กระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันใช้แล้วร่วมกับรังสีอินฟราเรดโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากเปลือกเหลือทิ้งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Infrarad-assisted Transesterification of Waste Cooking Oil Usingwaste Shell Derived CaO as Catalyst

ปริญญานิพนธ์

ของ

สุดารัตน์ เบ้าทองจันทร์ 54010310089

อานันท์ ศิลาขวา 54010310385

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรมาส เลาหวณิช)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์)

มหาวิทยาลัยมหาสารคามได้อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกสร วงศ์เกษม)
หัวหน้าสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

Mahasarakham University

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือให้ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา แนะนำ ความคิดเห็น และกำลังใจแก่ผู้จัดทำ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้ความช่วยเหลือ ให้แนวคิดความรู้ทางวิชาการ แนะแนวทางในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ตรวจสอบปริญญานิพนธ์ ทุกขั้นตอน ตลอดจนให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำ ซึ่งเป็นผลให้ผู้จัดทำมีความสามารถในการทำและพัฒนาปริญญานิพนธ์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอกราบขอบพระคุณ นิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด ประธานสอบปริญญานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรมาส เลาหวณิช กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ แก้ไข ให้แนวคิดต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งเป็นสถานที่ในการจัดสร้างการทดสอบและจัดทำปริญญานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บุคลากร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พี่น้องและเพื่อนๆ ตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากมาย ที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของผู้จัดทำ ที่ได้ช่วยส่งเสริมสนับสนุน กระตุ้นเตือน คอยเอาใจใส่ดูแล ให้กำลังใจและทุนทรัพย์ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

สุดารัตน์ เบ้าทองจันทร์
อานันท์ ศิลาขวา

Mahasarakham University

ชื่อเรื่อง กระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันใช้แล้วร่วมกับรังสีอินฟราเรด โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากเปลือกเหลือทิ้งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ผู้วิจัย นางสาวสุดารัตน์ เบ้าทองจันทร์

นายอานันท์ ศิลาขวา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์

ปริญญา วศ.บ. **สาขาวิชา** วิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2558

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันใช้แล้ว โดยใช้รังสีอินฟราเรดใกล้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนและมีแคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งแคลเซียมออกไซด์เตรียมโดยการนำเปลือกไข่มาผ่านกระบวนการแคลซิเนชันที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที โดยก่อนทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันได้นำน้ำมันใช้แล้วไปผ่านกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันเพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระก่อน สภาวะที่ใช้ทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 12:1 ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละ 5-15 โดยน้ำหนัก) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (60-120 นาที) ที่มีผลต่อปริมาณผลได้และสมบัติ (จุดวาบไฟ จุดติดไฟ ความหนืด ความหนาแน่น และค่าความร้อน) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้

จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณผลได้และค่าความร้อนของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่ปริมาณกรดไขมันอิสระ ความหนืด และจุดวาบไฟ ของเมทิลเอสเทอร์มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไม่ได้ส่งผลกระทบอย่างชัดเจนต่อปริมาณผลได้และสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้

Mahasarakham University

TITLE	Infrared-assisted transesterification of waste cooking oil usingwaste shell derived CaO as catalyst
AUTHOR	Miss. Sudarat Bouthongchan
	Mr. Anan Silakhwa
ADVISORS	Asst.Prof.Jindaporn Jamradloedluk,Ph.D.
DEGREE	B.Eng. (Mechanical Engineering)
UNIVERSITY	Mahasarakham University **YEAR** 2015

ABSTRACT

This senior project aims to investigate near infrared-assisted transesterification of waste cooking oil using calcium oxide as a solid catalyst. Eggshells was used to prepare calcium oxide via calcination process at 1000°C for 120 minutes. Prior to the transesterification, the waste cooking oil was pretreated by acid esterification to reduce free fatty acid content. The transesterification process was performed at reaction temperature of 60°C and methanol to oil molar ratio of 12:1. Influences of catalyst amount (5-15 %wt) and reaction time (60-120 minutes) on yield and properties (flash point, fire point, viscosity, density, and calorific value) of the methyl ester obtained were experimentally examined.

The experimental results indicated that the higher yield of methyl ester could be obtained at the greater amount of catalyst. Free fatty acid content, viscosity, and flash point of the methyl ester decreased with increasing catalyst amount. Whilst calorific value of the methyl ester tended to increase with increasing amount of catalyst. Reaction time, however, had no obvious influences on yield and properties of methyl ester obtained.

Mahasarakham University

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
หลักการและเหตุผล	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
ขอบเขตงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่จะได้รับ	4
งบประมาณ	4
สถานที่ดำเนินการศึกษา	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
ความหมายของไบโอดีเซล	5
ปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน	6
การเกิดปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน	6
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเกิดปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน	7
รังสอินฟราเรด	9
ตัวเร่งปฏิกิริยา	11
ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชัน	11
แคลเซียมออกไซด์	13
น้ำมันที่ใช้แล้วสำหรับผลิตไบโอดีเซล	13
การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล	15
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
3 วิธีดำเนินการศึกษา	19
การเตรียมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่โดยปฏิกิริยาแคลซิเนชัน	19
การบำบัดน้ำมันใช้แล้ว	20
กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน	21
กระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชัน	22
การวิเคราะห์สมบัติของเมทิลเอสเทอร์	24
การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ	24
จุดวาบไฟและจุดติดไฟ	26
ค่าความหนืด	27
ค่าความหนาแน่น	28
ค่าความร้อน	28

Mahasarakham University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 31

ผลการศึกษาร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ 31

ผลการศึกษาสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ 32

ผลการศึกษาของสมบัติร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเตอร์โดยได้ทำการเปรียบเทียบฮิตเตอร์ อินฟราเรดคลื่นยาว และอินฟราเรดคลื่นสั้น 38

ผลการศึกษาสมบัติของเมทิลเอสเทอร์โดยได้ทำการเปรียบเทียบฮิตเตอร์ อินฟราเรดคลื่นยาว และอินฟราเรดคลื่นสั้น 39

5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 46

สรุปผลการศึกษา 46

ข้อเสนอแนะ 57

บรรณานุกรม 48

ภาคผนวก 51

ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ 52

ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง 56

ภาคผนวก ค ภาพประกอบ 76

ประวัติย่อผู้วิจัย 86

Mahasarakham University

บัญชีตาราง

ตาราง **หน้า**

1 ตาราง 2.1การดูดซับรังสีอินฟราเรดของเมทานอล ไตรกลีเซอไรด์และเมทิลเอสเทอร์.................................. 11
2 ตาราง 2.2ข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด และเอนไซม 11
3 ตาราง 2.3 โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันแต่ละชนิด.. 14
4 ตาราง 2.4คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันใช้แล้ว 15
5 ตาราง 2.5มาตรฐานของไบโอดีเซล 15

Mahasarakham University

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1 ภาพประกอบ 2.1สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ของการผลิตไบโอดีเซล... 5
2 ภาพประกอบ 2.2 สมการทั่วไปของปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน 6
3 ภาพประกอบ 2.3 การเกิดปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอล 7
4 ภาพประกอบ 2.4 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification)...8
5 ภาพประกอบ 2.6 สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุ 9
6 ภาพประกอบ 2.7การสะท้อน การดูดซับ และการส่งผ่านพลังงานของวัตถุที่รับรังสี
อินฟราเรด.. 10
7 ภาพประกอบ 2.8ปฏิกิริยาเคมีในการเตรียมสารอัลคอกซี 12
8 ภาพประกอบ 2.9สมการแสดงปฏิกิริยา calcination หินปูน 13
9 ภาพประกอบ 3.1ระบบผลิตไบโอดีเซลโดยใช้รังสีอินฟราเรดเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน 23
10 ภาพประกอบ 4.1ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ที่เตรียมได้จากสภาวะในการทำปฏิกิริยา
ทรานสเอสเทอริฟิเคชันต่างๆ 32
11 ภาพประกอบ 4.2ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ สภาวะการทำปฏิกิริยาต่างๆ 33
12 ภาพประกอบ 4.3 ค่าจุดวาบไฟ 34
13ภาพประกอบ 4.4 ค่าจุดติดไฟ 35
14 ภาพประกอบ 4.5 ค่าความหนืด... 36
15 ภาพประกอบ 4.6 ค่าความหนาแน่น 37
16 ภาพประกอบ 4.7 ค่าความร้อน.. 38
17 ภาพประกอบ 4.8ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบตัวให้กำเนิด-
ความร้อน.. 39
18 ภาพประกอบ 4.9ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการ
เปรียบเทียบตัวให้กำเนิดความ 40
19 ภาพประกอบ 4.10 ค่าจุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการเปรียบ-
เทียบตัวให้กำเนิดความร้อน... 41
20 ภาพประกอบ 4.11 ค่าจุดติดไฟ (องศาเซลเซียส) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการเปรียบ-
เทียบตัวให้กำเนิดความร้อน... 42
21 ภาพประกอบ 4.12 ค่าความหนืด (เซนติสโตรกส์) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการเปรียบ-
เทียบตัวให้กำเนิดความร้อน... 43
22 ภาพประกอบ 4.13 ค่าความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้
จากการเปรียบเทียบตัวให้กำเนิดความร้อน.. 44
23 ภาพประกอบ 4.14ค่าความร้อน(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จาก
การเปรียบเทียบตัวให้กำเนิดความร้อน 45

Mahasarakham University

บทที่ 1

บทนำ

หลักการและเหตุผล

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันจากพืช หรือไขมันจากสัตว์ โดยไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ (Biodegradable) และไม่มีพิษ (Non-toxic) ดังนั้นจึงไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับยานพาหนะได้ ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์แต่อย่างใด อีกทั้งยังช่วยรักษาสภาพเครื่องยนต์ให้ใช้งานได้นานอีกด้วย เนื่องจากออกซิเจนในไบโอดีเซลให้การสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีควันดำและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ช่วยลดมลพิษทางอากาศ รวมทั้งลดการอุดตันของระบบไอเสีย เนื่องจากองค์ประกอบของไบโอดีเซลไม่มีธาตุกำมะถัน แต่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จึงช่วยการเผาไหม้ได้ดีขึ้น และลดมลพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน (หนังสือวารสารรายงานการวิจัย, 2014 : P 97.) ด้วยข้อดีของไบโอดีเซลที่เหนือกว่าน้ำมันดีเซลทำให้กระทรวงพลังงานมีนโนบายการเพิ่มปริมาณการผลิต ไบโอดีเซลจากปี 2556 ถึง 2565 โดยเปลี่ยนปริมาณการผลิต 3.64 ล้านลิตรต่อวัน เป็น 4.50 ล้านลิตรต่อวัน แล้วมีการส่งเสริมงานวิจัยและการพัฒนาวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซลอื่นๆ เพื่อเพิ่มทางเลือกในการผลิตไบโอดีเซลต่อไป โดยมีการควบคุมคุณภาพของไบโอดีเซลให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2556.)

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ โดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า "ทรานสเอสเทอริฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไลซิส)" และ "เอสเทอริฟิเคชัน" โดยมีสารตั้งต้นเป็นน้ำมัน (ไตรกลีเซอร์ไรด์) หรือกรดไขมัน ซึ่งทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลคิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตและใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นประเภทเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งได้จากการนำน้ำมันที่ใช้แล้วและเมทานอลมาทำปฏิกิริยาโดยใช้กรด เช่น กรดซัลฟูริก และด่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดร็อกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งพบว่ามีข้อเสียคือ การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ทำได้ยาก ทำให้ส่งผลกระทบต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย เพื่อลดปัญหาดังกล่าว จึงได้มีงานวิจัยที่ศึกษาตัวเร่ง-ปฏิกิริยาหลากหลายชนิด โดยหนึ่งในตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เนื่องจากสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก มีความสามารถในการละลายต่ำ และมีอายุการใช้งานนาน (Wang et al., 2012.) อย่างไรก็ตามเนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์เป็นของแข็งจึงอยู่ต่างวัฏภาคกับสารทำปฏิกิริยาอื่น (น้ำมัน แอลกอฮอล์) ดังนั้นจึงทำให้การถ่ายเทความ-ร้อนหรือการ

Mahasarakham University

สัมผัสกันระหว่างสารทำปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ดีเท่ากับกรณีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของเหลว ด้วยข้อด้อยดังกล่าวทำให้มีการศึกษาถึงเทคนิคในการนำคลื่นรังสีประเภทต่างๆ มาใช้ในการช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน เช่น ไมโครเวฟ และอัลตราโซนิก เป็นต้น โดยเมื่อเร็วๆนี้ได้มีการนำรังสีอัลตราโซนิกมาช่วยในกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากเปลือกไข่นกกระจอกเทศเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า รังสีอัลตราโซนิกสามารถช่วยเพิ่มความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยา (Catalytic activity) ของแคลเซียม-ออกไซด์ได้เป็นอย่างมาก โดยที่สภาวะการทำปฏิกิริยาที่ดีที่สุด (ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ขนาดกำลังความร้อนของรังสีอัลตราโซนิก 120 W อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก) จะทำให้ได้ปริมาณผลได้ถึง 92.7 เปอร์เซ็นต์ (Khan A.K., 2014.) และเช่นเดียวกันสำหรับการนำรังสีไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้กับปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองโดยมีผงแคลเซียมออกไซด์ระดับนาโน-เมตร (Nanopowder calcium oxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า รังสีไมโครเวฟเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีประสิทธิภาพมากกว่าฮีตเตอร์ไฟฟ้า โดยสามารถให้ปริมาณผลได้ของเมทิลเอสเทอร์สูงถึง 96.6 เปอร์เซ็นต์เที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 7:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 3 เปอร์เซ็นต์ โดย-น้ำหนัก อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที (Ferella et at, 2010.)

นอกเหนือจากรังสีอัลตราโซนิกและรังสีไมโครเวฟแล้ว รังสีอินฟราเรดถือเป็นอีกหนึ่งคลื่นรังสีที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้กับปฏิกิริยาทรานสเอสเทอรฟิเคชันแทนที่แหล่งกำเนิดความร้อนแบบดั้งเดิม โดยที่ผ่านมาได้มีการนำรังสีอินฟราเรดมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้กับปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน และเมื่อเร็วๆ นี้ได้มีการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันแพะเสียโดยใช้รังสีอินเรดเป็นแหล่งกำเนิกความร้อน พบว่ารังสีอินฟราเรดมีส่วนสำคัญในการเร่งปฏิกิริยาซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดลงของเวลาการเกิดปฏิกิริยาอย่างมากเมื่อเทียบกับเครื่องปฏิกรณ์ร้อนตามอัตภาพภายใต้สภาวะที่เหมาะที่เวลา 2.5 ชั่วโมง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา H_2SO_4 คือ 59.93 เปอร์เซ็นต์ โดย-น้ำหนัก อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 69.97 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของเมทานอลต่อไขมัน 31.88:1 สามารถให้ปริมาณผลได้สูงถึง 96.7 เปอร์เซ็นต์ (Chakraborty et al., 2014) และเมื่อไม่นานมานี้ได้นำเปลือกหอยแครงมาทำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์มาทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันร่วมกับรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว ที่สภาวะการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 12:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละ 3-12 โดยน้ำหนัก) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (60-120 นาที) ซึ่งมีผลปรากฏว่าได้ปริมาณร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ อยู่ระหว่างร้อยละ 65-74 และเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อนแบบธรรมดา (ฮิตเตอร์) นั้นได้ปริมาณร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์มากกว่าเพียงเล็กน้อย (ร้อยละ 5) และประเภทของแหล่งการให้ความร้อนทั้งสองแหล่งนั้น ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อสมบัติของเมทิลเอสเทอร์เท่าที่ควร (สุมิตรา ยิ่งยืนและสุรศักดิ์ สิงห์วงศ์, 2557.)

Mahasarakham University

อย่างไรก็ตามจากการรวบรวมงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการนำคลื่นรังสีอินฟราเรดมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากเปลือกเหลือทิ้งยังมีอยู่อย่างจำกัดดังนั้นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการศึกษาดังกล่าว โดยจะทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณร้อยละผลได้และสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันใช้แล้วโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากเปลือกไข่ไก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเตรียมเมทิลเอสเทอร์ด้วยกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันโดยมีรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่มีผลต่อปริมาณร้อยละผลได้และสมบัติของเมทิลเอสเทอร์

ขอบเขตงานวิจัย

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือแคลเซียมออกไซด์ซึ่งเตรียมจากเปลือกไข่ไก่ที่ได้จากร้านขายอาหารข้างคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
2. สภาวะที่ใช้ทำปฏิกิริยาแคลซิเนชัน (การเตรียมแคลเซียมออกไซด์) คือ การเผาภายใต้สภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที
3. น้ำมันที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ น้ำมันที่ใช้แล้ว ซึ่งได้จากร้านอาหารประเภทของทอดรอบมหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยก่อนนำมาทำปฏิกิริยาจะทำการบำบัดโดยนำน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้วมากรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อกรองสิ่งสกปรกออกจากน้ำมัน หลังจากนั้นจึงนำมาต้มโดยการให้ความร้อนในเตาถ่าน เป็นเวลา 180 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมากรองด้วยผ้าขาวบางอีกครั้งก่อนนำไปทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน
4. ขั้นตอนการเตรียมเมทิลเอสเทอร์แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

4.1 ขั้นตอนลดปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน โดยนำน้ำมันที่ใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 4:1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Mahasarakham University

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที โดยใช้กรดซัลฟิวริกร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.2 ขั้นตอนเตรียมเมทิลเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันโดยการนำน้ำมันที่ได้จากขั้นตอน 4.1 มาทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 12:1 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 90 และ 120 นาที ตามลำดับ โดยใช้หลอดรังสีอินฟราเรด ชนิดหลอด T-3 Quartz lamps แบบคลื่นสั้นขนาดกำลังไฟฟ้า 150 วัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน

5. สมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณร้อยละผลได้ ปริมาณกรดไขมันอิสระ จุดวาบไฟ จุดติดไฟ ความหนาแน่น ความหนืด และค่าความร้อน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ (เปลือกไข่ไก่) และเพิ่มทางเลือกในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้แทนการใช้สารเคมี
2. ได้น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล
3. เพื่อเป็นการตอบสนองและส่งเสริมพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง

งบประมาณ

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทั้งหมด 10,000 บาท

สถานที่ดำเนินงานวิจัย

คณะเทคโนโลยี คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Mahasarakham University

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากกลุ่มทุนส่งออกน้ำมันดิบที่ได้ทำการขุดเจาะน้ำมันดิบที่เกิดจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้มีการขัดแย้งผลประโยชน์ทางการค้าของกลุ่มบริษัทที่เปิดขึ้นใหม่และบริษัทเดิม ซึ่งส่งผลกระทบต่อการนำเข้า ราคา และการอัตราความต้องการของน้ำมันภายในประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น ทำให้รัฐบาลประเทศไทยจึงได้มีการส่งเสริมและสนับสนุนเชื้อเพลิงทดแทนจากวัตถุดิบต่างๆ ภายในประเทศมาผ่านกระบวนการผลิตเพื่อให้เกิดน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนที่เรียกว่า “น้ำมันไบโอดีเซล” (คณะกรรมาธิการพลังงาน, 2545.) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงฟอสซิล ปริญญานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) จากกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ ที่เตรียมจากเปลือกไข่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการใช้รังสีอินฟราเรดเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน โดยมีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

ความหมายของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล หมายถึง เชื้อเพลิงที่ผลิตจากไขมันสัตว์ น้ำมันพืช รวมถึงน้ำมันที่ใช้แล้ว โดยการนำเอาน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์มาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานสเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterifcation) โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (Ethanol or Methanol) ผลิตผลที่ได้เป็นเอสเทอร์ (Ester) และผลพลอยได้เป็นกลีเซอรีน (Glycerin) ซึ่งจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์นี้ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์นี้มีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุดเพราะไม่มีปัญหากับเครื่องยนต์

น้ำมันพืช หรือ ไขมันสัตว์	+	เมทานอล หรือ เอทานอล	=	เมทิลเอสเทอร์ หรือ เอทิลเอสเทอร์	+	กลีเซอรีน

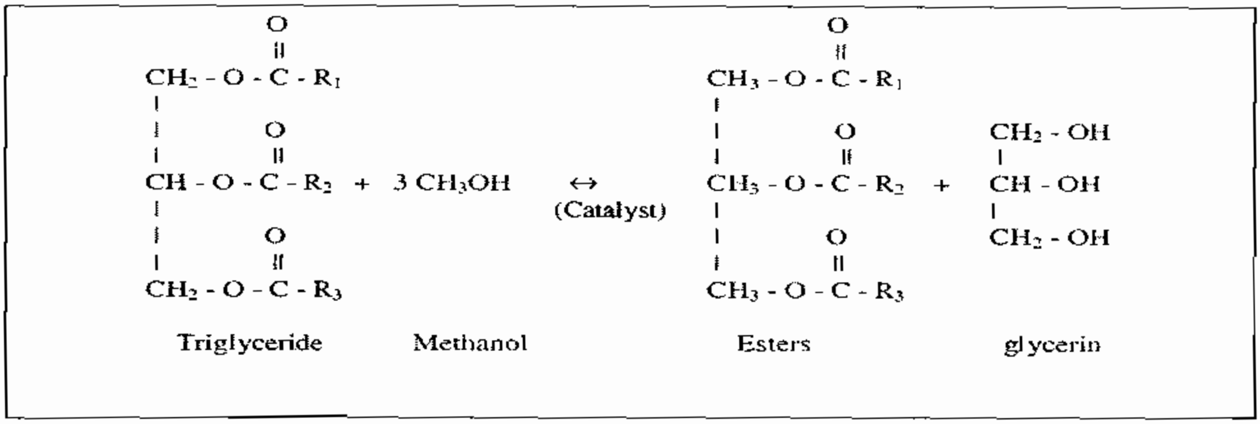
ภาพประกอบ 2.1 สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ของการผลิตไบโอดีเซล

ที่มา: (คณะกรรมาธิการพลังงาน, 2545.)

