บทนำ
(Introduction)

1. ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

จากการเกิดวิกฤติการณ์ของราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่ปรับตัวสูงขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2542 เป็นต้นมา และยังมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น ประเทศต่างๆ จึงมีความตื่นตัวที่จะทำการศึกษา ค้นคว้าวิจัย และพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ ประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงานในเชิงพาณิชย์ประมาณร้อยละ 91 ของการใช้พลังงานรวมของประเทศ โดยเฉพาะน้ำมันดิบมีปริมาณการนำเข้ามากถึงร้อยละ 79 ของการนำเข้าพลังงานทั้งหมดในเชิงพาณิชย์ เพื่อนำมาผ่านขบวนการกลั่นให้เป็นน้ำมันสำเร็จรูปชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ สำหรับกลุ่มผู้ใช้น้ำมันดีเซลนั้นส่วนใหญ่จะอยู่ในภาคการขนส่งและเกษตรกรรม ด้วยราคาน้ำมันดิบและน้ำมันสำเร็จรูปของโลกมีแนวโน้มที่จะปรับตัวสูงขึ้นอีก ทำให้เกิดผลกระทบต่อประชาชนเป็นอย่างมากและประเทศต้องสูญเสียเงินตราให้กับต่างประเทศในการจัดซื้อน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น แนวทางหนึ่งที่จะสามารถช่วยประเทศชาติประหยัดเงินตราและลดการพึ่งพาน้ำมันดิบจากต่างประเทศ นั่นคือ การนำน้ำมันจากกระบวนการสกัดพืชน้ำมันหรือน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีด้วยแอลกอฮอล์ เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซลซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้เป็นอย่างดี อันเป็นการตอบสนองต่อนโยบายของรัฐบาลในการใช้พลังงานทดแทนที่สามารถผลิตขึ้นได้เองภายในประเทศ ประกอบกับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีพืชน้ำมันหลากหลายชนิด ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว สบู่ดำ ถั่วเหลือง ละหุ่ง งา มะกอก รำข้าว ทานตะวัน เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพได้ นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ก๊าซเรือนกระจก) และมลพิษทางอากาศชนิดอื่นๆ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สารไฮโดรคาร์บอน ฝุ่นละออง อีกด้วย

งานวิจัยในครั้งนี้จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตพลังงานทดแทนและเชื้อเพลิงชีวภาพ สำหรับนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลในภาคการคมนาคมขนส่งและเครื่องจักรกลการเกษตร ผลจากการวิจัยคาดว่าจะสามารถผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ (*Jatropha Curcas* Oil) ให้มีปริมาณและความบริสุทธิ์ที่สูงตามความต้องการได้ โดยนำวัสดุจากธรรมชาติ (Biomaterial) จำพวกหินโดโลไมท์ (Dolomite Rock) และกลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (By-product) จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Catalyst) ภายในเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ (Microwave Reactor) ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมการนำทรัพยากรหรือวัสดุจากธรรมชาติที่มีอยู่ภายในชุมชนหรือท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น รวมทั้งยังเป็นการสนับสนุนให้มีการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งเป็นพลังงานทดแทนในชุมชนหรือท้องถิ่น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ

กระบวนการผลิตจริงในเชิงพาณิชย์ เพื่อเป็นการสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับเศรษฐกิจของชุมชนหรือประเทศชาติได้อีกทางหนึ่ง

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากหินโดโลไมท์กับกลีเซอรอล โดยหินโดโลไมท์เป็นวัสดุจากธรรมชาติที่สามารถหาได้ง่ายและมีอยู่ปริมาณมาก จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรภายในชุมชนและท้องถิ่น ส่วนกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จึงเป็นการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่ได้จากการทำปฏิกิริยามาใช้ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น

2.2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟจากน้ำมันสบู่ดำ โดยให้มีปริมาณและความบริสุทธิ์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่สูง สำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลของภาคการคมนาคมขนส่งและเครื่องจักรกลการเกษตรภายในชุมชน และสามารถพัฒนานำไปประยุกต์ใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์

3. ขอบเขตของงานวิจัย

3.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการวิจัย คือ แคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ (Calcium Glyceroxide: $Ca[O(OH)_2C_3H_5]_2$) ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide: MgO) โดยเตรียมได้จากการนำหินโดโลไมท์ธรรมชาติมาทำการเผาที่อุณหภูมิสูง จากนั้นนำมาทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลและเมทานอล

3.2 น้ำมันที่ใช้ในการวิจัย คือ น้ำมันสบู่ดำ สำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Base-Catalyzed Transesterification)

3.3 แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการวิจัย คือ เมทานอล สำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

3.4 เครื่องปฏิกรณ์เคมีที่ใช้ในการวิจัย คือ เครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ ซึ่งจะเป็นการประหยัดทั้งเวลาและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเมื่อเทียบกับการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (Traditional/ Conventional Heat Processing)

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 สามารถเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากหินโดโลไมท์ซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่สามารถหาได้ง่ายและมีอยู่ปริมาณมาก

4.2 สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำในเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ โดยให้มีปริมาณและความบริสุทธิ์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่สูง สำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลของภาคการคมนาคมขนส่งและเครื่องจักรกลการเกษตรภายในชุมชน

4.3 สามารถตีพิมพ์บทความวิจัยในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติที่มีระบบตรวจสอบคุณภาพของต้นฉบับ (Peer Review) และมีค่าดัชนีผลกระทบการอ้างอิง (Impact Factor)

4.4 สามารถสร้างนักวิจัยหรือผู้ช่วยวิจัยจากนักศึกษาระดับปริญญาตรี

5. ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิด (Conceptual Framework) ของโครงการวิจัย

5.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไบโอดีเซลและกระบวนการผลิต

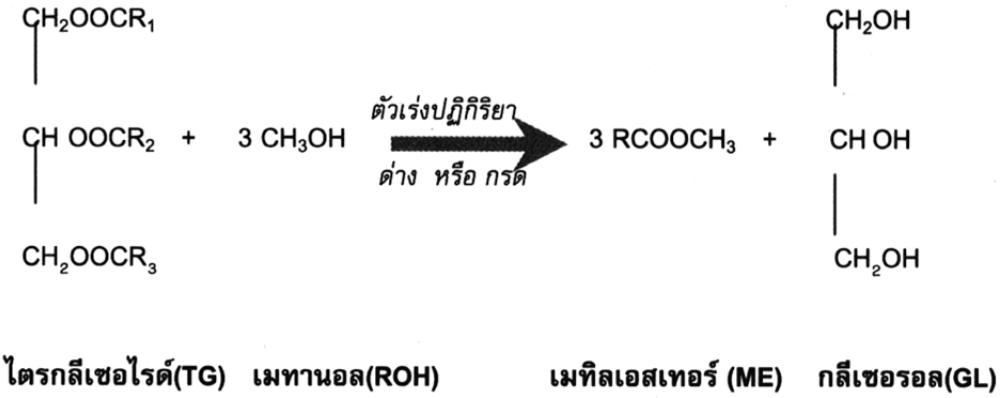
เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย และมีบทบาทที่สำคัญในภาคการคมนาคมขนส่งและเกษตรกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนาอย่างประเทศไทย ทำให้ความต้องการในการใช้น้ำมันดีเซลเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ปริมาณของน้ำมันดิบที่เกิดจากธรรมชาติเหลือน้อยลงไปทุกที จึงจำเป็นที่จะต้องหาพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่นๆ เพื่อนำมาทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมที่เหลือน้อยลงและนับวันก็จะยิ่งมีราคาสูงขึ้นมาก ไบโอดีเซลจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมได้ เนื่องจากราคาถูกและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

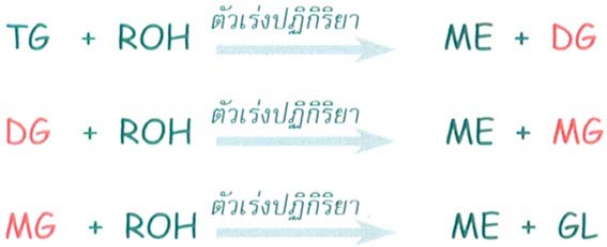
ไบโอดีเซลเป็นสารเอสเทอร์ (Ester) ที่สังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำมันพืช น้ำมันสัตว์หรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ การเรียกชื่อสารเอสเทอร์ที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ถ้าใช้เมทานอลจะเรียกสารที่ได้ว่า เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester: ME) แต่ถ้าใช้เอทานอลจะเรียกสารที่ได้ว่า เอทิลเอสเทอร์ (Ethyl Ester: EE) อย่างไรก็ตาม ไบโอดีเซลเป็นคำรวมที่ใช้เรียกสารเอสเทอร์เหล่านี้ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนจากพืช สามารถใช้ไบโอดีเซลเพียงอย่างเดียวเป็นเชื้อเพลิง หรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลก็ได้ โดยอัตราการผสมใช้ได้ตั้งแต่ร้อยละ 2 ขึ้นไป ไบโอดีเซลล้วนๆ ที่ไม่ทำการผสมกับน้ำมันดีเซลมีชื่อเรียกว่า บี100 (B100) ส่วนไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันดีเซลจะเรียกตามอัตราส่วนโดยปริมาตรของการผสม เช่น เชื้อเพลิงที่มีไบโอดีเซลร้อยละ 20 ผสมกับน้ำมันดีเซลร้อยละ 80 โดยปริมาตรจะเรียกว่า บี20 (B20) เป็นต้น

ไบโอดีเซลที่ผลิตได้เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์และไอเสียมีมลพิษที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล สำหรับการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลนั้น จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ในส่วนของลูกสูบ ระบบหัวฉีด และห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้เหมาะสม หากใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลธรรมดาที่ไม่มีการดัดแปลงชิ้นส่วนใดๆ จะต้องลดความหนืดของน้ำมันพืชให้มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าดจึง

จะสามารถใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงได้ แต่ใช้ได้เฉพาะกับเครื่องยนต์รอบต่ำและใช้งานอยู่กับที่ เช่น เครื่องยนต์ทางการเกษตรที่ใช้ในสวนเพื่อการสูบน้ำ หรือเครื่องเติมก๊าซออกซิเจนให้กับน้ำในนากุ้ง

ปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตสารเมทิลเอสเทอร์มีด้วยกันอยู่ 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) และปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ซึ่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นจะประกอบด้วยปฏิกิริยาทั้งหมด 3 ขั้นตอน โดยขั้นแรกน้ำมันพืชหรือสารไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride: TG) จะทำปฏิกิริยากับเมทานอล (CH_3OH หรือ ROH) เกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลกับไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride: DG) ขั้นที่สองไดกลีเซอไรด์จะทำปฏิกิริยากับเมทานอลเกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์กับโมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride: MG) และขั้นสุดท้ายโมโนกลีเซอไรด์จะทำปฏิกิริยากับเมทานอลเกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอล (Glycerol: GL)

