

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสังเคราะห์ hydrotalcite สำหรับเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์รีฟเคชัน

โดย

ผศ. ดร. สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว

ผศ. ดร. สีนศุภา จุ้ยจุลเจิม

ดร. พิชัย อัมมมงคล

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

ทุนจากเงินรายได้มหาวิทยาลัย (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์)

ประจำปี 2549 ตามสัญญาเลขที่ 139/2549

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของคณะผู้วิจัยอาจไม่ถูกต้องเสมอไป)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมดับเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์จากแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์และอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วนโดยโมลของแมกนีเซียมต่ออะลูมิเนียมเท่ากับ 2 3 และ 4 สารประกอบดับเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์เตรียมได้จากการตกตะกอนร่วมของแมกนีเซียมซัลเฟตและอะลูมิเนียมซัลเฟตในสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนตที่พีเอช 10 ถึง 11 อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สารประกอบดับเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์ที่เตรียมได้มาเผาที่ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตัวอย่างที่เผาและไม่เผาทำไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ถึง 24 ชั่วโมง และวิเคราะห์ด้วย XRD และ SEM ตัวอย่างที่เผาหลังทำไฮโดรเทอร์มอลพบฟีดของไฮโดรทัลไคท์เกิดขึ้นและความเข้มของฟีดแมกนีเซียมออกไซด์ลดลง ตัวอย่างที่ทำไฮโดรเทอร์มอลแสดงการเป็นผลึกที่ดีและรูปร่างของอนุภาคเป็นแผ่น สำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและเมทานอล เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 3.4 กรัม ในน้ำมัน 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที เมื่อให้ความร้อนแบบไมโครเวฟใช้กำลังไฟ 320 วัตต์ และ เมื่อให้ความร้อนแบบทั่วไป ใช้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยทั้งสองวิธีให้ค่าคอนเวอร์ชันเรียงลำดับดังนี้ HT2-24 > HT4-24 > HT3-24 และตัวอย่างหลังเผาและทำไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส ให้ค่าคอนเวอร์ชันเรียงลำดับดังนี้ CHT2-24 > CHT3-24 > CHT4-24 เมื่อใช้แหล่งความร้อนเป็นไมโครเวฟที่ 320 วัตต์และเป็นดังนี้ CHT3-24 > CHT4-24 > CHT2-24 เมื่อใช้แหล่งความร้อนแบบทั่วไปที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : สารประกอบดับเบิลเลเยอร์ไฮดรอกไซด์/ วิธีไฮโดรเทอร์มอล/ ไบโอดีเซล/ ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็ง

ABSTRACT

This research aims to prepare Layered double hydroxides (LDHs) from magnesium ion and aluminium ion at the molar ratio of Mg:Al at 2 3 and 4. LDHs were prepared by coprecipitation of magnesium sulfate and aluminium sulfate in potassium carbonate solution at a range of pH 10 - 11 and 75 °C for 2 hours. The LDHs were calcined at 800 °C for 3 hrs. The calcined and uncalcined samples were treated with hydrothermal method at 180 °C for 6 to 24 hrs and then the products were characterized using XRD and SEM. After hydrothermal preparation, the peak of hydrotalcite was observed in the calcined sample but the intensity of MgO peak decreased. The hydrothermal samples showed the well crystallization where the particles have a flake shape.

LDHs were used as solid catalysts in biodiesel synthesis. Biodiesel was produced from refinery palm oil and methanol at the ratio of oil to methanol of 1:6, catalyst of 3.4 g in 50 ml of oil and reaction time of 30 minutes. The conversions to biodiesel using various catalysts were HT2-24 > HT4-24 > HT3-24 by the microwave method at 320 W and, also by the convention method at 80 °C. However, the catalyst from calcinations with hydrothermal treatment gave the conversions as CHT2-24 > CHT3-24 > CHT4-24 by the microwave method at 320 W and CHT3-24 > CHT4-24 > CHT2-24 by the convention method at 80 °C.

Key words: Layerd double hydroxides/ Hydrothermal method/ Biodiesel/ Solid catalyst

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ทุนวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัย (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์) ประจำปี 2549 ตามสัญญาเลขที่ 139/2549 และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์) ที่อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และนิสิตที่ได้ช่วยเหลือให้โครงการวิจัยนี้บรรลุตามวัตถุประสงค์

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
 บทที่ 1 บทนำ	 1
1.1 ภูมิหลัง	1
1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 แผนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ชนิน้ำมันพืช	4
2.2 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน	6
2.3 ผลของตัวแปรต่อปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน	8
2.4 ไฮโดรทลโครี	10
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า	13
3.1 สารเคมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	13
3.2 เครื่องมือวิเคราะห์	13
3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	13
3.4 การสังเคราะห์ไฮโดรทลโครี	14
3.5 การปรับปรุงไฮโดรทลโครีด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล	14
3.6 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลเมื่อใช้ไพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น ตัวเร่งปฏิกริยา	16
3.7 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลเมื่อใช้ของแข็งเป็นตัวเร่งปฏิกริยา	17
3.8 วิธีการวิเคราะห์สมบัติกายภาพ	18
3.9 วิธีวิเคราะห์ไบโอดีเซล	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	20
4.1 การสังเคราะห์ ไฮโดรทัลโคท์	20
4.2 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลเมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยา	29
4.3 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลเมื่อใช้ตัวอย่างหลังทำไฮโดรเทอร์มอล	35
4.4 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลเมื่อใช้ตัวอย่างหลังเผาและทำไฮโดรเทอร์ มอล	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผลการทดลอง	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40
ประวัติคณะผู้วิจัย	42



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

ทั่วโลกประสบปัญหาทางด้านพลังงานจากการเพิ่มขึ้นของราคาน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูป ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากน้ำมันของซากพืชซากสัตว์ ซึ่งได้มีการประมาณไว้ว่า น้ำมันดิบสำหรับทั้งหมดจะสามารถใช้ได้ก็เพียง 50 ปีข้างหน้า ดังนั้นทั่วโลกจึงจำเป็นต้องพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงในรูปแบบอื่น เช่น พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานลม พลังงานจากแสงอาทิตย์ และพลังงานชีวมวล แต่จากการสำรวจการใช้พลังงานเชื้อเพลิงพบว่า มีการใช้เชื้อเพลิงสำหรับการขนส่งภายในประเทศ ประมาณ 60% ของพลังงานเชื้อเพลิงทั้งหมด ดังนั้นการพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันจึงมีความจำเป็น เชื้อเพลิงที่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันพืช หรือไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซล แต่พบว่ารายการขนส่งสินค้าส่วนใหญ่ใช้น้ำมันดีเซล ในงานวิจัยนี้จึงสนใจการใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซล

ในการผลิตไบโอดีเซลโดยการนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เอทานอล เป็นต้น และมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีทั้งเป็นกรดและด่าง ซึ่งจัดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื้อเดียว ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้มีข้อเสียคือ ต้องมีการกำจัดกรดหรือด่างที่เหลือใช้จากปฏิกิริยา ทำให้ต้องใช้น้ำและความร้อนในการล้างเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบของแข็งมีข้อดีคือ เราสามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาจากไบโอดีเซลได้ง่าย ไม่มีสิ่งตกค้าง และสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้ง่าย แต่มีข้อจำกัด คือ อัตราเร็วในการทำปฏิกิริยามีค่าต่ำ ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มซีโอไลต์ [Suppes et al., 2004] กลุ่มโลหะออกไซด์ธรรมชาติ [Gryglewicz et al.(1999), Jitputti et al. (2006)] กลุ่มโลหะออกไซด์สังเคราะห์ [Kim et al., 2004] และ กลุ่มเกลือแอลคาไลน์ [Ebiura et al.(2005), Xie et al. (2006)]

ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 4 กลุ่มจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ของเอสเทอร์ที่สูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ แต่กลุ่มตัวเร่งปฏิกิริยาแบบซีโอไลต์จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ได้สูงถึง 96.5 เปอร์เซ็นต์เมื่อใช้โซเดียมซีโอไลต์ที่ผ่านการปรับปรุงก่อน [Suppes et al., 2004] ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่ากลุ่มตัวเร่งปฏิกิริยาแบบอื่นและต้องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาในช่วงต่ำกว่า 125 องศาเซลเซียส สำหรับกลุ่มโลหะออกไซด์ธรรมชาตินี้จะใช้เวลาน้อยที่สุดในการทำปฏิกิริยาเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบอื่นๆ กลุ่มของโลหะออกไซด์นี้ [Gryglewicz et al., 1999] เช่น แคลเซียมออกไซด์ แบเรียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกแคลเซียมใช้อุณหภูมิของปฏิกิริยาในช่วง 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส เวลาการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมงแรกจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้เพิ่มอย่างรวดเร็ว และหลังจากนั้นจะเพิ่มเพียงเล็กน้อยเท่านั้นซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้สูงสุดถึง 91 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 2 ชั่วโมง กลุ่มสารประกอบโลหะแอลคาไลเอิร์ท [Jitputti et al., 2006] เช่น อีออนซิลเฟตบนเซอร์โครเมียมออกไซด์จะต้องใช้อุณหภูมิของปฏิกิริยาสูงถึง 200 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง ซึ่งเวลาในการทำปฏิกิริยาจะ

สูงที่สุดถึง 91 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 2 ชั่วโมง กลุ่มสารประกอบโลหะแอลคาไลเอิร์ท [Jitputti et al., 2006] เช่น อีออนซิลเฟตบนเซอร์โครเมียมออกไซด์จะต้องใช้อุณหภูมิของปฏิกิริยาสูงถึง 200 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง ซึ่งเวลาในการทำปฏิกิริยาจะเท่ากับ กลุ่มซีโอไลต์ ส่วนกลุ่มโลหะออกไซด์สังเคราะห์ [Kim et al., 2004] มีการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเช่นเดียวกับสารประกอบแคลเซียม คือ 2 ชั่วโมง เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 1 ต่อ 9 และเวลาที่ความเร็รรอบ 300 รอบต่อนาที ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ $\text{Na}/\text{NaOH}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้สูงถึง 94 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่าอุณหภูมิที่ใช้การทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วงเดียวกับกลุ่มโลหะออกไซด์ธรรมชาติอีกด้วย เมื่อใช้กลุ่มเกลือแอลคาไลน์ที่เคลือบอยู่บนผิวอลูมินา [Ebiura et al., 2005] เช่น เป็นการนำไดรโอเลอินมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลที่อยู่ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร และอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะต่ำกว่าจุดเดือดของเมทานอล โดยที่มีโพแทสเซียมคาร์บอเนตเคลือบบนผิวของ อลูมินาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะต้องควบคุมความดันและอุณหภูมิให้คงที่เพื่อให้อัตราเร็วในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ถึง 94 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีการใช้โพแทสเซียมไนเตรดเคลือบบนผิวอลูมินา (Xie et al., 2006) โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันถั่วเหลืองต่อเมทานอล 1 ต่อ 15 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 7 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้น้ำมันถั่วเหลืองเปลี่ยนไปเป็นเอสเทอร์ 87 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นในงานวิจัยจึงศึกษาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรทัลไคร์ที่สังเคราะห์โดยวิธีการตกตะกอน แล้วนำไปทำการปรับปรุงโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ตลอดจนศึกษาประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันปาล์มและเมทานอลเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์

1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

- เพื่อศึกษาถึงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างการใช้ต่างและตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดของแข็ง
- เพื่อศึกษาถึงสภาวะในการเตรียมไบโอดีเซลและสมบัติของสารที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- การทดลองจะใช้ hydrotalcite เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- ไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันปาล์มและเมทานอล

1.4 แผนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้แบ่งกิจกรรมเป็น 2 กิจกรรมหลัก ดังนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ผู้รับผิดชอบ	เดือน 1-4	เดือน 5-8	เดือน 9-12
<u>กิจกรรมที่ 1</u> การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็ง -การสังเคราะห์โดยวิธีทางเคมี -วิเคราะห์โครงสร้างผลึก -เพื่อนำไปทดสอบในกิจกรรมที่ 2	สิทธิพันธ์			
<u>กิจกรรมที่ 2</u> การสังเคราะห์ไบโอดีเซล -หาสภาวะในการสังเคราะห์ เช่น ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยา แหล่งความร้อน อุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา เป็นต้น -วัดสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์	สิทธิพันธ์ / สินศุภา/พิชัย			
<u>กิจกรรมที่ 3</u> เขียนรายงาน	คณะวิจัย			

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชนิดน้ำมันพืช

ในการผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชหรือไขสัตว์กับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลหรือเอทานอล ซึ่งชนิดของไบโอดีเซลขึ้นกับชนิดของน้ำมันที่ใช้ในการผลิต สำหรับชนิดของน้ำมันพืชที่นิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ขึ้นกับภูมิภาค เช่น ในสหรัฐอเมริกานิยมใช้น้ำมันทานตะวันหรือน้ำมันข้าวโพด ในขณะที่ประเทศแถบยุโรป นิยมใช้น้ำมัน Rapeseed หรือน้ำมันทานตะวัน เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.1 ในตารางที่ 2.2 แสดงชนิดของกรดไขมันและการเรียกชื่อกรดไขมัน ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันชนิดต่างๆ ในน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่มีที่มีปริมาณกรดปาล์มมิดิต กรดโอเลอิกและกรดไลโนลิกในปริมาณ 39.5 46.0 และ 7.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีกำลังการผลิตสูงถึง 5000 กิโลกรัมต่อเฮกตา ซึ่งให้ผลผลิตสูงสุด

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ [Marchetti et al.,2007]

ชนิดน้ำมัน	องค์ประกอบของกรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)									Acid value	Phos (ppm)	Peroxide value
	16:1	18:0	20:0	22:0	24:0	18:1	22:1	18:2	18:3			
ข้าวโพด	11.67	1.85	0.24	0.00	0.00	25.16	0.00	60.60	0.48	0.11	7	18.4
เมล็ดฝ้าย	28.33	0.89	0.00	0.00	0.00	13.27	0.00	57.51	0.00	0.07	8	64.8
Crambe	20.7	0.70	2.09	0.80	1.12	18.86	58.51	9.00	6.85	0.36	12	26.5
ถั่วลิสง	11.38	2.39	1.32	2.52	1.23	48.28	0.00	31.95	0.93	0.20	9	82.7
Rapeseed	3.49	0.85	0.00	0.00	0.00	64.4	0.00	22.30	8.23	1.14	18	30.2
ถั่วเหลือง	11.75	3.15	0.00	0.00	0.00	23.26	0.00	55.53	6.31	0.20	32	44.5
ทานตะวัน	6.08	3.26	0.00	0.00	0.00	16.93	0.00	73.73	0.00	0.15	15	10.7

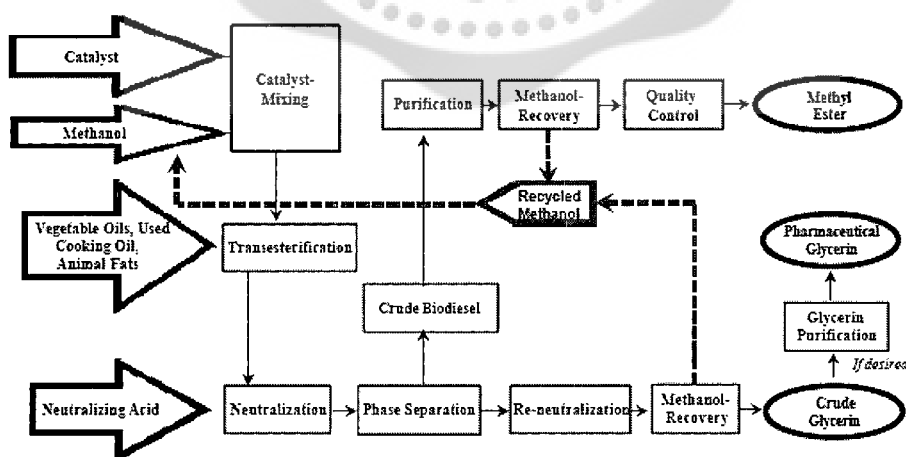
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันและผลผลิตของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ
[www.wmrc.uiuc.edu/main_sections/tech_assist/small-scale-biodiesel.pdf]

กรดไขมัน	จำนวน คาร์บอนและ พันธะคู่	สูตรโครงสร้าง	จุด หลอมเหลว (°C)	จุด เดือด (°C)
Caprylic	C8	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	16.5	239
Capric	C10	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	31.3	269
Lauric	C12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	43.6	304
Myristic	C14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	58	332
Palmitic	C16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	62.9	349
Palmitoleic	C16:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	33	--
Stearic	C18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69.9	371
Oleic	C18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	16.3	--
Linoleic	C18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-5	--
Linolenic	C18:3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-11	--
Arachidic	C20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	75.2	--
Eicosenoic	C20:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	23	--
Behenic	C22:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	80	--
Eurcic	C22:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	34	--

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันชนิดต่าง ๆ [Marchetti et al.,2007]

