B) \times M \times 56.1}{W} \quad (\text{mgKOH} / \text{g})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตามหากมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และค่าอ้างอิงของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 การทดลองที่ออกมา สรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยของ B_{av} ที่เกิดขึ้นในการทดลองมีทั้งหมด 4 ค่า โดยผลการ
 คำนวณที่ออกมา นั้น ไม่มีค่าใดเกินมาตรฐานความเป็นกรด ที่กำหนดอัตราไม่สูงกว่า 0.50 มิลลิกรัม

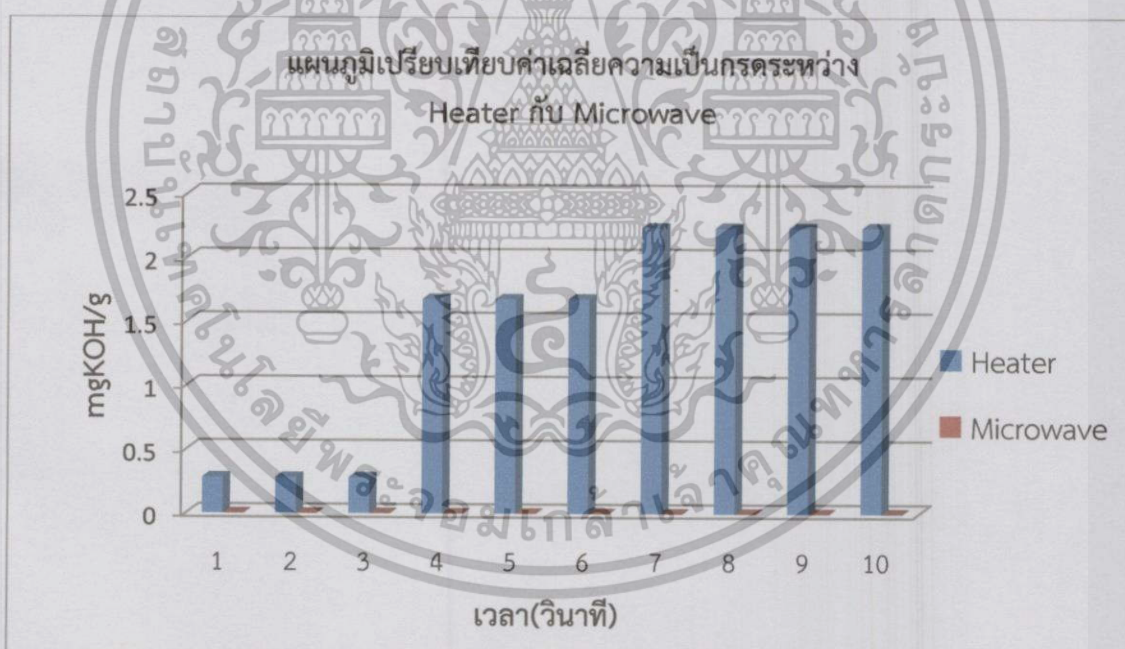
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม ซึ่งในผลการทดลองดังกล่าว ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นของค่าความเป็นกรดนั้นคือ 0.28 mgKOH/g และค่าน้อยที่สุดที่เกิดขึ้นคือ 0 ซึ่งหมายความว่า ในน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบนั้นไม่เกิดค่าความเป็นกรดเลย

5.4 สรุปผลการทดลองการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนจาก Heater

จากผลการทดลองที่ได้ ดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 สามารถเห็นได้จากการทดลองอย่างชัดเจนเมื่อนำผลการทดลองทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้ความร้อนในไมโครเวฟมีปริมาณน้อยกว่าผลผลิตไบโอดีเซลที่ใช้ความร้อนจาก Heater ซึ่งแตกต่างกันอย่างชัดเจนโดยผลิตผลพลอยได้อย่างกลีเซอรินในการทดลองโดยใช้ความร้อนจาก Heater มีปริมาณที่มากกว่า ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ เนื่องจากจะให้ปริมาณไบโอดีเซลที่น้อยลง โดยสาเหตุที่แตกต่างกันของสองผลการทดลองนั้น คาดว่ามาจาก ขั้นตอนในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน โดยความร้อนที่ใช้คือ Heater อาจเกิดปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจาก ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังนั้น การให้ความร้อนจาก Heater อาจทำให้เมทานอลจับตัวกับอากาศจนไม่สามารถแตกตัวกับโครงสร้างโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ได้ดีพอ อีกทั้งสภาวะความเป็นกรดในน้ำมันมีค่าสูง เมื่อดูจากค่าไทเทรต ทำให้การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์มากกว่าปกติ ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่ง ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในน้ำมัน และได้ผลิตผลคือกลีเซอรอลกับกรดไขมันอิสระตามมาก ในส่วนของผลการทดลองการให้ความร้อนในไมโครเวฟ อาจเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันได้สมบูรณ์กว่า อันเนื่องมาจาก คลื่นไมโครเวฟเข้าถึงระดับโมเลกุลของเมทานอลได้ดี ทำให้เกิดการสั่นของโมเลกุลจนเป็นที่มาของการเกิดความร้อน โดยที่โมเลกุลของเมทานอลเกิดการแตกตัวให้เข้าทำปฏิกิริยากับน้ำมันได้ดี จนเกิดผลผลิตเป็นไบโอดีเซลในปริมาณที่มากกว่า นอกจากนี้ ค่าความเป็นกรดที่ทดสอบของการใช้ความร้อนในไมโครเวฟมีค่าเป็นศูนย์ในช่วงของผลทดลอง ซึ่งสามารถยืนยันได้ถึง การทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับเมทานอลเกิดได้สมบูรณ์แบบ และมีเสถียรภาพดีกว่า โดยใช้เวลาในการผลิตน้อยมาก ซึ่งตรงกับวัตถุประสงค์ของโครงการที่ต้องการจัดทำเพื่อดูคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ โดยใช้เวลาให้น้อยลง และ ดีกว่าการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนในรูปทั่วไป เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้ความร้อนในรูปแบบ Heater และ เครื่องไมโครเวฟ เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้มีการสร้างแผนภูมิในการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการใช้ความร้อนจากสองแหล่งในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยผลที่ได้สรุปออกมาในรูปแบบแผนภูมิดังรูปที่ 5.3 ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้ไมโครเวฟมีปริมาณที่มากกว่าชัดเจนเมื่อนำมาทดสอบหาค่าความกรดดังรูปที่ 5.4 โดยพิจารณาจากกำลังไมโครเวฟที่ 500 W ที่เป็นช่วงใกล้เคียงกับกำลังของ Heater ผลที่เกิดขึ้นคือค่าความเป็นกรดในไมโครเวฟมีค่าเป็นศูนย์ โดยทั้ง 2 รูปที่กล่าวมานั้นสามารถบ่งบอกคุณภาพของการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณไบโอดีเซลที่ได้โดยใช้ความร้อนจาก Heater และ Microwave



รูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นกรดระหว่าง Heater และ Microwave

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการผลิตไบโอดีเซลนั้นมีขั้นตอนและกรรมวิธีที่ซับซ้อน สามารถปรับปรุง และเปลี่ยนแปลงขั้นตอนการผลิตและการทดสอบได้หลากหลายรูปแบบ โดยในการทดลองครั้งนี้เป็นหนึ่งใน การปรับปรุงในการผลิตไบโอดีเซลให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งในการปฏิบัติงานจริง อาจปรับปรุง และสามารถ เพิ่มผลผลิตปริมาณไบโอดีเซล อีกทั้งยังเพิ่มคุณภาพของไบโอดีเซลให้ดีกว่านี้ โดยเฉพาะรูปแบบใน การทำปฏิกิริยาของไบโอดีเซลนั้นอาจผลิตโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตเป็น

ตัวกลาง ซึ่งเป็นที่นิยมกันในปัจจุบัน แต่อาจมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ซึ่งในการผลิตไบโอดีเซล ต้องดูปัจจัยหลายอย่าง ความคุ้มค่า ปริมาณที่ต้องใช้ และ คุณภาพที่เกิดขึ้น เพื่อให้เกิดความเหมาะสม ต่อผู้ใช้งาน สุดท้ายนี้ ไบโอดีเซลถือได้ว่าเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับพลังงานทดแทนที่จำเป็นอย่างยิ่งในอนาคต ซึ่งสามารถศึกษาและค้นคว้าเพื่อทำงานวิจัย ให้ไบโอดีเซลมีประสิทธิภาพสูงที่สุด เกิดความคุ้มค่า และ เป็นที่นิยมในอนาคตสืบต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- (1) Linn High Therm. Microwave Heating, Available URL: <http://www.linn-high-therm.de/microwaveheating.html>.
- (2) Linn, H., and Möller M. 2003. Microwave Heating, Thermprocess Symposium 2003.
- (3) Hillenbrand, S.J. Overview of Fourteen Applied Technologies, 1997 Hazardous Materials and Waste Management Conference, Portland, Oregon, January 27-30, 1997.
- (4) Takasago-Industry. Research and Development of Microwave Firing Technology, Available URL:<http://www.takasago-inc.co.jp/eg/mw/mwave2.htm>.
- (5) Linn High Therm. New Energy-Saving Process for Fast Cooking Rice Production, Food Marketing & Technology, pp.26-27 June 2005.
- (6) The EPRI Center for Materials Fabrication. Radio-Frequency Heating of Plastics, Techcommentary, Vol.4 No.2, Columbus, Ohio, 1984.
- (7) The EPRI Center for Materials Fabrication. Microwave Curing of Rubber, Techapplication, Vol.2 No.1, Columbus, Ohio, 1988.
- (8) Hernanado, J., P. Leton, M.P. Matia, J.L. Novella, and J. Alvarez-Builla, 2007. Biodiesel and FAME synthesis assisted by microwaves: homogeneous batch and flow processes. Fuel, 86: 1641-1644.32
- (9) Azcan N. and A. Danisman, 2007. Alkali catalyzed tranesterification of cottonseed oil by microwave irradiation. Fuel, 86: 2639-2644.
- (10) Azcan N. and A. Danisman, 2008. Microwave assisted tranesterification of rapeseed oil. Fuel, 87:1781-1788.
- (11) Perin G., G. Alvaro, E. Westphal, L.H. Viana, R.G. Jacob, E.J. Lenardao and M.G.M. D'Oca, 2008. Tranesterification of castor oil assisted by microwave irradiation. Fuel, 87: 2838-2841.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้