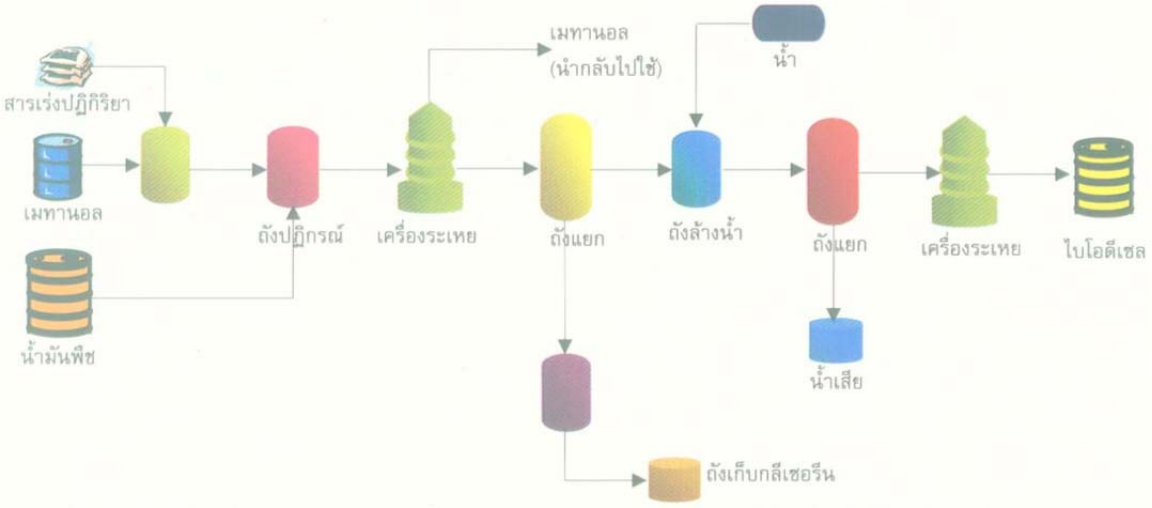




รูปที่ 1 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (พิศมัย และ ลลิตา, 2549)

อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตจะต้องคำนึงถึงการทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ เพื่อให้ค่าของผลได้สูงสุดและเกิดการสูญเสียน้อยที่สุด นอกจากนั้นแล้วยังต้องให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐานที่กำหนด ควรมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ราคาสามารถที่จะแข่งขันได้ และมีสารผลิตภัณฑ์มากพอที่จะจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้อีกด้วย ซึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญต่อค่าของผลได้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์ ชนิดและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา การผสมของสารตั้งต้น และความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้น

การผลิตไบโอดีเซลในเชิงอุตสาหกรรมอาจเป็นกระบวนการแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องก็ได้ขึ้นกับการออกแบบกระบวนการผลิต แต่ส่วนใหญ่มักจะเป็นปฏิกิริยาที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีความคุ้มทางเศรษฐศาสตร์สูงสุด โดยทั่วไปการผลิตไบโอดีเซลจะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (พิศมัย และ ลลิตา, 2549)

กระบวนการที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

(1) กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification Process) ที่ใช้เมทานอลและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเทคโนโลยีนี้จะมีการลงทุนที่ไม่สูงมากนัก เพราะเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิและความดันต่ำ ร้อยละผลได้ของปฏิกิริยาสูง แต่ไม่เหมาะกับวัตถุดิบที่มีปริมาณของกรดไขมันอิสระสูง เนื่องจากจะเกิดสบู่ทำให้ร้อยละผลได้ของกระบวนการผลิตลดลง

(2) กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่ใช้เมทานอลและกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถใช้กับวัตถุดิบทุกชนิดและค่ากรดไขมันอิสระทุกระดับ แต่จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ยาวนาน และใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่สูงกว่าการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของกระบวนการแบบนี้สูง

(3) กระบวนการแบบสองขั้นตอน (Two-Stage Process) โดยขั้นตอนที่ 1 จะเป็นปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน และขั้นตอนที่ 2 จะเป็นปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน สามารถใช้กับน้ำมันที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูง แต่มีการใช้พลังงานในการผลิตไบโอดีเซลที่ต่ำ โดยมีหลักการ คือ การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันให้กลายเป็นสารเอสเทอร์เสียก่อน ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน จากนั้นจะใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนสารไตรกลีเซอไรด์ให้กลายเป็นไบโอดีเซลซึ่งเป็นปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

(1) เทคโนโลยีการผลิตแบบกะ (Batch Technology) ข้อดีของการผลิตแบบนี้ คือ มีราคาถูก แต่คุณภาพของสารผลิตภัณฑ์อาจมีความไม่สม่ำเสมอ และมีกำลังการผลิตต่อครั้งที่ไม่สูงมากนัก

(2) เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Technology) เป็นการใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันซึ่งเป็นวิธีที่สามารถผลิตสารให้มีคุณภาพสม่ำเสมอได้ พื้นที่สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์จะน้อยกว่าแบบกะในกรณีที่กำหนดให้อัตราของกำลังการผลิตเท่ากัน แต่มีต้นทุนสูงกว่าแบบกะ เนื่องจากจะต้องมีการติดตั้งระบบควบคุมกระบวนการแบบอัตโนมัติเข้าไปด้วย

(3) เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่องด้วยกระบวนการแบบสองขั้นตอน จะเป็นการใช้กระบวนการเอสเทอริฟิเคชันในช่วงแรกและกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในช่วงหลัง ซึ่งวิธีการแบบนี้จะมีความเหมาะสมกับวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นทุกชนิด โดยเฉพาะน้ำมันที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูง

5.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

สบู่ดำ มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Physic Nut ชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha Curcas Linn.* อยู่ในวงศ์ไม้ยางพารา ซึ่งเป็นพืชพื้นเมืองของทวีปอเมริกาใต้ ชาวโปรตุเกสนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยในช่วงปลายสมัยกรุงศรีอยุธยา เพื่อนำมาบีบน้ำมันสำหรับทำสบู่ ในปัจจุบันต้นของสบู่ดำมีปลูกอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย

ต้นสบู่ดำ เป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลาง ความสูง 2-7 เมตร มีอายุราว 50 ปี เจริญเติบโตง่าย ทนแล้ง สามารถปลูกได้ทุกสภาพพื้นที่ ลำต้นและยอดคล้ายกับละหุ่ง แต่จะไม่มีขน เปลือกของลำต้นมีสีเทา-น้ำตาล เกลี้ยงเกลา อวบน้ำ เป็นไม้เนื้ออ่อน ใช้มือหักได้ง่ายเพราะเนื้อไม้ไม่มีแก่น มีน้ำยางสีขาวใส ใบเป็นใบเดี่ยว รูปไข่ กว้างหรือค่อนข้างกลม จัดเรียงแบบสลับ โคนใบเว้ารูปหัวใจ ใบหยักคล้ายกับใบละหุ่งแต่หยักตื้นกว่า ขอบใบเรียบหรือหยักเว้า 3-5 หยัก ปลายใบแหลม เมื่อโตเต็มที่จะมีขนาดเท่าฝ่ามือ

รูปที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของดอกและผลสบู่ดำ

ดอกสบู่ดำเป็นช่อกระจุกที่ข้อส่วนปลายยอด ขนาดเล็กสีเขียวแกมเหลือง มีกลิ่นหอมอ่อนๆ ช่อดอกแบบ Panicle ประกอบด้วยดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในช่อดอกเดียวกัน ดอกทั้ง 2 ชนิด มีกลีบรองและกลีบดอกอย่างละ 5 กลีบ ดอกตัวผู้มีเกสรเรียงเป็นวง 2 วง วงละ 5 อัน ดอกตัวเมียมีรังไข่ ก้านเกสรตัวเมียมี 6 แฉก ผลมีลักษณะเป็นพู โดยส่วนมากจะมี 3 พู สีเขียวอ่อน เวลาสุกแก่จัดจะมีสีเหลือง อายุของผลสบู่ดำตั้งแต่ออกดอกถึงผลแก่ประมาณ 60-90 วัน ส่วนเมล็ดมีสีดำ ขนาดเล็กกว่าเมล็ดของละหุ่งพันธุ์ลายขาวดำเล็กน้อย ตรงปลายเมล็ดมีจุดสีขาวเล็กๆ ติดอยู่ ความยาวประมาณ 1.7-1.9 เซนติเมตร หนาประมาณ 0.8-0.9 เซนติเมตร น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 69.8 กรัม

รูปที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำและลำต้น**สบู่ดำ**

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดสบู่ดำ

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	5.05 ± 0.09
ไขมัน	46.34 ± 0.87
โปรตีน	22.00 ± 0.29
เส้นใย	14.80 ± 0.57
กากถ่าน	5.00 ± 0.06

น้ำมันในเมล็ดสบู่ดำมีปริมาณสูงถึง 40% ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีคาร์บอนสายโซ่ยาว เช่น กรดไลโนเลอิก กรดโอเลอิก กรดพาล์มมิติก กรดเสตียริก เป็นต้น น้ำมันสบู่ดำมีค่าของจุดวาบไฟและความหนืดทางจลศาสตร์ที่สูง การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันสบู่ดำให้กลายเป็นไบโอดีเซลนั้น จึงเป็นการลด

ค่าความหนืดลง ถ้าสกัดเอาน้ำมันเฉพาะจากส่วนของเมล็ดใน จะได้น้ำมันสบู่ดำที่ให้ค่าความร้อน 9,470 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ในขณะที่ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ มีดังนี้

- น้ำมันดีเซล 10,170 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม
- น้ำมันเบนซิน 10,600 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม
- เอทิลแอลกอฮอล์ 6,400 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม

ข้อได้เปรียบของสบู่ดำเมื่อนำไปใช้งานเปรียบเทียบกับพลังงานชีวภาพอื่นๆ คือ

(1) เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและขยายพันธุ์ได้ง่าย

(2) สามารถหาได้ในชนบท

(3) วิธีการสกัดเอาน้ำมันออกมาสามารถทำได้ง่าย

(4) ประสิทธิภาพของพลังงานสูงเป็นที่น่าพอใจ

(5) ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงเครื่องยนต์

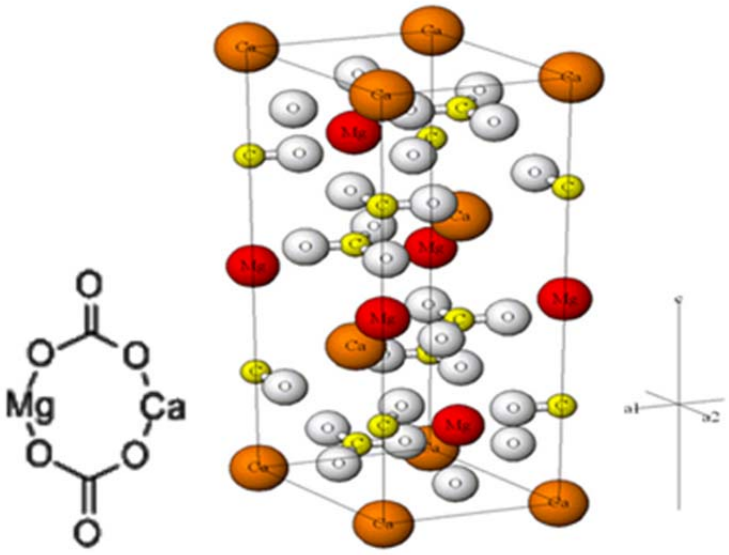
ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันสบู่ดำ

สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ	ผลการวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม)	2.13
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์โดยเปรียบเทียบกับกรดโอเลอิก)	1.07
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อกิโลกรัม)	1.31
ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัม)	97.17
ค่าสปอนิฟิเคชัน (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม)	189.87
สารที่สปอนิไฟด์ไม่ได้ (เปอร์เซ็นต์)	5.01
ความหนืดที่ 30 องศาเซลเซียส (ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)	46.6
ความหนาแน่นที่ 15 องศาเซลเซียส (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.903
เถ้าซัลเฟต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	0.0078

สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกใช้น้ำมันสบู่ดำที่ได้มาจากการปลูกต้นสบู่ดำ ซึ่งเป็นพืชน้ำมันที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตไบโอดีเซลได้ โดยการนำแหล่งวัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศมาใช้งานนั้น ถือว่าเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งเกษตรกรยังมีรายได้เพิ่มจากการปลูกพืชพลังงานอีกด้วย

5.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยา

ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลจะมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous Catalyst) อาทิเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide: NaOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide: KOH) หรือโซเดียมเมทอกไซด์ (Sodium Methoxide: $NaOCH_3$) ที่ให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Ester: FAME) ในปริมาณมาก (> 98%) โดยใช้ระยะเวลาที่สั้นและอุณหภูมิไม่สูงมากนัก แต่อย่างไรก็ตามการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ก็มีข้อเสียอยู่หลายประการ เช่น การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารผลิตภัณฑ์จะทำได้ยาก เกิดน้ำเสียเป็นจำนวนมาก เนื่องจากต้องใช้น้ำในการล้างสารผลิตภัณฑ์ ยิ่งไปกว่านั้นกลีเซอรอลที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ของการทำปฏิกิริยาจะต้องนำมาทำให้บริสุทธิ์อีกด้วย ส่งผลให้สูญเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก จึงได้มีการคิดค้นและทำวิจัยเกี่ยวกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีลักษณะเป็นของแข็ง จัดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Catalyst) ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาของกระบวนการผลิตที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ได้ เนื่องจากในขั้นตอนของการผลิตจะไม่ต้องทำให้เป็นกลาง (Neutralization) และไม่มีการล้าง ส่งผลให้กระบวนการผลิตไบโอดีเซลทำได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยายังสามารถแยกออกมาได้ง่าย ใช้ซ้ำใหม่ได้ และกลีเซอรอลที่ได้ก็ยังมีความบริสุทธิ์สูง อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์นี้อาจจะมีความเสถียรที่ต่ำ และใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ยาวนานกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์



รูปที่ 5 โครงสร้างทางเคมีของแร่โดโลไมท์

หินโดโลไมท์ (Dolomite หรือ Dolostone) เป็นหินตะกอนที่มีแร่โดโลไมท์หรือแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต (Calcium Magnesium Carbonate: $CaMg(CO_3)_2$) ซึ่งภายในมีองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate: $CaCO_3$) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต

(Magnesium Carbonate: $MgCO_3$) ในสัดส่วนประมาณ 1:1 พบได้ตามชั้นหินตะกอนทั่วโลก แหล่งที่พบในประเทศไทย อำเภอท่าม่วง อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี อำเภอตีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี อำเภอเมือง จังหวัดกระบี่ และอำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา หินโดโลไมท์มีลักษณะที่คล้ายกับปูนขาวหรือไลม์ (Lime) แต่จะมีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบจำนวนมาก มีสีขาวออกเทาและสีขาวออกน้ำตาลอ่อน บางครั้งอาจพบเป็นสีแดง เขียว และดำ มีความแข็งและความสามารถในการละลายกรดไฮโดรคลอริกเหมือนกัน สามารถใช้เป็นสารปรับสภาวะกรดให้เป็นกลางได้ โดยส่วนใหญ่แร่โดโลไมท์หรือหินปูนโดโลมิติก (Dolomitic Limestone) จะใช้ในอุตสาหกรรมประเภทหินก่อสร้าง ปูนซีเมนต์ แก้ว และใช้เป็นเตาคอนเวอร์เตอร์ในการผลิตเหล็กกล้า

เมื่อนำหินโดโลไมท์ไปทำการเผาที่อุณหภูมิสูง จะทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide: CaO) และแมกนีเซียมคาร์บอเนตเปลี่ยนเป็นแมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide: MgO) ซึ่งสารเหล่านี้มีสมบัติที่เป็นเบส สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์สำหรับการผลิตไบโอดีเซลได้

$$CaCO_3\,(s) + MgCO_3\,(s) \longrightarrow CaO\,(s) + MgO\,(s) + 2CO_2\,(g)$$

จากนั้นเมื่อนำหินโดโลไมท์ที่ผ่านการเผาแล้วมาทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลและเมทานอล จะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปของออกไซด์ (Oxide) เปลี่ยนเป็นรูปของกลีเซอรอกไซด์ (Glyceroxide) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่า อีกทั้งยังมีความเสถียรที่มากกว่าด้วย

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำวัสดุจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์สำหรับการผลิตไบโอดีเซลในเครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ โดยหินโดโลไมท์เป็นแร่จากธรรมชาติที่สามารถหาได้ง่ายและมีอยู่ปริมาณมาก จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรภายในชุมชนและท้องถิ่น นอกจากนั้นยังมีการนำกลีเซอรอลที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพและความเสถียรของตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้กระบวนการผลิตมีความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ ซึ่งจะเป็นการสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับเศรษฐกิจของชุมชนหรือประเทศชาติได้อีกด้วย

5.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

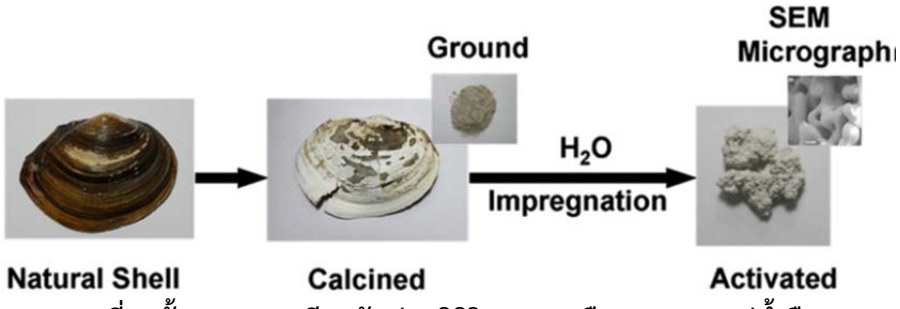
Yung Bok Cho และ Gon Seo (2010) ได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากการเผาเปลือกไข่นกกระทา ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้จะมีความเป็นเบสสูง จึงสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ดีเทียบเท่ากับการใช้โพแทสเซียมเมทอกไซด์ (Potassium Methoxide: $KOCH_3$) การปรับปรุงพื้นผิวของเปลือกไข่นกกระทาด้วยกรดนั้นจะ

สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตไบโอดีเซลได้สูงถึง 98% สำหรับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซ้ำ 5 ครั้ง ณ อุณหภูมิ 65 °C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 12/1 และอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำมันต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 2/0.03

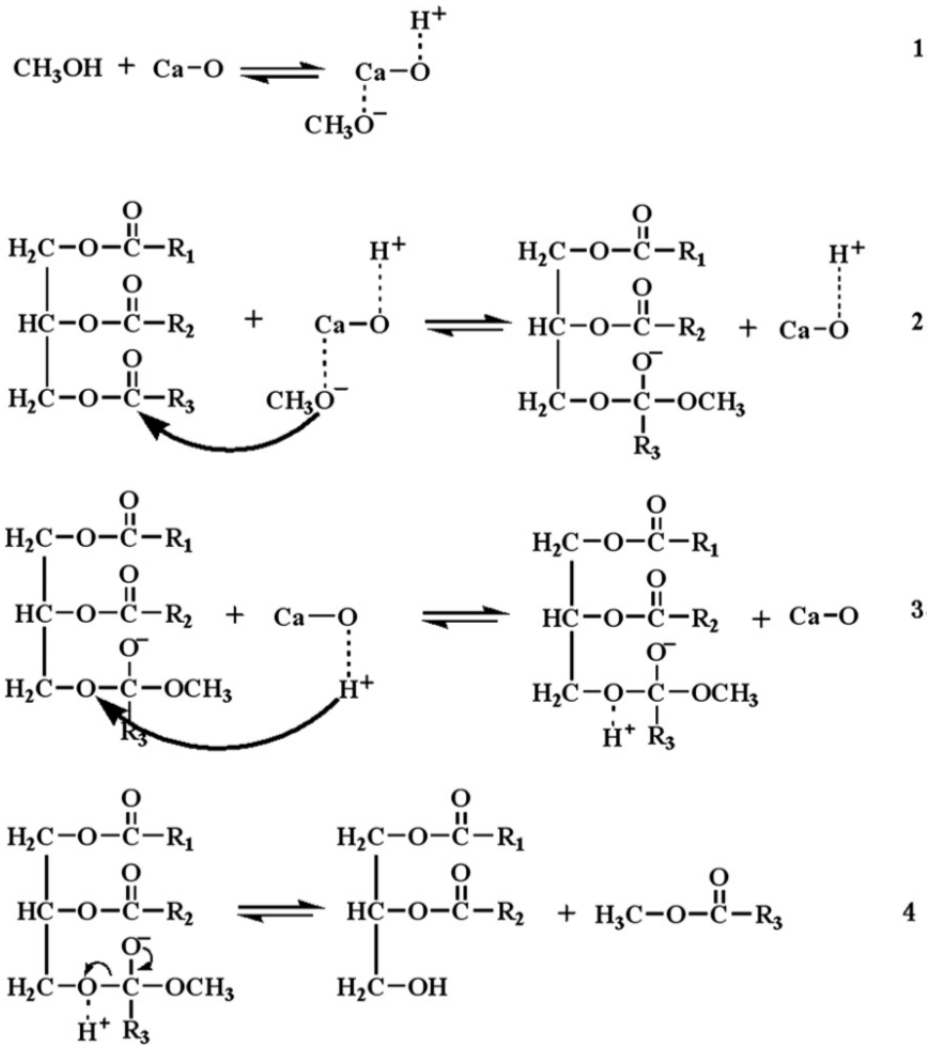
Achanai และคณะ (2013) ได้ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากเปลือกไข่เป็ดและเปลือกไข่ไก่ โดยทำการเผาเปลือกไข่ที่อุณหภูมิ 600-900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ ทำการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และการใช้ซ้ำของตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลการทดลองพบว่าเปลือกไข่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งในการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์สำหรับการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือไบโอดีเซลได้เป็นอย่างดี