ชนิดน้ำมันพืช	Kinematics viscosity (mm ² /s)	Cetane number	Cloud point (°C)	Pour point (°C)	Flash point (°C)	Density (kg/l)	Lower heating value (MJ/kg)
Peanut	4.9	54	5	—	176	0.883	33.6
Soya bean	4.5	45	1	-7	178	0.885	33.5
Babassu	3.6	63	4	—	127	0.875	31.8
Palm	5.7	62	13	—	164	0.880	33.5
Sunflower	4.6	49	1	—	183	0.860	33.5
Tallow	—	—	12	9	96	—	—
Diesel	3.06	50	—	-16	76	0.855	43.8
20% biodiesel blend	3.2	51	—	-16	128	0.859	43.2

2. **ขั้นปฏิกิริยา** เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาถูกละลายในแอลกอฮอล์แล้ว สารละลายนี้จะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ซึ่งเป็นภาชนะปิด เพื่อป้องกันการระเหยของแอลกอฮอล์ในระหว่างทำปฏิกิริยา หลังจากนั้นน้ำมันจะถูกป้อนเข้าไป ปฏิกิริยาจะถูกควบคุมให้มีอุณหภูมิประมาณ (160 องศาฟาเรนไฮต์) และในระหว่างปฏิกิริยาจะต้องมีการกวนตลอดเวลา เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 – 8 ชั่วโมง สำหรับการป้อนสารละลายแอลกอฮอล์จะป้อนในปริมาณที่มากเกินไปพอเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ในระหว่างขั้นนี้จำเป็นต้องให้มีปริมาณน้ำหรือกรดไขมันอิสระที่ปนมากับสารละลายแอลกอฮอล์หรือน้ำมันที่ใช้ในปริมาณต่ำ เพื่อป้องกันการเกิดสบู่และเพื่อให้แยกกลีเซอรินได้ง่ายขึ้น
3. **ขั้นแยกกลีเซอริน** หลังจากเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ในขั้นที่ 2 ในขั้นต่อมาเป็นการแยกเอากลิเซอรินและไบโอดีเซล ซึ่งโดยปกติใช้ให้วิธีการปล่อยให้แยกชั้นในเครื่อง decanter หรือ settling tank โดยกลีเซอรินจะอยู่ด้านล่างในขณะที่ไบโอดีเซลจะอยู่ด้านบน
4. **ขั้นแยกแอลกอฮอล์** เนื่องจากในการผลิตไบโอดีเซลใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้มีแอลกอฮอล์เหลือในระหว่างการผลิต ซึ่งแอลกอฮอล์สามารถละลายได้ทั้งในไบโอดีเซลและกลีเซอริน ดังนั้นในการแยกแอลกอฮอล์ออกมานิยมใช้กระบวนการ flash evaporation หรือการกลั่น ซึ่งในการแยกเพื่อนำแอลกอฮอล์กลับมาใช้ใหม่จำเป็นต้องระมัดระวังน้ำที่ปนมากับแอลกอฮอล์
5. **ขั้นสะเทิน** เนื่องจากกลีเซอรินที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มักจะมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่และสบู่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสะเทินด้วยกรด เพื่อให้กลีเซอรินมีสภาพเป็นกลาง เพื่อให้สามารถเก็บได้ ซึ่งเกลือที่เกิดขึ้นระหว่างการสะเทินสามารถนำไปเป็นปุ๋ย ซึ่งโดยปกติกลีเซอรินที่ได้มีความบริสุทธิ์ประมาณ 80-88 เปอร์เซ็นต์ หลังจากแยกน้ำและแอลกอฮอล์เรียบร้อยแล้ว
6. **ชั้นล่าง** เป็นขั้นที่ใช้สำหรับการล้างเบสและสบู่ออกจากไบโอดีเซล



รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์

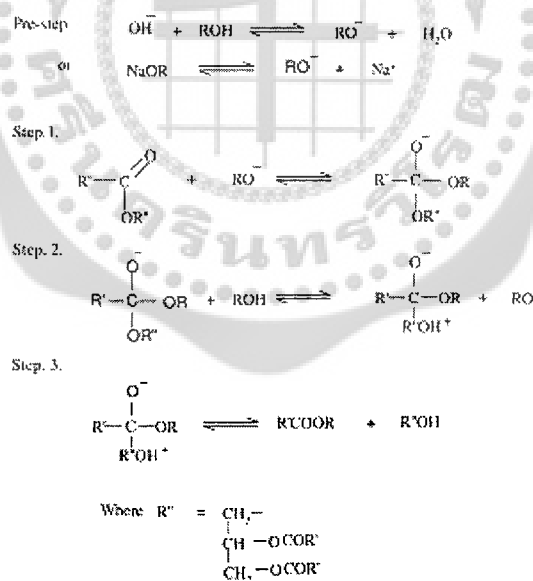
[www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/prod_quality.pdf]

2.3 ผลของตัวแปรต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชและแอลกอฮอล์ได้แก่ อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยา อัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ความเร็วรอบในเครื่องปฏิกรณ์ วัตถุดิบและชนิดของน้ำมันที่ใช้ และชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.1 ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา

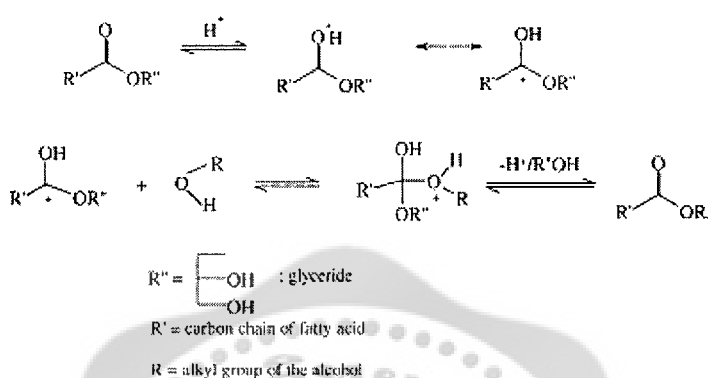
การเร่งปฏิกิริยาด้วยเบส ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้คือ เมทานอลหรือเอทานอล ซึ่งกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยเบสจะเกิดผ่าน alkoxide ซึ่งอัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันอยู่ระหว่าง 1:1 – 6:1 ซึ่งโดยปกติมักนิยมใช้ที่อัตราส่วน 6:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาใช้ประมาณ 0.5 – 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตัวเร่งต่อน้ำมัน และอุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างเกิดปฏิกิริยา คือ 60 องศาเซลเซียส อัตราในการเกิดปฏิกิริยาสามารถสรุปดังรูปที่ 2.4 จากรูปที่ 2.4 พบว่า ในขั้นแรก alkoxide ion จะเข้าทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ โดยอาศัยปฏิกิริยาการเข้าทำแบบ SN_2 หลังจากนั้นจะเกิดการปล่อยเอสเทอร์ ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อไป โดยอาศัยการเข้าทำปฏิกิริยาของ alkoxide ion ต่อไป ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อาศัยเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจำเป็นต้องทำปฏิกิริยาในสภาวะที่ไม่มีน้ำ เพื่อป้องกันการเกิดสบู่



รูปที่ 2.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันด้วยเบส [Meher et al.,2006]

การเร่งปฏิกิริยาด้วยกรด ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ได้แก่ กรดซัลฟูริก กรดซัลโฟนิก เป็นต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยกรดนี้จะให้เปอร์เซ็นต์ผลได้สูงแต่เกิดปฏิกิริยาได้ช้า และต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่า 3 ชั่วโมง กลไกในการเกิดปฏิกิริยาสามารถแสดง

ในรูปที่ 2.5 จากรูปที่ 2.5 พบว่าในขั้นแรกกรดจะเข้าทำปฏิกิริยาที่หมู่ $-CO-$ ซึ่งทำให้เกิดเป็น carbocation หลังจากนั้นแอลกอฮอล์จะเข้าทำปฏิกิริยา และปลดปล่อยเอสเทอร์ออกมา ทำให้เกิด carbocation ของ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งการเกิดกลไกแบบนี้เกิดได้ช้า สำหรับปฏิกิริยา การเกิดทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองกับเมทานอล พบว่า เมื่อใช้ กรดซัลฟูริกในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 30:1 อุณหภูมิในการสังเคราะห์ 65 องศาเซลเซียส พบว่า ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ 20 ชั่วโมง



รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยกรด [Meher et al,2006]

การเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์ เอนไซม์ที่นิยมใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคือ เอนไซม์ไลเปส และกลุ่มเอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยา hydrolysis, alcoholysis และ acidolysis ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้สามารถใช้งาน ได้ทั้งในรูปของเอนไซม์อิสระและเอนไซม์ตรึงรูป ข้อจำกัดของเอนไซม์คือไม่สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิ สูง และจำเป็นต้องมีน้ำเป็นตัวทำละลาย เพื่อให้เอนไซม์สามารถทำงานได้

การเร่งปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาวិวิธพันธ์ เป็นการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งแทน การใช้ในรูปสารละลาย ซึ่งทำให้สามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้ ลดขั้นตอนการล้างไบโอ ดีเซล แต่วิธีการนี้ใช้พลังงานมาก และให้ค่าคอนเวอร์ชันต่ำ

2.3.2 การผสม

การผสมเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่าง น้ำมันกับสารละลายเมทานอล-เบส เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสองวัฏภาค ซึ่งไม่สามารถละลายเข้ากันได้ ซึ่ง จำเป็นต้องมีการกวนเพื่อให้ไขมันและสารละลายเมทานอล-เบสเกิดการผสมได้ดีในช่วงแรก

2.3.3 การใช้ตัวทำละลายร่วม

เนื่องจากน้ำมันกับสารละลายเมทานอล-เบส ไม่สามารถผสมกันได้ เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง แอลกอฮอล์ต่อน้ำมันในระดับ จะทำให้ความสามารถในการละลายลดลง เพื่อให้ไขมันสามารถละลายได้ ในเฟสของสารละลายเมทานอล-เบส จึงต้องมีการเติมตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่งลงไป เพื่อให้เกิดเป็นวัฏ ภาคเดียว ตัวอย่างของตัวทำละลายร่วมได้แก่ tetrahydrofuran (THF) ซึ่งเป็นสารที่มีจุดเดือดประมาณ 67 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถแยกออกมาได้ง่าย

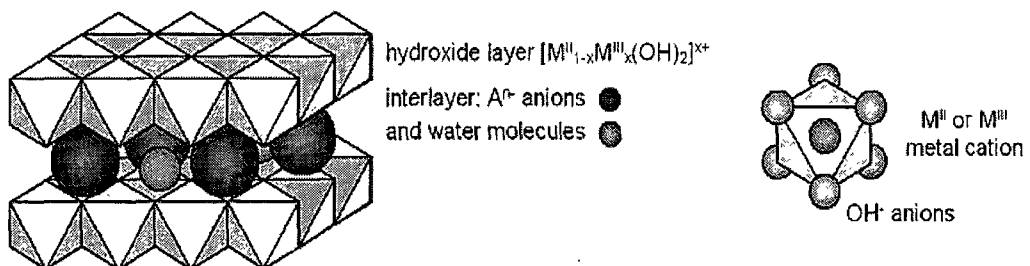
2.3.4 ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

ในกรณีที่มีค่าความเป็นกรด (acid value) มากกว่า 1 โซเดียมไฮดรอกไซด์จะถูกใช้ในการสะเทินกับกรดไขมันอิสระ นอกจากนั้นการมีน้ำทำให้เกิดเป็นสบู่ ซึ่งทำให้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ลดลง เป็นผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง การเกิดสบู่ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดเจลและทำให้แยกไบโอดีเซลได้ยาก ซึ่งมีรายงานวิจัยว่าปริมาณของกรดไขมันอิสระและปริมาณน้ำควรมีค่าน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังพบว่าในบรรยากาศที่มี CO_2 จะทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง

2.4 ไฮโดรทัลโคไรต์ [Rives and Angeles, 1999]

ไฮโดรทัลโคไรต์เป็นเลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ (Layered double hydroxides, LDHs) เป็นที่รู้จักว่าเป็นดินประจุลบ (anionic clay) โครงสร้างแบบนี้ได้แก่ hydrotalcite ซึ่งเป็นสารประกอบของ Magnesium-Aluminium hydroxycarbonate ซึ่งพบครั้งแรกที่สวีเดนในปี ค.ศ. 1842 โดยมีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น $\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{16}\text{CO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยที่เรียกว่า brucite $[\text{Mg}_{0.75}\text{Al}_{0.25}(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_{0.125} \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}]$ Brucite มีโครงสร้างเป็นแบบ CdI_2 ซึ่งมีโครงสร้างเป็น hexagonal close-packing ของอินไฮดรอกไซด์ที่มี Mg^{2+} จะอยู่บริเวณออกตะฮีดรอนร่วมกับไฮดรอกซิลไอออน ดังรูป 2.6 สูตรทั่วไปของไฮโดรทัลโคไรต์ คือ $\text{M}^{II}_{1-x}\text{M}^{III}_x(\text{OH})_2\text{A}^{n-}_{x/n} \cdot y\text{H}_2\text{O}$ เมื่อ M^{II} และ M^{III} ธาตุที่เป็นกลุ่มอะตอมที่มีประจุบวกซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเป็น 2 และ 3 และ A^{n-} ธาตุที่เป็นกลุ่มอะตอมที่มีประจุลบซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเป็น n

โดยทั่วไปโครงสร้างของไฮโดรทัลโคไรต์ มี 2 ชั้น ดังรูปที่ 2.6 คือ ชั้นโครงสร้างที่เป็น ไฮดรอกไซด์ที่มีประจุบวก $[\text{M}^{II}_{1-x}\text{M}^{III}_x(\text{OH})_2]^{x+}$ และในระหว่างชั้นประกอบด้วยประจุลบและโมเลกุลน้ำ ส่วนใหญ่ค่า x จะอยู่ระหว่างช่วง $0.20 < x < 0.35$ ในระหว่างชั้นอาจจะมีการแลกเปลี่ยนประจุลบของคาร์บอเนตไอออนกับอะตอมอื่น M^{II} และ M^{III} ของ สารประกอบไฮโดรทัลโคไรต์ มีการเปลี่ยนแปลงเป็นรูบออกไซด์ที่อุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส โดยส่วนใหญ่สูตรของไฮโดรทัลโคไรต์ คือ $(\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{16}\text{CO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$ ไฮโดรทัลโคไรต์เป็นสารประกอบที่ไม่มีสีหรือมีสีขาวขุ่นมีความหนาแน่นประมาณ 2.06 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความเป็นเงาคล้ายไข่มุก



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของไฮโดรทัลโคไรต์

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Xie et al. (2006) ศึกษาผลของอัตราส่วน Mg/Al ต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยสังเคราะห์ไฮโดรทัลไคท์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมระหว่าง $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ กับ $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ที่อัตราส่วนโมล 2:1 2.5:1 3:1 3.5:1 และ 4:1 เพื่อหาอัตราส่วนของ Mg/Al (โดยโมล) ที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองกับเมทานอลเป็นเมทิลเอสเทอร์ จากงานวิจัยพบว่า ไฮโดรทัลไคท์มีอัตราส่วน Mg/Al เป็น 3:1 (โดยโมล) และเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ให้ค่าคอนเวอร์ชันสูงสุด เป็น 67 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับเมทานอลที่ คือ 15:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง และน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นจำนวน 7.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมัน

Aramendia et al. (1999) ศึกษาการเตรียมไฮโดรทัลไคท์โดยวิธีตกตะกอนร่วม $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ กับ $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ที่อัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 2 ต่อ 1) ในสารละลาย Na_2CO_3 โดยใช้สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ในการปรับค่าพีเอชให้เป็น 10 น้ำตะกอนของ ไฮโดรทัลไคท์ อบแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส เผาที่ 200 500 800 และ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่า การเผาไฮโดรทัลไคท์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 800 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการสลายตัวของไฮโดรทัลไคท์ไปเป็นแมกนีเซียมออกไซด์ และการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1000 องศาเซลเซียส ยังมีเฟสของแมกนีเซียมออกไซด์พร้อมกับเฟสของสปิแนล

Choudary et al. (2000) ได้สังเคราะห์ Mg/Al ไฮโดรทัลไคท์ ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมระหว่าง $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ กับ $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น 3:1 (โดยโมล) เผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และสังเคราะห์ Mg-Al-O-t-Bu hydrotalcite จาก Mg/Al hydrotalcite โดยนำมาทกวนกับสารละลาย potassium tert-butoxide เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของอะซิโดนอะซิเตดกับเฮกเซนอล พบว่า เมื่อใช้ Mg/Al ไฮโดรทัลไคท์เผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานถึง 12 ชั่วโมง และเปอร์เซ็นต์ผลได้ 55 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อใช้ Mg-Al-O-t-Bu hydrotalcite เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพียง 2 ชั่วโมงและได้เปอร์เซ็นต์ผลได้สูงเป็น 98 เปอร์เซ็นต์