Mahasarakham University

ปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)

กระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันหรือที่เรียกว่า Alcoholysis เป็นการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างกลีเซอร์ไรด์ (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ และได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซล (เมธิลเอสเทอร์) และกลีเซอรีน (Glycerin) เป็นผลพลอยได้ สมการทั่วไปของปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 2.2



ภาพประกอบ 2.2 สมการทั่วไปของปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน
ที่มา: (Motasemi et al., 2012.)

การเกิดปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันแบ่งการเกิดปฏิกิริยาออกเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับเมทานอลทำให้เกิดไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) กับเอสเทอร์ ขั้นตอนที่สองไดกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับเมทานอลทำให้เกิดมอนอกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) กับเอสเทอร์ และขั้นตอนที่สามมอนอกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับกับเมทานอลทำให้เกิดเอสเทอร์ (Ester) และกลีเซอรีน (Glycerin) ตามที่แสดงในภาพประกอบ 2.3

Mahasarakham University

Triglyceride + ROH ⇌ Diglyceride + R′COOR

Diglyceride + ROH ⇌ Monoglycerride + R′COOR

Monoglycerride + ROH ⇌ Glycerin + R′COOR

ภาพประกอบ 2.3 การเกิดปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอล
ที่มา: (Motasemi et al.,2012.)

1. กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันเมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ (Transesterification) ของไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอลโดยมีแคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ

ขั้นตอนที่ 1 โปรตอนของเมทานอลถูกจับโดย Basic site ของแคลเซียมออกไซด์ กลายเป็น Methoxide anion

ขั้นตอนที่ 2 Methoxide anion จับกับ Carbonyl carbon ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ กลายเป็น Alkoxycarbonyl intermediate และเปลี่ยนไปเป็น เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (FAME) และ Anion ของไดกลีเซอไรด์

ขั้นตอนที่ 3 สารเร่งปฏิกิริยาจะเติมโปรตอน (H^+) ให้กับ Anion ของไดกลีเซอไรด์ ได้เป็น Alkyl ester และได้แคลเซียมออกไซด์กลับออกมา และเป็นที่ทราบกันว่า น้ำมันใช้แล้วจะมีกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) และความชื้นอยู่ในปริมาณที่มากกว่าน้ำมันที่ยังไม่ได้ผ่านการใช้งาน ดังนั้นการนำน้ำมันใช้แล้วไปทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงมีความเป็นไปได้ที่กรดไขมันอิสระในน้ำมันใช้แล้วจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์ได้เป็นสบู่แคลเซียม (Calcium soap)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเกิดปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน

1. ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ สำหรับปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส เช่น NaOH, KOH, คาร์โบเนต เป็นต้น ซึ่งกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องไม่มีน้ำเป็นส่วนผสมเพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification) ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาดั่งแสดงในภาพประกอบ 2.4 จึงทำให้สบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลง นอกจากนั้นยังส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลคือทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจล และยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรีนด้วย

Mahasarakham University

R-COOH	+	NaOH	=	H_2O	+	R-COO-Na
(Fatty acid)		(Catalyst)		(Water)		

ภาพประกอบ 2.4 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification)
ที่มา: (Waste Management and Research Center., 2006.)

จากภาพประกอบที่ 2.3 นี้จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ทำให้ปฏิกิริยาการทรานสเอสเทอริฟิเคชัน และปฏิกิริยาการเกิดสบู่ได้ นอกจากน้ำแล้วยังมีกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ที่มีอยู่ในน้ำมันวัตถุดิบด้วย ดังนั้นในการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน Transesterification) โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาน้ำมันวัตถุดิบควรมีค่าความเป็นกรด (Acid value) ไม่เกิน 4 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดร็อก-ไซด์ต่อกรัมเพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันวัตถุดิบที่มากเกินไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) น้อยลง แต่สำหรับน้ำมันวัตถุดิบที่ค่าความเป็นกรดสูง (มากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อกรัม) จะต้องนำน้ำมันมาทำการลดค่าความเป็นกรดลง โดยให้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (Eterification) ซึ่งใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid-esterification) แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไป (Ramadhas et al., 2005.)

2. ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยา และการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีในกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันมีผลต่อการเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ในทางทฤษฎีจะใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 3 : 1 และอัตราส่วนที่พบมากในอุตสาหกรรมคือ 6 : 1 การใช้เมทานอลในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลต่อการแยกกลีเซอรีนและน้ำมันไบโอดีเซล

3. ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกริยาในกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันมีตัวเร่ง-ปฏิกิริยาที่มากเกินไปจะทำให้สารผสมมีความหนืดมากขึ้น ทำให้การถ่ายเทมวลระหว่างน้ำมัน เมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น

4. ผลของเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา นั่นคือถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้นเช่นกัน อุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันอย่างมาก ถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้พอดี ปฏิกิริยาก็จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใต้อุณหภูมิห้อง แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ เช่น ถ้าเป็น

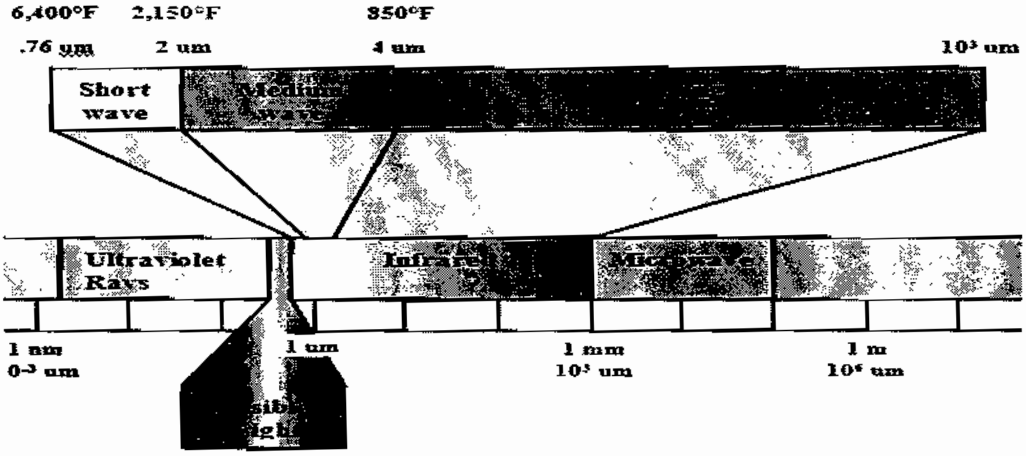
Mahasarakham University

เมทานอลอุณหภูมิที่ใช้คือ 60-70 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ (โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) (Agarwal., 2006.)

5. ผลของอัตราการกวนผสมการกวนผสมถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมากสำหรับปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน เพราะน้ำมันหรือ ไขมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีการกวนผสมให้เนื้อสารสัมผัสกันเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ทรานสเอสเทอริฟิเคชันให้ได้มากที่สุด

รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation)

คลื่นรังสีอินฟราเรดได้ถูกค้นพบโดย Sir William Herschel นักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษ ในปี ค.ศ. 1800 ซึ่งรังสีอินฟาเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ที่ส่งผ่านพลังงานออกมาจากวัตถุร้อนในรูปของการแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation) ด้วยอุณหภูมิของตัววัตถุโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางหรือตัวนำในการส่งผ่านความร้อนไปยังวัตถุเย็น และยังเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความถี่อยู่ระหว่างช่วงของรังสีไมโครเวฟและแสงที่ตามองเห็นได้

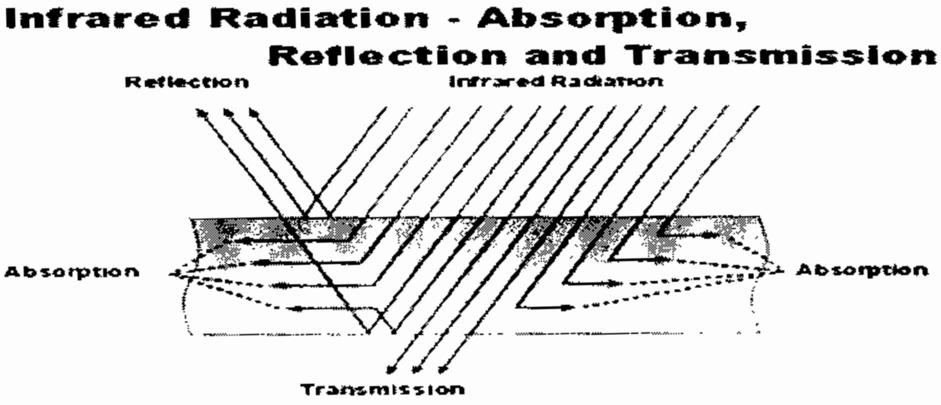


ภาพประกอบ 2.5 สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุ

ที่มา: (Takamura, H. et al., 1998.)

Mahasarakham University

สำหรับการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดเป็นการให้ความร้อนซึ่งถ่ายเทพลังงานโดยการแผ่รังสีโดยตรงไปยังวัสดุที่ต้องการให้ความร้อน ซึ่งไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการนำ หรือการพา-ความร้อน จึงเป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถประยุกต์ใช้ได้กับอุตสาหกรรมที่หลากหลาย โดยจะแผ่ออกมาจากพื้นผิวของวัตถุชั้นแรกในรูปแบบของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ปรากฏการณ์ในขณะที่คลื่นรังสีอินฟราเรดตกกระทบกับวัตถุมี 3 แบบ คือ ส่งผ่าน (Transmission) ดูดซับ (Absorption) และสะท้อน (Reflection) โดยความร้อนที่เกิดขึ้นกับวัตถุจะเป็นความร้อนที่เกิดจากการดูดซับของวัสดุเท่านั้น (ดูภาพประกอบ 2.7) การดูดซับรังสีอินฟราเรดของเมทานอลไตรกลีเซอไรด์ และเมทิลเอสเทอร์ ดังแสดงในตาราง 2.1



ภาพประกอบ 2.6 การสะท้อน การดูดซับ และการส่งผ่านพลังงานของวัตถุที่รับรังสีอินฟราเรด
ที่มา: (Barbara Stuart, 2001.)

Mahasarakham University

ตาราง 2.1 การดูดซับอินฟราเรดของเมทานอล ไตรกลีเซอไรด์ และเมทิลเอสเทอร์

	หมู่ฟังก์ชันสามัญ	เลขคลื่นในการดูดซับรังสีอินฟราเรด	ความยาวคลื่นในการดูดซับรังสีอินฟราเรด
เมทานอล	C-H	3,000-2,850	3.33-3.51
	C-O	1,300-1,000	7.69-10.00
	O-H	3,650-3,600	2.74-2.78
ไตรกลีเซอไรด์	C-H	3,000-2,850	3.33-3.51
	C=O	1,800-1,640	5.56-6.10
	C-O	1,300-1,000	7.69-10.00
เมทิลเอสเทอร์	C-H	3,000-2,850	3.33-3.51
	C=O	1,800-1,640	5.56-6.10
	C-O	1,300-1,000	7.69-10.00

ที่มา: (ธีรยุทธ วิไลวัลย์ และวรววรรณ พันธุมนาวิน., 2548.)

ตัวเร่งปฏิกิริยา

การนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ในกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันจะช่วยทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นได้ โดยชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้ดังนี้

ตาราง 2.2 ข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด และเอนไซม์

ตัวแปร	ตัวเร่งชนิดเบส	ตัวเร่งชนิดกรด	เอนไซม์ไลเปส
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60-70	55-80	30-40
กรดไขมันอิสระในน้ำมัน	เกิดสบู่	เกิดเอสเทอร์	เกิดเอสเทอร์
น้ำในน้ำมัน	มีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยา	มีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยา	ไม่มีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยา
ปริมาณเมทิลเอสเทอร์	ปกติ	ปกติ	สูง
การนำกลีเซลรอลกลับมาใช้ใหม่	ยาก	ยาก	ง่าย
การทำให้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์	ทำการล้างซ้ำ	ทำการล้างซ้ำ	ไม่ต้องล้าง
ราคา	ถูก	ถูก	ค่อนข้างแพง

Mahasarakham University

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Basic catalyst) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ โซเดียมไฮดร็อกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดร็อกไซด์ ซึ่งควรใช้ทำปฏิกิริยากับเมทานอลหรือเอทานอล โดยน้ำมันที่ใช้จะเป็นชนิดใดก็ได้เช่น น้ำมันดิบ (Crude oil) น้ำมันที่ใช้แล้ว เป็นต้น ก่อนทำปฏิกิริยา-ทรานสเอสเทอริฟิเคชันควรเปลี่ยนจากรูปเบส (NaOH, KOH) ไปเป็นในรูปของสารประกอบ อัลคอกซี (Alcoxy) ก่อน โดยการเตรียมสารประกอบอัลคอกซีเป็นไปดังปฏิกิริยาเคมีในภาพประกอบ 2.8

$$R - CH_2OH + NaOH \longrightarrow H2O + R - CH_2ONa$$

ภาพประกอบ 2.7 ปฏิกิริยาเคมีในการเตรียมสารอัลคอกซี

ที่มา: (Marchetti et al. 2005.)

สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสนี้จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอีกทั้งยังให้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) ในปริมาณที่สูงด้วย (Ma and Hanna, 1999.) ส่วนข้อจำกัดตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสคือ น้ำ และ ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบ (Free fatty acid) ถ้ามีน้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในระบบของการเกิดปฏิกิริยาในปริมาณมากจะทำให้มีสบู่เกิดขึ้นแทนที่จะได้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์ (Agarwal, 2006.)

2. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid catalyst) กรดที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะทำให้ได้ผลผลิตคือน้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณมากแต่ปฏิกิริยาจะเกิดช้ามาก อาจจะใช้เวลามากกว่า 1 วันกว่าปฏิกิริยาจะเกิดอย่างสมบูรณ์ แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสามารถใช้ได้ดีกับกลีเซอไรด์ที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวและน้ำในปริมาณสูงได้เช่น ในน้ำมันที่ใช้แล้ว เป็นต้น (Fukuda et al., 2001.)

3. เอนไซม์ไลเปส (Lipase) เอนไซม์ไลเปสถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่างๆ เช่น ไฮโดรไลซิสของกลีเซอรอล-แอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) และ แอซิโดไลซิส (Acidolysis) ข้อดีของเอนไซม์ไลเปสคือ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ไม่มีของเสียออกมาจากกระบวนการ ข้อเสียของเอนไซม์คือมีราคาค่อนข้างแพง (Fukuda et al., 2001.)

Mahasarakham University

แคลเซียมออกไซด์

แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นสารอนินทรีย์ที่มีประโยชน์มากในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กกล้า (Steelmaking) การผลิตโลหะแคลเซียม (Ca) และการผลิตกระดาษ ซึ่งแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สามารถเตรียมได้จากการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตหรือหินปูน ($CaCO_3$) ในเตาเผาที่อุณหภูมิสูง

$$CaCO_{3(S)} \rightleftharpoons CaO_{(S)} + CO_{2(g)}$$

ภาพประกอบ 2.9 สมการแสดงปฏิกิริยา Calcination หินปูน

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ โดย CO_2 สามารถรวมตัวกับ CaO กลับมาเป็น $CaCO_3$ ได้เหมือนเดิม ซึ่งความดันที่มาจากแก๊ส CO_2 ที่อยู่ในสมดุลกับ CaO และ $CaCO_3$ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิเพิ่ม ความดันก็จะเพิ่มตาม (http://www.irplus.in.th/listed/sutha/quick_lime.asp)

น้ำมันที่ใช้แล้วสำหรับผลิตไบโอดีเซล

โดยทั่วไปการใช้น้ำมันพืชเก่ากลับมาประกอบอาหารซ้ำมีความเสี่ยงต่อการก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ จึงนำน้ำมันเก่าเหล่านั้นมาแปรรูปให้เกิดประโยชน์เป็นพลังงานแทนการนำกลับไปใช้บริโภค และจากปัญหาราคาน้ำมันแพงในปัจจุบันทำให้ต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม (คณะกรรมาธิการพลังงาน, 2545.)

1. องค์ประกอบทางเคมี น้ำมันธรรมชาติและไขมันเป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรีนและกรดไขมัน หรือเรียกว่า กลีเซอไรด์ หรือไตรกลีเซอไรด์ ทั้งสองชนิดนี้เป็นกรดไขมัน คือกรดไขมันอิ่มตัวที่มีขั้วและเป็นพันธะคาร์บอนเดี่ยว ขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งของพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน มีขั้ว และตัวอย่างของกรดไขมันส่วนใหญ่จะเป็นสเตียริก โอเลอิก ไลโนเลนิก และปาล์มมาติก โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันในน้ำมันที่แตกต่างกัน แสดงไว้ดังตาราง 2.3

Mahasarakham University

ตาราง 2.3 โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันแต่ละชนิด

Fatty acid (Trivial name/rational name)	Structure	Common acronym	Methyl ester (Trivial name/rational name)
Palmitic acid / Hexadecanoic acid	R-$(CH_2)_{14}$ - CH_3	C16: 0	Methyl palmitate / Methyl hexadecanoate
Stearic acid/ Octadecanoic acid	R-$(CH_2)_{16}$ - CH_3	C18: 0	Methyl octadecanoate stearate / Methyl
Oleic acid/9(Z)-octadecenoic acid	R-$(CH_2)_7$ – CH=CH - $(CH_2)_7$ - CH_3	C18: 1	Methyl oleate / Methyl 9 (Z) -octadecenoate
Linoleic acid/9(Z),12(Z)-octadecadienoic acid	R-$(CH_2)_7$ – CH=CH - CH_2 – CH=CH - $(CH_2)_4$ - CH_3	C18: 2	Methyl linoleate / Methyl 9(z), 12(Z) -octadecadienoate
Linolenic acid/ 9(Z),12(Z),15(Z) octadecatrienoic acid	R-$(CH_2)_7$ - CH =CH - $(CH_2)_3$ -CH_3	C18: 3	Methyl linolenate / Methyl 9 (z), 12 (z), 15 (Z) -octadecadienoate

2. คุณสมบัติของน้ำมันใช้แล้วและศักยภาพของวัตถุดิบ น้ำมันใช้แล้ว (Waste cooking-oils) จะได้หลังจากการใช้น้ำมันพืชที่ใช้สำหรับปรุงอาหาร คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันใช้แล้วจะแตกต่างจากน้ำมันใหม่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการทอด คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันใช้แล้วได้แสดงไว้ในตาราง 2.4

Mahasarakham University

ตาราง 2.4 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันใช้แล้ว

สมบัติ	หน่วย	ปริมาณ
กรดไขมัน Palmitic	wt%	8.5
กรดสเตียริก	wt%	3.1
กรดโอเลอิก	wt%	21.2
กรดไลโนเลอิก	wt%	55.2
กรดอื่น ๆ	wt%	4.2
ปริมาณน้ำ	wt%	1.9
ความหนาแน่น	เซนติเมตร^3 / กรัม	0.91
ความหนืด (40 ° C)	มิลลิเมตร^2 / วินาที	4.2
ค่า Saponification	mgKOH / g	207
ค่ากรด	mgKOH / g	3.6
จำนวนไอโอดีน	กรัมไอโอดีน / 100 กรัม	83
ปริมาณโซเดียม	มิลลิกรัม / กิโลกรัม	6.9
ค่าเปอร์ออกไซด์	มิลลิกรัม / กิโลกรัม	23.1

ที่มา: (Amin Talebian-Kiakalaieh et al., 2013.)

การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล

ตาราง 2.5 มาตรฐานของไบโอดีเซล

รายการ	ข้อกำหนด	ค่ากำหนด	วิธีทดสอบ
1	**เมทิลเอสเตอร์** (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Methyl ester, % wt)	ไม่ต่ำกว่า 96.5	EN 14103
2	**ความหนาแน่น** ณ อุณหภูมิ 15 ^{O}C (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)(Density at 15^{O}C, kg/m^3)	ไม่ต่ำกว่า 860 และ ไม่สูงกว่า	ASTM D 1298
3	**ความหนืด** ณ อุณหภูมิ 40 ^{O}C (เซนติสโตกส์) (Viscosity at 40^{O}C, cSt)	ไม่ต่ำกว่า 3.5 และ ไม่สูงกว่า 5.0	ASTM D 445
4	**จุดวาบไฟ** ^{o}C (Flash point ^{o}C)	ไม่ต่ำกว่า 120	ASTM D 93
5	**กำมะถัน** (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Sulphur, %wt)	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D 2622

Mahasarakham University

ตาราง 2.5 มาตรฐานของไบโอดีเซล (ต่อ)

6	กากถ่าน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (ร้อยละ10 ของกากถ่านที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon residue,on 10% Distillation Residue, %wt)	ไม่สูงกว่า 0.31	ASTM D 4530
7	เลขซีเทน (Cetane number)	ไม่ต่ำกว่า 51	ASTM D 613
8	เถ้าซัลเฟส (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Sulphated ash, %wt)	ไม่สูงกว่า 0.02	ASTM D 874
9	น้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Water, %wt)	ไม่สูงกว่ากว่า 0.050	ASTM D 2709
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Total contaminate, %wt)	ไม่สูงกว่า 0.0024	ASTM D 5452
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip corrosin)	ไม่สูงกว่าเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C, ชั่วโมง (Oxidation stability at 110 °C, hours)	ไม่ต่ำกว่า 6	EN 14112
13	ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม) (Acid value , mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า 0.50	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีน/100กรัม) (Iodine value, g Iodine/100 g)	ไม่สูงกว่า 120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์(ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Linolenic acid methyl ester, %wt)	ไม่สูงกว่า 12.0	EN 14103
16	เมททานอล(ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Methanol. %wt)	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14110
17	โมโนกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Monoglyceride, %wt)	ไม่สูงกว่า 0.80	EN 14105
18	ไดกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Diglyceride, %wt)	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105

Mahasarakham University

ตาราง 2.5 มาตรฐานของไบโอดีเซล (ต่อ)

19	ไตรกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Triglyceride, %wt)	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
20	กลีเซอรีนอิสระ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Free glycerine, %wt)	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
21	กลีเซอรีนทั้งหมด(ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Total glycerine, %wt)	ไม่สูงกว่า 0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)(Na+, K, mg/kg)	ไม่สูงกว่า 5.0	EN 14108 และ EN14109
23	โลหะกลุ่ม2 (แคลเซียมและแมกนีซียม) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) (Ca+, Mg, mg/kg)	ไม่สูงกว่า 5.0	EN 14538
24	ฟอสฟอรัส (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Phosphorus)	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D 4951
25	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน	

ที่มา : (ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน, 2550.)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากปัจจุบันการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในปัจจุบันใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดของเหลว ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ของผสมระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันไบโอดีเซล กลีเซอรีน และแอลกอฮอล์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา จึงต้องมีกระบวนการชะล้างของผสมเหล่านี้ออกจากน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งจะก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณมากและการสูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาในทุกรอบการ ผลิต และนำไปสู่ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น อีกทั้งกลีเซอรีนที่ได้จะมีความบริสุทธิ์น้อยลง ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดของแข็งสำหรับการผลิตไบโอดีเซลที่ผลิตจากเปลือกไข่เหลือทิ้งสามารถช่วยแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้ ด้วยคุณสมบัติที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ ราคาถูก ซึ่งใช้ในปริมาณน้อย ไม่เกิดน้ำเสียจากการชะล้างและได้กลีเซอรีนที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยพบว่าสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพของเปลือกไข่จะมีสถานะเป็นของแข็งสีขาวและพื้นผิวมีสมบัติเป็นเบสสูง ซึ่งเหมาะต่อการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันได้เป็นอย่างดี รวมทั้งทำมาจากวัสดุธรรมชาติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้เกิดผลงานวิจัยการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียม

Mahasarakham University

ออกไซด์จากเปลือกไข่ เพื่อใช้สำหรับกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันน้ำมันถั่วเหลืองจะให้ผลผลิตไบโอดีเซลเกรดน้ำมันเชื้อเพลิง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้รับมาจากของเสียทางเศรษฐกิจการเผาเปลือกไข่ จะสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีโดยอาจจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของปริมาณเมทิลเอสเทอที่สูงจากน้ำมันถั่วเหลืองกลั่นโดยผ่านกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชัน จะพบว่าสามารถทำให้เกิดปริมาณร้อยละผลได้มากถึงร้อยละ 96.97 โดยที่สภาวะการทำปฏิกิริยาที่ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนของน้ำมันต่อโมล 6:1 จะพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ได้เปลือกไข่จึงของเสียที่มีประสิทธิภาพสามารถจึงจะมีปริมาณร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ที่สูงเมื่อได้ผ่านการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน และยังค่าใช้จ่ายต่ำมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากกากของเสียทั้วไป ดังนั้นแคลเซียมออกไซด์จังเหมาะสมการสังเคราะห์เกรดน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (Chakraborty et al, 2010.) นอกจากนั้นยังพบว่าแคลเซียมออกไซด์ยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลของน้ำมันดอกทานตะวัน ทำได้โดยผ่านกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยา ที่สภาวะในการทำกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชัน คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อมวลของน้ำมันดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ความเร็วรอบกวนเพื่อให้ทำปฏิกิริยา 1000 รอบต่อนาที พบว่าเมทิลเอสเทอร์เปลี่ยนแปลงไปคิดร้อยละ 97.75 ± 0.02 โดยน้ำหนักอย่างมีนัยสัญ ($P<0.05$) (Correia et al, 2014) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากเปลือกไข่ร่วมกับรังสีอินฟราเรดสั้น ว่าส่งผลกระทบต่อปริมาณร้อยละผลได้และสมบัติของเมทิลเอสเทอร์อย่างไร จึงทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายในการศึกษาดังกล่าว

Mahasarakham University

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

ในการศึกษาอิทธิพลของการนำตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่ส่งผลต่อร้อยละผลได้และสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ มีวิธีดำเนินการศึกษา 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การเตรียมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่โดยปฏิกิริยาแคลซิเนชัน
2. การบำบัดน้ำมันใช้แล้ว
3. กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification process)
4. กระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification process)
5. การวิเคราะห์สมบัติของเมทิลเอสเทอร์

การเตรียมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่โดยปฏิกิริยาแคลซิเนชัน

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1. เปลือกไข่ไก่
2. เครื่องบดละเอียด (สร้างโดยคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม)
3. เตาเผาความร้อนสูง (Muffle furnace) ยี่ห้อ Carbolite รุ่น CFW 1200
4. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Mement รุ่น UFE 600
5. หม้อสำหรับต้มน้ำ
6. โถดูดความชื้น
7. ถ้วยครูซิเบิ้ล (Crucible)
8. ถุงซิบ

วิธีการทดลอง

1. นำเปลือกไข่ไก่มาทำความสะอาดโดยผ่านการล้างน้ำ แล้วต้มในหม้อต้มให้น้ำเดือดเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เนื้อเยื่อที่ติดค้างหลุดออก จากนั้นนำเปลือกไข่ไก่ไปตากแดดจนแห้ง

2. นำเปลือกไข่ไก่ไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. นำเปลือกไข่ไก่ไปบดด้วยเครื่องบดละเอียด

Mahasarakham University

4. นำผงเปลือกไข่ไก่ได้จากขั้นตอนการบดไปทำปฏิกิริยาแคลซิเนชันโดยใส่ลงในถ้วยครูซิเบิ้ลแล้วนำไปเผาในเตาเผาความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที รออุณหภูมิลดลงใกล้เคียงอุณหภูมิห้องแล้วนำแคลเซียมออกไซด์บรรจุใส่ถุงซิบ พร้อมเก็บในโถดูดความชื้นปิดมิดชิด และมีสารดูดความชื้นเพื่อป้องกันตัวเร่งปฏิกิริยาสัมผัสกับอากาศ แสงสว่าง และความชื้น

การบำบัดน้ำมันใช้แล้ว

สารเคมีและอุปกรณ์

1. น้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว
2. หม้อต้ม
3. ชุดปั๊มสุญญากาศและกรวยกรอง
4. กระดาษกรอง (เบอร์ 1) ยี่ห้อ Whatman Cat No 1001
5. ถังพลาสติก
6. ผ้าขาวบาง

วิธีการทดลอง

1. กรองน้ำมันใช้แล้วด้วยผ้าขาวบางพับ 8 ชั้นเพื่อกรองเอาเศษอาหารและสิ่งเจือปนออก

2. นำน้ำมันที่กรองเรียบร้อยแล้วไปต้มด้วยหม้อต้ม โดยให้ความร้อนจนน้ำมันมีอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส พร้อมคนน้ำมันตลอดเวลา เพื่อให้น้ำที่อยู่ก้นหม้อระเหยออกมาได้ง่าย และสังเกตหม้อต้ม เมื่อมีไอน้ำระเหยออกจากหม้อต้มแล้วเริ่มจับเวลา ใช้เวลาในการต้ม 60 นาที แล้วยกลงจากเตา รอจนอุณหภูมิน้ำมันลดลงจนกระทั่งถึงอุณหภูมิห้องจึงเปลี่ยนภาชนะบรรจุในถังที่ทึบแสงและมีฝาปิดมิดชิด

3. ใช้ผ้าขาวบางกรองน้ำมันซ้ำอีกรอบก่อนนำไปผ่านกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชัน

Mahasarakham University

กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1. น้ำมันใช้แล้วที่ผ่านการบำบัด
2. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์
3. เมทานอลความเข้มข้น 99.99 เปอร์เซ็นต์
4. เครื่องกวนสารชนิดให้ความร้อน (Hot plate stirrer) ยี่ห้อ LMS รุ่น HTS-1003
5. แท่งกวนแม่เหล็ก (Magnetic bar) ขนาด 70 x 10 มิลลิเมตร
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Ohaus รุ่น PA4102 ความละเอียด ± 0.01 กรัม
7. ชุดขาตั้ง
8. ขวดเก็บสารขนาด 500 มิลลิลิตร
9. กรวยแยกสารขนาด 500 มิลลิลิตร
10. ขวดรูปชมพู่ 500 มิลลิลิตร
11. แท่งคนสาร
12. หลอดหยดสาร
13. ชุดควบคุมอุณหภูมิ

วิธีการทดลอง

1. นำน้ำมันหลังผ่านการบำบัดมาทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดซัลฟิวริกในเมทานอลเพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระโดยการชั่งน้ำมัน 300 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร

2. ชั่งเมทานอลที่อัตราส่วนโดยโมลต่อน้ำมันเท่ากับ 4:1 (45 กรัม) ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วชั่งกรดซัลฟิวริกร้อยละ 1.5 โดยมวลของน้ำมัน (4.5 กรัม) จากนั้นละลายกรดซัลฟิวริกลงในเมทานอลที่ชั่งไว้แล้วกวนผสมให้เข้ากันที่สภาวะอุณหภูมิห้องประมาณ 15 นาที

3. อุ่นน้ำมันที่ชั่งไว้ด้วย Hot plate ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสพร้อมกวนด้วยแท่งกวนแม่เหล็ก เติมสารละลายที่เตรียมไว้ในข้อ 2. ลงไปอย่างช้า ๆ พร้อมเริ่มจับเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที เสร็จแล้วเทผลิตภัณฑ์ที่ได้ลงกรวยแยกสารทิ้งให้เกิดการแยกชั้นอย่างสมบูรณ์ระหว่างเอสเทอร์ของกรดไขมันกับน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. แยกเอาชั้นน้ำ (ชั้นล่างสุด) ทิ้งจากนั้นแยกเอาชั้นเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ชั้นกลาง) ไปทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันต่อไป (ชั้นบนจะเป็นชั้นของเมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา)

Mahasarakham University

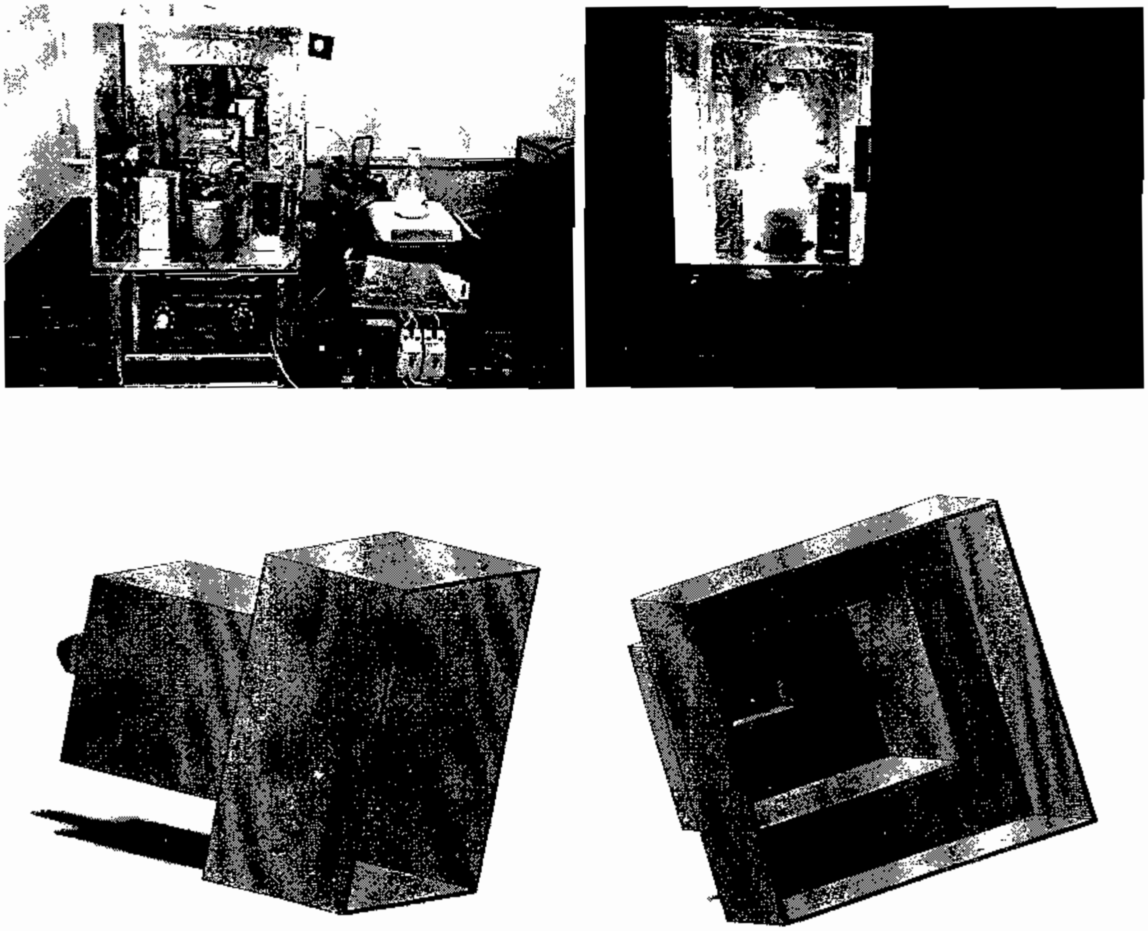
กระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชัน

ในขั้นตอนการทำทรานสเอสเทอริฟิเคชันนี้ ได้แบ่งการทดลองออกเป็นโดยการใช้ความร้อนจากเครื่องรังสีอินฟราเรดและเครื่องกวนสารชนิดให้ความร้อน โดยมีรายละเอียดดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1. น้ำมันใช้แล้วที่ผ่านการเอสเทอริฟิเคชันแล้ว
2. ผงแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากเปลือกไข่ไก่
3. เมทานอลความเข้มข้น 99.99 เปอร์เซ็นต์
4. เครื่องผลิตไบโอดีเซลโดยใช้รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน (ภาพประกอบ 3.1) โดยให้มีระยะห่างประมาณ 15-20 เซนติเมตร
5. เครื่องกวนสารชนิดให้ความร้อน (Hot plate stirrer) ยี่ห้อ LMS รุ่น HTS-1003
6. เครื่องเหวี่ยงยี่ห้อ NUVE รุ่น NF 200
7. เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ Ohaus รุ่น PA4102 ความละเอียด ±0.01
8. ชุดควบคุมอุณหภูมิ
9. ขวดปากกว้างขนาด 600 มิลลิลิตร
10. กรวยแยกสาร ขนาด 500 มิลลิลิตร
11. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
12. แท่งคนสาร
13. คีมคีบสาร
14. กระดาษกรอง (เบอร์ 1) ยี่ห้อ Whatman Cat No 1001
15. นาฬิกาจับเวลา
16. อลูมิเนียมฟอล์ย

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 3.1 เครื่องผลิตไบโอดีเซลโดยใช้รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำมันที่ผ่านการเอสเทอริฟิเคชันแล้ว 200 กรัม ลงในขวดปากกว้างขนาด 600 มิลลิลิตร ชั่งเมทานอลที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 12:1 (90.257 กรัม) แล้วชั่งแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากเปลือกไข่ไก่ที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (10 กรัม) จากนั้นละลายแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากเปลือกไข่ไก่ในเมทานอลที่ชั่งไว้แล้วกวนผสมให้เข้ากัน เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดเป็นสารละลายเมท็อกไซด์

2. อุ่นน้ำมันในเครื่องผลิตไบโอดีเซลโดยใช้รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนโดยปรับแรงดันไฟฟ้าที่ 150 โวลต์ พร้อมกวนเครื่อง Hot plate stirrer (ไม่ได้เป็นให้ความร้อน) เติมสารละลายในข้อ 1. ลงไปพร้อมจับเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที เมื่อเสร็จแล้วนำขวดน้ำมันออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และให้ตัวเร่งปฏิกิริยาตกตะกอนประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปกรองด้วย

Mahasarakham University

ชุดกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อกรองเอาตัวเร่งออกจากของเหลว ซึ่งจะช่วยลดการตกตะกอนในหลอดเหวี่ยงในขั้นตอนการปั่นเหวี่ยง และช่วยให้จัดเก็บตัวเร่งได้ง่าย

3. นำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการกรองออกมาเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปกรองด้วยชุดกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรอง เบอร์ 1 แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใส่ในกรวยแยกสาร หลังจากนั้นทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จะเกิดการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรีน นำเอากลีเซอรีนออกโดยการเปิดวาล์วที่กรวยแยกสารแยกเก็บไว้ต่างหาก แล้วทิ้งให้เกิดการแยกชั้นอย่างสมบูรณ์ระหว่างเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรีนเป็นเวลา 120 ชั่วโมง (5 วัน)

4. นำน้ำมันที่แยกกลีเซอรีนออกแล้วเก็บใส่ขวดเก็บสาร นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณผลได้เมทิลเอสเทอร์และวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ต่อไป

5. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนปริมาณแคลเซียมออกไซด์ที่ใช้จากร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเปลี่ยนระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจากเวลา 60 นาที เป็น 90 และ 120 นาที ตามลำดับ และเปลี่ยนจากการให้ความร้อนด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซลโดยใช้รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนเป็นเครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน

การวิเคราะห์สมบัติของเมทิลเอสเทอร์

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

1. น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดและเมทิลเอสเทอร์ที่ผ่านกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชัน
2. ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์
3. สารละลายมาตรฐาน (สารละลายโซเดียมไฮดร็อกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)
4. น้ำกลั่น
5. เมทานอล 99.99 เปอร์เซ็นต์
6. เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ Ohaus รุ่น PA413 ความละเอียด ±0.001 กรัม
7. นาฬิกาจับเวลา
8. หลอดหยดสาร
9. บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

Mahasarakham University

10. บีกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
11. ชุดขาตั้ง
12. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
13. ปิเปต ขนาด 5 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

เตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดร็อกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอลิตี้

1. ตวงน้ำกลั่นเ1,000 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

2. ชั่งน้ำหนักโซเดียมไฮดร็อกไซด์ 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดร็อกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

1. เทสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.1 นอร์มอลิตี้ ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ลงในบิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

2. ชั่งน้ำมัน/เมทิลเอสเทอร์ 10 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

3. ตวงเมทานอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในน้ำมันที่เตรียมไว้

4. หยดฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 5 – 6 หยด ลงในขวดรูปชมพู่ที่ใส่เมทา-นอลกับน้ำมัน/เมทิลเอสเทอร์ไว้เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.1 นอร์มอลิตี้ ที่เตรียมไว้ โดยหยดสารละลายมาตรฐานลงในขวดรูปชมพู่อย่างช้าๆ จนสารละลายในขวดรูปชมพู่เปลี่ยนเป็นสีชมพู จากนั้นจับเวลา 30 วินาที ถ้าสีชมพูเกิดอย่างถาวรให้หยุดหยดสารและบันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานที่ใช้ไป แต่ถ้าสารละลายยังเปลี่ยนสีอยู่ให้หยดต่อไปช้าๆ จนกระทั่งสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูถาวร

5. คำนวณเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่จากสูตร

$$\%FFA = \frac{\text{ปริมาตร NaOH (ml)} \times \text{ความเข้มข้น NaOH 0.1 N} \times 28.2}{\text{น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)}} \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

Mahasarakham University

จุดวาบไฟและจุดติดไฟ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าจุดวาบไฟและจุดติดไฟของเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้มาตรฐาน ASTM- D93 ซึ่งจะเป็นการทดสอบแบบ Cleveland Open Cup

วัสดุและอุปกรณ์

1. เมทิลเอสเทอร์ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร
2. เตาให้ความร้อน
3. Crucible
4. ดาตาล็อคเกอร์ ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DXA100 DAQATANDARD ความละเอียด ±0.1 องศาเซลเซียส
5. เทอร์โมคัปเปิล
6. ขาตั้ง

วิธีการทดลอง

1. ใส่เมทิลเอสเทอร์ลงในถ้วยกระเบื้องทนไฟให้ถึงระดับที่กำหนดไว้บริเวณขอบด้านในถ้วย
2. ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลโดยให้ปลายสายด้านหนึ่งของเทอร์โมคัปเปิลจุ่มลงในเมทิลเอสเทอร์ และอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับดาตาล็อคเกอร์
3. จุดเปลวไฟเล็กๆ ที่จุดล่อ
4. เปิดสวิตช์เตาไฟ เพื่อความร้อนแก่เมทิลเอสเทอร์
5. เมื่อมีการลุกไหม้และดับเป็นครั้งแรกเมื่อใด แสดงได้ว่าถึงจุดวาบไฟ (Flash point) แล้วให้บันทึกอุณหภูมิที่วัดได้จากดาตาล็อคเกอร์ขณะนั้นทันที
6. เมื่อมีการเกิดไฟลุกไหม้ของเมทิลเอสเทอร์ แสดงว่าถึงจุดติดไฟ แล้วให้บันทึกอุณหภูมิที่วัดได้จากดาตาล็อคเกอร์ขณะนั้นทันที

Mahasarakham University

ค่าความหนืด

วัสดุและอุปกรณ์

1. เมทิลเอสเทอร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
2. เครื่องวัดความหนืด ยี่ห้อ Huher
3. Viscometer เบอร์ 150 (ค่าคงที่ 0.034505 cSt/s)
4. ปิเปต
5. ลูกยาง
6. นาฬิกาจับเวลา