รูปที่ 6 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกไข่

Shengyang และคณะ (2011) ได้ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากเปลือกหอยแมลงภู่น้ำจืด (Freshwater Mussel Shell: FMS) โดยวิธีการเผาและกระตุ้นด้วยสารเคมี ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้มีลักษณะทางโครงสร้างคล้ายกับรังผึ้ง (Honeycomb) มีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area: SSA) 23.2 m^2/g ซึ่งนำมาใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันต้นศรีทอง (Chinese Tallow Oil) อุณหภูมิในการเผาและการกระตุ้นที่เหมาะสม คือ 900 °C และ 600 °C ตามลำดับ สภาวะในการทำปฏิกิริยา คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 70 °C อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 12:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 5% และเวลาในการทำปฏิกิริยา 1.5 ชั่วโมง สามารถผลิตไบโอดีเซลได้มากถึงร้อยละ 90 แม้ว่าจะมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซ้ำถึง 7 รอบ แล้วก็ตาม

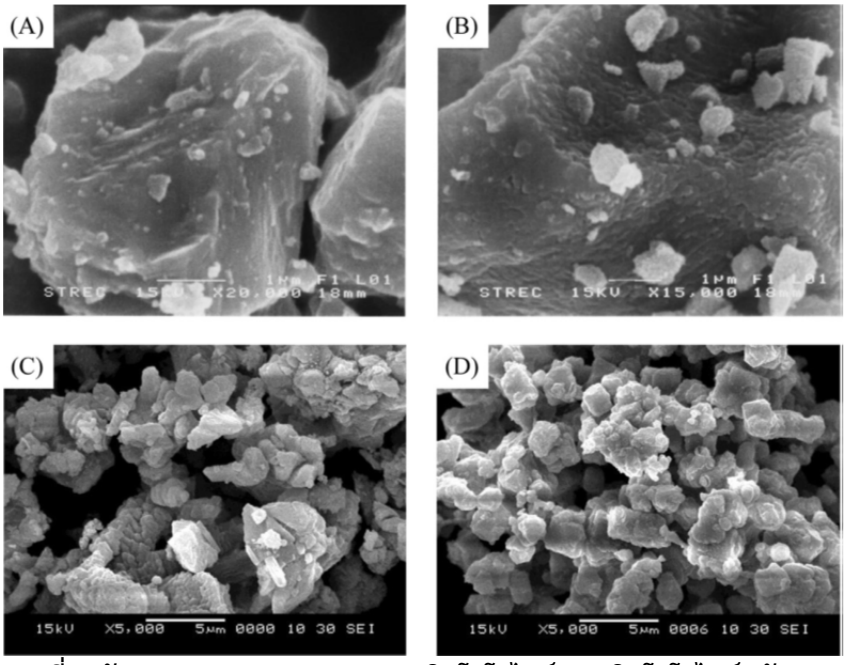


รูปที่ 7 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยแมลงภู่น้ำจืด



รูปที่ 8 กลไกการเกิดทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันต้นศรีทอง

Siyada และคณะ (2015) ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของหินโดโลไมท์กับเปลือกหอยทะเล 5 ชนิด ที่ผสมกันอยู่ โดยปฏิกิริยาเมทาโนไลซิสของน้ำมันปาล์มจะทำที่อุณหภูมิ 60 °C และบรรยากาศปกติ หลังจากการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C หินโดโลไมท์จะประกอบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของ CaO·MgO ผสมกัน ซึ่งจะมีความเสถียรทางความร้อนและความเป็นเบสที่สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา CaO ที่ได้จากเปลือกหอยทะเล จากผลการทดลองพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้จากหินโดโลไมท์จะแสดงประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาที่เร็วกว่าเปลือกหอยทะเล เนื่องจากมีเฟสของ MgO กระจายตัวอยู่บน CaO ทำให้เร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่าเดิม

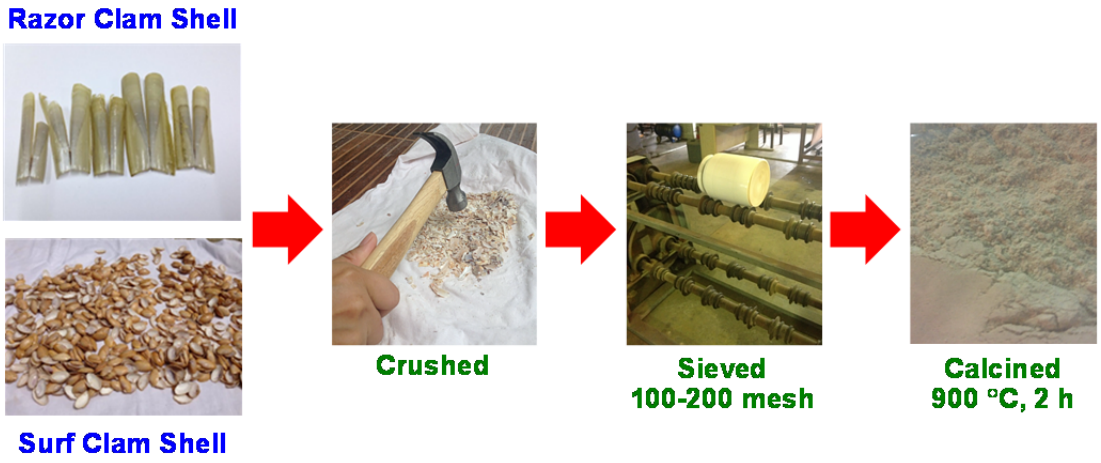


รูปที่ 9 ลักษณะทางกายภาพของ (A) หินโดโลไมท์ (B) หินโดโลไมท์หลังเผา (C) เปลือกหอยทะเล และ (D) เปลือกหอยทะเลหลังเผา

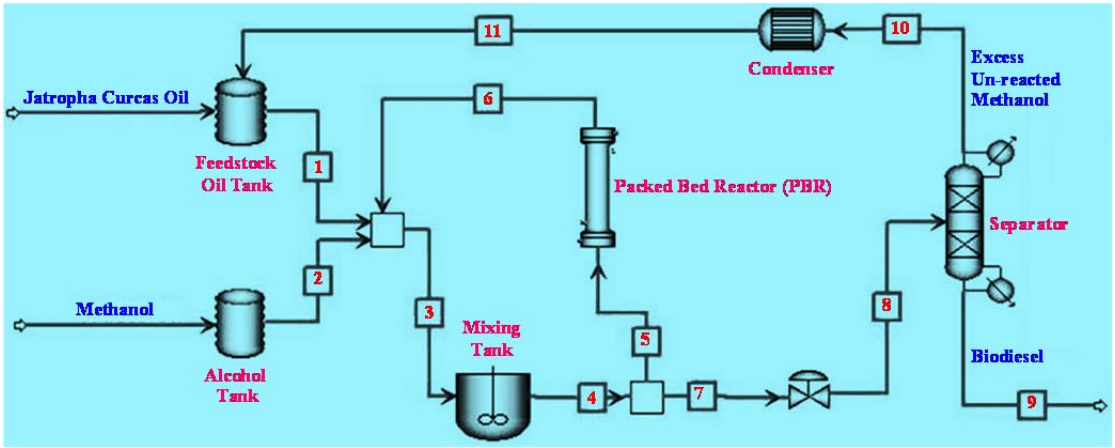
Achanai และคณะ (2016) ได้พัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดใหม่สำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากเปลือกหอยกะพง (Arcuate Mussel Shell) และหินโดโลไมท์ธรรมชาติ (Natural Dolomite Rock) โดยทำการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการทำปฏิกิริยา กำลังไฟของเตาไมโครเวฟ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และการใช้ซ้ำของตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิด ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จะมีปริมาณของสารเอสเทอร์ที่สูงประมาณ 98%

รูปที่ 10 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยกะพงและหินโดโลไมท์ธรรมชาติ

Achanai และ Vorrada (2015) ได้ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากเปลือกหอยหลอด (Razor Clam Shell) และเปลือกหอยลาย (Surf Clam Shell) โดยทำการเผาเปลือกหอยที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตให้กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ จากนั้นทำการศึกษาอิทธิพลของความยาวของชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน และการใช้ซ้ำของตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลการทดลองพบว่าเปลือกหอยทั้ง 2 ชนิด สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งในการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์สำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลได้เป็นอย่างดี โดยให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของน้ำมันสบู่ดำประมาณร้อยละ 98 ภายใต้สภาวะการทำปฏิกิริยา ดังนี้ ความยาวของชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา 250 มิลลิเมตร เวลาในการทำปฏิกิริยา 1.5 ชั่วโมง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 °C และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 15:1



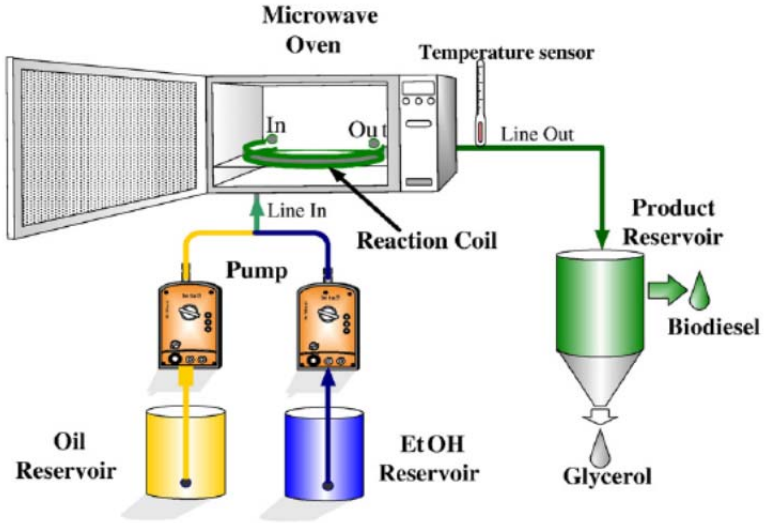
รูปที่ 11 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยหลอดและเปลือกหอยลาย



รูปที่ 12 ระบบเครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์บรรจุ

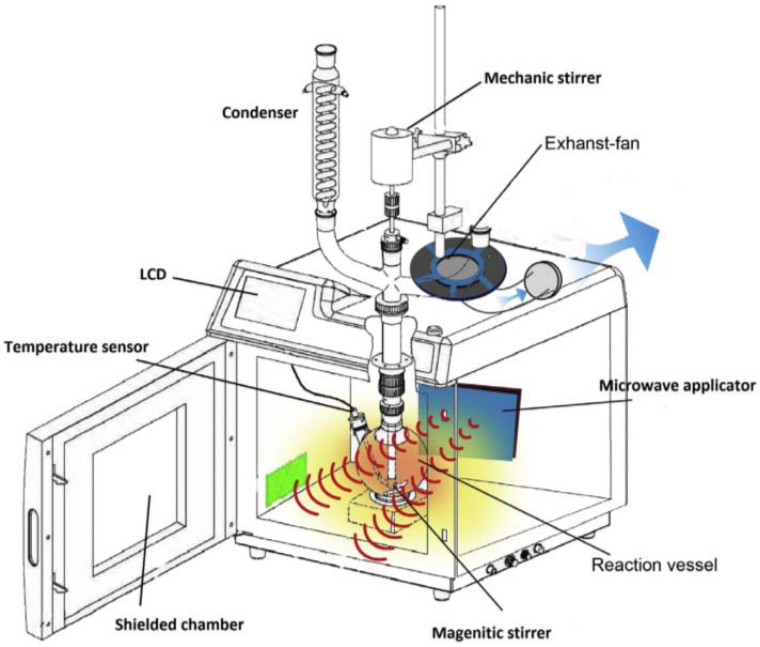
Lertsathapornsuk และคณะ (2008) ทำการปรับปรุงระบบของเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบต่อเนื่องโดยการเพิ่มเตาไมโครเวฟ (กำลังไฟ 800 W) เข้าไปในระบบ นำน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ซึ่งกรดไขมันอิสระที่มีปริมาณสูงจะถูกทำให้เป็นกลางก่อน และทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้

โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 3% อัตราส่วนของเอทานอลต่อน้ำมัน 12:1 และใช้เวลา 30 วินาที เกิดเป็นสารเอทิลเอสเทอร์ที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 97%



รูปที่ 13 ระบบเครื่องปฏิกรณ์แบบไมโครเวฟต่อเนื่อง

Yuan-Chung และคณะ (2014) ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้โซเดียมเอไมด์ (Sodium Amide: $NaNH_2$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้ระบบให้ความร้อนแบบไมโครเวฟเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน ซึ่งจะช่วยลดเวลาและพลังงานที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา จากผลการทดลองพบว่าระบบให้ความร้อนแบบไมโครเวฟจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าระบบให้ความร้อนแบบดั้งเดิม โดยลดเวลาในการทำปฏิกิริยาลงไป 33% ซึ่งจะให้ค่าผลได้ 95.6% เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1.0 wt.% อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 8 เวลาในการทำปฏิกิริยา 7 min และอุณหภูมิ 65 $^{\circ}C$



รูปที่ 14 ระบบให้ความร้อนแบบไมโครเวฟ

คำสำคัญ

(Keyword)

ไบโอดีเซล น้ำมันสบู่ดำ หินโดโลไมท์ เครื่องปฏิกรณ์ไมโครเวฟ

Biodiesel; *Jatropha Curcas* Oil; Dolomite Rock; Microwave Reactor

วิธีดำเนินการวิจัย

(Experimental Methods)

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูลจะดำเนินการ ณ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร และสำนักหอสมุดกลาง หอสมุดพระราชวังสนามจันทร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

โครงการวิจัยประกอบด้วยการดำเนินการวิจัยตามลำดับขั้นตอน โดยใช้หลักการวางแผนทางสถิติที่สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์และสรุปผลในเชิงวิชาการได้ ดังนี้

1. สืบค้นข้อมูลและศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบวิธีการทดลองและวางแผนการทดลอง
3. ดำเนินการทดลองโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน คือ

   <u>ส่วนที่ 1</u> ทำการสังเคราะห์และพิสูจน์เอกลักษณ์ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์จากหินโดโลไมท์ และชนิดแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์จากหินโดโลไมท์ กลีเซอรอล และเมทานอล

   <u>ส่วนที่ 2</u> ทำการผลิตไบโอดีเซลจากเครื่องปฏิกรณ์ชนิดไมโครเวฟ และหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์เชื้อเพลิงชีวภาพ

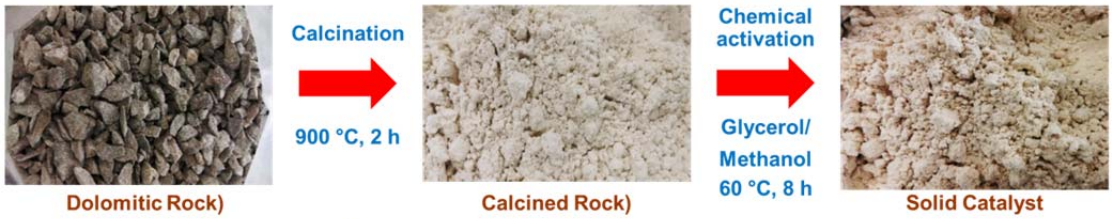
   <u>ส่วนที่ 3</u> ทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของไบโอดีเซล
4. วิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย
5. จัดทำรายงานผลงานวิจัย
6. จัดทำบทความวิจัยและเผยแพร่ผลงาน

1. การสังเคราะห์และพิสูจน์เอกลักษณ์ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์

นำหินโดโลไมท์ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนตไปบดหยาบด้วยครกหินและบดละเอียดด้วยเครื่องบดแบบลูกบอล (Ball Mill) และคัดแยกขนาดอนุภาคด้วยเทคนิคตะแกรงร่อน (Sieve) ให้มีขนาดน้อยกว่า 44 μm ต่อมานำไปเผาในเตาเผาความร้อนสูง (Muffle Furnace) จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ โดยกำหนดอัตราการให้ความร้อนที่ 10 $^{\circ}$C/min เมื่ออุณหภูมิเท่ากับ 900 $^{\circ}$C จะทำการคงอุณหภูมิไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้อุณหภูมิ

ลดลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จึงเก็บใส่ภาชนะปิดที่มีสารดูดความชื้นอยู่เพื่อป้องกันความชื้นและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ

นำตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ 20 กรัม มาทำปฏิกิริยาต่อกับเมทานอล 900 มิลลิลิตร และกลีเซอรอล 300 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 $^{\circ}$C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง (Vishwanath Ganpat Deshmane and Yusuf Gbadebo Adewuyi, 2013) โดยทำการกวนตลอดเวลาด้วยแท่งกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirring Bar) เมื่อครบกำหนดเวลาจะทำการหยุดปฏิกิริยา ทำการกรองล้างด้วยเมทานอล และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 $^{\circ}$C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ จึงเก็บใส่ภาชนะปิดที่มีสารดูดความชื้นอยู่เพื่อป้องกันความชื้นและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ



รูปที่ 15 ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากหินโดโลไมท์

ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์

- เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-Ray Diffraction: XRD)
- เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ (X-Ray Fluorescence: XRF)
- เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer: FT-IR)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)
- เครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy: EDX)
- เครื่องวัดพื้นที่ผิวและรูพรุน (Surface Area and Porosity Analyzer)

2. การผลิตไบโอดีเซลจากเครื่องปฏิกรณ์ชนิดไมโครเวฟ และหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์เชื้อเพลิงชีวภาพ

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ โดยพิจารณาจากค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่ทำการสังเคราะห์ด้วยการทดลองแบบกะหรือแบบไม่ต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์ชนิด

ไมโครเวฟ ซึ่งใช้น้ำมันสบู่ดำและเมทานอลเป็นสารตั้งต้น ปริมาณของน้ำมันสบู่ดำ 50 กรัม เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4 และ 5 นาที กำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟ 200, 300, 450, 600, 700 และ 800 W อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันเป็น 6:1, 9:1, 12:1, 15:1, 18:1 และ 21:1 และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 1, 2, 3, 4 และ 5 wt% ในแต่ละการทดลองจะทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่า 7% จะทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 7% ส่งผลให้ข้อมูลของการวิจัยมีความน่าเชื่อถือ สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการวิจัย

ค่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงชีวภาพหรือไบโอดีเซลที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นมานั้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Yield\ (\%) = \frac{m_i A_b}{A_i m_b} \times 100$$

โดยที่ m_i คือ มวลของสารมาตรฐาน

m_b คือ มวลของไบโอดีเซล

A_i คือ พื้นที่ใต้เส้นกราฟของสารมาตรฐาน

A_b คือ พื้นที่ใต้เส้นกราฟของไบโอดีเซล

รูปที่ 16 เครื่องปฏิกรณ์ชนิดไมโครเวฟ

3. การทดสอบสมบัติต่างๆ ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของไบโอดีเซล

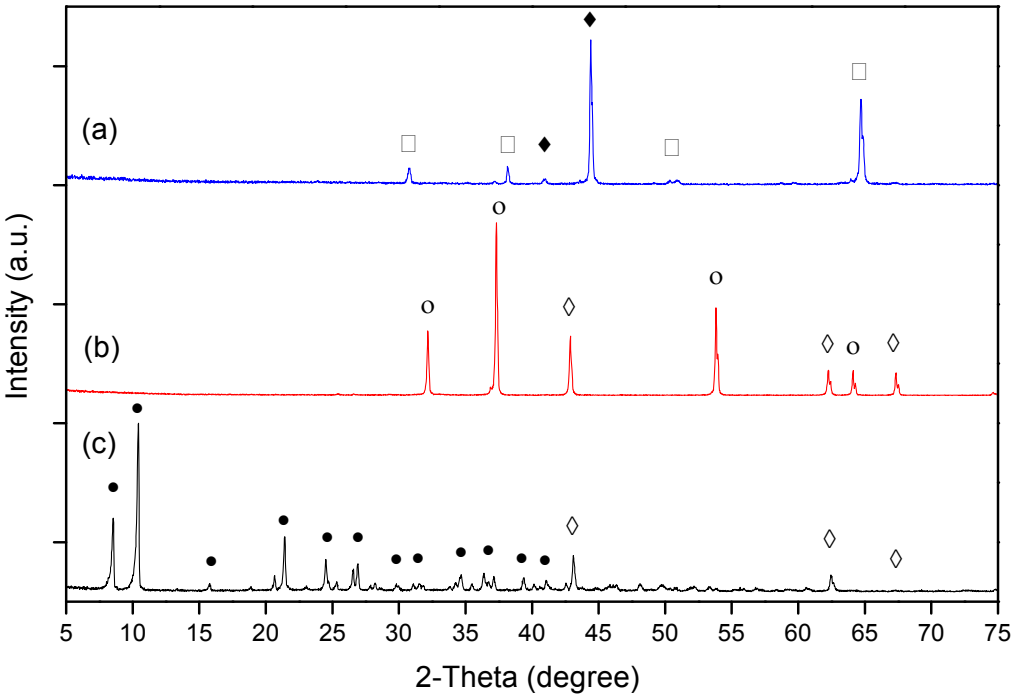
ทำการทดสอบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ และเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM D6751 โดยทำการศึกษา

- องค์ประกอบของเชื้อเพลิงโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทรกราฟฟี (Gas Chromatography: GC)
- ความหนืดไคนีเมติก (Kinematic Viscosity) ที่อุณหภูมิ 40 $^{\circ}$C ตามมาตรฐาน ASTM D 445
- ความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 80 $^{\circ}$C ตามมาตรฐาน ASTM D 1298
- จุดวาบไฟ (Flash Point) ตามมาตรฐาน ASTM D 93
- จุดขุ่น (Cloud Point)
- จุดไหลเท (Pour Point) ตามมาตรฐาน ASTM D 97
- ค่ากรด (Acid Value) ตามมาตรฐาน ASTM D 664
- ปริมาณความชื้น (Water Content)