Konvada et al. (2005) ได้เตรียมแมกนีเซียม-อะลูมิเนียมไฮโดรทัลไคท์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ตัวอย่างไฮโดรทัลไคท์ถูกเตรียมโดยการตกตะกอนร่วมของ $\text{Mg}(\text{SO}_4)_7 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ กับ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (ที่อัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 2 ต่อ 1) ในสารละลาย Na_2CO_3 ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร โดยมีสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 10 โมลต่อลิตร ปรับค่าพีเอชเป็น 10 ทกวนพร้อมให้ความร้อนที่ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ตะกอนของไฮโดรทัลไคท์ ของแข็งที่กรองได้นำไปให้ความร้อนในอโต้เคลฟที่อุณหภูมิ 120-200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 2 4 6 8 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า การให้ความร้อนที่

อุณหภูมิสูงขึ้นจะเป็นการเพิ่มองค์ประกอบและความเป็นผลึกของไฮโดรทาลค์ไคท์ในตัวอย่าง และการเพิ่มเวลาทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นแต่พื้นที่ผิวของไฮโดรทาลค์ไคท์จะลดลง

Lertsathapornsuk et al. (2005) ทำการสังเคราะห์เมทิลเอสเตอร์จากน้ำมัน 3 ชนิด คือ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันรำข้าว น้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว โดยใช้แหล่งความร้อนเป็นคลื่นไมโครเวฟ พบว่า เมื่อใช้กำลังไฟ 800 วัตต์ โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ 1.0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมัน อัตราส่วนของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ คือ 9 ต่อ 1 เมื่อใช้เวลาในการสังเคราะห์ 30 วินาที ให้ค่าคอนเวอร์ชันสูงสุด เมื่อใช้น้ำมันมะพร้าว น้ำมันรำข้าว และ น้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว เป็น 100 94 และ 83 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Felizardo et al. (2006) ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วกับเมทานอล เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ค่าตั้งแต่ 3.6:1 ถึง 5.4:1 และที่ใช้กับอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา 0.2 – 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมัน เมื่อใช้เวลาในการสังเคราะห์เป็น 1 ชั่วโมง และใช้แหล่งความร้อนแบบทั่วไปที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่ 4.8:1 จะต้องใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจำนวน 0.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน จะได้เมทิลเอสเตอร์ที่มีค่ามากที่สุดคือ 90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เมทิลเอสเตอร์ที่ได้ยังง่ายต่อการแยกชั้นและการทำความสะอาดอีกด้วย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไฮโดรทัลไคท์ที่อัตราส่วนระหว่าง Mg:Al เป็น 2:1 3:1 และ 4:1 โดยใช้วิธีการไฮโดรเทอมอลในการปรับปรุงไฮโดรทัลไคท์ที่สังเคราะห์ขึ้น นอกจากนี้ยังศึกษาปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มกับเมทานอล เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น KOH และไฮโดรทัลไคท์

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

พีเอชมิเตอร์ บริษัท Denver Instrument รุ่น 215 ประเทศสหรัฐอเมริกา
เครื่องกวนแม่เหล็ก บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
ไมโครเวฟ รุ่น MS-2022C บริษัท LG ประเทศไทย จำกัด
เตาอบรุ่น Lenton Thermal Designs บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
เตาเผา รุ่น Isotemp Muffle Furnace บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
ชุดรีฟลักซ์

3.2 เครื่องมือวิเคราะห์

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น JSM 6301F บริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น
เครื่องกระเจิงรังสีเอกซ์ (XRD) รุ่น JDX-3530 บริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น
เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) รุ่น Spectrum one บริษัท Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา
อุปกรณ์วัดความหนืดแบบอับบิลอร์ด บริษัท Thomas Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ รุ่น GALLENKAMP Autobomb-Automatic บริษัท Gallenkamp-Sanyo ประเทศอังกฤษ

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

แมกนีเซียมซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) บริษัท Bittersalz ประเทศเยอรมนี
อะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) บริษัท Albemarle ประเทศฝรั่งเศส
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) บริษัท Nippon soda ประเทศญี่ปุ่น
โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) บริษัท Albemarle ประเทศฝรั่งเศส
เมทานอล (CH_3OH) บริษัท J.T. Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.4 การสังเคราะห์ไฮโดรทัลไคท์ [Kovanda et al., 2005]

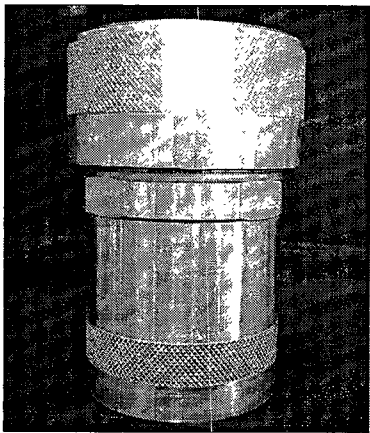
การเตรียมไฮโดรทัลไคท์ใช้วิธีการตกตะกอนร่วม เตรียมสารละลายผสมระหว่าง $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ และ $Al(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ความเข้มข้นรวมเป็น 2 โมลต่อลิตร ในน้ำปริมาตร 1 ลิตร โดยชั่งน้ำหนัก $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ และ $Al(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ตามอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยเทลงในสารละลาย K_2CO_3 ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร จำนวน 1 ลิตร ปรับค่าพีเอชของสารละลายให้อยู่ระหว่าง 10 ถึง 11 กวน ด้วยสารละลาย KOH ความเข้มข้น 5 โมลต่อลิตร ในระหว่างการปรับค่าพีเอช สารละลายจะถูกกวนตลอดเวลาและรักษาให้มีอุณหภูมิเป็น 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นกวนต่อเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิเดิม กรองและล้างตะกอนจนกระทั่งน้ำล้างมีค่าพีเอช 7

ตารางที่ 3.1 น้ำหนักแมกนีเซียมซัลเฟตและอะลูมิเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการสังเคราะห์ไฮโดรทัลไคท์ที่อัตราส่วนต่างๆ

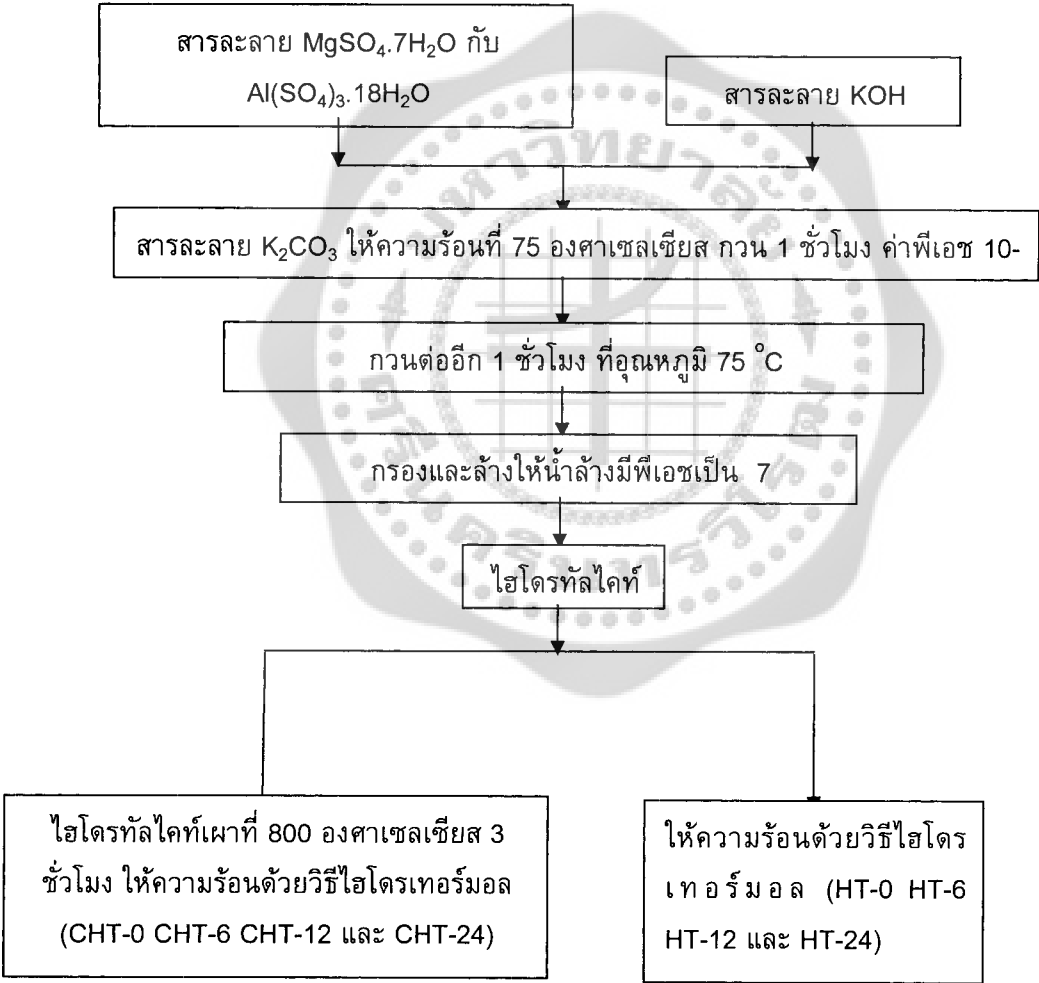
อัตราส่วน Mg/Al (โดยโมล)	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (กรัม)	$Al(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (กรัม)
2:1	326.8685	441.8965
3:1	367.7271	331.4372
4:1	392.2422	265.1090

3.5 การปรับปรุงไฮโดรทัลไคท์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล

ตัวอย่างที่ได้จากข้อ 3.4 นำมาให้ความร้อนด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลในอโต้เคลฟ โดยใช้ไฮโดรทัลไคท์ 20 กรัม และเติมน้ำประมาณ 50 มิลลิลิตร ปิดฝาและนำไปวางไว้ในเตาอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ที่เวลา 6 ถึง 24 ชั่วโมง กรองและนำไปวิเคราะห์ XRD SEM FTIR และ TEM ในตัวอย่างนี้เราจะใช้สัญลักษณ์เป็น HT ในขณะที่เมื่อนำไฮโดรทัลไคท์ที่ได้จากข้อ 3.4 มาเผาที่ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของสารตัวอย่างหลังการเผา โดยทำการทดลองดังนี้ ซึ่งตัวอย่างที่เผาแล้ว จำนวน 20 กรัม ใส่ น้ำจำนวน 50 มิลลิลิตร นำมาผ่านอุลตราโซนิก ใส่ลงในอโต้เคลฟ ปิดฝาและนำไปวางไว้ในเตาอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ที่เวลา 6 ถึง 24 ชั่วโมง กรองและนำไปวิเคราะห์ XRD SEM FTIR และ TEM ในรูปที่ 3.2 แสดง ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างไฮโดรทัลไคท์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.1 ลักษณะแอโนดเคลฟที่ใช้ในการทดลอง



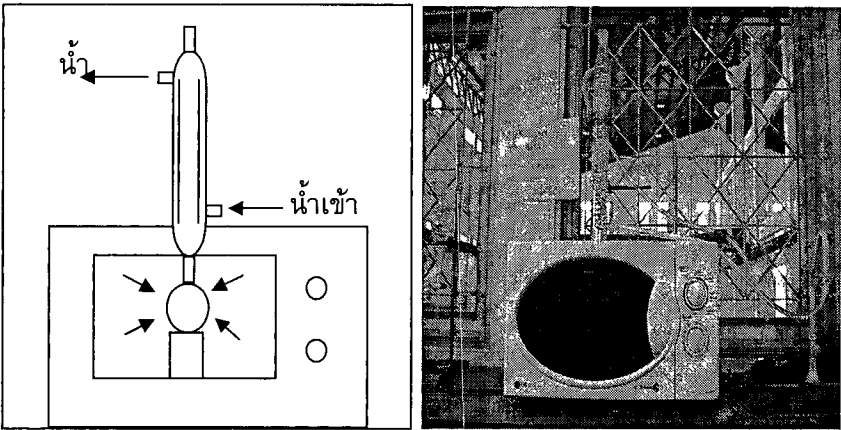
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมไฮโดรทาลโคทที่ทำไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

3.6 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลเมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

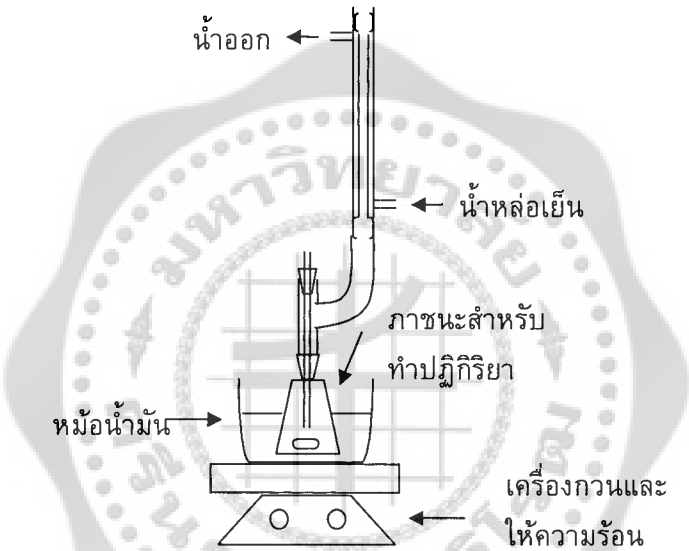
ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แหล่งความร้อนเป็นคลื่นไมโครเวฟ ทำได้โดยจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.3 (ก) ซึ่งประกอบด้วยขวดกันกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งต่อเข้ากับชุดรีฟลักซ์ โดยใส่ไว้ในเครื่องไมโครเวฟ สำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลเทียบกับน้ำมันปาล์มเริ่มต้น 100 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล ตามสภาวะที่กำหนดดังตารางที่ 3.2 และการสังเคราะห์โดยให้ความร้อนแบบทั่วไปดังรูปที่ 3.3 (ข) ทำการทดลองตามสภาวะในตารางที่ 3.2 เช่นกัน สำหรับน้ำมันสบู่ดำใช้สภาวะการทดลองเช่นเดียวกับน้ำมันปาล์ม น้ำมันที่ได้หลังจากการสังเคราะห์นำมาล้างด้วยน้ำอุ่นจนน้ำล้างมีค่าพีเอชเป็นกลาง อบไล่ไอน้ำที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3.2 สภาวะในการทดลองการสังเคราะห์ไบโอดีเซลเมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

แหล่งกำเนิดความร้อน	แบบไมโครเวฟ	แบบทั่วไป
อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอล เมื่อเวลาในการสังเคราะห์ 20 นาที ที่ปริมาณ KOH 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมัน	1:4.5 1:5 1:6 1:12 กำลังไฟ 90 วัตต์	1:4.5 1:5 1:6 1:12 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
กำลังไฟ (วัตต์) เมื่ออัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 โดยโมล เวลาในการสังเคราะห์ 20 นาที ที่ปริมาณ KOH 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมัน	90 320 360	-
อัตราส่วนน้ำมันต่อตัวเร่งปฏิกิริยา (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมัน) เมื่ออัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 เวลาในการสังเคราะห์ 20 นาที	0.25 0.5 1 กำลังไฟ 90 วัตต์	0.25 0.5 1 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
เวลาในการสังเคราะห์ (นาที) เมื่ออัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 ที่ปริมาณ KOH 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมัน	10 20 30 40 กำลังไฟ 90 วัตต์	10 20 30 40 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิในการสังเคราะห์ (องศาเซลเซียส) เมื่ออัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 เวลาในการสังเคราะห์ 20 นาที ที่ปริมาณ KOH 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมัน	-	50 60 70 80



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.3 ชุดสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แหล่งความร้อนเป็น (ก) ไมโครเวฟ และ (ข) หัวไป

3.7 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลเมื่อใช้ของแข็งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [Xie et al. (2006)]

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ไฮโดรทัลไคต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำการทดลองทั้งการให้ความร้อนไมโครเวฟและแบบทั่วไป โดยใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันคือ 6 ต่อ 1 (โดยโมล) ซึ่งตัวอย่างจำนวน 3.5 กรัม น้ำมันจำนวน 50 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 นาที โดยใช้กำลังไฟ 320 วัตต์ สำหรับไมโครเวฟ และใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สำหรับการให้ความร้อนแบบทั่วไป น้ำมันหลังจากการสังเคราะห์นำมากรองเอาตัวเร่งปฏิกิริยาออก ล้างด้วยน้ำอุ่นจำนวน 1 ครั้ง เพื่อทำความสะอาด จากนั้นอบไล่ไอน้ำที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

3.8 วิธีการวิเคราะห์สมบัติกายภาพ

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) รุ่น JDX-3530 บริษัท JEOL ประเทศญี่ปุ่น ใช้การแผ่รังสีของ Cu K α เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของหลอดรังสีเอกซ์โดยใช้กระแสไฟฟ้า 40 มิลลิแอมแปร์ ที่ความต่างศักย์ 40 กิโลโวลต์ ที่มุม 2 theta ตั้งแต่ 3 ถึง 70 องศา โดยอัตราการเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.04 องศาต่อนาที การวิเคราะห์จุลโครงสร้างด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น JSM 6301F ประเทศญี่ปุ่น ที่กำลังขยาย 15000 เท่า และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) รุ่น Spectrum one บริษัท Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยผสมและบดสารตัวอย่างกับ KBr อัดขึ้นรูปให้เป็นแผ่น และวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในช่วงความถี่ตั้งแต่ 500 ถึง 4000 เซนติเมตร¹