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตเมทิลเอสเทอร์ใส่ใน Viscometer ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
2. ปรับอุณหภูมิของน้ำใน Viscometer bath ให้ได้ 40 องศาเซลเซียส
3. นำ Viscometer ไปแช่ใน Viscometer bath
4. ปล่อยให้เมทิลเอสเทอร์ไหลอย่างอิสระภายใต้แรงดึงดูด โดยเริ่มจับเวลาเมื่อส่วนบนของเมทิลเอสเทอร์ไหลถึงจุดจับเวลาจุดแรก และเมื่อถึงจุดจับเวลาจุดที่สองให้บันทึกค่าเวลาเป็นวินาที
5. นำค่าเวลาที่ได้ไปคูณกับค่าคงที่ของ Viscometer ค่าที่ได้จะเป็นค่า Kinematic- viscosity มีหน่วยเป็นเซนติสโตก (cSt)

คำนวณ $V = Ct$ .... (4)

โดยที่ V = Kinematic viscosity มีหน่วยเป็น cSt (Centistokes หรือ mm^2/s)

C = ค่าคงที่ของ Viscometer มีหน่วยเป็น cSt/s

T = Flow time มีหน่วยเป็น วินาที (s)

Mahasarakham University

ค่าความหนาแน่น

วัสดุและอุปกรณ์

1. เมทิลเอสเทอร์ปริมาตร 30 มิลลิลิตร
2. เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ Ohaus รุ่น PA413 ความละเอียด ±0.001 กรัม
3. Pycnometer ขนาด 25 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

1. ชั่ง Pycnometer เปล่า
2. นำเมทิลเอสเทอร์ที่ต้องการทราบค่าความหนาแน่นใส่ใน Pycnometer
3. แล้วนำเมทิลเอสเทอร์ที่ใส่ใน Pycnometer ไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์
4. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นตามสมการที่ 5

$$\text{ความหนาแน่นของสาร} = \frac{\text{น้ำหนักของสาร (กรัม)}}{\text{ปริมาณของสาร (มิลลิลิตร)}} \quad \text{............. (5)}$$

ค่าความร้อน

สารเคมี

1. Benzoic acid ชนิดเม็ด พร้อมค่าความร้อนมาตรฐาน

วัสดุและอุปกรณ์

1. เมทิลเอสเทอร์ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
2. บอมบ์แคลอริมิเตอร์และประกอบด้วย 1341 Calorimeter พร้อมมอเตอร์และสายพาน ลูกบอมบ์ ถังน้ำ ที่จุดการสันดาปพร้อมสายไฟ เทอร์โมมิเตอร์แบบอ่านค่าเป็นตัวเลขพร้อมนาฬิกาจับเวลา
3. ถังออกซิเจน 1 ถัง พร้อมสายต่อออกซิเจนเข้ากับบอมบ์
4. เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ Ohaus รุ่น PA4102 ความละเอียด ±0.01 กรัม
5. หลอดฉีดยาชนิดแก้ว มีสเกลวัดปริมาตร
6. ลวดจุดระเบิดยาวประมาณ 10 เซนติเมตร
7. น้ำกลั่น

Mahasarakham University

วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการเตรียมการทดสอบ

1. จัดตั้งอุปกรณ์ทดลองบนโต๊ะที่แข็งแรงและเรียบ และไม่วางใกล้อุปกรณ์ที่มีการแผ่ความร้อน

2. ใส่ตัวอย่างเมทิลเอสเทอร์ประมาณ 1 ซีซี ลงในถ้วยของชุดการทดลอง แล้วนำถ้วยทดลองไปใส่ไว้ในขายึดที่ฝาของบอมบ์

3. ตวงน้ำกลั่นใส่ลงในถังน้ำของชุดทดลอง 2,000 มิลลิลิตร โดยอุณหภูมิของน้ำควรต่ำกว่าอุณหภูมิห้องไม่เกิน 1.5 องศาเซลเซียส

4. ตัดลวด Parr 45C10 ของชุดทดลองยาว 10 เซนติเมตร เข้ากับขั้ว-อิเล็กโทรด โดยให้อยู่ใกล้กับผิวหน้าเชื้อเพลิง แต่ห้ามสัมผัสกับเชื้อเพลิงหรือถ้วยทดลอง

5. ใส่น้ำกลั่น 1 หยดลงในบอมบ์เพื่อช่วยดูดกลืนไอ แล้วปิดฝาบอมบ์ให้แน่น

6. เติมออกซิเจนผ่านสายเติมเข้าสู่บอมบ์ช้าๆ จนได้ความดันประมาณ 30 atmosphere (atm) (ห้ามเติมออกซิเจนเกิน 40 atmosphere (atm)) ในระหว่างนี้ให้หลีกเลี่ยงการใช้มือสัมผัสกับบอมบ์โดยตรงเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากมือสู่บอมบ์ ให้ใช้ปากคีบจับแทน

ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำบอมบ์ที่เตรียมเสร็จแล้วค่อยๆหย่อนลงในถังน้ำโดยใช้ปากคีบจับ สังเกตฟองอากาศที่รั่วไหลจากบอมบ์ ถ้ามีห้ามทำการทดลองต่อ ให้นำมาแก้ไขซ่อมแซมก่อน

2. ต่อสายไฟ 2 เส้นเข้าที่หัวบอมบ์แล้วปิดฝาแคลอรีมิเตอร์ เปิดสวิทช์มอเตอร์เพื่อทำการกวนน้ำ

3. เปิดสวิทช์เทอร์โมมิเตอร์และทำการวัดอุณหภูมิทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วบันทึกอุณหภูมิไว้

4. กดสวิทช์จุดระเบิดเมื่อเข้าสู่นาทีที่ 6 ให้ไฟสีแดงติดจนกระทั่งดับจึงปล่อยมือ แล้ววัดอุณหภูมิทุกๆ 1 นาที จนกว่าอุณหภูมิจะขึ้นสูงสุด (ประมาณนาทีที่ 13 ถึง 15)

5. เมื่ออุณหภูมิลดลงวัดอุณหภูมิทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาทีแล้วบันทึกค่าอุณหภูมิไว้

6. นำบอมบ์ออกจากแคลอรีมิเตอร์เปิดวาล์วระบายความดัน แล้วจึงนำลวดที่เหลือออกมาวัดความยาว หากมีเชื้อเพลิงเหลือ (เผาไหม้ไม่หมด) ให้ทำการทดลองใหม่

7. ทำความสะอาดอุปกรณ์ แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าความร้อน

ค่าความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ (6) และ (7)

Mahasarakham University

$$Hg = \frac{tW-e_1-e_2\ e_3}{m} \qquad \text{.......................} (6)$$

เมื่อ

Hg = ค่าความร้อน (Gross of combustion) (แคลอรี่/กรัม)

T = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการทดลอง (อุณหภูมิสูงสุด – อุณหภูมิก่อนที่จะทำการจุดระเบิด) องศาเซลเซียส

W = ค่าพลังงานของลูกบอมบ์ที่ได้จากการทำ Standardization (แคลอรี่/ องศาเซลเซียส)

e_1 = ค่าความร้อนจากกรดไนตริก โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0

e_2 = ค่าความร้อนจากกรดซัลฟูริก โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0

e_3 = ค่าความยาวของลวดจุดระเบิดที่เหลือจากการจุดระเบิด (เซนติเมตร) มาคูณ 2.3 (แคลอรี่)

สูตรการหาค่า W ในการ Standardization ด้วย Benzoic acid

$$W = \frac{Hm+e_1+e_3}{T} \qquad \text{.......................} (7)$$

เมื่อ

W = ค่าพลังงานของลูกบอมบ์ที่ได้จากการทำการ Standardization

H = ค่าความร้อนของ Benzoic acid ซึ่งมีค่าคงที่ เท่ากับ 6,318 แคลอรี่/กรัม

m = น้ำหนักของ Benzoic acid (กรัม)

e_1 = ค่าความร้อนจากกรดไนตริก

e_3 = ค่าความร้อนจากลวด โดยนำลวดเริ่มต้น (10 เซนติเมตร) หักลบจากลวดที่เหลือมาคูณ 2.3 (แคลอรี่)

T = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการทดลอง (อุณหภูมิสูงสุด – อุณหภูมิก่อนที่จะทำการจุดระเบิด) ของ Benzoic acid (องศาเซลเซียส)

Mahasarakham University

บทที่ 4

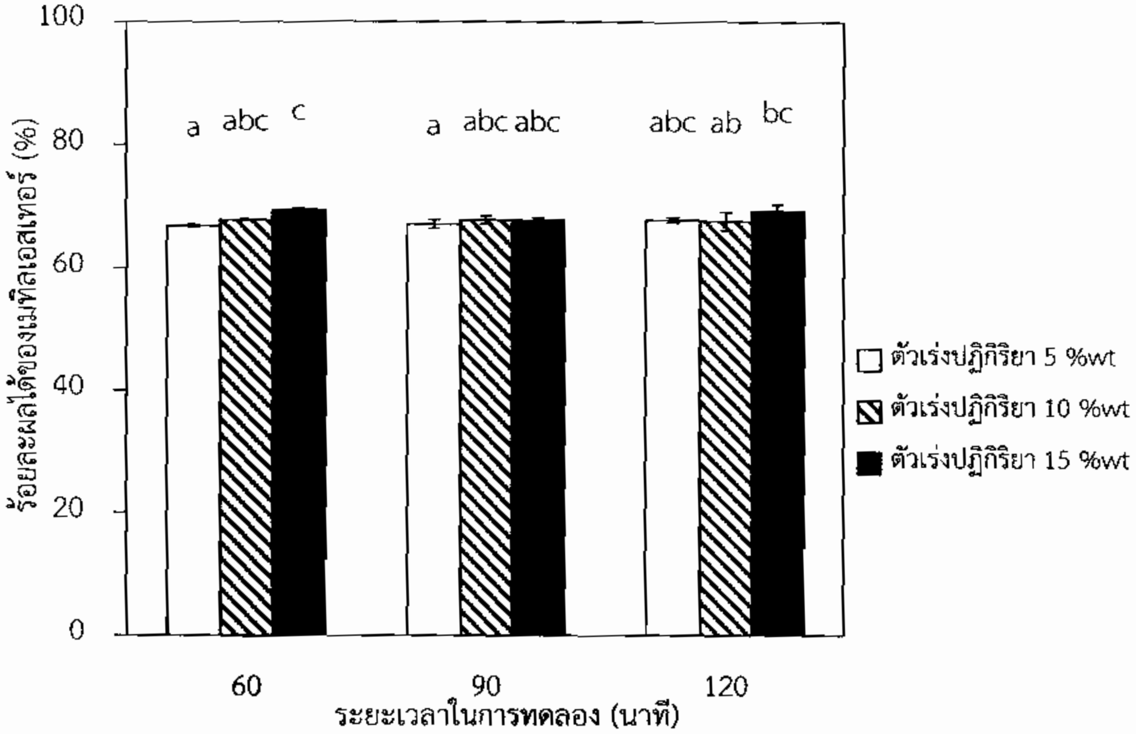
ผลการทดลอง และอภิปรายผล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการทดลองนำรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นมาประยุกต์ใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนสำหรับปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันที่ใช้แล้วโดยมีแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากเปลือกไข่ไก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 12:1 และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน 60 องศาเซลเซียส โดยได้ทำการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (60 90 และ 120 นาที) และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก) ที่ส่งผลกระทบต่อร้อยละผลได้และสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์

จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ดังแสดงในภาพประกอบ 4.1 พบว่า การเพิ่มระยะเวลาการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน นั้นไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เนื่องจากแคลเซียมออกไซด์ สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก และมีความสามารถในการละลายต่ำ (Korhtad et al., 2010: 255) อาจเป็นได้ว่าที่เวลา 60 นาทีนั้นเกิดปฏิกิริยาเร็วแล้วทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาหมด หลังจากเพิ่มระยะเวลาการทำปฏิกิริยาแล้วทำให้ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อได้ เพราะที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก หลังจากเพิ่มเวลาที่ใช้ในการปฏิกิริยาเป็น 120 นาที มีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาจากการเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วพบว่า ที่เวลา 60 และ 90 นาที โดยการเพิ่มจากความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 15 สามารถเพิ่มร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์คิดเป็นร้อยละ 3.82 และ 0.91 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ที่เวลา 120 นาทีนั้นการเพิ่มขึ้นความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ส่งผลต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอส-เทอร์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

Mahasarakham University



หมายเหตุ: abc ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภาพประกอบ 4.1 ปริมาณร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ที่เตรียมได้จากสภาวะในการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันต่างๆ

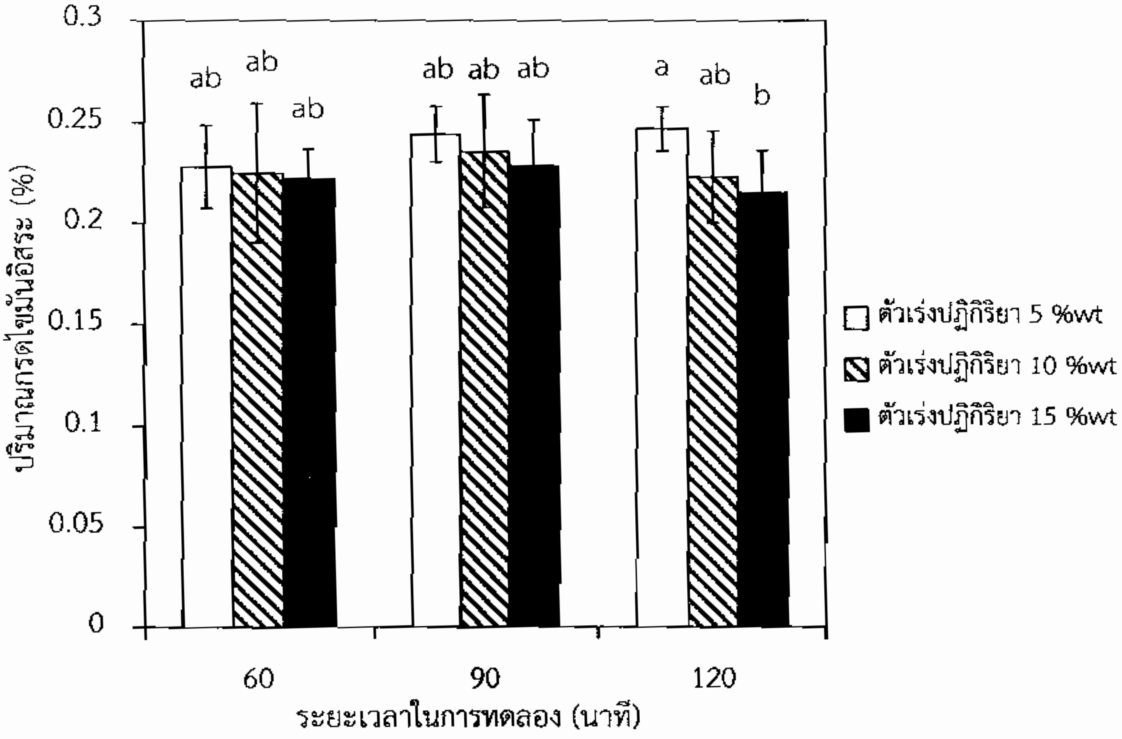
ผลการศึกษาสมบัติของเมทิลเอสเทอร์

หลังจากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันเรียบร้อยแล้วได้นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากทุกสภาวะการทดลองไปทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น ซึ่งได้แก่ ปริมาณกรดไขมันอิสระ จุดวาบไฟ จุดติดไฟ ค่าความหนืด ค่าความหนาแน่น และค่าความร้อน ซึ่งได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ในปริญญานิพนธ์นี้ปริมาณกรดไขมันอิสระของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ อยู่ในช่วง 0.215-0.247 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษานั้นอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ นั้น การเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณกรดไขมันอิสระที่เวลา 60 และ 90 นาที อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ที่เวลา 120 นาที การเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักทำให้ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงคิดเป็นร้อยละ 12.78 ส่วนอิทธิพลของเวลานั้นไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณกรดไขมันอิสระอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ดังภาพประกอบ 4.2)

Mahasarakham University



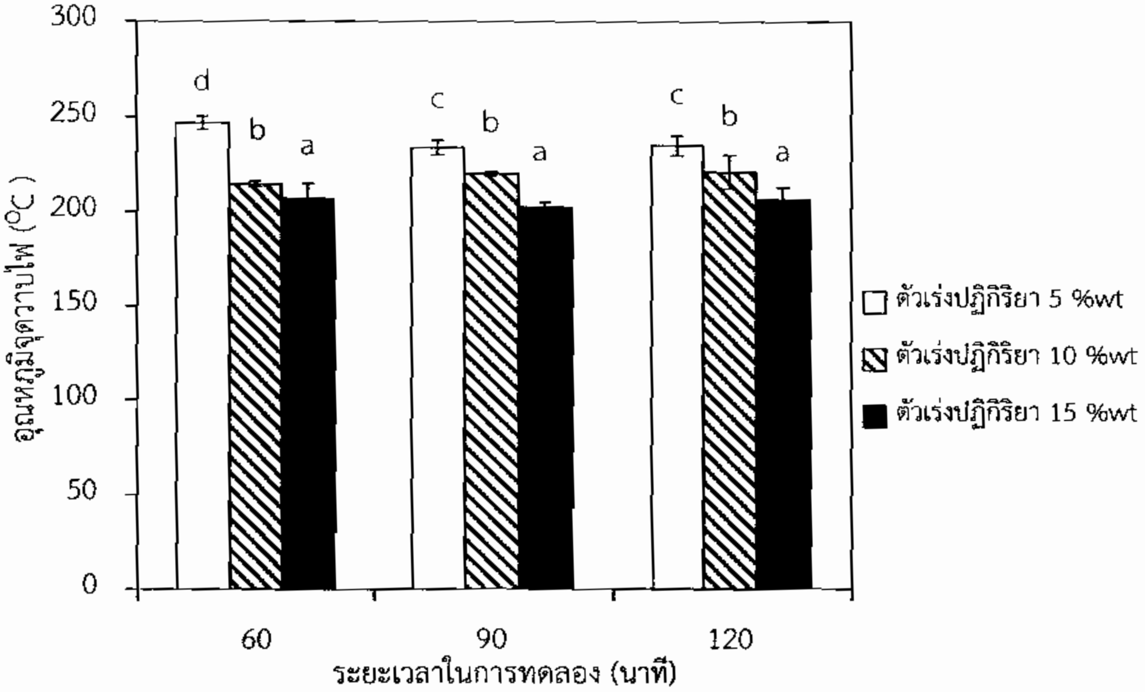
หมายเหตุ: abc ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภาพประกอบ 4.2 ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ

2. จุดวาบไฟ

จุดวาบไฟเป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดเมื่อเปลวไฟผ่านเหนือไอของเมทิลเอสเทอร์ แล้วทำให้น้ำมันติดไฟ กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้กำหนดให้ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันมีจุดวาบไฟไม่ต่ำกว่า 120 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันที่ใช้แล้วที่สภาวะต่างๆ พบว่า เมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีจุดวาบไฟอยู่ในช่วง 202-246 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (ดังภาพประกอบ 4.3) โดยอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานั้นไม่ส่งผลกระตบต่อจุดวาบไฟอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในการเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นทำให้จุดวาบไฟมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

Mahasarakham University



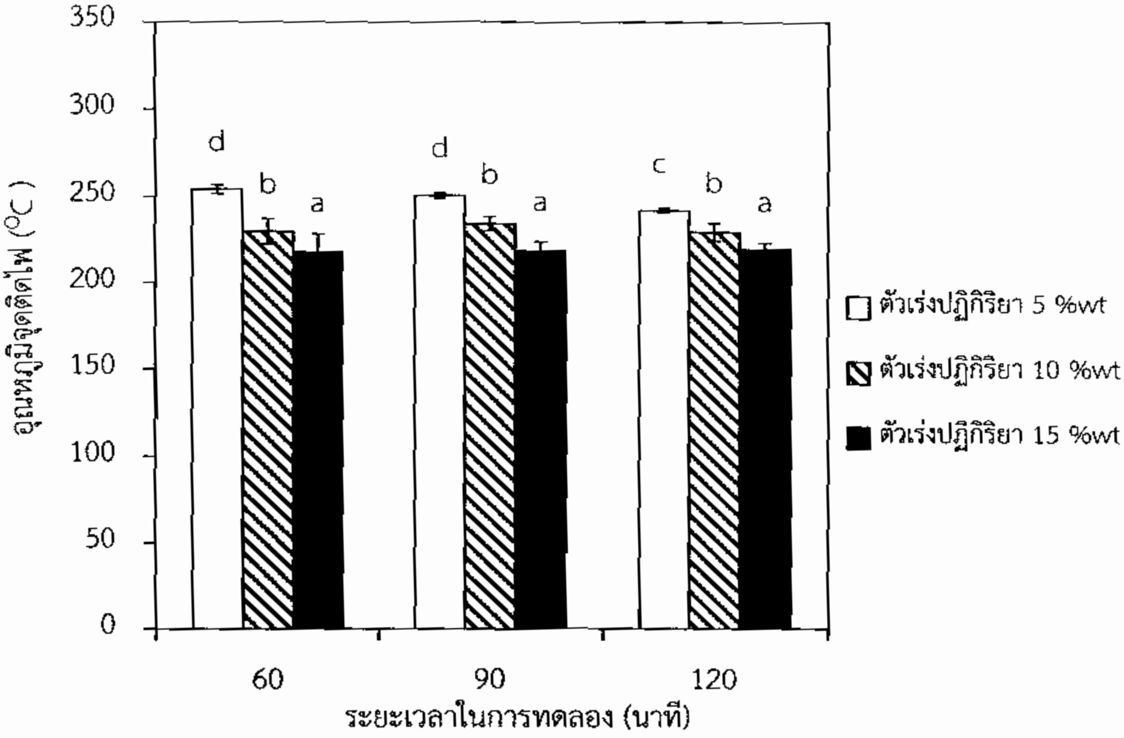
หมายเหตุ: [abc] ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภาพประกอบ 4.3 ค่าจุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ

3. จุดติดไฟ

จุดติดไฟ คือ อุณหภูมิที่ทำให้เกิดไฟลุกขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันที่ใช้แล้วที่สภาวะต่างๆ พบว่า เมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีจุดติดไฟอยู่ในช่วง 217-254 องศาเซลเซียส จะเห็นว่า จุดติดไฟของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีค่าสูงกว่าจุดวาบไฟเพียงเล็กน้อย (ดังภาพประกอบ 4.4) โดยอิทธิพลของเวลาและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผลกระทบเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับจุดวาบไฟ

Mahasarakham University



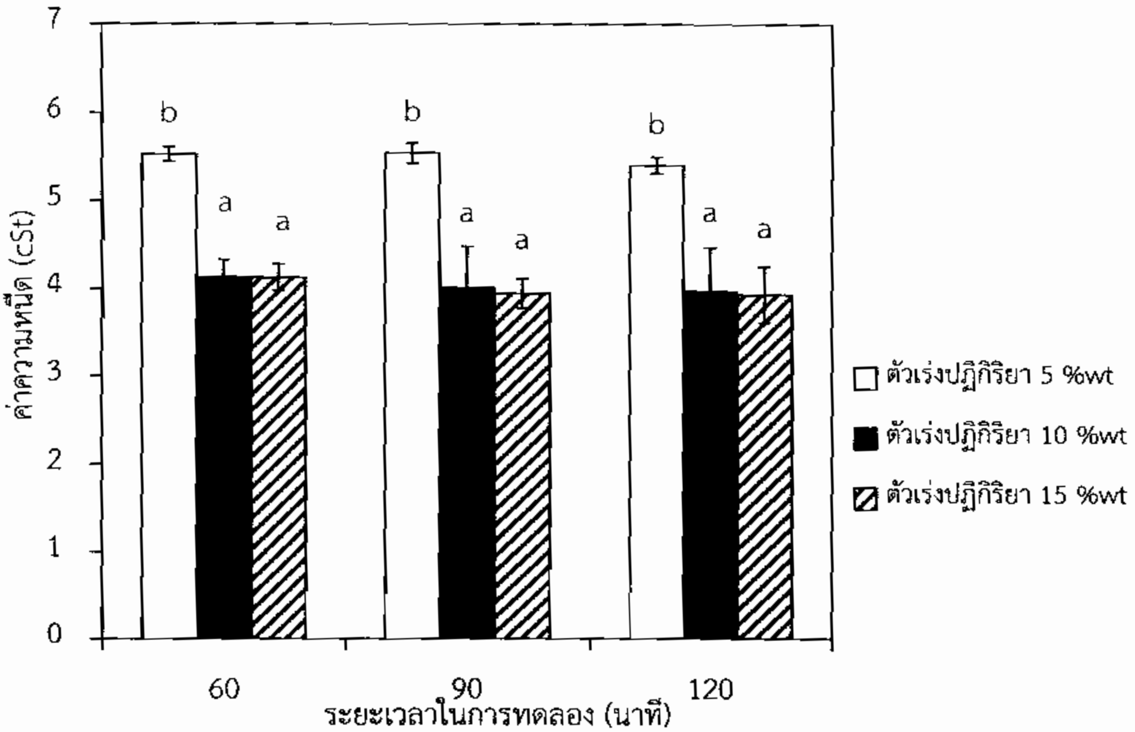
หมายเหตุ: abc ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภาพประกอบ 4.4 ค่าจุดติดไฟ (องศาเซลเซียส) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่าง

4. ค่าความหนืด

ความหนืดมีความเกี่ยวข้องกับการไหล ความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่เป็นวัตถุดิบ ซึ่งมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานกำหนดให้ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 3.5-5.0 เซนติสโตกส์ ซึ่งจากผลการทดสอบเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ พบว่า ค่าความหนืดทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยค่าความหนืดที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 3.93–5.54 เซนติสโตกส์ ซึ่งมีเพียงเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 เท่านั้นที่ไม่อยู่ในช่วงมาตรฐาน โดยมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 5.4-5.5 โดยอิทธิพลของเวลานั้นไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าความหนืดอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จะทำให้ค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์มีค่าลดลง (ดังภาพประกอบ 4.5) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

Mahasarakham University



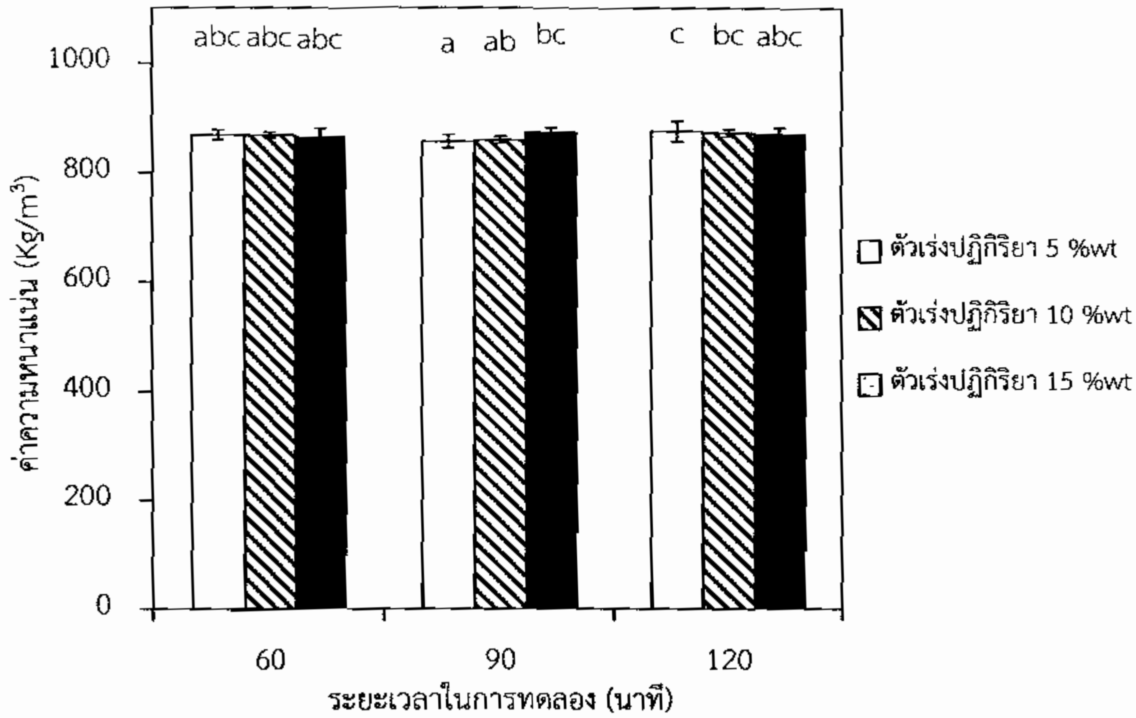
หมายเหตุ: [abc]ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภาพประกอบ 4.5 ค่าความหนืด (เซนติสโตรกส์) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส-เอสเทอริฟิเคชันที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ

5. ค่าความหนาแน่น

ความหนาแน่นเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบหัวฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ค่าความหนาแน่นเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของพลังงานเชื้อเพลิง เมื่อค่าความหนาแน่นมีค่ามากก็จะให้พลังงานความร้อนมากขึ้นตามไปด้วยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณเดียวกัน จากการศึกษาของปริญญานิพนธ์นี้ค่าความหนาแน่นของเมทิลเอสเทอร์ที่อุณหภูมิห้อง มีค่าอยู่ระหว่าง 856–876 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานที่กำหนดให้มีค่าความหนาแน่นของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ณ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ระหว่าง 800–900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอิทธิพลของเวลาและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยามีแนวโน้มที่ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่น (ดังภาพประกอบ 4.6)

Mahasarakham University



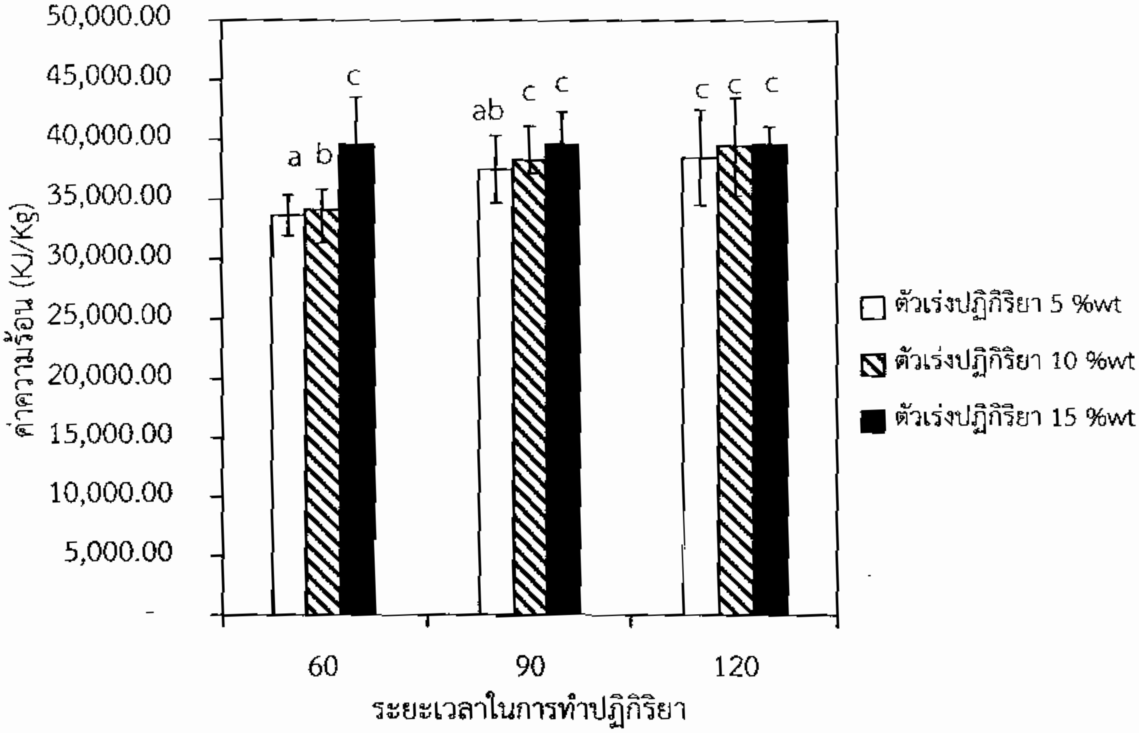
หมายเหตุ: [abc]ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภาพประกอบ 4.6 ค่าความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ

6. ค่าความร้อน

กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงานจะไม่ได้กำหนดมาตรฐานค่าความร้อนของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์เอาไว้ก็ตาม แต่ค่าความร้อนถือเป็นสมบัติที่สำคัญสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงทุกประเภท โดยค่าความร้อนของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 33,669–39,630 กิโลจูลต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของไบโอดีเซลตามที่มาตรฐาน EN-14213 ได้กำหนดไว้ (มีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 35 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) ถือว่า เมทิลเอสเทอร์ที่เตรียมได้จากทุกสภาวะการทดลองมีค่าใกล้เคียงในเกณฑ์มาตรฐาน อิทธิพลของเวลามีแนวโน้มไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความร้อน ซึ่งอิทธิพลของความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 60 และ 90 นาที เมื่อเพิ่มความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยามีผลทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ที่เวลา 120 นาที ไม่มีผลกระทบต่อค่าความร้อน อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ดังภาพประกอบ 4.7)

Mahasarakham University



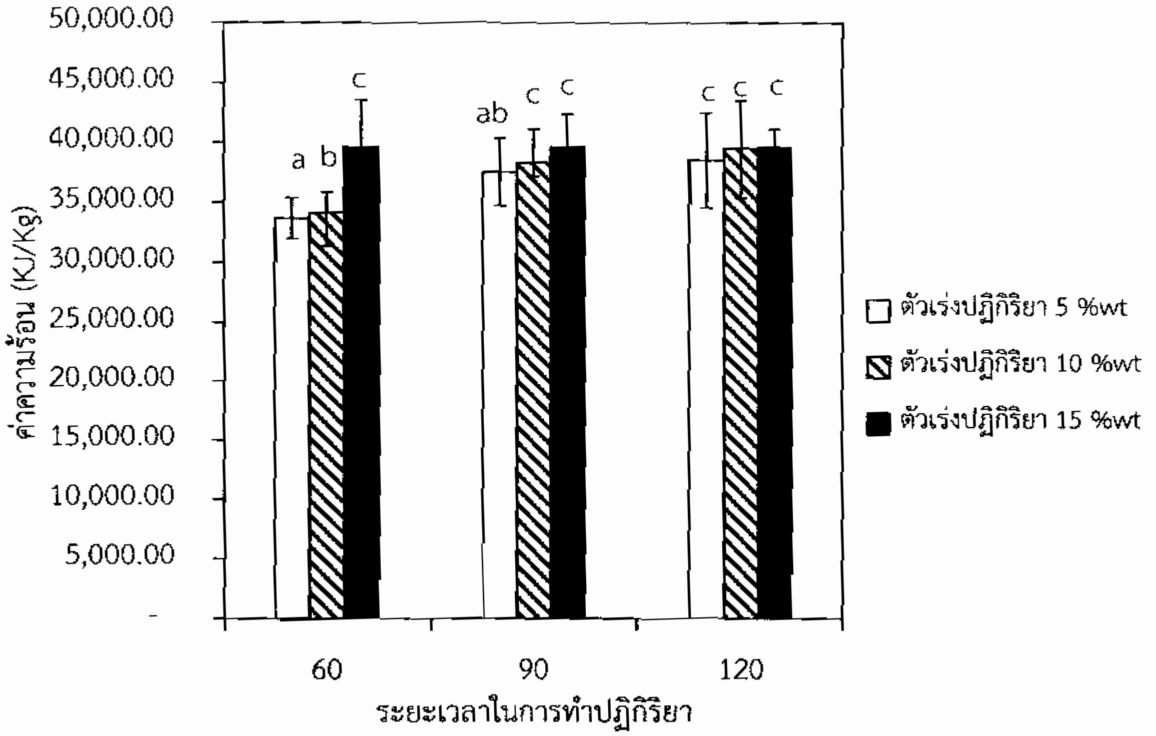
หมายเหตุ: [abc]ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภาพประกอบ 4.7 ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ

ผลการศึกษาของสมบัติร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเตอร์โดยได้ทำการเปรียบเทียบฮิตเตอร์ อินฟราเรดคลื่นยาว และอินฟราเรดคลื่นสั้น

จากการศึกษาอิทธิพลตัวแปรต่าง ๆ ที่จะส่งผลกระทบต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์จากการแหล่งกำเนิดความร้อนจากฮิตเตอร์ รังสีอินฟราเรดคลื่นยาว และรังสีอินฟราคลื่นสั้น โดยทดลองที่สภาวะเดียวกัน คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (60 90 และ 120) ซึ่งฮิตเตอร์และอินฟราเรดคลื่นสั้นได้ใช้เปลือกไข่ไก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 5 โดยที่การทำปฏิกิริยาของอินฟราเรดคลื่นยาวได้ใช้เปลือกหอยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 6 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียง ซึ่งสามารถยอมรับได้ในการเปรียบเทียบ ดังนั้นจึงได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

Mahasarakham University



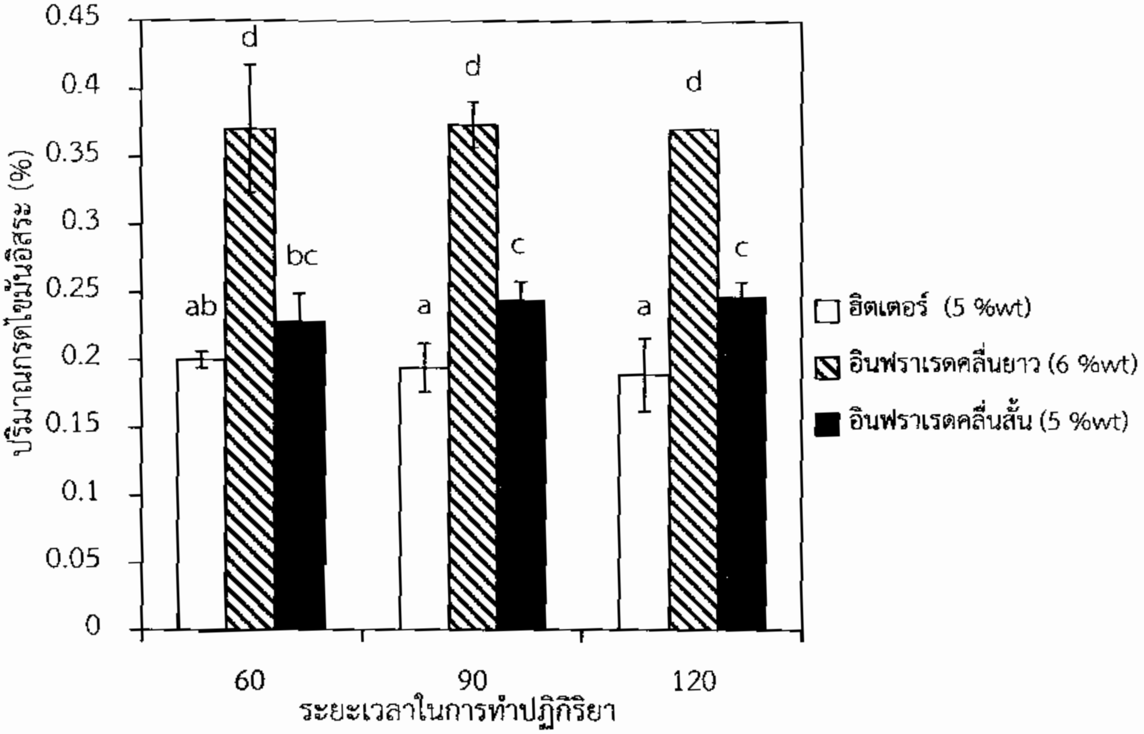
หมายเหตุ: abcที่แตกต่างกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภาพประกอบ 4.7 ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ

ผลการศึกษาของสมบัติร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเตอร์โดยได้ทำการเปรียบเทียบฮิตเตอร์ อินฟราเรดคลื่นยาว และอินฟราเรดคลื่นสั้น

จากการศึกษาอิทธิพลตัวแปรต่าง ๆ ที่จะส่งผลกระทบต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์จากการแหล่งกำเนิดความร้อนจากฮิตเตอร์ รังสีอินฟราเรดคลื่นยาว และรังสีอินฟราคลื่นสั้น โดยทดลองที่สภาวะเดียวกัน คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (60 90 และ 120) ซึ่งฮิตเตอร์และอินฟราเรดคลื่นสั้นได้ใช้เปลือกไข่ไก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 5 โดยที่การทำปฏิกิริยาของอินฟราเรดคลื่นยาวได้ใช้เปลือกหอยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 6 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียง ซึ่งสามารถยอมรับได้ในการเปรียบเทียบ ดังนั้นจึงได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

Mahasarakham University



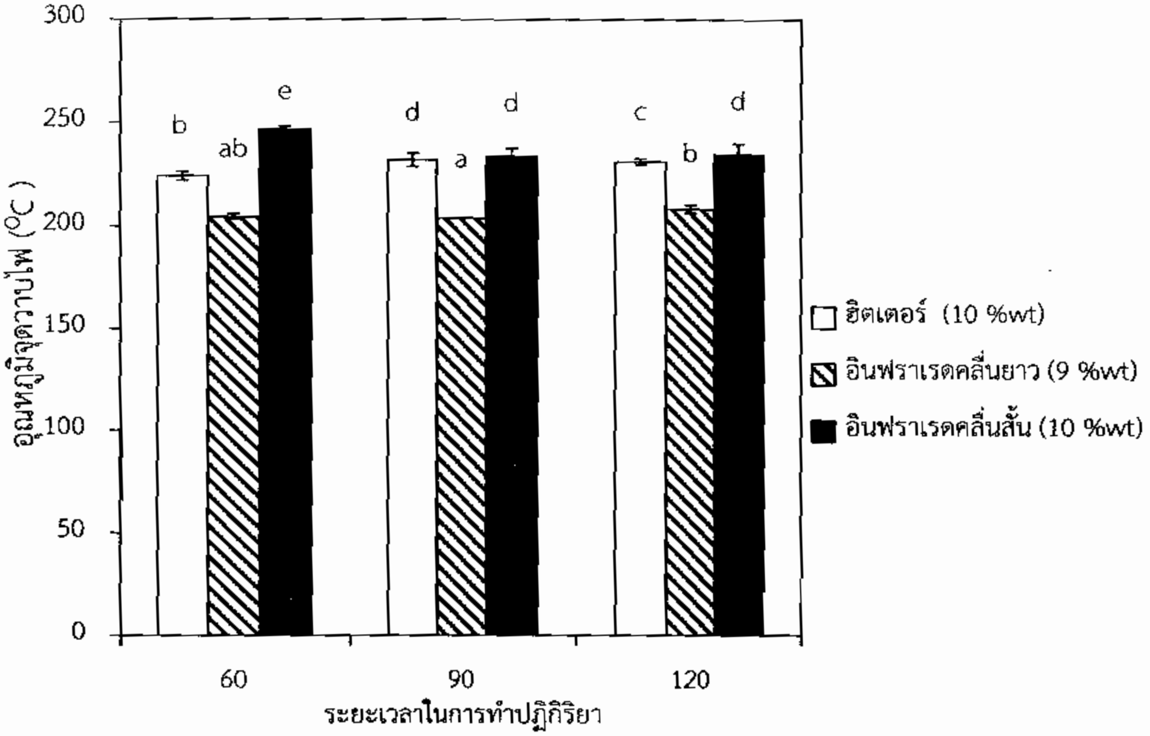
หมายเหตุ: abc ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภาพประกอบ 4.9 ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบตัวให้กำเนิดความร้อน