ผลการวิจัยและวิจารณ์

(Results and Comment)

1. ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์



รูปที่ 17 กราฟ XRD ของ (a) หินโดโลไมท์ก่อนเผา (b) หินโดโลไมท์หลังเผา และ (c) หินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว

(กำหนดให้ □ : $CaCO_3$, ♦ : $MgCO_3$, ○ : CaO, ◊ : MgO และ ● : $Ca[O(OH)_2C_3H_5]_2$)

จากรูปที่ 17 เป็นผลการทดสอบด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของหินโดโลไมท์ก่อนเผา หินโดโลไมท์หลังเผา และหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว พบว่าหินโดโลไมท์ก่อนเผาจะเกิดพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่มุม 2θ ตรงกับตำแหน่งพีคของแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต นั่นคือ 33°, 37°, 41°, 44°, 50° และ 65° ซึ่งแสดงว่าโครงสร้างผลึกของหินโดโลไมท์ก่อนเผาเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตผสมกับแมกนีเซียมคาร์บอเนต ต่อมาเมื่อนำหินโดโลไมท์ไปเผาภายใต้อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะทำให้การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ตรงตำแหน่งพีคของแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนตหายไป และเกิดพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่มุม 2θ ตรงกับตำแหน่งพีคของแคลเซียมออกไซด์ นั่นคือ 32°, 37°, 53° และ 64° และตรงกับตำแหน่งพีคของแมกนีเซียมออกไซด์ นั่นคือ 42° และ 62° ซึ่งแสดงว่าหลังการเผาหินโดโลไมท์ที่

อุณหภูมิสูง จะทำให้แคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนตเกิดการสลายตัวทางความร้อนกลายเป็นแคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์อย่างสมบรูณ์ โดยความสูงของพีคแคลเซียมออกไซด์ (Intensity) มีค่ามากกว่าพีคของแมกนีเซียมออกไซด์นั่นแสดงว่าปริมาณของผลึกแมกนีเซียมเซียมออกไซด์มีน้อยกว่าแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Shajaratun Nur Z.A. และคณะ (2014) กับ Siyada Jaiyen และคณะ (2015)

จากนั้นเมื่อนำหินโดโลไมท์ที่ผ่านการเผาแล้วมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลและกลีเซอรอล ณ อุณหภูมิ 60 $^{\circ}$C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่าพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ตรงตำแหน่งพีคของแมกนีเซียมออกไซด์ยังคงอยู่ ส่วนพีคของแคลเซียมออกไซด์ได้หายไป โดยเกิดพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ใหม่ที่มุม 2θ เท่ากับ 8°, 10°, 21°, 24°, 26°, 34° และ 36° นั่นแสดงถึงการมีอยู่ของผลึกหินโดโลไมท์ในรูปของแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ตาม ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Inés Reyero และคณะ (2014) สำหรับสมการปฏิกิริยาของการเกิดแคลเซียมกลีเซอร์ออกไซด์แสดงไว้ ดังนี้

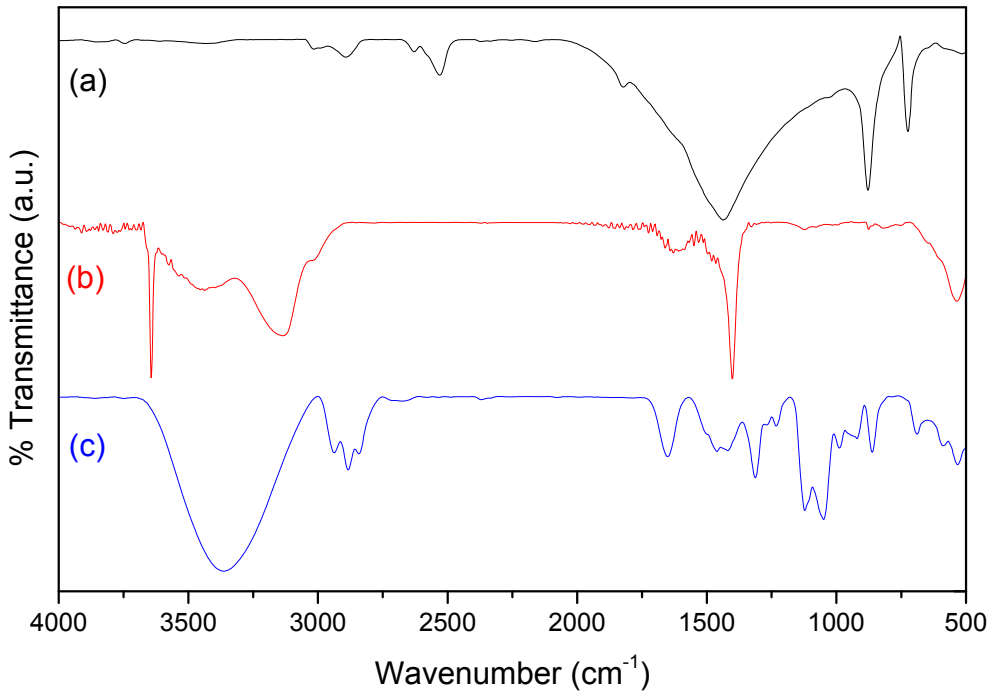
$$CaO\ (s) + 2C_3H_8O_3\ (l) \longrightarrow Ca[O(OH)_2C_3H_5]_2\ (s) + H_2O\ (l)$$

จากสภาวะในการเผาและการทำปฏิกิริยาดังกล่าวนั้น จะแสดงให้เห็นว่าผู้วิจัยสามารถเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์จากหินโดโลไมท์ได้ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรภายในชุมชนและท้องถิ่น เนื่องจากหินโดโลไมท์เป็นวัสดุจากธรรมชาติที่สามารถหาได้ง่ายและมีอยู่ในปริมาณมาก

ตารางที่ 3 ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีในหินโดโลไมท์ก่อนเผา หินโดโลไมท์หลังเผา และหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว

ชนิดขององค์ประกอบ	ปริมาณขององค์ประกอบในหินโดโลไมท์ (wt%)		
	ก่อนเผา	หลังเผา	ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว
Ca	43.44	67.45	68.96
Mg	12.63	27.28	28.92
Si	0.02	0.64	0.70
S	0.03	0.29	0.35
Al	0.11	0.32	0.34
Others	43.77	4.02	0.73

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีในหินโดโลไมท์ก่อนเผา หินโดโลไมท์หลังเผา และหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้วด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ (ตารางที่ 3) พบว่าหินโดโลไมท์ก่อนเผาจะประกอบไปด้วยออกไซด์ของแคลเซียม 43.44% แมกนีเซียม 12.63% ซิลิคอน 0.02% ซัลเฟอร์ 0.03% อะลูมิเนียม 0.11% และองค์ประกอบที่เหลืออีก 43.77% ซึ่งคาดว่าจะเป็นคาร์บอน ออกซิจน และสารอื่นๆ หลังจากนำหินโดโลไมท์ไปผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 900 $^{\circ}$C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะเกิดการสลายตัวของคาร์บอนและออกซินเจนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และยังเกิดปฏิกิริยาคาร์บอไนเซชัน (Carbonization) ของสารประกอบต่างๆ ที่อยู่ในรูปของคาร์บอเนตให้กลายเป็นสารประกอบที่อยู่ในรูปของออกไซด์ ส่งผลให้องค์ประกอบของออกไซด์ในแต่ละธาตุเพิ่มขึ้น ดังนี้ แคลเซียม 67.45% แมกนีเซียม 27.28% ซิลิคอน 0.64% ซัลเฟอร์ 0.29% และอะลูมิเนียม 0.32% ต่อมาเมื่อนำหินโดโลไมท์ที่ผ่านการเผามาทำปฏิกิริยากับเมทานอลและกลีเซอรอลนั้น พบว่าชนิดและปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีในหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้วมีค่าใกล้เคียงกับหินโดโลไมท์หลังเผา ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Leandro Marques Correia และคณะ (2015) ดังนั้น ผู้วิจัยสามารถเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์จากหินโดโลไมท์ได้

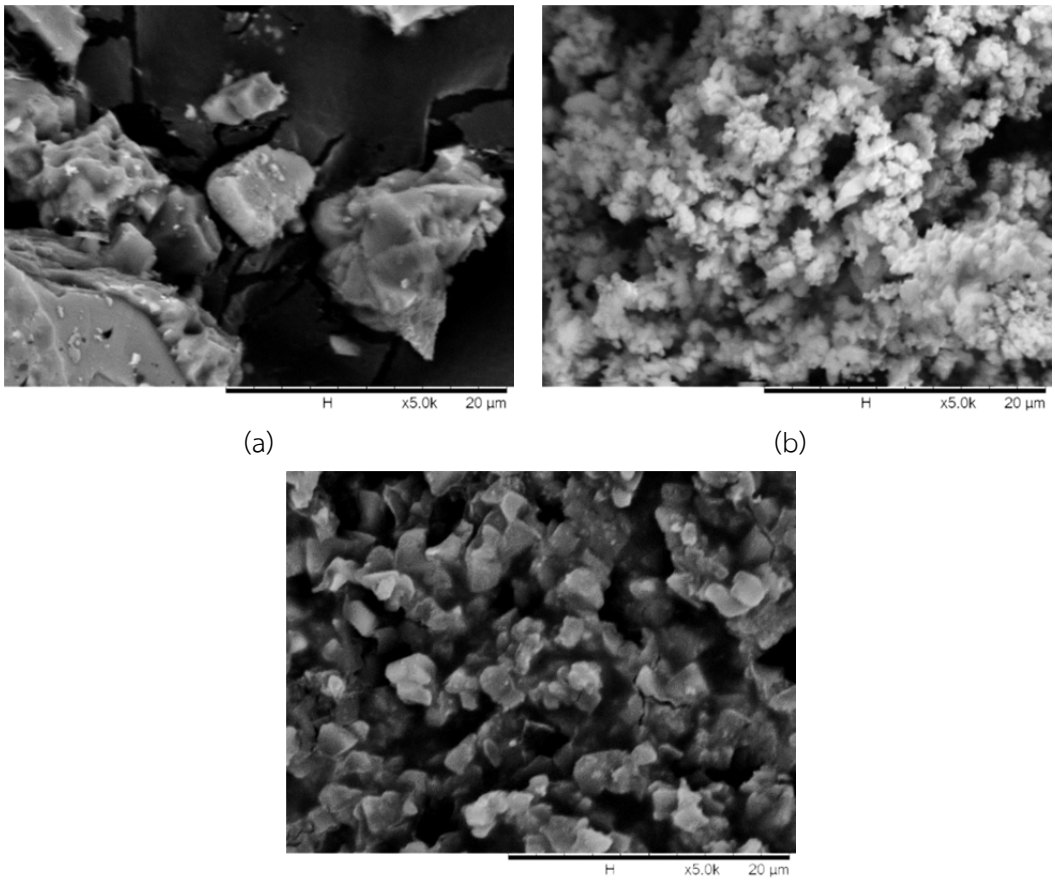


รูปที่ 18 กราฟ FT-IR ของ (a) หินโดโลไมท์ก่อนเผา (b) หินโดโลไมท์หลังเผา และ (c) หินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว

จากการทดสอบด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์ พบว่าหินโดโลไมท์ก่อนเผามีพีคสำคัญที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2530 และ 1822 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบงอพันธะ (Bending) และที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1436, 878 และ 724 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นในลักษณะการยืดออก (Stretching) การงอออกนอกระนาบ (Out-of-plane Bending) และการงอในระนาบ (In-plane Bending) ของพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจนในหมู่คาร์บอเนต ตามลำดับ โดยพีคทั้งหมดในรูปที่ 18 (a) จะเป็นเอกลักษณ์หรือหมู่ฟังก์ชันของหินโดโลไมท์ธรรมชาติ สำหรับรูปที่ 18 (b) จะเป็นกราฟ FT-IR ของหินโดโลไมท์ที่ผ่านการเผา ณ อุณหภูมิ 900 $^{\circ}C$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีพีคสำคัญที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3643 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดออกระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl) ของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide: $Ca(OH)_2$) และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Magnesium Hydroxide: $Mg(OH)_2$) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3453 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดออกของพันธะเดี่ยวระหว่างออกซิเจนและไฮโดรเจน (O-H Stretching) ซึ่งแสดงถึงการเกิดพันธะไฮโดรเจน (H-Bonding) ที่เกิดจากความชื้น ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1629 และ 1401 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจน (C=O Stretching) และที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1122 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่คาร์บอเนต โดยเมื่อเปรียบเทียบกับหินโดโลไมท์ก่อนเผา พบว่าพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1401 cm^{-1} มีการลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอไนเซชันของสารประกอบคาร์บอเนต

รูปที่ 18 (c) จะเป็นกราฟ FT-IR ของหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว โดยพบพีคสำคัญเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3364 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจนของพันธะไฮโดรเจนในกลีเซอรอล ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2937, 2883 และ 2842 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน (C-H Stretching) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1651 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการดูดซับความชื้นลงบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่ำกว่า 1500 cm^{-1} จะเป็นส่วนของกลีเซอร์ออกไซด์ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1461, 1419, 1232, 1049, 988 และ 920 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอของพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน (C-H Bending) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1312 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอของพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน (C-O-H Bending) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1121 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจน (C-O Stretching) และที่ตำแหน่งเลขคลื่น 861 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน จากการเปรียบเทียบกับหินโดโลไมท์หลังเผา พบว่าเมื่อนำหินโดโลไมท์ที่เผาแล้วมาทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลและเมทานอล จะเกิดพีคเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3300 cm^{-1} โดยมีลักษณะของพีคที่กว้าง ซึ่งแสดงถึงการสั่นแบบยืดของพันธะเดี่ยวระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจน และที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2937, 2883 และ 2842 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน ซึ่งเป็นพีคสำคัญที่แสดงว่าผู้วิจัยสามารถเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับ

แมกนีเซียมออกไซด์จากหินโดโลไมท์ได้ โดยสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Masato Kouzu และคณะ (2010) Laura León-Reina และคณะ (2013) และ Leandro Marques Correia และคณะ (2015)



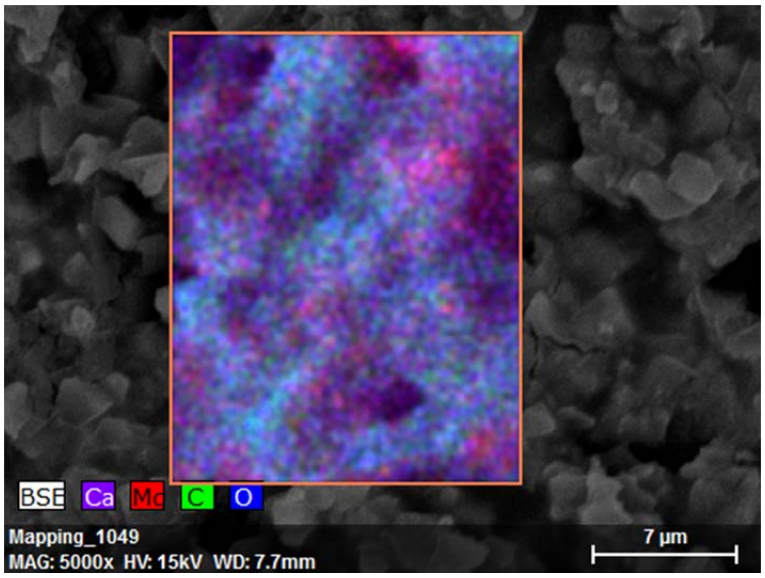
(a) (b)

(c)

รูปที่ 19 ภาพ SEM ของหินโดโลไมท์ (a) ก่อนเผา (b) หลังเผา และ (c) ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว

จากรูปที่ 19 เป็นการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของหินโดโลไมท์ก่อนเผา หินโดโลไมท์หลังเผา และหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้วด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของหินโดโลไมท์ก่อนเผาจะเป็นก้อนผลึกขนาดใหญ่ พื้นผิวเรียบ และไม่มีรูพรุน ส่งผลให้หินโดโลไมท์จากธรรมชาติมีพื้นที่ผิวน้อย ต่อมาเมื่อนำหินโดโลไมท์ไปทำการเผาภายใต้อุณหภูมิ 900 $^{\circ}$C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะทำให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาเปลี่ยนแปลงไป โดยมีพื้นผิวที่ขรุขระและไม่เรียบมากขึ้น เกิดเป็นรูพรุน และมีการกระจายตัวของผลึกเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 19 (b) ทำให้หินโดโลไมท์หลังเผาหรือตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์มีพื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับการทำปฏิกิริยามากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้น โดยที่จะมีการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น สำหรับหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้วหรือตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์นั้น จะมีลักษณะของพื้นผิวที่ยังคงขรุขระอยู่มาก

อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น บางส่วนเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนดังรูปที่ 19 (c) ซึ่งเป็นผลมาจากกลีเซอรอลที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์ภายในโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Siyada Jaiyen และคณะ (2015) โดยขนาดของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาที่เปลี่ยนแปลงไปนี้จะมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาของทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพราะอาจมีปริมาณของพื้นที่ผิวสัมผัสและปริมาตรของรูพรุนที่ลดลง ส่งผลให้การเข้าทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้นเกิดได้น้อยลง ทำให้สารตั้งต้นสามารถเปลี่ยนไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ได้น้อยลง อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่ผ่านมา แม้ว่าอัตราของการเกิดไบโอดีเซลจะขึ้นอยู่กับขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ถ้าขนาดของรูพรุนเล็กจนเกินไปก็อาจจะทำให้สารตั้งต้นที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ไม่สามารถแพร่ผ่านเข้าไปภายในรูพรุนได้ ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาได้น้อยลง



รูปที่ 20 ภาพ EDX ของหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว

จากรูปที่ 20 แสดงการกระจายตัวของธาตุองค์ประกอบในหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้วโดยเครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน พบว่าหินโดโลไมท์จะมีธาตุองค์ประกอบหลัก 4 ชนิด คือ แคลเซียม แมกนีเซียม คาร์บอน และออกซิเจน ซึ่งมีการกระจายตัวของธาตุแคลเซียมและออกซิเจนอยู่ทั่วทั้งผลึก ส่วนแมกนีเซียมจะกระจายตัวอยู่บนผลึกบางส่วน และมีคาร์บอนกระจายตัวอยู่เล็กน้อย โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์นั้นจะมีปริมาณของออกซิเจน แคลเซียม แมกนีเซียม และคาร์บอนเท่ากับ 53.43%, 25.30%, 12.82%, และ 8.45% ตามลำดับ

จากตารางที่ 4 เป็นการวิเคราะห์เอกลักษณ์เชิงพื้นผิวของหินโดโลไมท์หลังเผาและหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้วด้วยเครื่องวัดพื้นที่ผิวและรูพรุน พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 14.80 m^2/g ปริมาตรรูพรุน (Pore Volume) เท่ากับ

0.27 cm^3/g และขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ย (Mean Pore Diameter) เท่ากับ 72.20 nm ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 39.26 m^2/g ปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.44 cm^3/g และขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 38.92 nm ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยค่าที่ได้จากการทดสอบมีความสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Boonyawan Yoosuk และคณะ (2011) กับ Achanai Buasri และคณะ (2015)

ตารางที่ 4 พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ยของหินโดโลไมท์หลังเผา และหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว

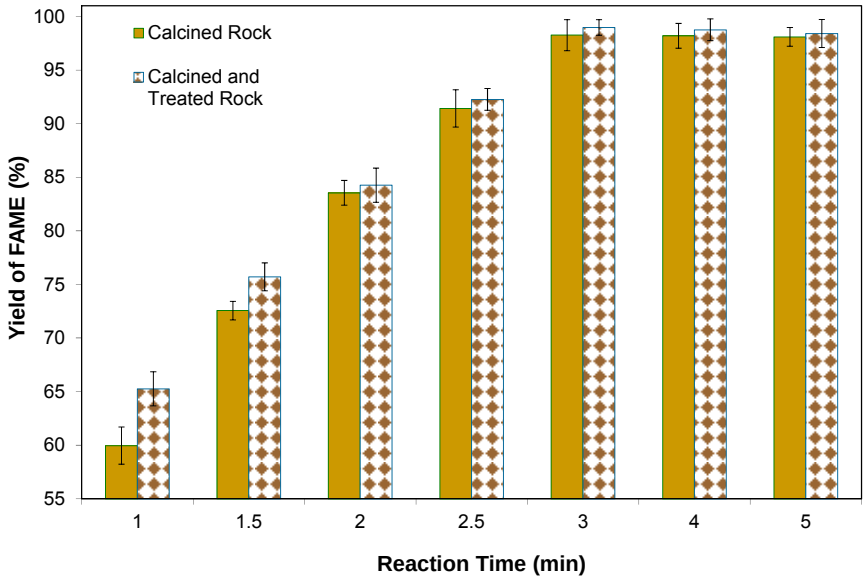
สมบัติทางกายภาพ	หินโดโลไมท์	
	หลังเผา	ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว
พื้นที่ผิว (m^2/g)	14.80	39.26
ปริมาตรรูพรุน (cm^3/g)	0.27	0.44
ขนาดรูพรุนโดยเฉลี่ย (nm)	72.20	38.92

โดยทั่วไปตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ที่เตรียมจากวัสดุ สารเคมี หรือกระบวนการที่แตกต่างกันนั้นจะให้ค่าของสมบัติเชิงพื้นผิวที่แตกต่างกัน โดยสมบัติเหล่านี้จะเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างมากต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ถ้าตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวสัมผัส ปริมาตรของรูพรุน และขนาดของรูพรุนที่เหมาะสม ก็จะทำให้สารตั้งต้นสามารถที่จะแพร่เข้ามายังบริเวณเร่งหรือตำแหน่งกัมมันต์ (Active Site) ของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดี ส่งผลให้มีโอกาสในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น ทำให้สารตั้งต้นสามารถที่จะเปลี่ยนไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นเช่นกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงคาดว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากหินโดโลไมท์หลังเผา จะมีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาที่ต่ำกว่าแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสและปริมาตรรูพรุนที่ต่ำกว่า