3.9 วิวิเคราะห์ไบโอดีเซล

การหาความหนาแน่นโดยการชั่งน้ำหนักไบโอดีเซลและวัดปริมาตรด้วยขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง การหาความหนืดทดสอบโดยจับเวลาของเหลวที่ไหลผ่านมาตรวัดความหนืดแบบออบบิลด์ การหาค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของน้ำมัน โดยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ใช้วิธีการเผาไหม้น้ำมันตัวอย่างภายใต้ความดัน 30 เอทีเอ็ม ของออกซิเจน

การวิเคราะห์หมู่เมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) รุ่น Spectrum one บริษัท Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยหยดน้ำมันตัวอย่างบนแผ่นเซลล์ NaCl แล้วประกบด้วยแผ่น NaCl อีกแผ่นหนึ่งนำไปวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดด้วยเครื่อง FTIR ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 500 ถึง 4000 เซนติเมตร¹

การวิเคราะห์หาปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ในไบโอดีเซล ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีรุ่น 2010 ยี่ห้อ Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น โดยเตรียมสารตัวอย่าง 25 มิลลิกรัม จากนั้นเติม 50 ไมโครลิตรของ Tricaprin และ 50 ไมโครลิตร ของ MSTFA จากนั้นทำการเขย่าอย่างแรง ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที แล้วเติม n-Haptane จำนวน 8 มิลลิลิตร ทำการตั้งค่าสภาวะในการวิเคราะห์ของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ดังนี้ อุณหภูมิของ Injector เป็น 220 องศาเซลเซียส อุณหภูมิคอลัมน์ เริ่มต้นจาก 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เพิ่มขึ้นเป็น 180 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 15 องศาเซลเซียสต่อนาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 230 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 30 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงที่ไว้เป็นเวลา 10 นาที นำตัวอย่างที่เตรียมเรียบร้อยแล้วฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีในปริมาณ 1 ไมโครลิตร

การคำนวณปริมาณเมทิลเอสเตอร์ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ จากโครมาโตแกรมของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี โดยเปรียบเทียบค่า Relative Retention Time (RRT) จากโครมาโตแกรมในผลิตภัณฑ์ที่วิเคราะห์ได้กับค่า RRT ของสารมาตรฐานเพื่อระบุองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ ค่า RRT ของผลิตภัณฑ์คำนวณได้จาก

$$\text{Relative Retention Time (RRT)} = \frac{\text{Retention time ของสารที่ต้องการ}}{\text{Retention time ของอินเทอร์นอลสแตนดาร์ด}}$$

การคำนวณปริมาณเมทิลเอสเทอร์ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ คำนวณโดยการนำผลรวมของพื้นที่สารที่ต้องการต่อพื้นที่ของอินเทอร์นอลสแตนดาร์ด ดังนี้

$$\text{ปริมาณสารที่ต้องการที่อยู่ในผลิตภัณฑ์} = \sum (A/A_i)$$

โดย A คือ พื้นที่ใต้กราฟจากโครมาโตแกรมของสารที่ต้องการ

A_i คือ พื้นที่ใต้กราฟจากโครมาโตแกรมของอินเทอร์นอลสแตนดาร์ด
แล้วนำมาคำนวณเปรียบเทียบโดยให้มีผลรวมเป็น 100 เปอร์เซ็นต์



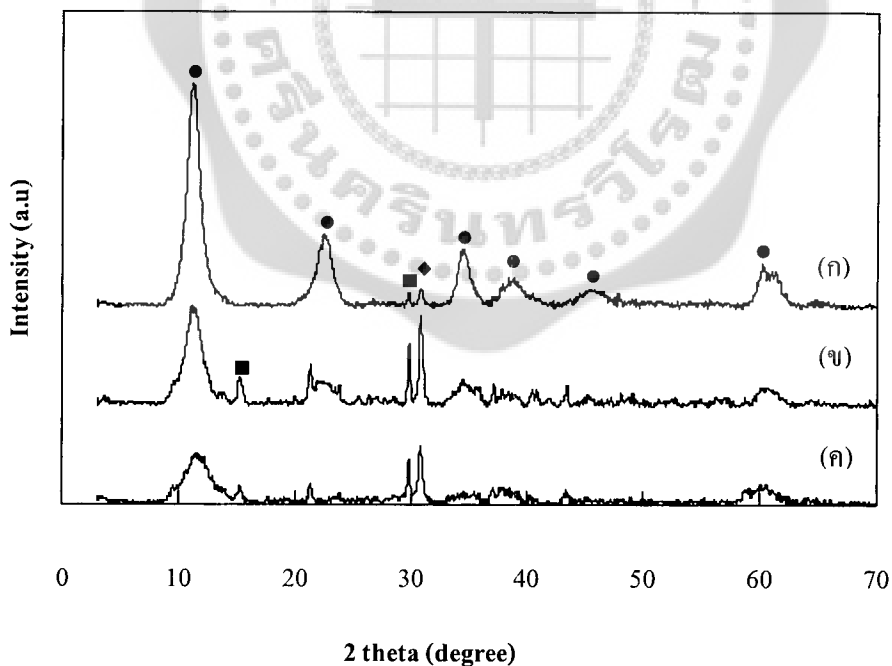
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

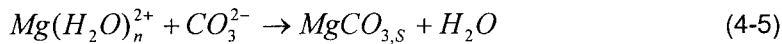
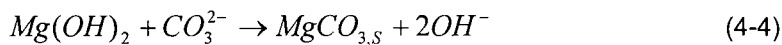
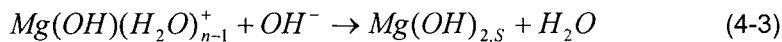
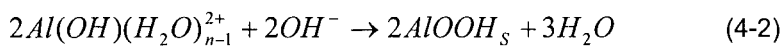
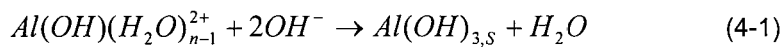
4.1 การสังเคราะห์ ไฮโดรทัลโคท์

4.1.1 การเตรียมสารตั้งต้นไฮโดรทัลโคท์

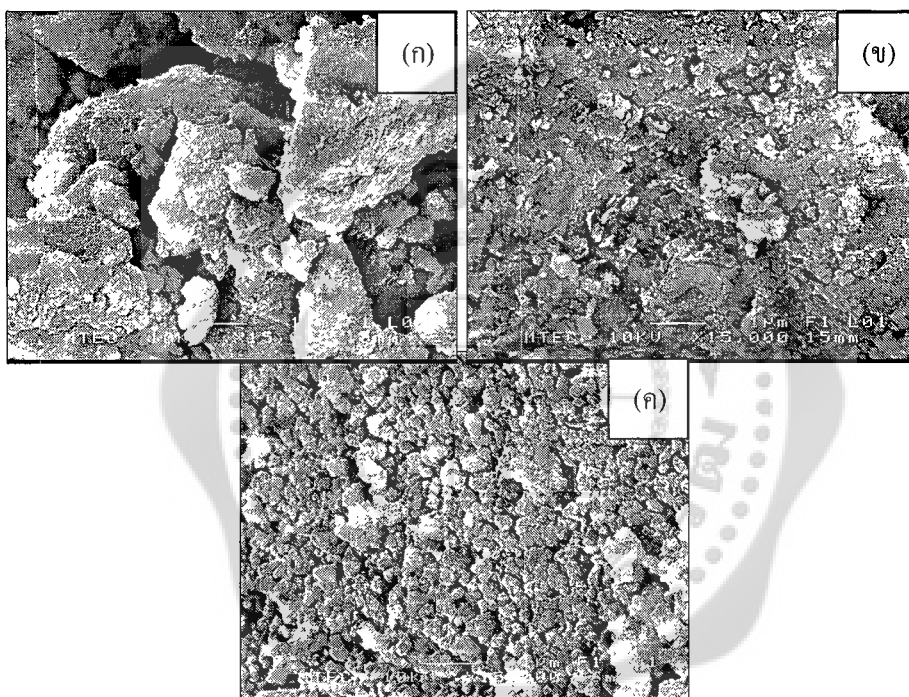
ไฮโดรทัลโคท์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วมของ $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ กับ $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ จะได้ตะกอนสีขาว เมื่อนำไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จากรูปที่ 4.1 พบว่า พีค XRD ของตัวอย่างที่เตรียมได้ที่อัตราส่วน Mg:Al เป็น 2:1 3:1 และ 4:1 พบว่า ทุกตัวอย่างมีพีคเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 11.08 (003) 22.68 (006) และ 59.28 (110) ซึ่งเป็นพีคของ ไฮโดรทัลโคท์ (JCPDS No. 41-1428) นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่ออัตราส่วน Mg:Al เพิ่มขึ้น ความสูงของ พีคที่ตำแหน่ง 28.48 และ 30.76 มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นพีคของ MgCO_3 (JCPDS No. 08-0479) และที่ ตำแหน่ง 15.44 และ 29.84 มีความเข้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วน Mg:Al เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณของ Al^{3+} และ Mg^{2+} ในสารละลายที่มากเกินไป จนเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงดังสมการ (4-1) ถึง (4-5) [Rao et al. ,2005]



รูปที่ 4.1 XRD ของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น (ก) 2:1 (ข) 3:1 และ (ค) 4:1
เมื่อ ● ไฮโดรทัลโคท์ ◆ MgCO_3 ■ AlOOH



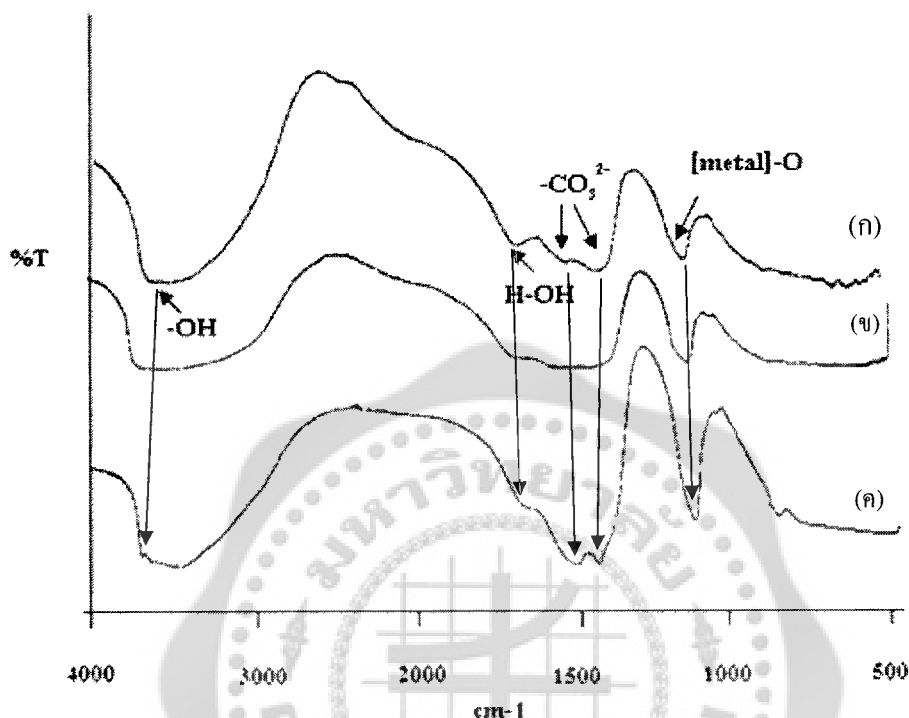
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายอนุภาคของไฮโดรทัลไคท์ที่อัตราส่วน Mg/Al คือ 2:1 3:1 และ 4:1 จากรูปที่ 4.2 พบว่า ตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะไม่เป็นรูปร่างแผ่น และมีการจับตัวกันเป็นก้อน แต่ผลจากการวิเคราะห์ XRD พบว่ามีความเป็นผลึก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอนุภาคของตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้มีมีขนาดเล็ก



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายตัวอย่างไฮโดรทัลไคท์ที่เตรียมได้ที่อัตราส่วน Mg:Al เป็น (ก) 2:1 (ข) 3:1 และ (ค) 4:1 กำลังขยาย 15000 เท่า

รูปที่ 4.3 แสดง FTIR ของตัวอย่างไฮโดรทัลไคท์ที่อัตราส่วน Mg:Al ต่างๆ จากรูปที่ 4.3 พบว่า ตัวอย่างไฮโดรทัลไคท์ทุกอัตราส่วนมีการดูดกลืนในช่วงความถี่ระหว่าง 3800 - 2700 เซนติเมตร⁻¹ ซึ่งแสดงถึงการสั่นของน้ำที่ถูกดูดซับบนตัวอย่าง การสั่นของหมู่ไฮดรอกซิลในโครงสร้าง การสั่นของ $Mg^{2+}-OH^-$ ใน hydroxylcarbonate [Aramendia et al., 1999] การดูดกลืนความถี่ 1647-1644 เซนติเมตร⁻¹ เกิดจากการสั่นแบบกรไร (bending) ของโมเลกุลน้ำที่อยู่ภายในชั้นโครงสร้าง [Xie et al. (2006), Aramendia et al. (1999)] สำหรับการสั่นของอินคาร์บอนเนตอิสระเกิด V_4 , V_2 และ V_3 ที่ 680, 880 และ 1415 เซนติเมตร⁻¹ ตามลำดับ การดูดกลืนความถี่ที่ 1115 เซนติเมตร⁻¹ แสดงการสั่นแบบยืดของ

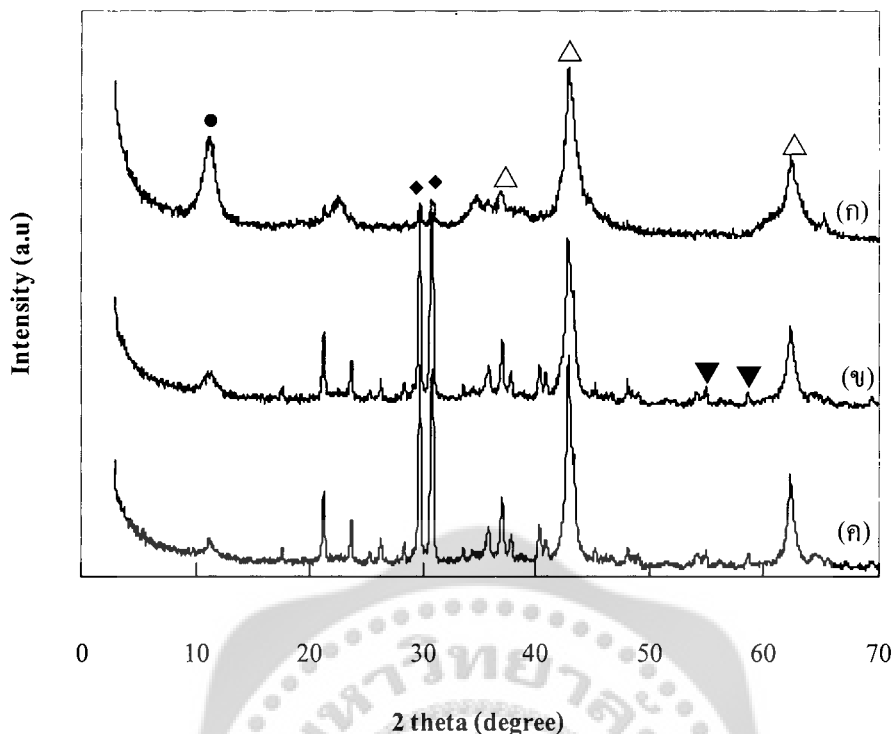
พันธะ Mg-O และ Al-O [Qiu et al., 2003] จากรูปเมื่ออัตราส่วน Mg/Al เพิ่มขึ้น เกิดการดูดกลืนที่ความถี่มากขึ้นในช่วง 3800-2700 เซนติเมตร⁻¹ ซึ่ง Rao et al. (2005) ได้รายงานว่า เมื่อปริมาณแมกนีเซียมมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้น แมกนีเซียมจะอยู่ในรูป $\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_n^{2+}$ ซึ่งมีผลทำให้การดูดกลืนหมู่ไฮดรอกซีที่ความถี่ 3450 เซนติเมตร⁻¹ มีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผล XRD ที่มีเฟสของ MgO



รูปที่ 4.3 FTIR ของตัวอย่างไฮดรทัลโคทที่อัตราส่วน Mg:Al เป็น (ก) 2:1 (ข) 3:1 และ (ค) 4:1