2. จุดวาบไฟ

จากการศึกษาที่สภาวะเดียวกัน และความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใกล้เคียงกันที่สามารถยอมรับได้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบจะสังเกตได้ว่าการให้ความร้อนจากรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวนั้นทำให้จุดวาบไฟมีค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยที่การให้ความร้อนแบบรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นและการให้ความร้อนจากฮิตเตอร์มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันตามที่แสดงในภาพประกอบ 4.10

Mahasarakham University



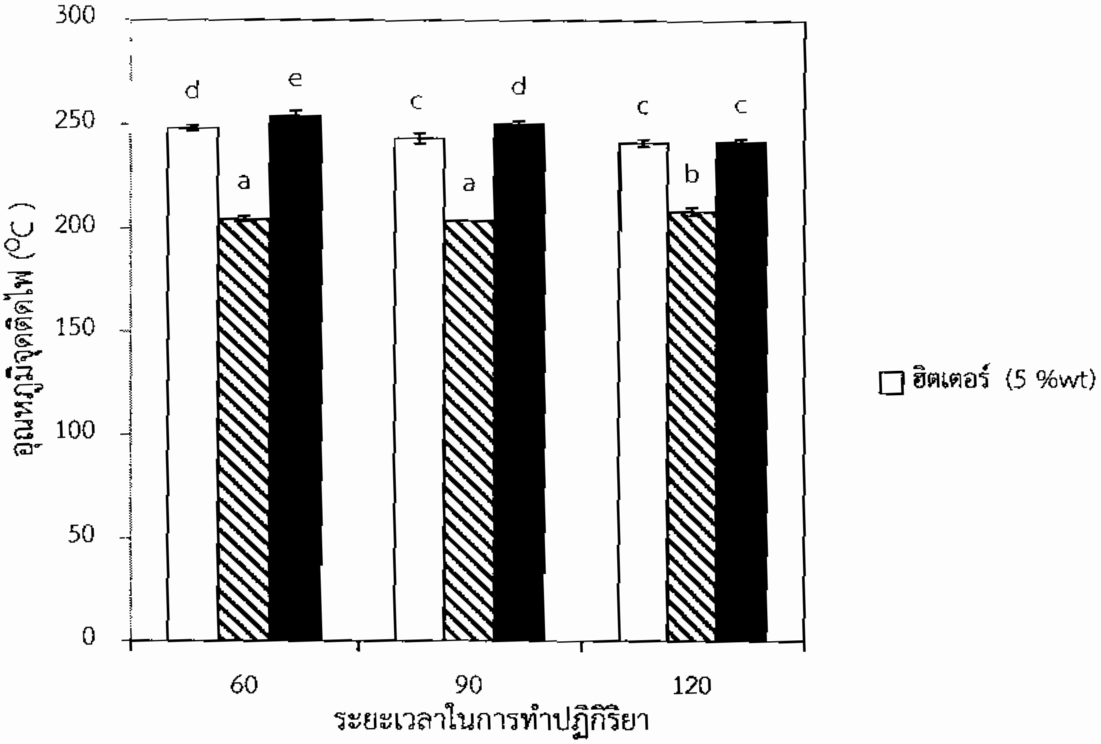
หมายเหตุ: [abce]ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภาพประกอบ 4.10 ค่าจุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบตัวให้กำเนิดความร้อน

3. จุดติดไฟ

จากการศึกษาที่สภาวะเดียวกัน และความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใกล้เคียงกันที่สามารถยอมรับได้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบจะสังเกตได้ว่าการให้ความร้อนจากรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวนั้นทำให้จุดติดไฟมีค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยที่การให้ความร้อนแบบรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นนั้นมีแนวโน้มที่มากว่าการให้ความร้อนจากฮิตเตอร์ตามแสดงในภาพประกอบ 4.11

Mahasarakham University



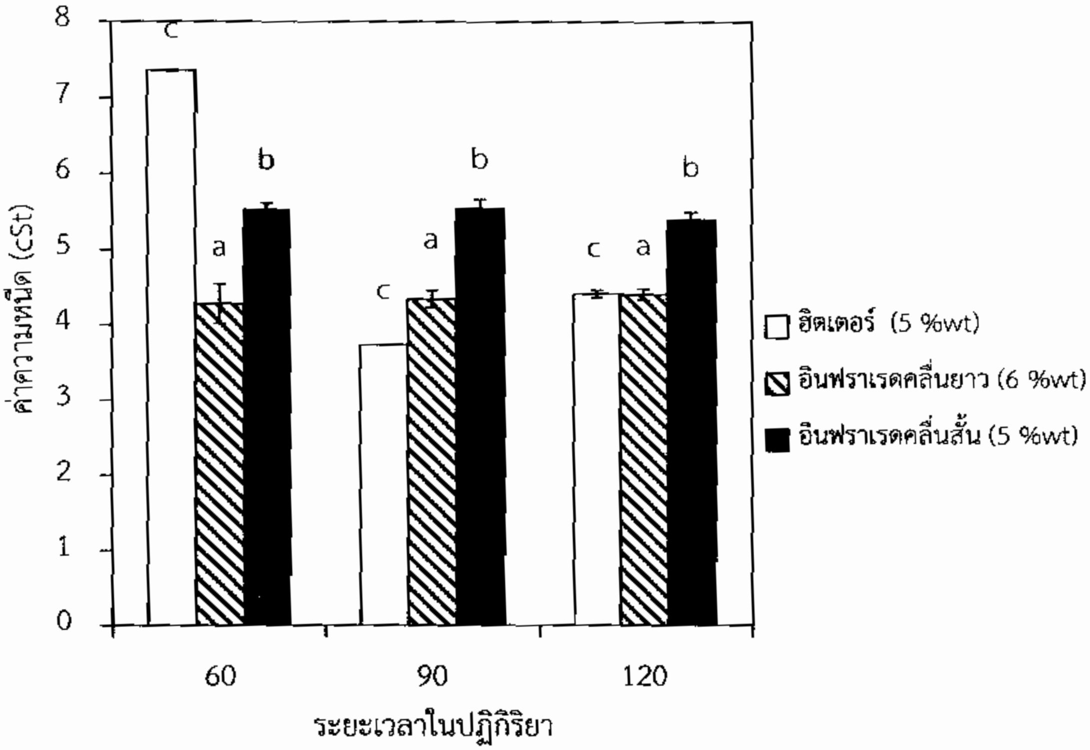
หมายเหตุ: [abce]ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภาพประกอบ 4.11 ค่าจุดติดไฟ (องศาเซลเซียส) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบตัวให้กำเนิดความร้อน

4. ความหนืด

จากการศึกษาที่สภาวะเดียวกัน และความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใกล้เคียงกันที่สามารถยอมรับได้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบจะสังเกตได้ว่าการให้ความร้อนจากรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวนั้นทำให้ความหนืดมีค่าน้อยที่สุด โดยที่การให้ความร้อนแบบรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น และการให้ความร้อนจากฮิตเตอร์มีค่ามากขึ้นตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ตามแสดงในภาพประกอบ 4.12

Mahasarakham University



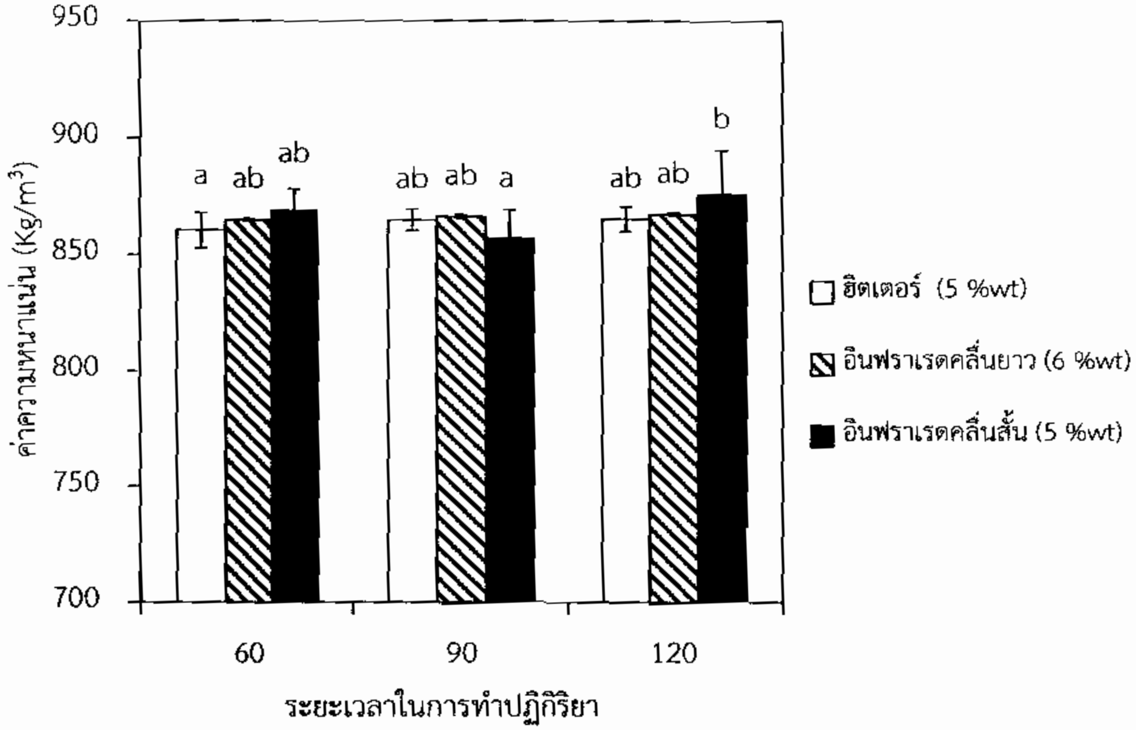
หมายเหตุ: [abc]ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภาพประกอบ 4.12 ค่าความหนืด (เซนติสโตรกส์) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบตัวให้กำเนิดความร้อน

5. ค่าความหนาแน่น

จากการศึกษาเมื่อเปรียบที่สภาวะเดียวกัน และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใกล้เคียงกันที่สามารถยอมรับได้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ จะสังเกตได้ว่า การให้กำเนิดความร้อนจากทั้งสามชนิดนั้นมีแนวโน้มที่ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นของเมทิลเอสเทอร์ตามที่แสดงในภาพประกอบ 4.13

Mahasarakham University



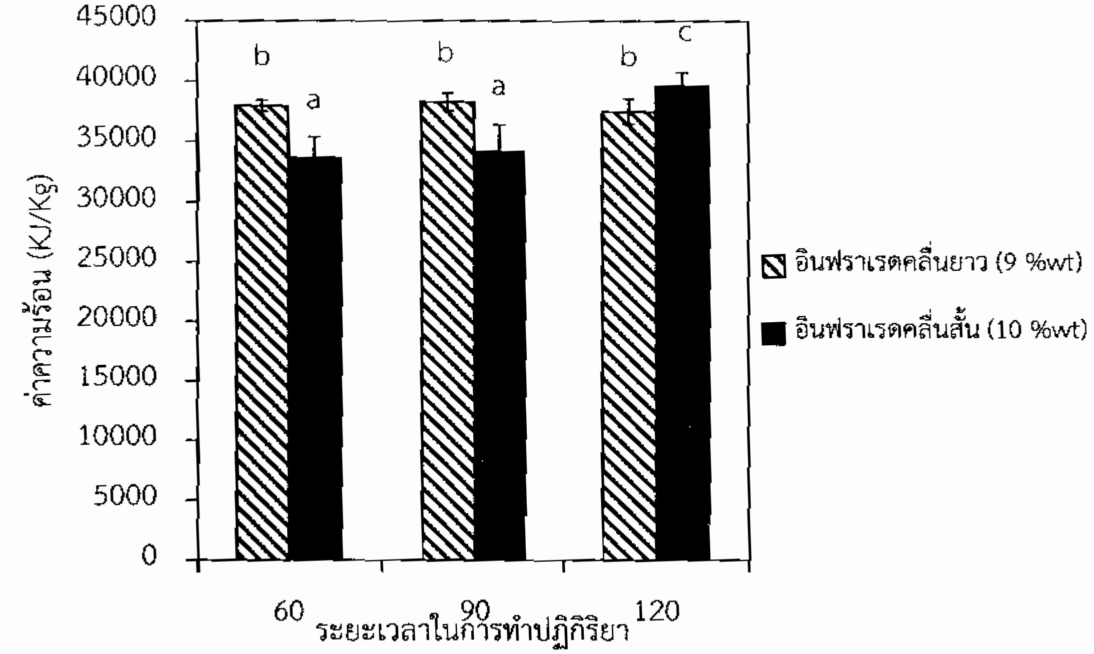
หมายเหตุ: [abc] ที่แตกต่างกัน หมายถึง มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภาพประกอบ 4.13 ค่าความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบตัวให้กำเนิดความร้อน

6. ค่าความร้อน

จากการศึกษาที่สภาวะเดียวกัน และความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใกล้เคียงกันที่สามารถยอมรับได้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบโดยค่าความร้อนนี้ได้ทำการเปรียบเทียบแค่ 2 ชนิด คือ การให้ความร้อนแบบรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นและการให้ความร้อนแบบรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว เพราะว่าไม่ได้ทำการทดลองหาค่าความร้อนของการให้ความร้อนแบบฮีตเตอร์ จะสังเกตได้ว่า ที่เวลา 60 และ 90 นาที ค่าความร้อนของการให้ความร้อนจากรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวมีค่ามากกว่าการให้ความร้อนแบบรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ที่เวลา 120 นาที ค่าความร้อนที่ได้มีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

Mahasarakham University



หมายเหตุ: [abc]ที่แตกต่างกัน **หมายถึง** มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยความสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p<0.05$)

ภาพประกอบ 4.14 ค่าความร้อน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม) ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบตัวให้กำเนิดความร้อน

Mahasarakham University

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการนำรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นมาช่วยในกระบวนทรานสเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันที่ใช้แล้ว โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากเปลือกเหลือทิ้งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยก่อนทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันได้นำน้ำมันใช้แล้วมาบำบัดด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้กรดซัลฟิวริกร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 4:1 และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ในส่วนของปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 12:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 90 และ 120 นาที ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้ได้บทสรุปและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยต่อไปดังนี้

สรุปผล

1. อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน

จากการศึกษาพบว่าอิทธิพลของเวลาทำให้ปริมาณร้อยละผลได้ ปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยค่าจุดวาบไฟ จุดติดไฟ และค่าความหนาแน่นของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2. อิทธิพลของความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน

จากการศึกษาพบว่าอิทธิพลความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นทำให้ จุดวาบไฟ และจุดติดไฟของเมทิลเอสเทอร์ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยปริมาณร้อยละผลได้และค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มลดลง และค่าความหนาแน่นของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน

3. จากการเปรียบเทียบการให้ความร้อนระหว่างฮิตเตอร์ รังสีอินฟราเรดคลื่นยาว และรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น

จากการศึกษาพบ ปริมาณร้อยละผลได้มีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน ปริมาณกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มว่า การให้ความร้อนแบบรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว มีปริมาณมากกว่าการให้ความร้อนแบบรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น และการให้ความร้อนฮิตเตอร์ ตามลำดับ จุดวาบไฟและจุดติดไฟ พบว่าการให้ความร้อนแบบรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น มีค่ามากกว่าการให้ความร้อนแบบรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวและการให้

Mahasarakham University

ความร้อนฮิตเตอร์อย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ค่าความหนืดนั้น แนวโน้มไม่แตกต่างกันทั้ง 3 แบบอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันทั้ง 3 แบบ และค่าความร้อนมีแนวโน้มว่าการให้ความร้อนแบบรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวมีค่ามากกว่าการให้ความร้อนแบบรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น

ข้อเสนอแนะ

1. น้ำมันที่ได้จากกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันก่อนนำไปทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันต่อนั้น ไม่ควรเก็บไว้นานจนเกินไป

2. ควรศึกษาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันด้วย เนื่องจากเป็นน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้วอาจจะมีน้ำหลงเหลืออยู่ ซึ่งอาจส่งผลต่อปริมาณผลได้ของเมทิลเอสเทอร์

3. ควรระมัดระวังและควรเก็บตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้งานให้มากที่สุด และในขั้นตอนการ-อบแห้งก่อนนำกลับมาใช้ซ้ำนั้น ควรเพิ่มระยะเวลาในการอบแห้งให้นานขึ้นเพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหลือความชื้นน้อยที่สุด

4. ในการผสมตัวเร่งปฏิกิริยาในเมทานอลอาจเพิ่มระยะเวลาในการผสมให้นานขึ้น เพื่อจะเปลี่ยนแคลเซียมออกไซด์ให้เป็นแคลเซียมเมท็อกไซด์ที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาที่มากกว่า

5. ควรปรับปรุงระบบ/เครื่องปฏิกรณ์สำหรับทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้รังสี-อินฟราเรดเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนใหม่ โดยให้เป็นระบบปิดอย่างแท้จริง เพื่อลดการสูญเสียสารทำปฏิกิริยา

Mahasarakham University

บรรณานุกรม

Mahasarakham University

บรรณานุกรม

กรมธุรกิจพลังงาน. *กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน.* กรุงเทพมหานคร; กระทรวงพลังงาน: 2550.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. *สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย.*กลุ่มสถิติและข้อมูลพลังงาน ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทน, 2554.

จักรมาส เลาหวณิช. *การประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร.*วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2554.

จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์. *การผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ด้วยกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์.* วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 2553.

ธีรยุทธ วิไลวัลย์ และ วรวรรณ พันธุมนาวิน. *อินฟราเรด สเปกโตรสโคป.* ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

สุมิตรา ยิ่งยืน และ สุรศักดิ์ สิงห์วงศ์ *รังสีอินฟราเรดร่วมกับกระบวนการทรานสเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์* คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2557.

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, *สถานการณ์นโยบายและมาตรการพลังงานของไทย,* 2544.

Agarwal, A.K. *Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines.* Progress in Energy and Combustion Sciene. (Unpublished manuscript). 2006.

Amin Talebian-Kiakalaieh, Nor Aishah Saidina Amin, Alireza Zarei and Iman Noshadi. *A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil.* [Reserch]. Johor: Universiti Teknologi Malaysia (UTM); 2013.

Barbara Stuart. *Infrared Spectroscopy.* New Jersey; John Wiley & Sons Inc: 2001.

Ferella F, Celso DGM, Michelis DI, Stanisci V, Vegli F. *Optimization of the transesterfication reaction in biodiesel production Fuel.* ; 2010.

Fukuda, H., A. Kondo and H. Noda.. *Biodiesel fuel production by transesterification of oils. Journal of Bioscience and Bioengineering.* ; 2001.

Khan, A.K. 2002. *Research into Biodiesel Kinetics & Catalyst Development.* Available Source, January 1 ; 2007.

Mahasarakham University

บรรณานุกรม (ต่อ)

L.M. Correia et al *Transesterication of non edible feedstock with lithium incorporated egg shell derived CaO for biodiesel production*. Bioresource Technology , 2014 .

Marchetti, J.M., V.U. Miguel and A.F. Errazu. *Possible methods for biodiesel production. Renewable and Sustainable. Energy Reviews.* ; 2005.

Meher, L.C., D. Sagar and S.N. Naik. *Technical aspects of biodiesel production by Transesterification-a review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2004.

N. Viriya-enpikul, P. Krasae, B.Puttasawat, B.Yoosuk, N.Chollacoop, K.Faungnawakij. *Waste shell of mollusk and egg as biodiesel production catalysts. Bioresource technology* ; 2009.

R. Chakraborty et al. *Transesterification of soybean oil catalyzed by fly ash and egg shell derived solid catalysts*. Chemical Engineering Journal , 2010.

Ramadhas, A.S., S. Jayaraj and C. Muraleeharan. *Biodiesel production from high FFA rubber seed oil*. Fuel ; 2005.

Takamura, H., Endo, N. and Matoba, T. *Near infrared spectroscopic determination of moisture content in foods: extraction method by organic solvents. Journal of Near Infrared Spectroscopy ;* 1998.

Vasudevan PT, Briggs M. *Biodiesel production-current state of the art and challenges. J Ind Microbiol Biot.* ; 2008.

Wang Y, Zhang F. Xu S, Yang L, Li D, David EG, et al.Preparation of *Macrospherical magnesia-rich magnesium aluminate spinel catalysts for methanolysis of soybean oil.* Chem Eng Sci ; 2008.