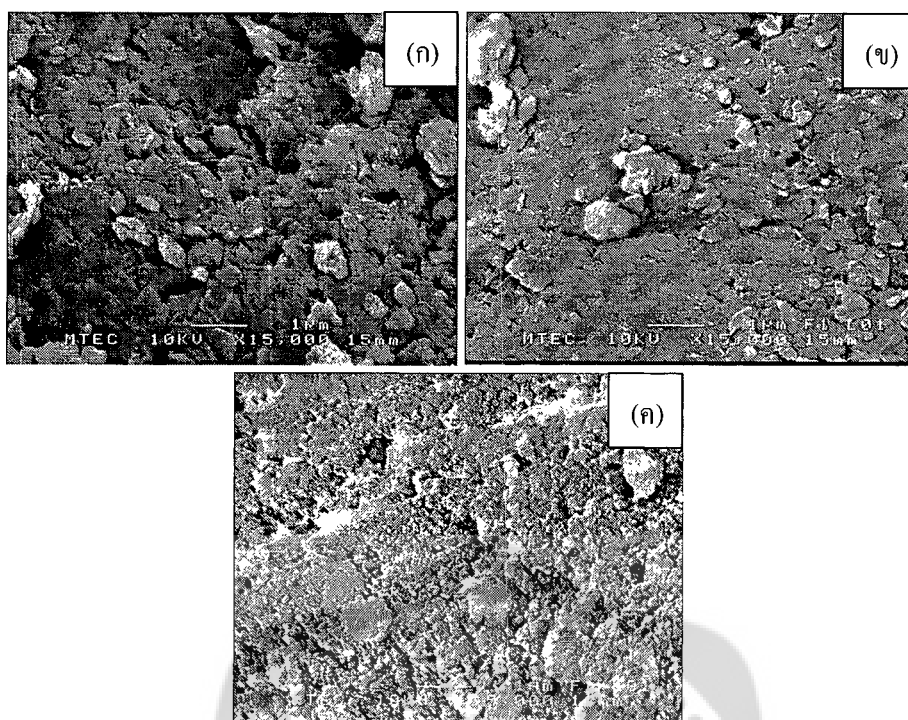
4.1.2 ผลการเผาสารตั้งต้นไฮดรทัลโคท

เมื่อนำตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg:Al ต่างๆ มาเผาที่ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างยังคงมีสีขาวเหมือนเดิม แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์ XRD พบว่า ทุกตัวอย่างยังคงมีพีคของไฮดรทัลโคท นอกจากนี้ยังพบพีคที่มุม 43.96 และ 62.32 ดังแสดงรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นพีคของแมกนีเซียมออกไซด์ (Periclase, MgO) (Xie et al., 2006) (Aramendia et al., 1999) เนื่องจากการเผาไฮดรทัลโคทที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการสลายตัวของไฮดรทัลโคทไปเป็นแมกนีเซียมออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ และเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1000 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดเป็นเฟสของสปินเนล (Spinel, MgAl_2O_4) ขึ้น [Aramendia et al., 1999] นอกจากนี้ยังพบว่าที่อัตราส่วน Mg/Al มากขึ้นยังคงมีพีคของแมกนีเซียมคาร์บอเนตปรากฏอยู่



รูปที่ 4.4 XRD ของตัวอย่างไฮโดรทัลไคท์ที่อัตราส่วน Mg:Al เป็น (ก) 2:1 (ข) 3:1 และ (ค) 4:1 หลังเผา 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
เมื่อ ● ไฮโดรทัลไคท์ ◆ MgCO_3 ■ AlOOH ▼ Al_2O_3 △ MgO ○ MgAl_2O_4

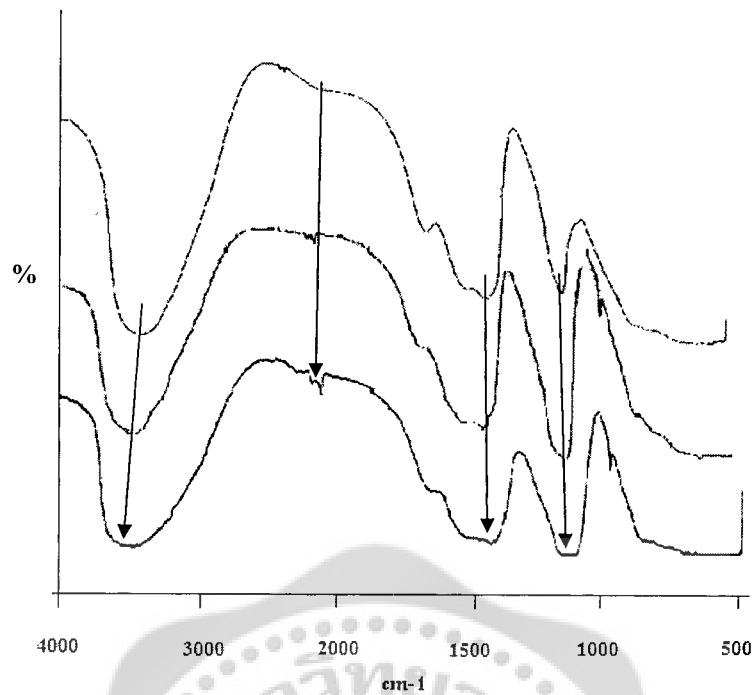
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายของอนุภาคเมื่อนำไฮโดรทัลไคท์หลังเผาที่ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากรูปที่ 4.5 พบว่า ที่อัตราส่วน 2:1 มีลักษณะเป็นแผ่นและไม่มีการเกาะกันเป็นก้อน สำหรับอัตราส่วนอื่นลักษณะของอนุภาคที่สังเกตได้มีลักษณะเป็นผงกระจายตัว รูปที่ 4.6 แสดง FTIR ของตัวอย่างที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วน Mg/Al คือ 2:1 3:1 และ 4:1 จากรูป 4.6 พบว่า FTIR ของตัวอย่างที่ผ่านการเผามีการดูดกลืนในช่วงความถี่ระหว่าง 1646.25-1647.21 $1449.30\text{-}1450.21$ และ $1599.32\text{-}1600.01$ เซนติเมตร⁻¹ มีความเข้มลดลง ในขณะที่ที่ช่วง 1115.23-1115.21 มีความเข้มเพิ่มขึ้น จากรายงานของ Roa et al. (2005) ได้รายงานไว้ว่า เมื่อไฮโดรทัลไคท์ที่ผ่านการเผาจะเกิดการเสียโมเลกุลของน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในโครงสร้างของไฮโดรทัลไคท์ ทำให้ค่าการดูดกลืนที่ความถี่ดังกล่าวลดลง



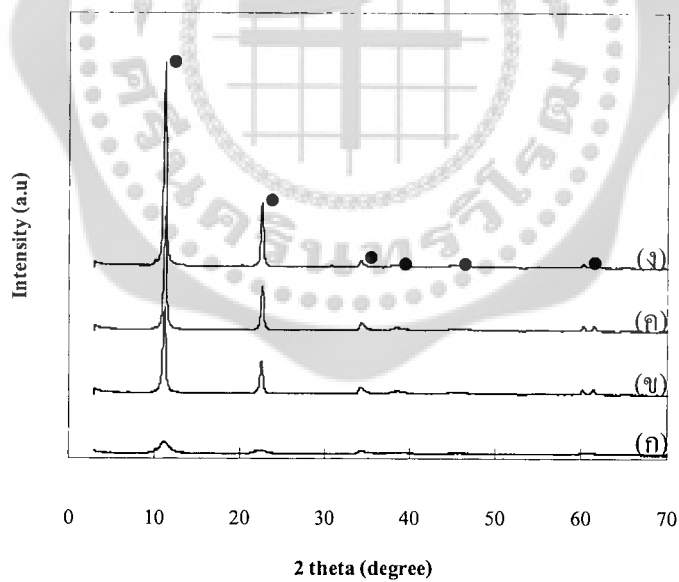
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายจุลโครงสร้างของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น (ก) 2:1 (ข) 3:1 และ (ค) 4:1 เมื่อเผา 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กำลังขยาย 15000 เท่า

4.1.3 ผลการไฮโดรเทอร์มอลของสารตั้งต้นไฮโดรทัลไคท์

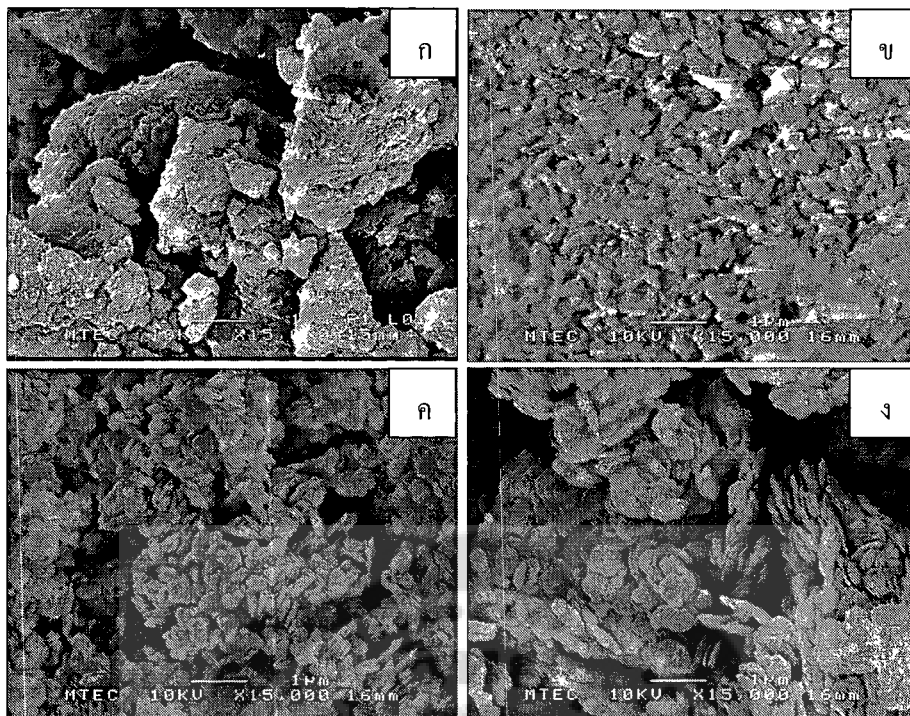
รูปที่ 4.7 แสดง XRD ของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น 2:1 เมื่อผ่านการไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ จากรูปที่ 4.7 พบว่า พีคของตัวอย่างที่ตำแหน่ง 2 theta เท่ากับ 11.20 (003) 22.36 (006) 34.52 (009) และ 38.60 (015) ซึ่งเป็นพีคของไฮโดรทัลไคท์ จากรูปที่ 4.7 พบว่าพีคที่ตำแหน่ง 003 มีความเข้มพีค เพิ่มขึ้น เมื่อใช้เวลาในการไฮโดรเทอร์มอลเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงความเป็นผลึกมากขึ้น (Aramendia et al., 1999) รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น 2:1 หลังทำไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ จากรูปที่ 4.8 พบว่า เมื่อเวลาในการทำไฮโดรเทอร์มอล อนุภาคจะเกิดเป็นรูปร่างหกเหลี่ยม และมีลักษณะเป็นแผ่นสมบูรณ์มากขึ้น เมื่อเวลาไฮโดรเทอร์มอลเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงการจัดเรียงอนุภาคอย่างมีระเบียบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ XRD



รูปที่ 4.6 FTIR ของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น (ก) 2:1 (ข) 3:1 และ (ค) 4:1 เฝ้า 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.7 XRD ของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น 2:1 หลังทำไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 (ก) 6 (ข) 12 (ค) และ 24 (ง) ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อ • ไฮโดรทัลไคท์

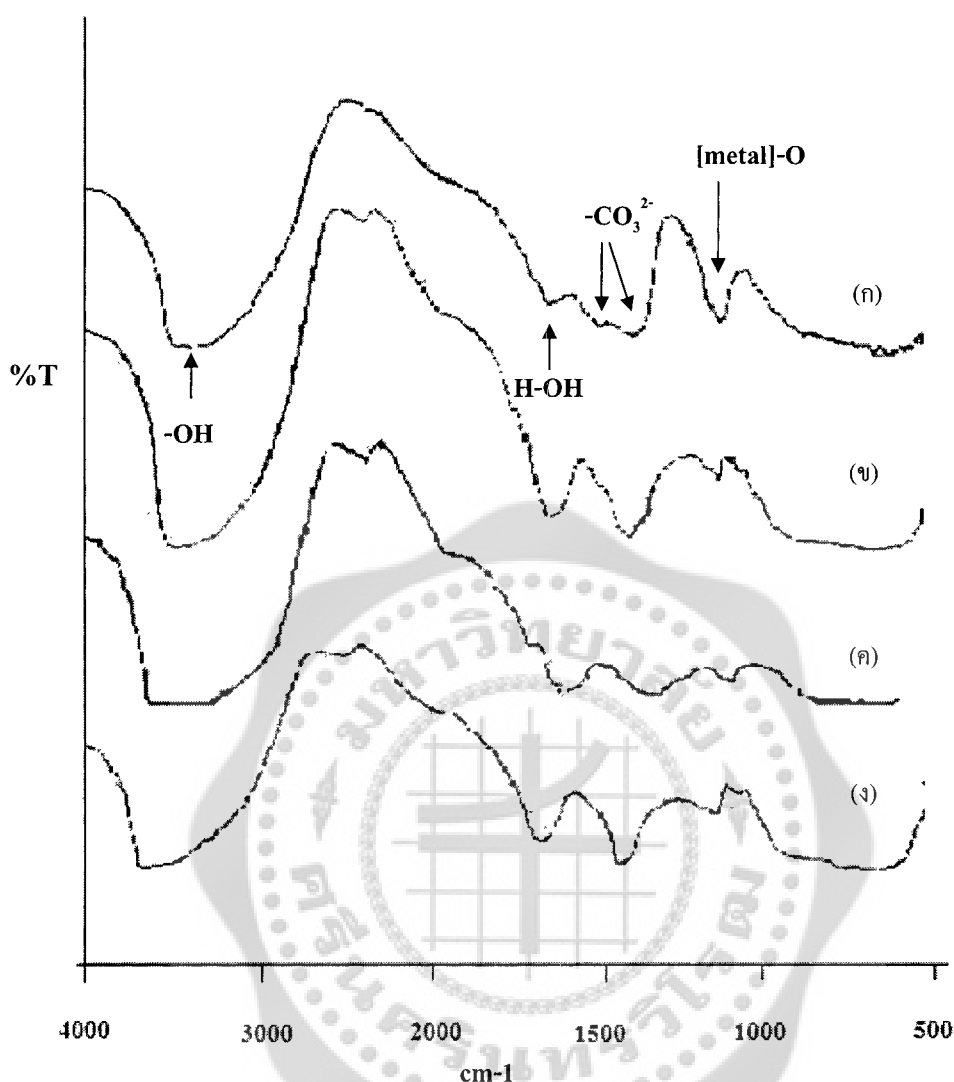


รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น 2:1 หลังทำไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 0 (ข) 6 (ค) 12 และ (ง) 24 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 15000 เท่า

รูปที่ 4.9 แสดง FTIR ของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น 2:1 หลังทำไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ จากรูปที่ 4.9 พบว่า การดูดกลืนความถี่ที่ 1115 cm^{-1} ที่แสดงการสั่นแบบยืดของพันธะ Mg-O และ Al-O ลดลงเมื่อเทียบกับไฮโดรทัลไคท์ที่ไม่ทำไฮโดรเทอร์มอล เนื่องจากการทำไฮโดรเทอร์มอลจะทำให้ Mg-O และ Al-O ในโครงสร้างเปลี่ยนไป ซึ่งเป็นผลให้การดูดกลืนที่ความถี่ที่ 1115 cm^{-1} ลดลง (Aramendia et al., 1999)

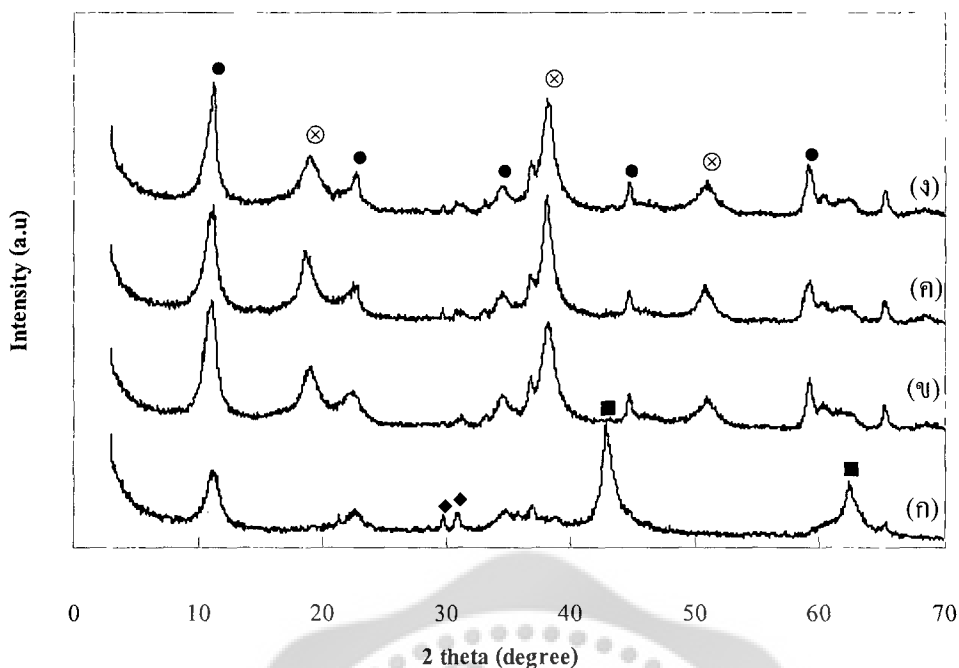
4.1.4 ผลการเผาและทำไฮโดรเทอร์มอลของสารตั้งต้นไฮโดรทัลไคท์