Mahasarakham University

ภาคผนวก

Mahasarakham University

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

Mahasarakham University

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%Yield)

จาก

$$\%Yield = \frac{\text{น้ำหนักเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (g)}}{\text{น้ำหนักน้ำมันพืชที่ใช้ทำปฏิกิริยา (g)}} \times 100\%$$

ตัวอย่าง

เมื่อ น้ำหนักไบโอดีเซลที่ได้ = 130.764 g

น้ำหนักน้ำมันที่ใช้ทำปฏิกิริยา = 200.000 g

แทนค่าลงในสมการ

ดังนั้น

$$\%Yield = \frac{130.730\ (g)}{200.000\ (g)} \times 100\%$$

%Yield = 65.37 %

2. การคำนวณค่าความหนาแน่น

จาก

$$\text{ความหนาแน่นของสาร} = \frac{\text{น้ำหนักของสาร (g)}}{\text{ปริมาตรของสาร (ml)}}$$

ตัวอย่าง

เมื่อ **น้ำหนักของสาร** = 21.926 g

ปริมาตรของสาร = 25.00 ml

แทนค่าลงในสมการ

ดังนั้น

$$\text{ความหนาแน่นของสาร} = \frac{22.926\ g}{25.00\ ml}$$

$$= 0.877040\ g/m^3$$

$$= 877.040\ kg/m^3$$

Mahasarakham University

3. การคำนวณหาค่าความหนืด

จาก

$\nu = C\,t$

โดยที่ ν = Kinematic viscosity มีหน่วยเป็น cSt (Centistokes หรือ mm^2/s)

C = ค่าคงที่ของ Viscometer มีหน่วยเป็น cSt/s

t = Flow Time ที่ได้จากการจับเวลา มีหน่วยเป็นวินาที

ตัวอย่าง

เมื่อ C = 1.343 cSt/s

t = 2.75 s

แทนค่าลงในสมการ

ดังนั้น

ν = (1.343 cSt/s) X (2.75 s)

= 3.693 cSt

4. การคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA)

จาก

$$\%FFA = \frac{\text{ปริมาตร NaOH (ml) x ความเข้มข้น NaOH 0.1 N x 28.2}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

ตัวอย่าง

เมื่อ ปริมาตร NaOH = 1.19 ml

น้ำหนักสารตัวอย่างที่ใช้ = 10 g

แทนค่าลงในสมการ

ดังนั้น

$$\%FFA = \frac{1.19 \text{ ml} \times 0.1 \text{ N} \times 28.2}{10 \text{ g}}$$

%FFA = 0.335 %

5. การคำนวณค่าความร้อน

Mahasarakham University

จาก

$$Hg = \frac{tW-e_1-e_2-e_3}{m}$$

โดยที่ Hg = ค่าความร้อน (Gross of combustion) (Cal/g)

t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการทดลอง (อุณหภูมิสูงสุด – อุณหภูมิก่อนที่จะทำการจุดระเบิด) (°C)

W = ค่าพลังงานของลูกบอมบ์ที่ได้จากการทำ Standardization (Cal/ °C)

e_1 = ค่าความร้อนจากกรดไนตริก โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0

e_2 = ค่าความร้อนจากกรดซัลฟูริก โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0

e_3 = ค่าความยาวของลวดจุดระเบิดที่เหลือจากการจุดระเบิด (cm) มาคูณ 2.3 (Cal)

ตัวอย่าง

เมื่อ t = 2.544

W = 2,375.469

e_1 = 0

e_2 = 0

e_3 = 17.710

m = 0.9

แทนค่าลงในสมการ

ดังนั้น

$$\text{ค่าความร้อน} = \frac{(2.544 \times 2,375.469)-17.710)}{0.9}$$

= 6694.981 Cal/g

เปลี่ยนหน่วยจาก Cal เป็น J โดยคูณ 4.187

= 28,025.192 kJ/kg

Mahasarakham University

ภาคผนวก ข

ตารางข้อมูล

Mahasarakham University

ตาราง 4.1 ข้อมูลประกอบการหาปริมาณร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	น้ำหนักน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา (กรัม)	น้ำหนักเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (กรัม)		ปริมาณร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ (กรัม)		ค่าเฉลี่ย
			ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 1	ครั้ง 2	
60	5	200	134.370	133.66	67.19	66.83	67.01±0.25
	10	200	136.210	135.73	68.11	67.86	67.98±0.17
	15	200	139.700	138.98	69.85	69.49	69.67±0.25
90	5	200	135.540	133.55	67.77	66.77	67.27±0.70
	10	200	136.730	134.94	68.37	67.47	67.92±0.63
	15	200	135.205	136.34	67.60	68.17	67.89±0.40
120	5	200	135.231	136.41	67.62	68.21	67.91±0.42
	10	200	133.468	137.65	66.73	68.83	67.78±1.48
	15	200	140.372	137.44	70.19	68.72	69.45±1.04

Mahasarakham University

ตาราง 4.2 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติความหนาแน่นของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ปริมาตรของน้ำมัน (ml)	ครั้งที่	น้ำหนักเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (กรัม)	ค่าความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ค่าเฉลี่ย
60	5	25	1	21.926	877.040	868.920±9.322
		25		22.018	880.720	
		25		21.558	862.320	
		25	2	21.803	872.120	
		25		21.406	856.240	
		25		21.627	865.080	
	10	25	1	21.811	872.440	868.493±5.604
		25		21.658	866.320	
		25		21.569	862.760	
		25	2	21.897	875.880	
		25		21.786	871.440	
		25		21.553	862.120	
	15	25	1	21.390	855.600	864.353±16.790
		25		21.385	855.400	
		25		21.469	858.760	
		25	2	21.985	879.400	
		25		21.164	846.560	
		25		22.260	890.400	

Mahasarakham University

ตาราง 4.2 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติความหนาแน่นของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ปริมาตรของน้ำมัน (ml)	ครั้งที่	น้ำหนักเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (กรัม)	ค่าความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ค่าเฉลี่ย
90	5	25	1	21.607	864.280	856.927±12.079
		25		21.064	842.560	
		25		21.026	841.040	
		25	2	21.553	862.120	
		25		21.543	861.720	
		25		21.746	869.840	
	10	25	1	21.286	851.440	859.887±6.118
		25		21.351	854.040	
		25		21.675	867.000	
		25	2	21.518	860.720	
		25		21.520	860.800	
		25		21.633	865.320	
	15	25	1	21.589	863.560	873.433±8.173
		25		21.950	878.000	
		25		22.171	886.840	
		25	2	21.692	867.680	
		25		21.803	872.120	
		25		21.810	872.400	

Mahasarakham University

ตาราง 4.2 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติความหนาแน่นของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ปริมาตรของน้ำมัน (ml)	ครั้งที่	น้ำหนักเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (กรัม)	ค่าความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ค่าเฉลี่ย
120	5	25	1	22.811	912.440	875.667±18.816
		25		21.735	869.400	
		25		21.828	873.120	
		25	2	21.865	874.600	
		25		21.610	864.400	
		25		21.501	860.040	
	10	25	1	21.702	868.080	872.787±6.373
		25		21.875	875.000	
		25		21.965	878.600	
		25	2	21.826	873.040	
		25		21.981	879.240	
		25		21.569	862.760	
	15	25	1	21.597	863.880	870.700±10.887
		25		21.860	874.400	
		25		22.281	891.240	
		25	2	21.560	862.400	
		25		21.657	866.280	
		25		21.650	866.000	

Mahasarakham University

ตาราง 4.3 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	ปริมาตร NaOH (ml)	น้ำหนักเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (กรัม)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็น)	ค่าเฉลี่ย
60	5	1	0.70	10.115	0.195	0.228±0.021
			0.80	10.015	0.225	
			0.80	10.118	0.223	
		2	0.900	10.273	0.247	
			0.900	10.024	0.253	
			0.800	10.072	0.224	
	10	1	0.80	10.014	0.225	0.225±0.034
			0.70	11.264	0.175	
			0.70	10.342	0.191	
		2	0.900	10.022	0.253	
			0.900	10.051	0.253	
			0.900	10.063	0.252	
	15	1	0.80	10.312	0.219	0.222±0.015
			0.80	11.217	0.201	
			0.80	10.348	0.218	
		2	0.900	10.268	0.247	
			0.800	10.148	0.222	
			0.800	10.036	0.225	

Mahasarakham University

ตาราง 4.3 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	ปริมาตร NaOH (ml)	น้ำหนักเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (กรัม)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็น)	ค่าเฉลีย
90	5	1	0.90	10.317	0.246	0.244±0.014
			0.90	10.418	0.244	
			0.80	10.389	0.217	
		2	0.900	10.031	0.253	
			0.900	10.022	0.253	
			0.900	10.105	0.251	
	10	1	0.90	12.208	0.208	0.236±0 028
			0.80	11.289	0.200	
			0.90	10.992	0.231	
		2	0.900	10.027	0.253	
			1.000	10.342	0.273	
			0.900	10.197	0.249	
	15	1	0.70	10.254	0.193	0.228±0.023
			0.80	10.092	0.224	
			0.90	10.014	0.253	
		2	0.800	10.018	0.225	
			0.800	10.103	0.223	
			0.900	10.043	0.253	

Mahasarakham University

ตาราง 4.3 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	ปริมาตร NaOH (ml)	น้ำหนักเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ (กรัม)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็น)	ค่าเฉลี่ย
120	5	1	0.90	10.092	0.251	0.247±0.011
			0.90	10.064	0.252	
			0.90	10.135	0.250	
		2	0.900	10.226	0.248	
			0.800	10.033	0.225	
			0.900	10.005	0.254	
	10	1	0.90	10.294	0.247	0.223±0.023
			0.90	10.142	0.250	
			0.80	11.247	0.201	
		2	0.700	10.104	0.195	
			0.800	10.049	0.224	
			0.800	10.213	0.221	
	15	1	0.80	10.148	0.222	0.215±0.021
			0.80	10.281	0.219	
			0.90	12.238	0.207	
		2	0.700	10.067	0.196	
			0.900	10.107	0.251	
			0.700	10.112	0.195	

Mahasarakham University

ตาราง 4.4 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	ค่าคงที่ของ Viscometer (cSt/s)	เวลา (วินาที)	ค่าความหนืด (เซนติสโตรกส์)	ค่าเฉลี่ย
60	5	1	0.034	159.82	5.415	5.528±0.085
			0.034	160.79	5.448	
			0.034	166.35	5.636	
		2	0.034	165.340	5.602	
			0.034	163.273	5.532	
			0.034	163.477	5.539	
	10	1	1.343	3.01	4.042	4.130±0.195
			1.343	2.95	3.962	
			1.343	3.12	4.190	
		2	1.343	3.120	4.190	
			1.343	2.930	3.935	
			1.343	3.320	4.459	
	15	1	0.104	40.72	4.251	4.124±0.151
			0.104	40.78	4.257	
			0.104	40.82	4.262	
		2	0.104	37.548	3.920	
			0.104	38.675	4.038	
			0.104	38.457	4.015	

Mahasarakham University

ตาราง 4.4 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	ค่าคงที่ของ Viscometer (cSt/s)	เวลา (วินาที)	ค่าความหนืด (เซนติสโตรกส์)	ค่าเฉลี่ย
90	5	1	0.034	158.43	5.368	5.539±0.115
			0.034	163.98	5.556	
			0.034	160.23	5.429	
		2	0.034	166.453	5.639	
			0.034	165.342	5.602	
			0.034	166.477	5.640	
	10	1	1.343	3.24	4.351	4 007±0.464
			1.343	2.87	3.854	
			1.343	3.31	4.445	
		2	1.343	2.380	3.196	
			1.343	3.190	4.284	
			1.343	2.910	3.908	
	15	1	0.104	39.45	4.119	3.939±0.167
			0.104	38.65	4.035	
			0.104	39.23	4.096	
		2	0.104	36.920	3.854	
			0.104	35.520	3.708	
			0.104	36.630	3.824	

Mahasarakham University

ตาราง 4.4 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	ค่าคงที่ของ Viscometer (cSt/s)	เวลา (วินาที)	ค่าความหนืด (เซนติสโตรกส์)	ค่าเฉลี่ย
120	5	1	0.034	155.82	5.279	5.397±0.093
			0.034	158.39	5.366	
			0.034	157.89	5.349	
		2	0.034	160.432	5.435	
			0.034	159.343	5.399	
			0.034	163.968	5.555	
	10	1	1.343	2.75	3.693	3.969±0.495
			1.343	2.50	3.358	
			1.343	2.63	3.532	
		2	1.343	3.250	4.365	
			1.343	3.280	4.405	
			1.343	3.320	4.459	
	15	1	0.104	40.31	4.208	3.930±0.316
			0.104	39.76	4.151	
			0.104	40.82	4.262	
		2	0.104	33.670	3.515	
			0.104	35.210	3.676	
			0.104	36.120	3.771	

Mahasarakham University

ตาราง 4.5 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติจุดวาบไฟของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย
60	5	1	241.90	246.767±3.485
			245.70	
			243.80	
		2	250.4	
			249.5	
			249.3	
	10	1	216.30	214.667±1.503
			214.10	
			212.40	
		2	216.4	
			214.3	
			214.5	
	15	1	205.60	206.933±7.982
			193.20	
			203.50	
		2	214.3	
			212.2	
			212.8	

Mahasarakham University

ตาราง 4.5 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติจุดวาบไฟของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย
90	5	1	230.40	233.767±3.842
			229.40	
			231.50	
		2	235.4	
			237.4	
			238.5	
	10	1	220.30	220.000±1.161
			219.40	
			220.90	
		2	219.4	
			221.6	
			218.4	
	15	1	198.30	202.183±2.564
			202.40	
			200.30	
		2	205.4	
			204.1	
			202.6	

Mahasarakham University

ตาราง 4.5 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติจุดวาบไฟของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย
120	5	1	232.40	234.833±5.161
			228.40	
			230.10	
		2	239.4	
			238.4	
			240.3	
	10	1	210.60	220.850±8.946
			215.10	
			212.80	
		2	228.5	
			227.6	
			230.5	
	15	1	201.50	206.067±6.278
			200.90	
			199.40	
		2	210.4	
			214.7	
			209.5	

Mahasarakham University

ตาราง 4.6 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติจุดติดไฟของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	จุดติดไฟ (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย
60	5	1	251.6	254.067±2.540
			256.8	
			256.3	
		2	253 5	
			255.5	
			250.7	
	10	1	222.8	229.717±7.265
			228.9	
			219.6	
		2	234.6	
			234.6	
			237.8	
	15	1	214.8	217.583±10.423
			198.7	
			216.4	
		2	224.6	
			226.7	
			224.3	

Mahasarakham University

ตาราง 4.6 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติจุดติดไฟของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	จุดติดไฟ (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย
90	5	1	248.1	250.283±1.486
			252.3	
			250.3	
		2	249.3	
			251.4	
			250.3	
	10	1	230.1	233.967±4.065
			231.5	
			229.4	
		2	236.9	
			238.4	
			237.5	
	15	1	215.3	218.283±5.284
			214.2	
			211.9	
		2	220.2	
			222.8	
			225.3	

Mahasarakham University

ตาราง 4.6 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติจุดติดไฟของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	จุดติดไฟ (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย
120	5	1	243.6	241.683±1.425
			241.3	
			241.4	
		2	239.4	
			241.7	
			242.7	
	10	1	220.9	229.200±4.934
			230.1	
			225.7	
		2	232.5	
			233.1	
			232.9	
	15	1	214.3	219.267±3.886
			218.6	
			215.2	
		2	221.3	
			223.5	
			222.7	

Mahasarakham University

ตาราง 4.7 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติค่าความร้อนของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	มวล (g)	ขดลวดทั้งหมด (cm)	ขดลวดที่เหลือ (cm)	e_3	Tmin (°C)	Tmax (°C)	T (°C)	W (Cal/°C)	Hg (Cal/g)	ค่าความร้อน (kj/kg)	ค่าเฉลี่ย
60	5	1	1.1	10.0	2.3	17.7	31.6	35.2	3.5	2,375.5	7,637.2	31,969.4	33,668.6 ±1,702.8
			1.0	10.0	2.4	17.5	31.8	35.3	3.5	2,375.5	8,351.3	34,958.5	
			1.0	10.0	2.2	17.9	31.7	35.2	3.5	2,375.5	8,365.1	35,016.3	
		2	1.1	10.0	2.2	18.1	31.8	35.3	3.5	2,375.5	7,561.3	31,651.7	
			1.0	10.0	2.1	18.2	31.8	35.3	3.5	2,375.5	8,300.7	34,746.8	
	10	1	1.1	10.0	2.2	17.9	30.6	35.2	4.5	2,375.5	9,796.5	41,008.3	37,509.5 ±2,809.0
			1.0	10.0	2.2	17.9	30.7	34.3	3.5	2,375.5	8,388.8	35,115.7	
			1.0	10.0	2.2	17.9	31.7	35.2	3.5	2,375.5	8,384.1	35,095.8	
		2	0.9	10.0	2.2	17.9	31.4	34.6	3.2	2,375.5	8,423.5	35,260.9	
			0.9	10.0	2.0	18.4	30.9	34.6	3.7	2,375.5	9,734.8	40,749.8	
			1.1	10.0	2.2	17.9	31.5	35.7	4.2	2,375.5	9,036.4	37,826.3	
	15	1	1.0	10.0	2.0	18.4	30.7	35.1	4.5	2,375.5	10,544.,4	44,138.8	39,878.5 ±3,859.2
			1.0	10.0	2.1	18.2	30.8	34.2	3.4	2,375.5	8,329.5	34,867.4	
			1.0	10.0	2.1	18.2	31.6	35.3	3.7	2,375.5	8,818.9	36,915.8	
		2	1.0	10.0	2.2	18.0	31.0	35.0	4.1	2,375.5	9,835.0	41,169.2	
			1.0	10.0	2.2	17.9	32.0	36.1	4.1	2,375.5	10,105.5	42,301.4	

Mahasarakham University

ตาราง 4.7 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติค่าความร้อนของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	มวล (g)	ขดลวดทั้งหมด (cm)	ขดลวดที่เหลือ (cm)	e_3	Tmin (°C)	Tmax (°C)	T (°C)	W (Cal/°C)	Hg (Cal/g)	ค่าความร้อน (kj/kg)	ค่าเฉลี่ย
90	5	1	1.0	10.0	2.2	17.9	31.7	35.2	3.5	2,375.5	8,026.9	33,600.6	34,148.7 ±2,224.5
			1.0	10.0	2.1	18.2	32.8	36.3	3.5	2,375.5	8,209.1	34,363.4	
			1.0	10.0	2.2	17.9	31.7	34.8	3.1	2,375.5	7,403.0	30,989.1	
		2	1.0	10.0	2.2	17.9	32.0	35.7	3.7	2,375.5	8,884.9	37,192.0	
			1.0	10.0	2.2	17.9	32.0	35.3	3.3	2,375.5	8,265.3	34,598.3	
	10	1	1.0	10.0	2.1	18.2	31.6	35.4	3.8	2,375.5	8,947.6	37,454.8	38,299.3 ±1,133.9
			1.0	10.0	2.2	17.9	29.6	33.5	3.9	2,375.5	9,081.4	38,014.7	
		2	1.0	10.0	2.1	18.2	29.7	33.8	4.1	2,375.5	9,600.5	40,187.7	
			1.0	10.0	2.1	18.2	29.9	33.9	4.0	2,375.5	9,177.5	38,417.0	
			1.0	10.0	2.1	18.2	30.0	33.9	3.9	2,375.5	8,939.9	37,422.3	
	15	1	1.1	10.0	2.2	17.9	31.0	35.9	4.9	2,375.5	10,634.4	44,515.7	43,774.1 ±2,179.5
		2	1.0	10.0	2.2	17.9	31.0	35.2	4.2	2,375.5	9,871.1	41,320.6	
			1.0	10.0	2.1	18.2	31.1	35.7	4.6	2,375.5	10,866.2	45,486.0	

Mahasarakham University

ตาราง 4.7 ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สมบัติค่าความร้อนของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

เวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (%wt)	ครั้งที่	มวล (g)	ขดลวดทั้งหมด (cm)	ขดลวดที่เหลือ (cm)	e_3	Tmin (°C)	Tmax (°C)	T (°C)	W (Cal/°C)	Hg (Cal/g)	ค่าความร้อน (kj/kg)	ค่าเฉลี่ย
120	5	1	1.0	10.0	2.2	17.9	30.1	34.1	4.0	2,375.5	9519.7	39,849.7	39,593.0 ±1,129.5
			1.0	10.0	2.2	17.9	30.8	34.8	4.1	2,375.5	9,752.5	40,823.9	
			1.0	10.0	2.2	17.9	30.7	34.6	3.9	2,375.5	9,016.2	37,741.7	
		2	1.0	10.0	2.2	17.9	30.1	34.2	4.1	2,375.5	9,530.6	39,895.0	
			1.0	10.0	2.2	17.9	30.4	34.6	4.2	2,375.5	9,473.2	39,654.8	
	10	1	1.0	10.0	2.2	17.9	31.0	35.1	4.1	2,375.5	9,700.1	40,604.6	42,037.0 ±1,617.6
		2	1.0	10.0	2.1	18.2	31.5	35.5	4.0	2,375.5	9,965.3	41,714.9	
			0.9	10.0	2.2	17.9	31.3	35.1	3.9	2,375.5	10,461.4	43,791.3	
	15	1	1.0	10.0	2.1	18.2	32.0	36.0	4.0	2,375.5	9,553.1	39,989.3	39,540.3 ±1,629.4
			1.0	10.0	2.2	17.9	32.0	36.0	4.0	2,375.5	9,500.6	39,769.4	
		2	1.0	10.0	2.2	17.9	31.4	35.5	4.1	2,375.5	9,826.9	41,135.3	
			1.0	10.0	2.1	18.2	31.1	34.9	3.7	2,375.5	8,902.9	37,267.3	