รูปที่ 4.10 แสดง XRD ของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น 2:1 ที่ผ่านการเผา 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทำไฮโดรเทอร์มอลไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆ จากรูปที่ 4.10 พบว่า ตัวอย่างที่ผ่านการทำไฮโดรเทอร์มอล ฟิกของ MgO มีความเข้มลดลง ในขณะที่ฟิกของไฮโดรทัลไคท์ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ $11.28 (003)$ $22.52 (006)$ $37.00 (009)$ $44.80 (018)$ และ $59.92 (110)$ มีความเข้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ฟิกของ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ [Qiu et al., 2003] ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ $19.08 (001)$ $38.32 (101)$ และ $51.04 (102)$ มีความเข้มเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.9 FTIR ของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น 2:1 หลังทำไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 0 (ข) 6 (ค) 12 และ (ง) 24 ชั่วโมง

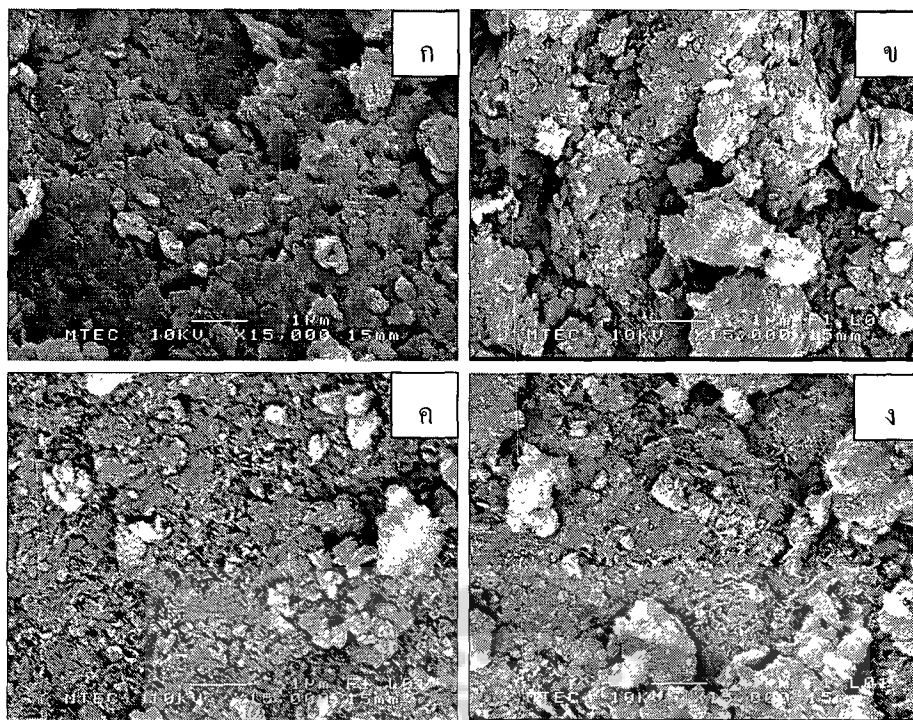
รูปที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายจุลโครงสร้างของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น 2:1 หลังเผาที่ 800 องศาเซลเซียส และทำไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆ จากรูปที่ 4.11 พบว่าตัวอย่างเริ่มต้นหลังเผาที่ 800 องศาเซลเซียส มีลักษณะรูปร่างเป็นแผ่น และเมื่อทำไฮโดรเทอร์มอลพบว่า มีอนุภาคที่มีรูปร่างเป็นแผ่นเกาะอยู่บนผิวอนุภาคตั้งต้น ซึ่งแสดงถึงการเกิดการสร้างผลึกไฮโดรทัลไคท์



รูปที่ 4.10 XRD ของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น 2:1 หลังเผาที่ 800 องศาเซลเซียส และ ทำไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 0 (ข) 6 (ค) 12 และ (ง) 24 ชั่วโมง

● ไฮโดรทัลไคท์ ◆ MgCO_3 ■ AlOOH ▼ Al_2O_3 △ MgO ○ MgAl_2O_4 ⊗ Mg(OH)_2

รูปที่ 4.12 แสดง FTIR ของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น 2:1 หลังเผาที่ 800 องศาเซลเซียส และทำไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไฮโดรทัลไคท์อัตราส่วน Mg/Al เป็น 2:1 ที่ผ่านการเผาและทำไฮโดรเทอร์มอล อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆ จากรูปที่ 4.12 พบว่า ตัวอย่างหลังทำไฮโดรเทอร์มอลมีพีคเกิดขึ้นที่ความถี่ 3699.21 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่ไฮดรอกซิลอิสระในไฮโดรทัลไคท์ เมื่อเวลาในการทำไฮโดรเทอร์มอลเพิ่มขึ้น ความเข้มของพีคที่ตำแหน่งดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้น

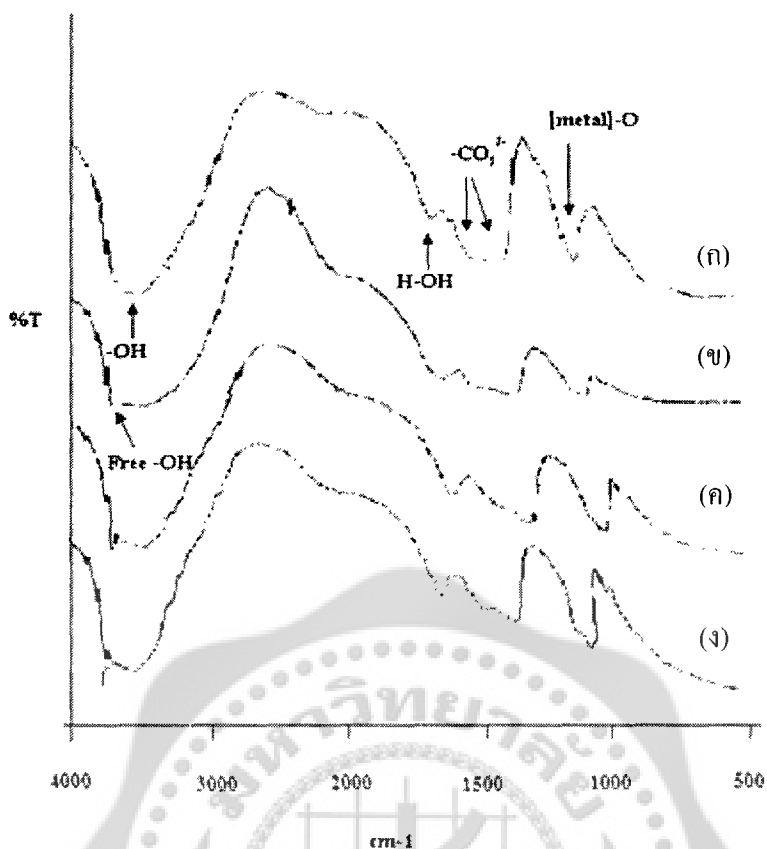


รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายจุลโครงสร้างของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น 2:1 หลังเผาที่ 800 องศาเซลเซียส และทำไอโซเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 0 (ข) 6 (ค) 12 และ (ง) 24 ชั่วโมง

4.2 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลเมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.2.1 ผลของอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล

รูปที่ 4.13 แสดงผลของอัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอลต่อค่าคอนเวอร์ชันเมื่อใช้แหล่งความร้อนเป็นไมโครเวฟและแบบทั่วไป เมื่อสภาวะการทดลองเป็น ระยะเวลาในการสังเคราะห์ 20 นาที และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำมัน สำหรับแหล่งความร้อนไมโครเวฟใช้กำลังไฟเท่ากับ 90 วัตต์ ในขณะที่แหล่งความร้อนทั่วไปใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส เมื่ออัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้น ค่าคอนเวอร์ชันมีค่ามากขึ้น และเมื่ออัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 12 ต่อ 1 จะให้ค่าคอนเวอร์ชันมากที่สุดทั้งแบบไมโครเวฟและแบบทั่วไป คือ 97.65 และ 98.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาของชนาทิพย์ และคณะ (2548) พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่มากเกินไป 12 ต่อ 1 ปริมาณเมทานอลจะมากเกินไปความพอดี เมทานอลจะไปละลายอยู่ในชั้นของกลี เซอรอล



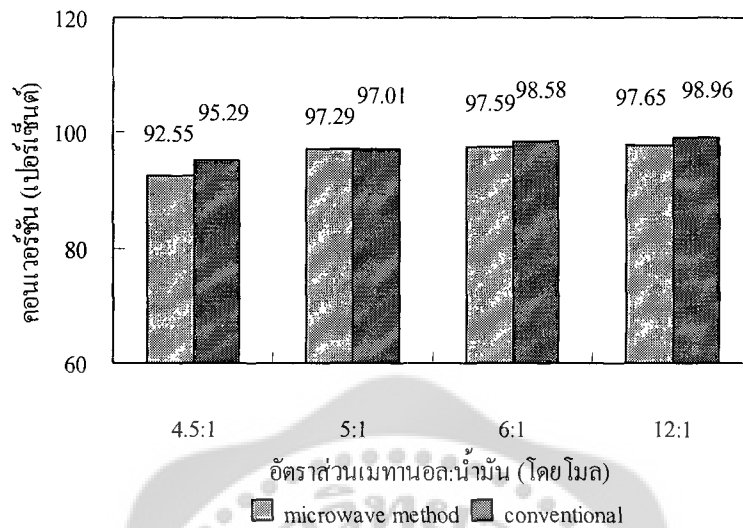
รูปที่ 4.12 FTIR ของตัวอย่างที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น 2:1 หลังเผาที่ 800 องศาเซลเซียส และทำไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 0 (ข) 6 (ค) 12 และ (ง) 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

มากกว่าเข้าทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ เมทานอลส่วนที่มากเกินไปจะไปขัดขวางการแยกชั้นของกลีเซอรอลทำให้ใช้เวลาในการแยกชั้นมากกว่าปกติ และเมทานอลที่มากเกินไปจะไปละลายเอสเทอร์บางส่วนให้กลับเข้าไปอยู่ในชั้นกลีเซอรอลทำให้เอสเทอร์ที่ได้มีปริมาณน้อยลง ซึ่งโดยทั่วไปสำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลพบว่า อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 1 ต่อ 6 ในขณะที่สำหรับอัตราส่วนทางทฤษฎีเท่ากับ 3 ต่อ 1 ซึ่งจากการทดลอง พบว่าอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่เหมาะสมคือ 6 ต่อ 1

4.2.2 ผลของอัตราส่วนน้ำมันต่อ KOH

รูปที่ 4.14 จำนวน KOH ที่มีผลต่อค่าคอนเวอร์ชัน เมื่ออัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันคือ 6 ต่อ 1 เป็นเวลา 20 นาที โดยแหล่งความร้อนที่เป็นไมโครเวฟใช้กำลังไฟ 90 วัตต์ ส่วนแหล่งความร้อนแบบทั่วไปใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 60 องศาเซลเซียส ค่าคอนเวอร์ชันมากขึ้นเมื่อจำนวน KOH เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเมื่อ KOH เป็น 1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำมัน จะมีค่าคอนเวอร์ชันที่มากที่สุดทั้ง

การให้ความร้อนในไมโครเวฟและแบบทั่วไปคือ 97.59 และ 98.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Sukhawanit et al. (2004)

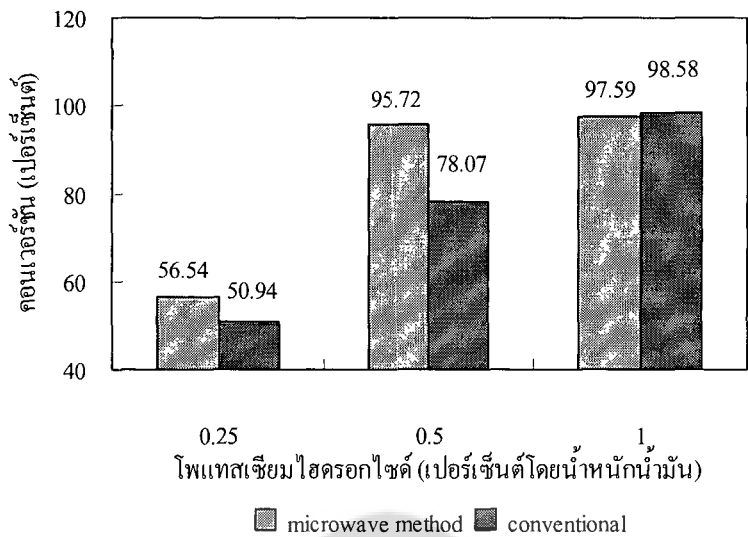


รูปที่ 4.13 อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันกับค่าคอนเวอร์ชัน เมื่อใช้แหล่งความร้อนเป็นไมโครเวฟและแบบทั่วไป

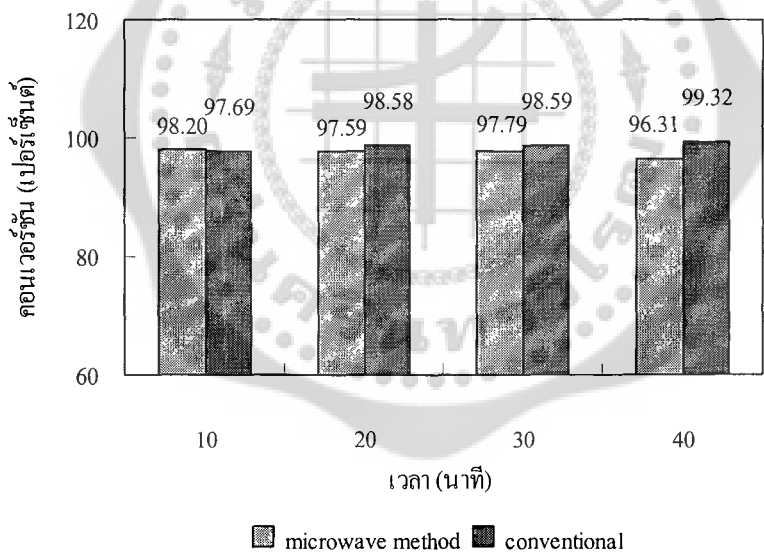
4.2.3 ผลของเวลาในการสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.15 เวลาในการทำปฏิกิริยามีผลต่อค่าคอนเวอร์ชันในการให้ความร้อนแบบทั่วไปเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันคือ 6 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเวลามากขึ้นค่าคอนเวอร์ชันมีค่าเพิ่มขึ้น แต่มีค่าใกล้เคียงกันจนถึงเวลาที่ 40 นาที มีค่าคอนเวอร์ชันสูงสุดเป็น 99.32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการให้ความร้อนแบบทั่วไปของกระบวนการทรานเอสเตอริฟิเคชัน (แบบกะ, แบบต่อเนื่อง) จะถูกส่งผ่านไปยังสารโดยผ่านการพา การนำ จึงจำเป็นต้องใช้พลังงานและเวลาในการให้ความร้อนก่อนตั้งแต่ 30 นาที ถึง 8 ชั่วโมง เพื่อให้ได้คอนเวอร์ชันที่มีค่าสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ [Felizardo et al., 2006]

การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟเป็นความร้อนที่ส่งผ่านไปทำปฏิกิริยาโดยตรงกับโมเลกุลของสาร [Felizardo et al., 2006] จากรูปที่ 4.15 พบว่า เวลาในการทำปฏิกิริยามีผลต่อค่าคอนเวอร์ชันในการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟเมื่ออัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันคือ 6 ต่อ 1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำมัน โดยใช้กำลังไฟ 90 วัตต์ พบว่าค่าคอนเวอร์ชันมากที่สุดที่เวลา 10 นาที คือ 98.2 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเวลามากขึ้นพบว่าค่าคอนเวอร์ชันมีค่าลดลง



รูปที่ 4.14 ปริมาณ KOH ต่อน้ำมันกับค่าคอนเวอร์ชัน เมื่อใช้แหล่งความร้อนเป็นไมโครเวฟและแบบทั่วไป