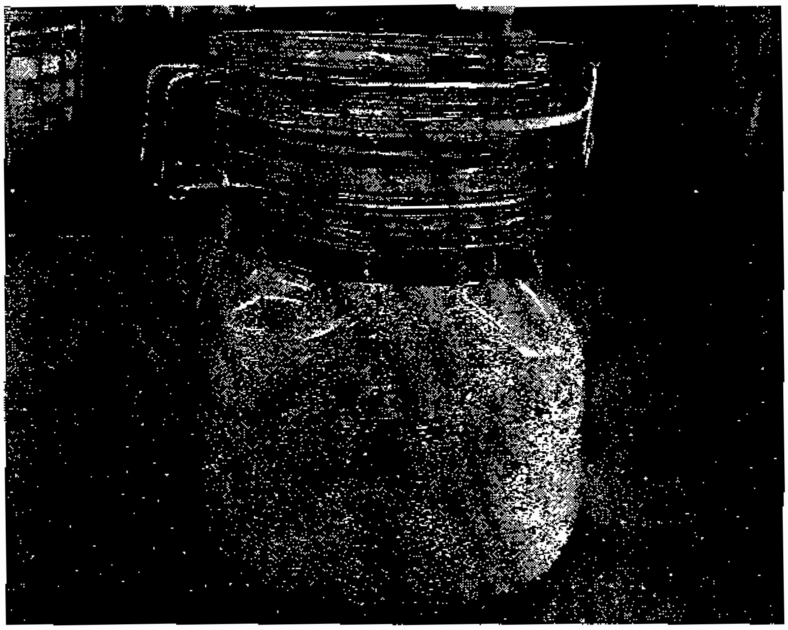
Mahasarakham University

ภาคผนวก ค

ภาพประกอบ

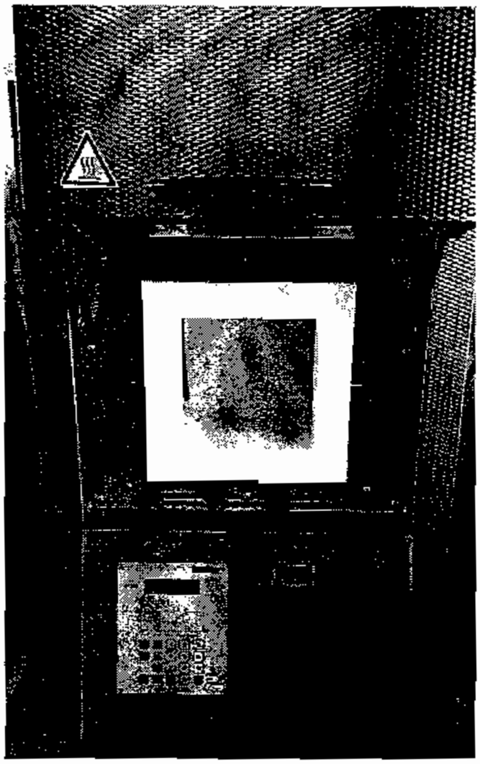
Mahasarakham University

ภาพประกอบ 1 เปลือกไข่ไก่ที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว

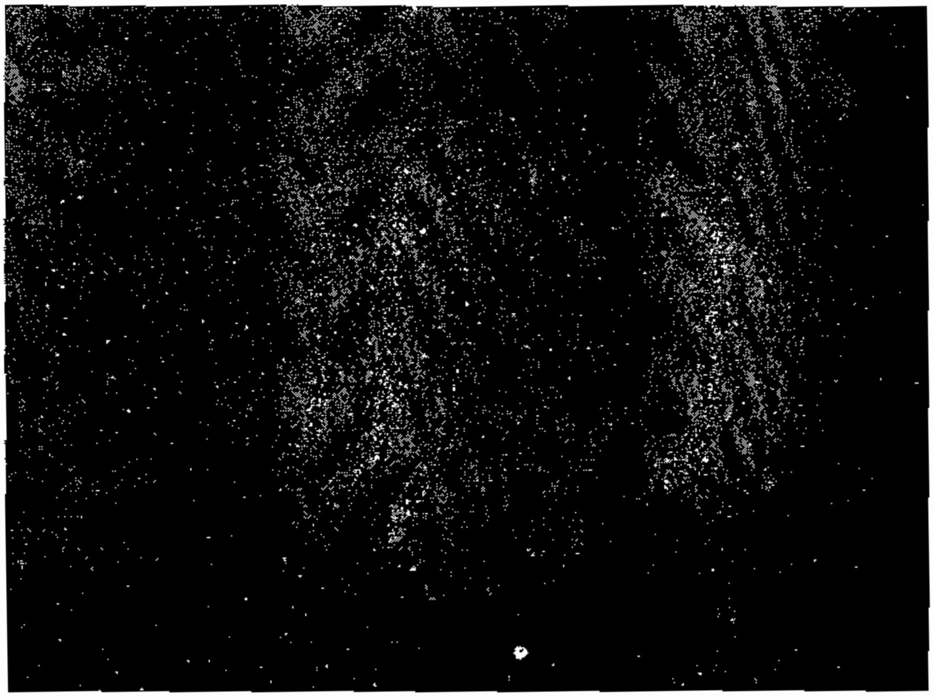


ภาพประกอบ 2 ผงเปลือกไข่ที่ผ่านการบดละเอียด

Mahasarakham University



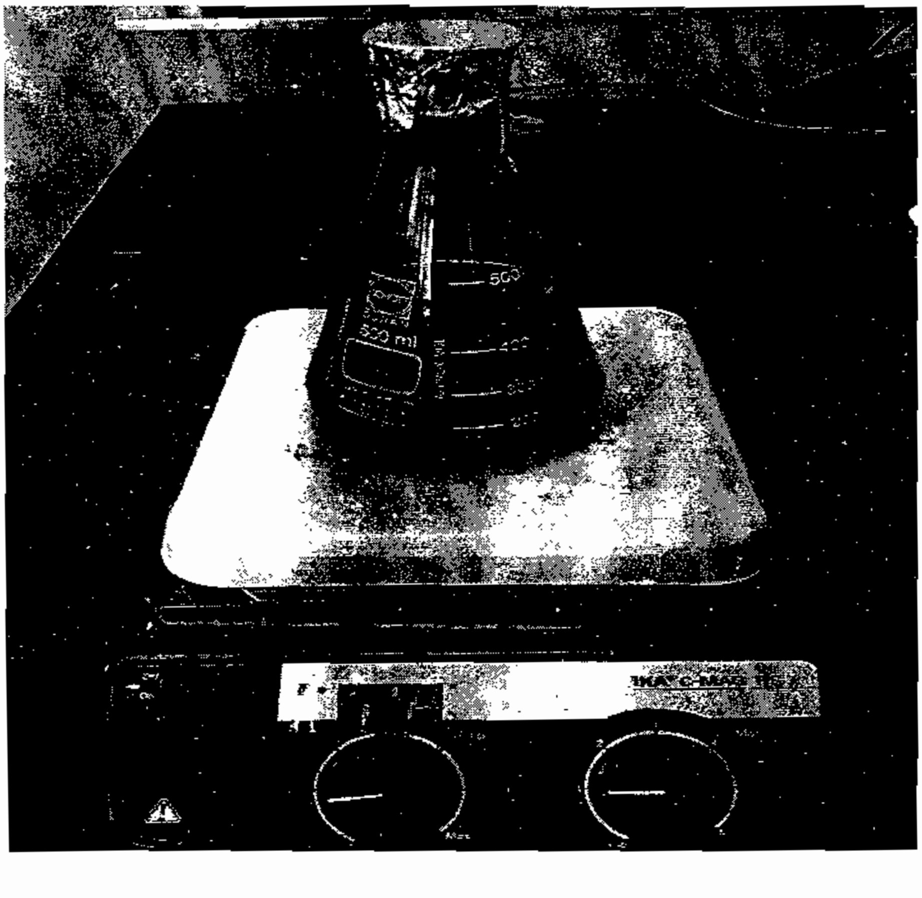
ภาพประกอบ 3 การเผาผงเปลือกไข่ไก่ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที (กระบวนการแคลซิเนชัน)



ภาพประกอบ 4 ผงแคลเซียมออกไซด์ที่ได้หลังผ่านกระบวนการแคลซิเนชัน

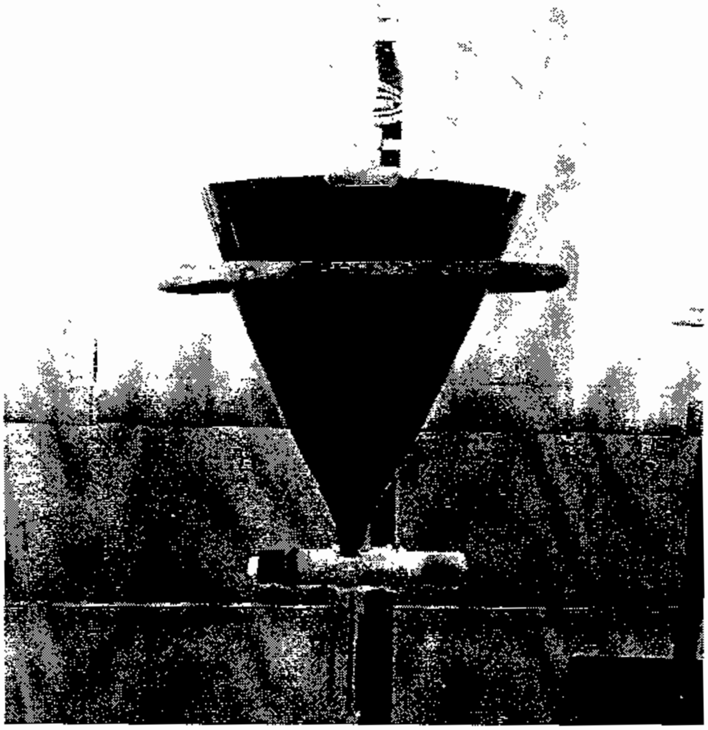
Mahasarakham University

ภาพประกอบ 5 การต้มน้ำมันใช้แล้วที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

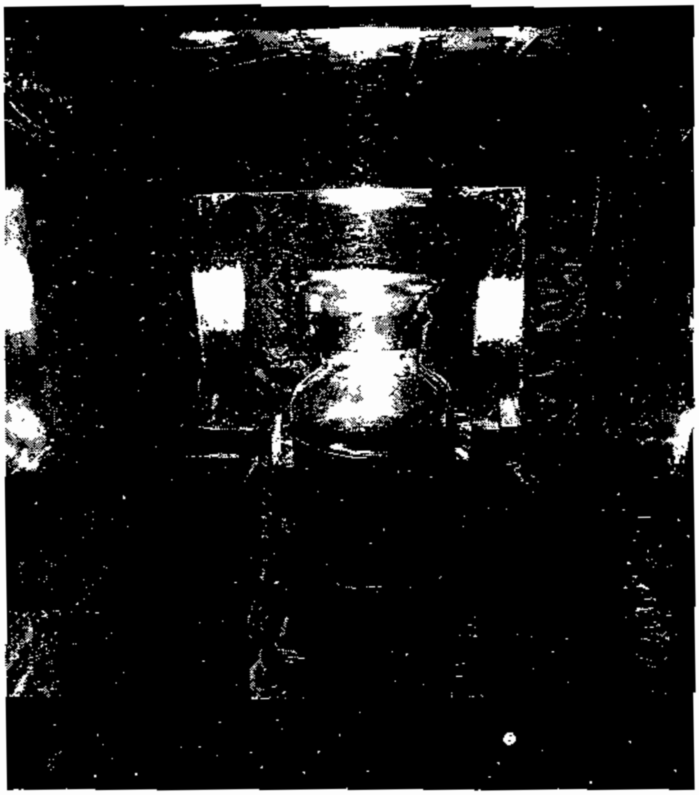


ภาพประกอบ 6 การทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน

Mahasarakham University

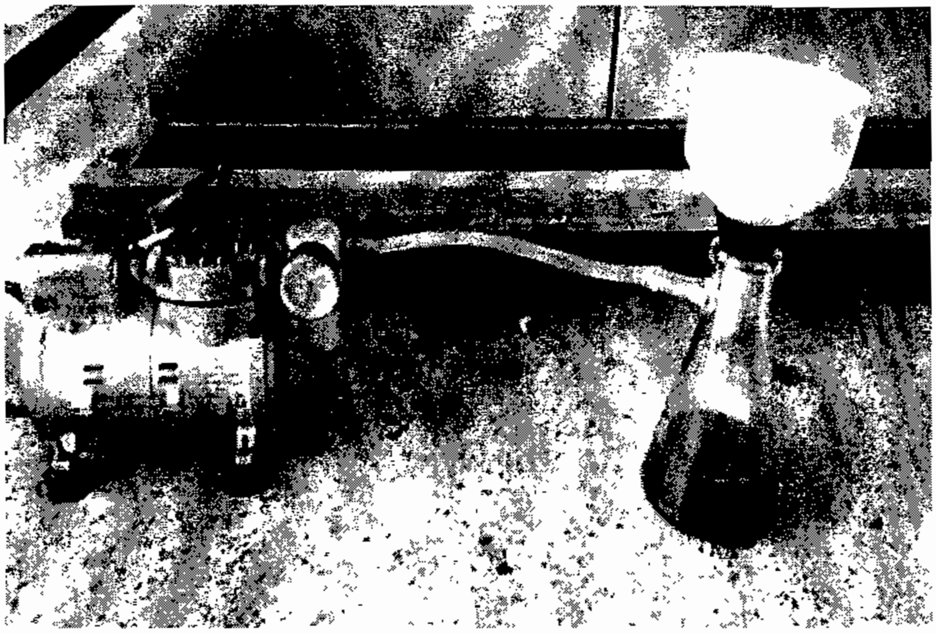


ภาพประกอบ 7 น้ำมันที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน



ภาพประกอบ 8 ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 9 ขั้นตอนการกรองตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยชุดกรองสุญญากาศ

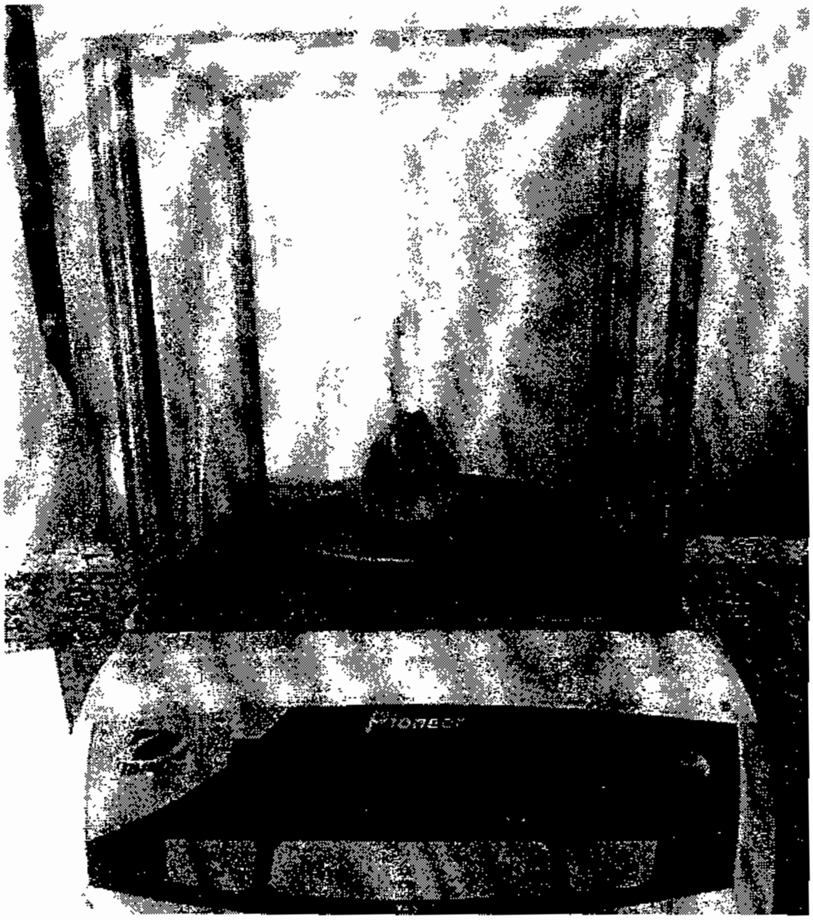
ภาพประกอบ 10 การปั่นเหวี่ยงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน
ที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

Mahasarakham University

ภาพประกอบ 11 เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน

ภาพประกอบ 12 การหาค่าปริมาณผลได้ของเมทิลเอสเทอร์

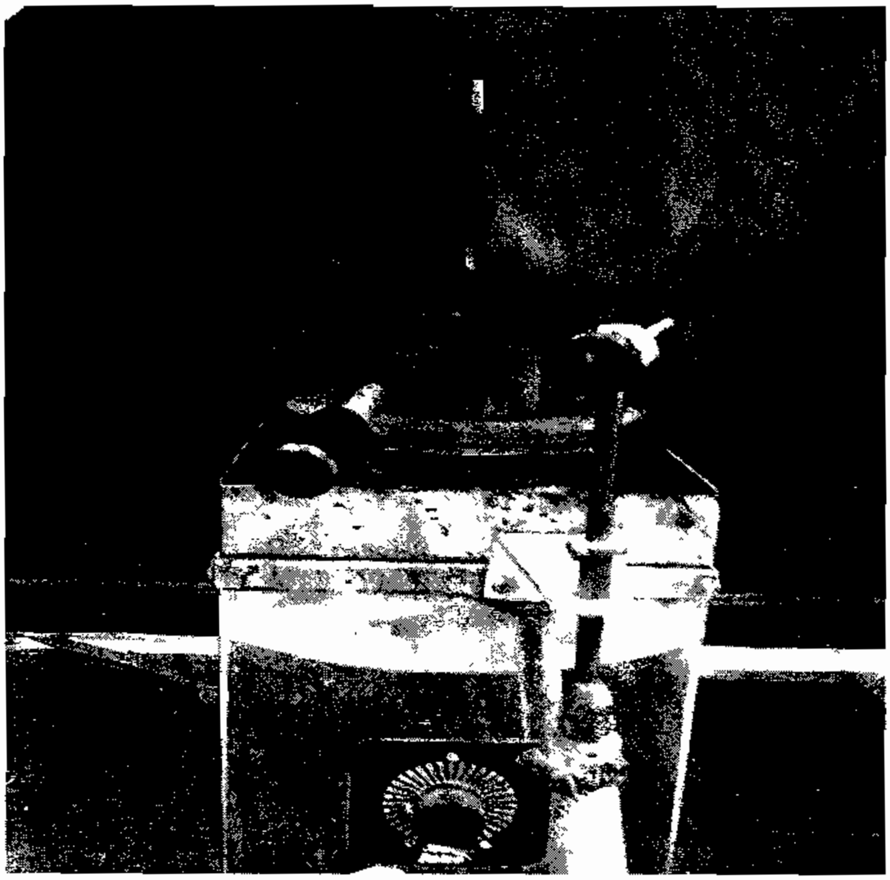
Mahasarakham University



ภาพประกอบ 13 การหาค่าความหนาแน่นของเมทิลเอสเทอร์

ภาพประกอบ 14 การหาค่าปริมาณกรดไขมันอิสระของเมทิลเอสเทอร์

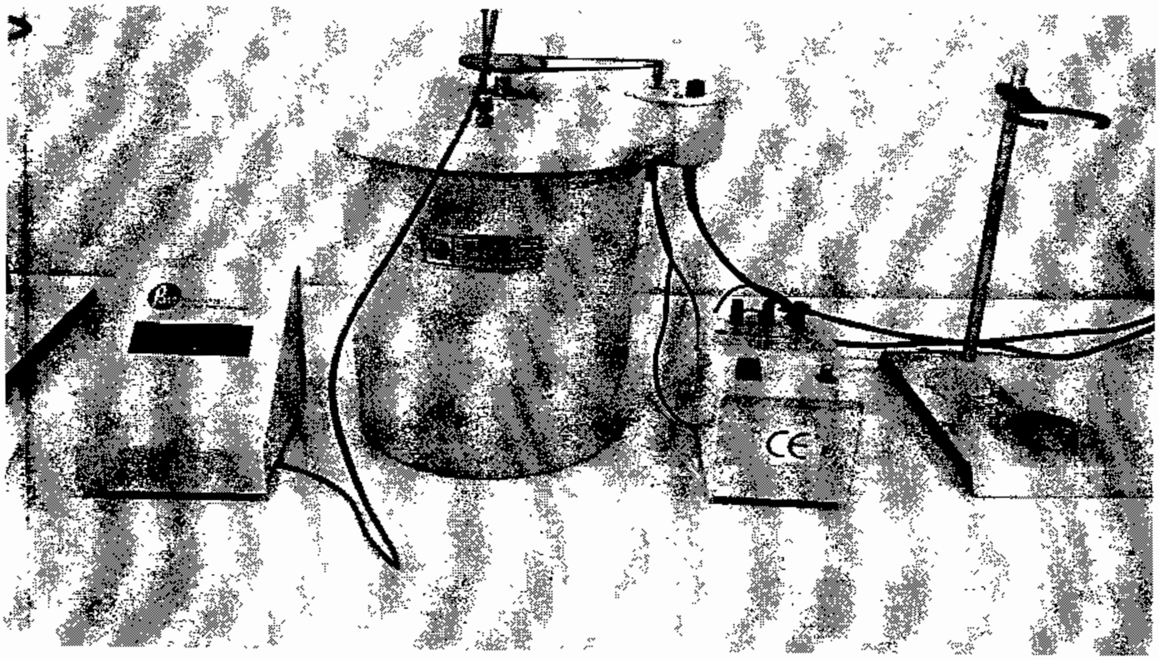
Mahasarakham University



ภาพประกอบ 15 การทดสอบค่าจุดวาบไฟและจุดติดไฟของเมทิลเอสเทอร์

ภาพประกอบ 16 การทดสอบค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 17 การทดสอบหาค่าความร้อนของเมทิลเอสเทอร์

Mahasarakham University

ประวัติย่อผู้วิจัย

Mahasarakham University

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวสุดารัตน์ เบ้าทองจันทร์
วันเกิด	วันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2535
สถานที่เกิด	อำเภอพิบูลย์รักษ์ จังหวัดอุดรธานี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 208 หมู่ 4 บ้านดงยาง ตำบลบ้านแดง อำเภอพิบูลย์รักษ์ จังหวัดอุดรธานี รหัสไปรษณีย์ 41130

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2554	ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพิบูลย์รักษ์พิทยา ตำบลบ้านแดง อำเภอพิบูลย์รักษ์ จังหวัดอุดรธานี
พ.ศ. 2557	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Mahasarakham University

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นายอานันท์ ศิลาขวา
วันเกิด	วันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2535
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 225 หมู่ 1 บ้านหนองหญ้าม้า ตำบลรอบเมือง อำเภอเมืองร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2554	ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย อำเภอเมืองร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด
พ.ศ. 2557	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Mahasarakham University