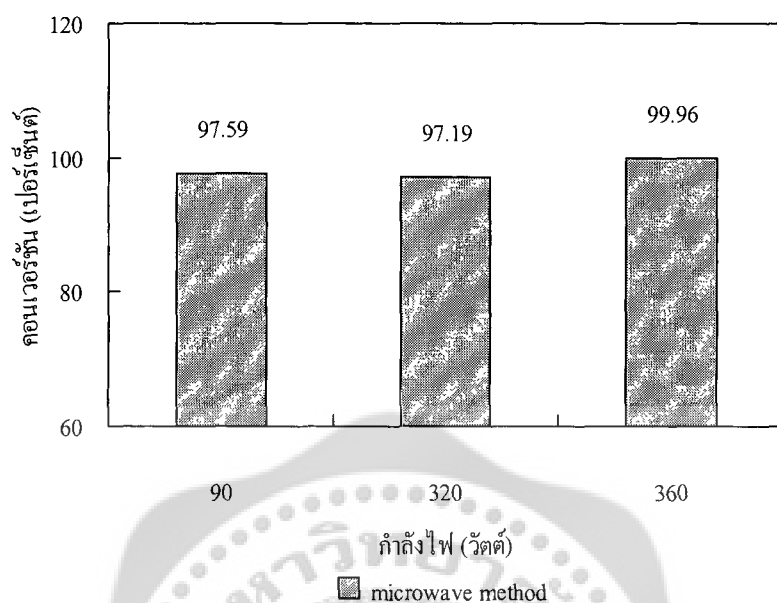


รูปที่ 4.15 เวลาในการทำปฏิกิริยาต่อค่าคอนเวอร์ชันในการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟและแบบทั่วไป

4.2.4 ผลของกำลังไฟในการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟ

จากรูปที่ 4.16 กำลังไฟที่มีผลต่อค่าคอนเวอร์ชันในการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟเมื่ออัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6 ต่อ 1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์

น้ำหนักน้ำมัน ที่เวลา 20 นาที พบว่า กำลังไฟที่ใช้ในการทดลองให้ค่าคอนเวอร์ชันที่มีค่าใกล้เคียงกันแต่ กำลังไฟที่ 360 วัตต์ จะมีค่าคอนเวอร์ชันมากที่สุด คือ 99.96 เปอร์เซ็นต์

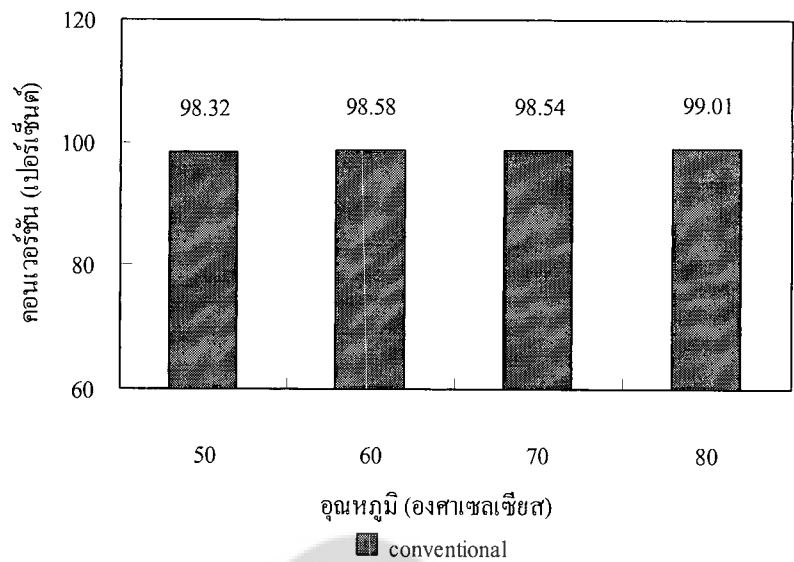


รูปที่ 4.16 ผลของกำลังไฟต่อค่าคอนเวอร์ชันในการให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ

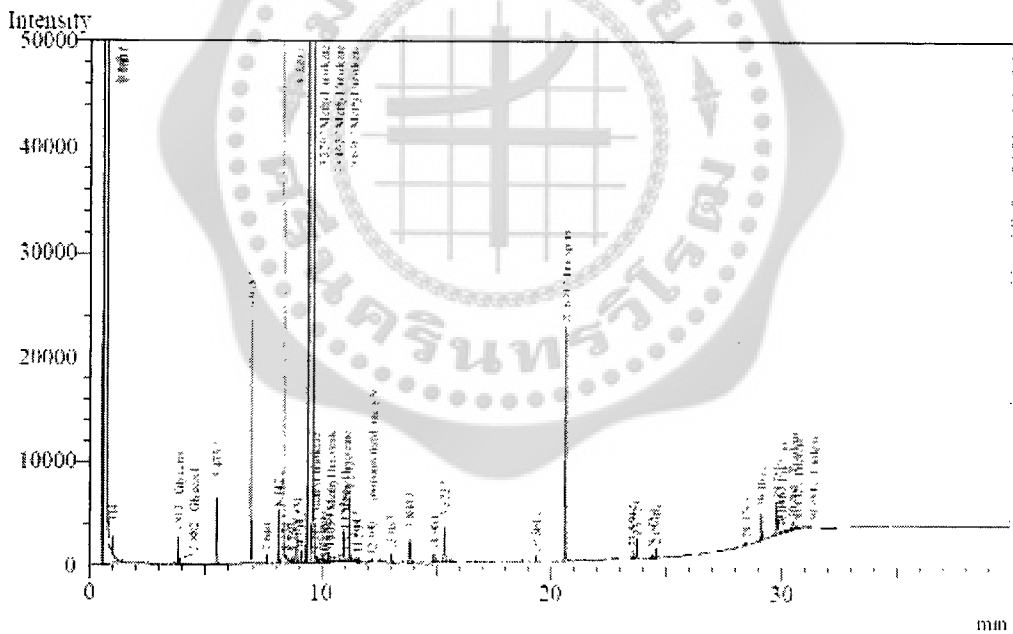
4.2.5 ผลของอุณหภูมิในการให้ความร้อนแบบทั่วไป

จากรูปที่ 4.17 อุณหภูมิที่มีผลต่อค่าคอนเวอร์ชันในการให้ความร้อนแบบทั่วไป เมื่อ สภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6 ต่อ 1 ปริมาณ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำมัน เป็นเวลา 20 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น ค่าคอนเวอร์ชันที่ได้มีค่าเพิ่มมากขึ้นและมีค่ามากที่สุดเมื่ออุณหภูมิที่ใช้เป็น 80 องศาเซลเซียส จะให้ค่าคอนเวอร์ชัน 99.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากงานวิจัยของ ธนาทิพย์ และคณะ [2548] ได้ ศึกษาภาวะที่เหมาะสมเพื่อเปลี่ยนน้ำมันปาล์มไปเป็นเอทิลเอสเทอร์ โดยใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จำนวน 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อัตราส่วนเอทานอลต่อน้ำมันเป็น 15:1 โดยโมล เวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 60 นาที พบว่า ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสให้ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์มากกว่าที่อุณหภูมิ 30 และ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งให้เอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์เป็น 93.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

รูปที่ 4.18 แสดงโครมาโตแกรมของไบโอดีเซลซึ่งสังเคราะห์โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำมัน ที่อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากรูปที่ 4.18 พบว่า ที่เวลา 5.475 ถึง 9.921 นาที เป็นพีคของเมทิลเอสเทอร์ ในขณะที่เวลา 10.069 ถึง 15.372 จะเป็นพีคของโมโนกลีเซอไรด์ ที่เวลา 23.550 ถึง 24.560 นาที เป็น พีคของไดกลีเซอไรด์ และ ที่เวลา 28.439 ถึง 30.461 นาที เป็นพีคของไตรกลีเซอไรด์



รูปที่ 4.17 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อค่าคอนเวอร์ชันในการให้ความร้อนแบบทั่วไป



รูปที่ 4.18 โครมาโตแกรมของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ เมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักน้ำมัน ที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

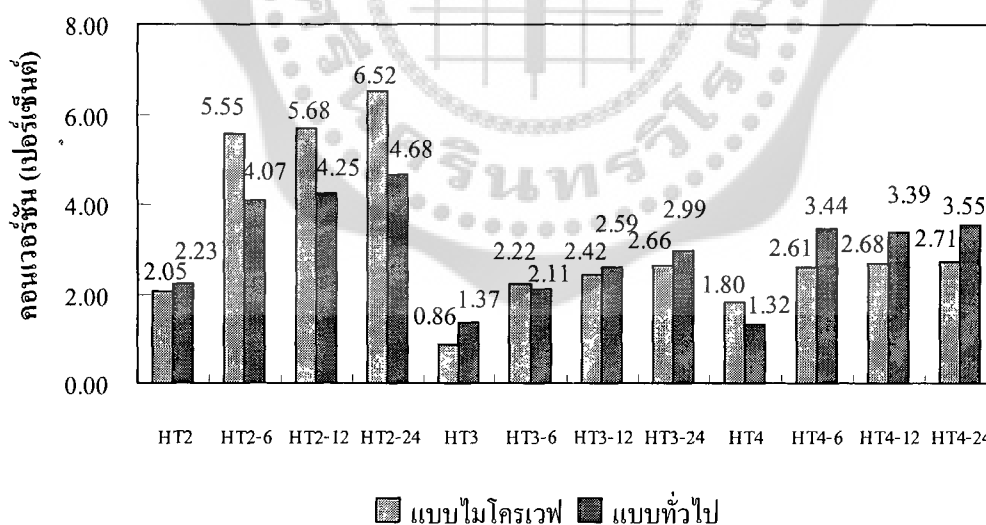
4.2.6 สมบัติกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

น้ำมันปาล์มเริ่มต้นก่อนทำปฏิกิริยามีค่าความหนาแน่น 0.90 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความหนืด 36.534 เซนติสโตก และค่าความร้อน 35.17 เมกะจูลต่อกิโลกรัม จากการทดสอบน้ำมันไบโ

ดีเซลที่สังเคราะห์ด้วยวิธีให้ความร้อนแบบไมโครเวฟ พบว่า ค่าความหนาแน่นของไบโอดีเซลจะอยู่ในช่วง 0.8727 ถึง 0.8995 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าหนืดอยู่ในช่วง 3.499 ถึง 6.619 เซนติสโตก ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันเริ่มต้น ส่วนค่าความร้อนถ้าปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากค่าความร้อนมีค่ามาก ซึ่งให้ค่าความร้อนอยู่ในช่วง 37.77 ถึง 41.53 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีให้ความร้อนแบบธรรมดานำมาทดสอบคุณสมบัติพบว่า ค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.8702 ถึง 0.8992 และ ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 3.143 ถึง 6.619 เซนติสโตก ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันปาล์มเริ่มต้น ส่วนค่าความร้อนอยู่ในช่วง 37.30 ถึง 40.35 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

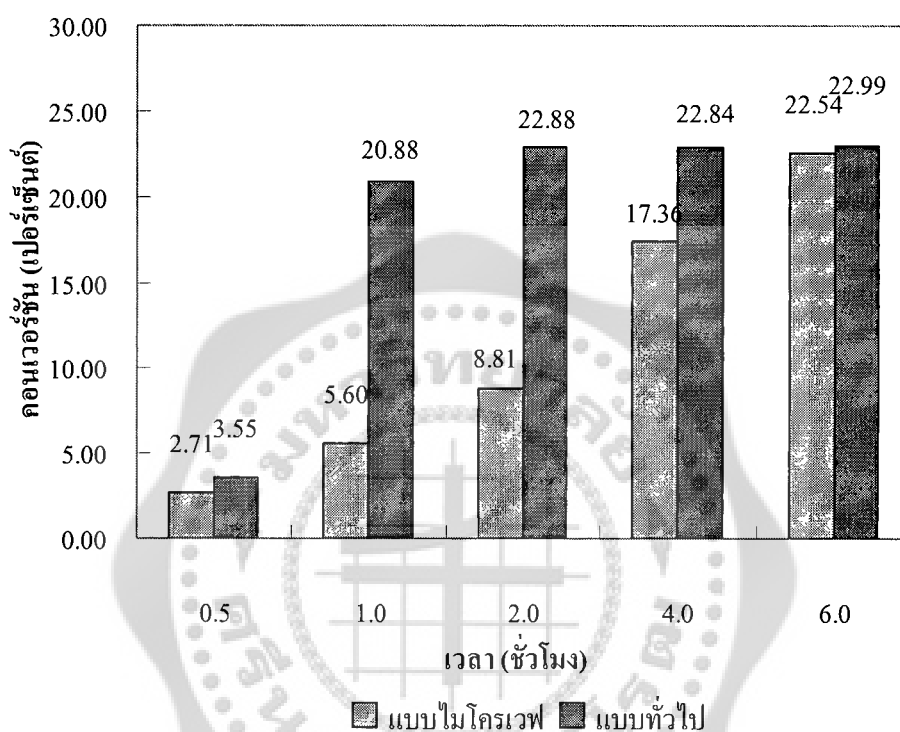
4.3 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลเมื่อใช้ตัวอย่างหลังทำไฮโดรเทอร์มอล

รูปที่ 4.19 แสดงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็งอัตราส่วน Mg/Al ต่างๆ หลังทำไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ที่เวลา 6 ถึง 24 ชั่วโมง ต่อค่าคอนเวอร์ชันไบโอดีเซล เมื่ออัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 3.4 กรัม โดยใช้น้ำมันปาล์มจำนวน 50 มิลลิลิตร เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที สำหรับการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟใช้กำลังไฟที่ 320 วัตต์ และเมื่อให้ความร้อนแบบทั่วไปใช้อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.28 พบว่า เมื่อระยะเวลาในการทำไฮโดรเทอร์มอลเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าคอนเวอร์ชันมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่าคอนเวอร์ชันของตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งที่อัตราส่วนต่างๆ เรียงลำดับดังนี้ $HT2 > HT4 > HT3$ นอกจากนี้พบว่าการใช้แหล่งความร้อนแบบไมโครเวฟให้ค่าคอนเวอร์ชันสูงกว่าแหล่งความร้อนแบบทั่วไปสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น HT2



รูปที่ 4.19 ผลของอัตราส่วน Mg/Al ต่างๆ หลังทำไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 6 ถึง 24 ชั่วโมง ต่อค่าคอนเวอร์ชันไบโอดีเซล

รูปที่ 4.20 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น HT2-24 ต่อค่าคอนเวอร์ชันไบโอดีเซล อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 3.4 กรัม เมื่อให้ความร้อนแบบไมโครเวฟที่กำลังไฟ 320 วัตต์ และ เมื่อให้ความร้อนแบบทั่วไปที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.29 พบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าคอนเวอร์ชันเพิ่มขึ้นและที่เวลา 6 ชั่วโมง จะให้ค่าคอนเวอร์ชันสูงที่สุดทั้งการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟและการให้ความร้อนแบบทั่วไปคือ 22.54 และ 22.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

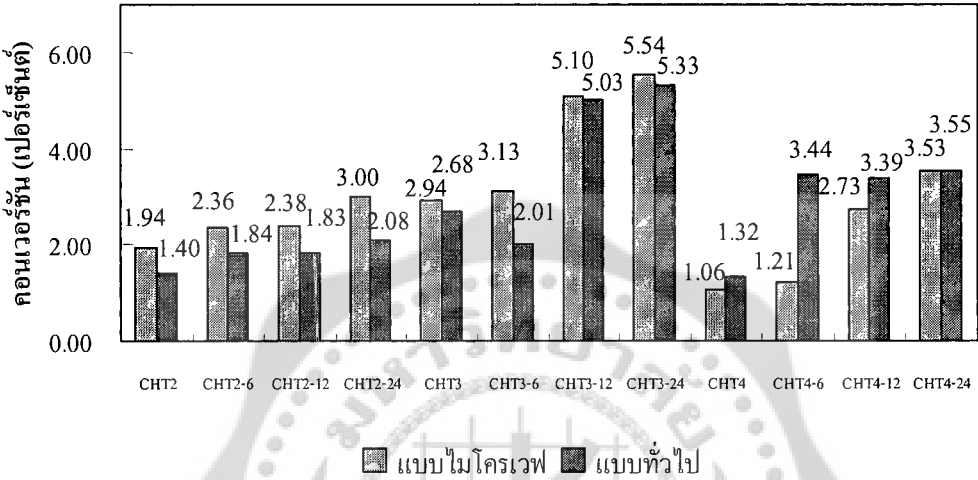


รูปที่ 4.20 ผลของอัตราส่วนMg/Al ต่างๆ หลังทำไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 6 ถึง 24 ชั่วโมง ต่อค่าคอนเวอร์ชันไบโอดีเซล

รูปที่ 4.21 แสดงโครมาโตแกรมของไบโอดีเซลของน้ำมันปาล์มเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวอย่างหลังทำไฮโดรเทอร์มอลเป็น HT2-24 ที่อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 เมื่อใช้แหล่งความร้อนแบบไมโครเวฟที่กำลังไฟ 320 วัตต์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที จากรูปที่ 4.30 พบว่า โครมาโตแกรมที่ได้รีเทนชันที่ 8.259 8.893 9.319 9.371 และ 9.583 เป็นเวลารีเทนชันของสารประกอบเมทิลเอสเทอร์ ในขณะที่เวลา 15.312 นาที เป็นเวลารีเทนชันของโมโนกลีเซอไรด์ ที่ 20.597 นาทีและไตรกลีเซอไรด์มีรีเทนชัน 27.654 ถึง 31.355 นาที

ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามาวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FTIR ให้ผลดังรูป 4.22 จากรูปที่ 4.22 พบว่ามีพีคที่ 1745.61 เซนติเมตร⁻¹ ซึ่งแสดงถึงหมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ และพีคที่ 2853.90 และ 2924.55 เซนติเมตร⁻¹ แสดงถึงหมู่เมทิล (CH₃) ที่เกาะกับหมู่คาร์บอนิล ซึ่งเป็นการยืนยันว่าเกิดเมทิลเอสเทอร์

ที่เวลา 6 ถึง 24 ชั่วโมง ต่อดัชนีคอนเวอร์ชันไบโอดีเซล เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 3.4 กรัม โดยใช้น้ำมันปาล์มจำนวน 50 มิลลิลิตร เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที สำหรับการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟใช้กำลังไฟที่ 320 วัตต์ และการให้ความร้อนแบบทั่วไปใช้อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 4.23 พบว่า ระยะเวลาในการทำไฮโดรเทอร์มอลมากขึ้น ทำให้ค่าคอนเวอร์ชันมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการใช้ตัวอย่างที่ผ่านการเผาและทำไฮโดรเทอร์มอล พบว่า ที่อัตราส่วน Mg/Al เป็น 3:1 ให้ค่าคอนเวอร์ชันที่สูงสุด



รูปที่ 4.23 ผลของอัตราส่วนMg/Al ต่างๆ หลังเผาและทำไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ที่เวลา 6 ถึง 24 ชั่วโมง ต่อดัชนีคอนเวอร์ชันไบโอดีเซล

ตารางที่ 4.1 สมบัติของไบโอดีเซลที่ใช้น้ำมันปาล์มเป็นสารตั้งต้นเมื่อใช้ HT2-24 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

สมบัติ	แหล่งความร้อน	
	ไมโครเวฟ*	แบบทั่วไป**
ความหนาแน่น (กรัมต่อลบ.ซม.)	0.8915	0.8890
ความหนืด (เซนติสโตก)	23.264	22.964
ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	36.39	37.84
ค่าความเป็นกรด (มก.KOHต่อมก.น้ำมัน)	2.09	2.01

เมื่ออัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอล 1 ต่อ 6 เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

*การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ กำลังไฟ 320 วัตต์ ที่ปริมาณ HT2-24 3.4 กรัม

**การให้ความร้อนแบบทั่วไป อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ปริมาณ HT2-24 3.4 กรัม

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมสารประกอบดับเบิลเออร์ไฮดรอกไซด์หรือไฮโดรทัลไคต์จากแมกนีเซียมและอะลูมิเนียม เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและเมทานอล เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 3.4 กรัม ในน้ำมัน 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที เมื่อให้ความร้อนแบบไมโครเวฟใช้กำลังไฟ 320 วัตต์ และ เมื่อให้ความร้อนแบบทั่วไป ใช้ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยทั้งสองวิธีให้ค่าคอนเวอร์ชันเรียงลำดับดังนี้ HT2-24 > HT4-24 > HT3-24 และตัวอย่างหลังเผาและทำไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส ให้ค่าคอนเวอร์ชันเรียงลำดับดังนี้ CHT2-24 > CHT3-24 > CHT4-24 เมื่อใช้แหล่งความร้อนเป็นไมโครเวฟที่ 320 วัตต์ และเป็นดังนี้ CHT3-24 > CHT4-24 > CHT2-24 เมื่อใช้แหล่งความร้อนแบบทั่วไปที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อศึกษาอัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอล ปริมาณ KOH เวลาในการทำปฏิกิริยา และกำลังไฟในการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟและอุณหภูมิในการให้ความร้อนแบบทั่วไป เมื่อใช้น้ำมันปาล์มพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือ อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 ที่ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมัน เมื่อให้ความร้อนในไมโครเวฟใช้เวลา 20 นาที ที่กำลังไฟ 90 วัตต์ เมื่อให้ความร้อนแบบทั่วไปจะใช้เวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาการเตรียมไฮโดรทัลไคต์โดยใช้โลหะอื่นแทน Mg และ Al ตามลำดับ

5.2.2 ควรศึกษาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ไฮโดรทัลไคต์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Aramendia, M. A., Avile, Y., Borau, V., Luque, J. M., Marinas, J. M., Ruiz, J. R. and Urbano, F. J. (1999) Thermal decomposition of Mg/Al and Mg/Ga layered-double hydroxides: a spectroscopic study, *Journal of Material Chemistry*, 9, 1603–1607
- [2] Choudary, B. M., Kantam, M. L., Reddy, Ch. V., Aranganathan, S., Santhi P. L. and Figueras, F. (2000) Mg–Al–O–t-Bu hydrotalcite: a new and efficient heterogeneous catalyst for transesterification, **Molecular Catalysis A: Chemical**, 159(2), 411-416
- [3] Ebiura, T., Echizen, T., Ishikawa, A., Murai, K. and Baba, T. (2005). Selective transesterification of triolein with methanol to methyl oleate and glycerol using alumina loaded with alkali metal salt as a solid-base catalyst. **Applied Catalysis A: General**. 283, 111-116.
- [4] Felizardo, P., Correia, M. J. N., Raposo, I., Mendes, J. F., Berkemeier R. and Bordado, J. M. (2006) Production of biodiesel from waste frying oils, **Waste Management**, 26(5), 487-494
- [5] Gryglewicz, S. (1999). Rapeseed oil methyl esters preparation using heterogeneous catalysts. **Bioresource Technology**. 70, 249-253.
- [6] Jitputti, J., Kitiyanan, B., Rangsunvigit, P., Bunyakiat, K., Attanatho, L. and Jenvanitpanjakul, P. (2006). Transesterification of crude palm kernel oil and crude coconut oil by different solid catalysts. **Chemical Engineering Journal**, 116, 61- 66
- [7] Kim, H-J., Kang, B-S., Kim, M-J., Park, Y. M., Kim, D-K. , Lee. J-S and Lee K-Y. (2004). Transesterification of vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst. **Catalysis Today**. 93-95, 315-320.
- [8] Kovanda, F., Kolousek, D., Cilova Z. and Hulinsky V. (2005) Crystallization of synthetic hydrotalcite under hydrothermal conditions, **Applied Clay Science**, 28(1-4), 101-109
- [9] Lertsathapornsuk, V., Ruangying, P., Pairintra, R. and Krisnangkura, K. (2005) **Continuous Transesterification of Vegetable Oils by Microwave Irradiation** การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1 11-13 พฤษภาคม 2548 โรงแรมแอมบาสเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี
- [10] Ma, F. and Hanna, M. A. (1999), Biodiesel production: a review, **Bioresource Technology**, 70(1), 1-15

- [11] Marchetti, J. M., Miguel V. U. and Errazu A. F. (2007) Possible methods for biodiesel production, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 11(6), 1300-1311
- [12] Meher, L.C., Sagar, D. V. and Naik, S.N. (2006) Technical aspects of biodiesel production by transesterification, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 10(3), 248-268
- [13] Qiu, L., Xie, R., Ding, P. and Qu B. (2003). Preparation and characterization of Mg(OH)₂ nanoparticles and flame-retardant property of its nanocomposites with EVA. **Composite structure**, 62, 391-395.
- [14] Rao, M. M., Reddy, B. R., Jayalakshmi, M., Jaya, V. S. and Sridhar, B. (2005) Hydrothermal synthesis of Mg–Al hydrotalcites by urea hydrolysis, **Materials Research Bulletin**, 40, 347–359
- [15] Rives, V. and Ulibarri, M. A. (1999), Layered double hydroxides (LDH) intercalated with metal coordination compounds and oxometalates, **Coordination Chemistry Reviews**, 181(1), 61-120
- [16] Suppes, G. J., Dasari, M. A., Daskocil, E. J., Mankidy, P. J. and Goff, M. J. (2004). Transesterification of soybean oil with zeolite and metal catalysts. **Applied Catalysis A: General**. 2(257), 213-223.
- [17] www.wmrc.uiuc.edu/main_sections/tech_assist/small-scale-biodiesel.pdf
- [18] www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/prod_quality.pdf
- [19] Xie, W., Peng, H. and Chen, L. (2006). Transesterification of soybean oil catalyzed by potassium loaded on alumina as a solid-base catalyst. **Applied Catalysis A: General**. 300, 67-74.
- [20] ธนาทิพย์ อัครผดุงสิทธิ์, สงบทิพย์ พงศ์สถาปตี, และ ชราพงษ์ วิทิตตานต์. (2548). การสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มเมล็ดในและเอทานอลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเบส. **วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์**, 3(2), 139-149.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล (ภาษาไทย) นาย สิทธินันท์ ท่อแก้ว

(ภาษาอังกฤษ) Mr Sittinun Tawkaew

รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ (ถ้ามี)

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้สะดวกพร้อมโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

ผศ. ดร. สิทธินันท์ ท่อแก้ว ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ถนน รังสิต-นครนายก อำเภอ องครักษ์ จังหวัด นครนายก 26120 โทรศัพท์ 037-322-608 โทรสาร 037-322-608 e-mail: sittinun@swu.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี สาขาวิชา วท.บ. (เคมี) สถาบัน มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ปี ที่สำเร็จ 2535

ปริญญาโท สาขาวิชา วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี) สถาบัน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปี ที่สำเร็จ 2539

หัวข้อวิทยานิพนธ์ที่ทำ A High Alumina Ceramic Filter for Bioseparation

ปริญญาเอก สาขาวิชา PhD (Applied Chemistry) Tohoku University, Sendai Japan

ปี ที่สำเร็จ 2545

หัวข้อวิทยานิพนธ์ที่ทำ Preparation of Semiconductor/Layered Compound

Nanocomposites and Their Photocatalytic Activity for Water Pollution Control

สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

Photocatalytic Reaction, Hydrothermal Synthesis, Kinetic Modeling, Ceramic membrane, Solid-Liquid Separation, Ethanol Fermentation

ผลงานการตีพิมพ์บทความวิจัยในวารสารต่างประเทศ

1. Tawkaew S., Sooknoi T., Jaroenworuluck A., Panyathanmaporn T., Supothina S.
A Textile Waste Water Treatment System Using Photocatalytic Reactor and Catalyst Recycle Unit, Eco-Materials Processing and Design VIII, ISEPD-8,

- Proceeding of The international symposium on eco-materials processing and design 2007 (ISEPD 2007)*, 10-13 Jan 2007, Kitakyushu, JAPAN, 5-8
2. Jitlada Thackthay, Sitthisunton Supothina, Sittinun Tawkaew, **Preparation of titanium dioxide-silicon oxide photocatalyst by dispersion of TiO_2 powder in silica gel**, Journal of Microscopy society of THAILAND, 21, 331-332
 3. Anon Chuachuensuk, Sitthisunton Supothina, Sittinun Tawkaew, **Morphological Change and Photoactivity of $\text{H}_2\text{Ti}_4\text{O}_9$ Layer Compound under Hydrothermal Treatment**, Journal of Microscopy society of THAILAND, 21, 266-270
 4. Thackthay J., Supothina S., Tawkaew S. **Preparation and Characterization of Immobilized Titanium Dioxide on Glass Powder**, Journal of Solid mechanics and Material Engineering, accepted paper April 2007

ผลงานการตีพิมพ์บทความวิจัยในวารสารในประเทศ

1. สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, การเตรียมซีโอไลต์และโซดาไลต์จากดินขาว, วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง ปีที่ 1 ฉบับที่ 3 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2547, 56-60
2. ดวงมณี เรืองสุข, วิวิริยะ มะเดชะ, สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, การตกตะกอนอนุภาคอะลูมินาในชุดตกตะกอน, วารสารวิชาการวิศวกรรม พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับที่ 1 พฤษภาคม 2548 ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2548, 73-78
3. สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, อภิวัฒน์ พัทธวงษ์, ศักดิ์ศิริ วงษ์ตั้ง, การเตรียมซีโอไลต์เอบนตัวรองรับดินขาว, วารสารวิชาการวิศวกรรม พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับที่ 2 พฤศจิกายน 2548 ถึง เมษายน พ.ศ. 2549, 52-58
4. ชัญชัย อนันตปัญญสุทธิ, กานติส สุดสาคร, เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ และ สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, การสลายสีย้อมชิบาร์ครอนเรดในเครื่องปฏิกรณ์แบบใช้แสงที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา, วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 56, 19 สิงหาคม – พฤศจิกายน 2548 หน้า 54-63
5. สุมิตรา นาคเครือ, สินศุภา จุ้ยจุลเจิม, สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, การเตรียมตัวกรองเซรามิกจากดินดำและดินขาว, วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต (RSU JET) ฉบับที่ 3 ปีที่ 9/2549
6. ปิยพงษ์ พรหมสาดี, มนัสชัย เพชรเมือง, จริญญา จัตรมานพ, สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาดำด้วยแสงที่มีแกนกลางเป็นแม่เหล็ก, วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 61, เมษายน – กรกฎาคม 2550
7. ผ่องศรี ศิวนาคศักดิ์, สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว, การศึกษาการหมักแบบต่อเนื่องสำหรับการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล, วารสารวิจัยและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ฉบับที่ 1, 10(1), 1-12

ชื่อ – สกุล (ภาษาไทย) นางสาวสินศุภา จัยจุลเจิม

(ภาษาอังกฤษ) Miss Sinsupha CHUICHULCHERM

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 7

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้สะดวกพร้อมโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

ผศ.ดร.สินศุภา จัยจุลเจิม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ถนน รังสิต-นครนายก อำเภอ องครักษ์ จังหวัด นครนายก 26120 โทรศัพท์ 037-322-608 โทรสาร 037-322-608 e-mail: sinsupha@swu.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี สาขาวิชา วท.บ. (เทคโนโลยีชีวภาพ) สถาบัน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปีที่สำเร็จ 2531

ปริญญาโท สาขาวิชา วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี) สถาบัน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีที่สำเร็จ 2538

หัวข้อวิทยานิพนธ์ที่ทำ Water Retention and Evaporation in a Column of Sand mixed with Water-Absorbing Polymer

ปริญญาเอก สาขาวิชา PhD (Chemical Engineering) สถาบัน Imperial College of Science, Technology and Medicine , University of London

ปีที่สำเร็จ 2544

หัวข้อวิทยานิพนธ์ที่ทำ Configuration and Operation of Bioreactors for Metal Removal from Wastewater systems Using Sulphate-Reducing Bacteria

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

Fluidized Bed Fermentation, Bioseparation, Bioremediation and wastewater treatment

ชื่อ – สกุล (ภาษาไทย) นายพิชัย อัษฎมมงคล

(ภาษาอังกฤษ) **Mr. Pichai ASADAMONGKON**

รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ (ถ้ามี)

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ ระดับ 7

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้สะดวกพร้อมโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

ดร.พิชัย อัษฎมมงคล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ถนน รังสิต-นครนายก อำเภอ องครักษ์ จังหวัด นครนายก 26120 โทรศัพท์ 037-322-608 โทรสาร 037-322-608 e-mail: pichaias@swu.ac.th

ประวัติการศึกษา

- 1992 **B.Sc.** (Mechanical Engineering) King Mongkut's Institute of Technology north Bangkok, Bangkok, Thailand.
- 1995 **M.Eng.** (Mechanical Engineering) King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand.
- 2001 **Ph.D.** (Mechanical Engineering) King's College London, University of London, London, UK.

สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

Turbulence Flow in Internal engine, Energy Conservation in Industry, Alternative Fuel, Freeze Drying.

Publications

1. **Asadamongkon, P. 1995** “Design and development of freeze-drying unit” Masters' Degree Thesis, King Mongkut's Institute of technology north Bangkok, Bangkok, Thailand (in Thai).
2. **Asadamongkon P., St Hill, N., Lee K. C. and Yiannesskis, M. 2000.** “On the turbulence and cyclic variation levels in the internal combustion engine cylinders” .Proc.I.Mech.E. Conf “Automobile Engineering”, pp. 79-88, C587/021/2000.

3. **Asadamongkon P., St Hill, N., Lee K. C. 2000.** “*A study of turbulence and cyclic variations levels in internal combustion engine cylinder*” Proc. 10 th. Symp. “Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics”, Lisbon, Portugal, July 2000.
4. **Asadamongkon P., 2001.** “Characteristic of the Flow Through Dual-Intake Valves Gasoline Engines”. Ph.D. Thesis, King's College London, University of London.
5. **Asadamongkon P., 2001** “Study of Turbulence and Cycle to Cycle Variation Level in SI Engine Cylinders” 15th ME-net conference Bangkok Thailand.
6. **H. C. Mak, D. Hann, P. Asadamongkon+ and M. Yianneskis , 2002**“*The variation of the steady flow in a DI engine intake due to vortex shedding*” (in preparation of ImechE paper).
7. **Likit SAINOO and Pichai Asadamongkon, 2003.** “*Study of the Ethanol Fueled Gasoline Engine on Performance*”. 17th ME-net conference Prajinburee, Thailand (in Thai).