2. ผลการผลิตไบโอดีเซลจากเครื่องปฏิกรณ์ชนิดไมโครเวฟ และหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์เชื้อเพลิงชีวภาพ

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมมาจากหินโดโลไมท์ โดยพิจารณาจากค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ในเครื่องปฏิกรณ์ชนิดไมโครเวฟ ซึ่งจะทำการศึกษาอิทธิพลต่างๆ ดังนี้ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา กำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟ อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง

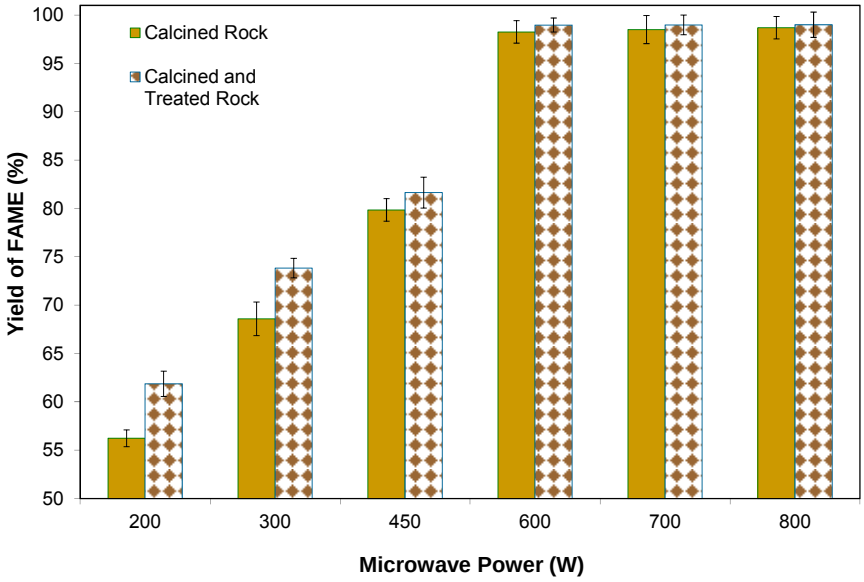
แอลกอฮอล์กับน้ำมัน และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการวิจัย



รูปที่ 21 ค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ณ เวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากหินโดโลไมท์หลังเผาและหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว

เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อค่าร้อยละผลได้ของการผลิตไบโอดีเซล จากรูปที่ 21 เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาจากหินโดโลไมท์หลังเผาและหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว โดยเวลาที่ใช้ในการทดลองเป็น 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4 และ 5 นาที ส่วนปัจจัยอื่นๆ ให้มีค่าคงที่ คือ กำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟเป็น 600 W อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันเป็น 12:1 และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 3 wt% จากผลการทดลองพบว่าค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามากขึ้น โดยเมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเปลี่ยนจาก 1 นาที เป็น 3 นาที จะให้ค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ประมาณ 98%) เนื่องจากสารตั้งต้นมีระยะเวลาที่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ และแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ จึงทำให้สารตั้งต้นสามารถเปลี่ยนไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ได้อย่างสมบูรณ์ และเมื่อทำการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาให้สูงขึ้นเป็น 4 และ 5 นาที จะเห็นว่าค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลจะมีแนวโน้มคงที่ ดังนั้น เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม คือ 3 นาที เนื่องจากให้ค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่สูงและเริ่มมีค่าคงที่ นอกจากนี้การให้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่นานจนเกินไป (มากกว่า 5 นาที) จะส่งผลให้ร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลมีค่าต่ำลง เนื่องจากเมื่อ

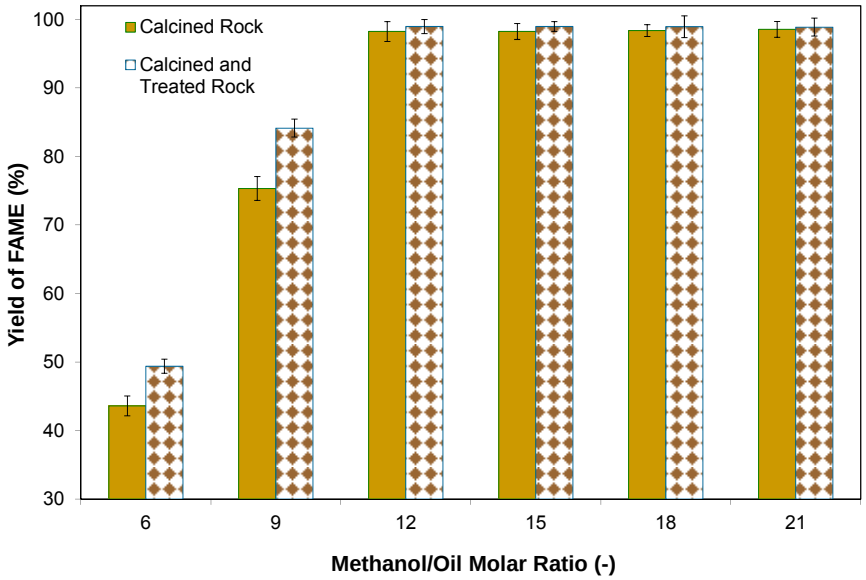
ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาผ่านไปเรื่อยๆ จะทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในระบบมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้การควบแน่นของเมทานอลมีประสิทธิภาพต่ำลง ปริมาณของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับน้ำมันสบู่ดำในระบบก็มีน้อยลงนั่นเอง อีกทั้งเมทานอลบางส่วนสามารถระเหยออกไปทางปลายเปิดของคอนเดนเซอร์ (Condenser) และสารผลิตภัณฑ์ยังอาจเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับกลายเป็นสารตั้งต้นตามเดิมได้ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว จะมีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาที่สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากหินโดโลไมท์หลังเผา เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสและปริมาตรรูพรุนที่สูงกว่านั่นเอง



รูปที่ 22 ค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ณ กำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟต่างๆ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากหินโดโลไมท์หลังเผาและหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเกิดขึ้นจากการดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟของสารตั้งต้น สำหรับใช้เป็นแหล่งความร้อนของการทำปฏิกิริยา จากรูปที่ 22 เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟกับร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาจากหินโดโลไมท์หลังเผาและหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว โดยกำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟเป็น 200, 300, 450, 600, 700 และ 800 W ส่วนปัจจัยอื่นๆ ให้มีค่าคงที่ คือ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 3 นาที อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันเป็น 12:1 และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 3 wt% พบว่าเมื่อทำการเพิ่มกำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟ จะทำให้มีอัตราในการเกิดปฏิกิริยาที่ดีขึ้น เนื่องจากสารตั้งต้นสามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟได้มากขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำมันสบู่ดำและเมทานอลมี

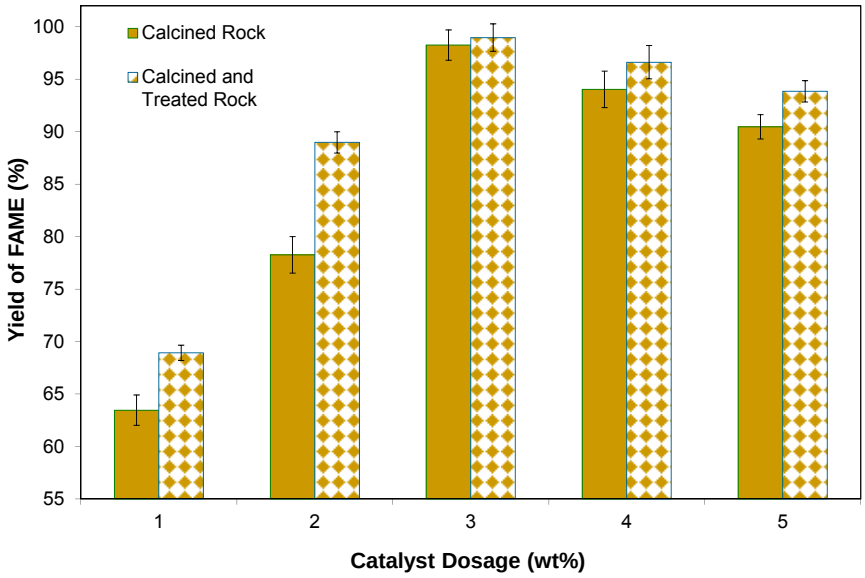
การเคลื่อนที่และชนกันมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้มีความร้อนและอุณหภูมิที่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ โดยกำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟที่เหมาะสม คือ 600 W เนื่องจากให้ค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่สูง (ประมาณ 98%) นอกจากนี้การเพิ่มกำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟให้สูงจนเกินไป อาจทำให้ค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลมีค่าลดลง เนื่องจากเมทานอลเกิดการระเหยสู่คอนเดนเซอร์แล้ว ไม่สามารถควบแน่นกลับลงมาภายในระบบได้ทันที จึงทำให้การดูดซับของสารตั้งต้นบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ส่งผลให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเกิดได้น้อยลงนั่นเอง



รูปที่ 23 ค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ณ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันต่างๆ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากหินโดโลไมท์หลังเผาและหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว

จากปริมาณสารสัมพันธ์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จะต้องใช้เมทานอลจำนวน 3 โมล ทำปฏิกิริยากับน้ำมันจำนวน 1 โมล แต่ที่อัตราส่วนโดยโมลนี้จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ยาวนาน สำหรับการแก้ไขปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันให้มากเกินพอ เพื่อทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้ามากขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์ มีปริมาณของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่น้อยลง จากรูปที่ 23 เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำมันกับร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาจากหินโดโลไมท์หลังเผาและหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว กำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันเป็น 6:1, 9:1, 12:1, 15:1, 18:1 และ 21:1 ส่วนปัจจัยอื่นๆ ให้มีค่าคงที่ นั่นคือ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 3 นาที กำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟเป็น 600 W และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 3 wt% พบว่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลจะมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนโดย

โมลของเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี โดยเมื่อปริมาณของเมทานอลสูงขึ้นจะทำให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปทางขวาได้ดี สารตั้งต้นจึงสามารถเปลี่ยนไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น แต่เมื่อปริมาณของเมทานอลมากจนเกินไปจะทำให้ร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลลดลง เนื่องจากการใช้ปริมาณเมทานอลที่สูงนั้น ส่งผลให้การแขวนลอยของน้ำมันและผลผลิตขั้นกลาง (Intermediates Products) ลดลง เกิดการถ่ายเทมวลหรือการแพร่ที่ไม่ดี และประสิทธิภาพในการดูดซับของสารตั้งต้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยลง ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาของสารตั้งต้นในบริเวณพื้นผิวกัมมันต์ของตัวเร่งปฏิกิริยาทำได้ยากขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้โดยปกติเมทานอลกับน้ำมันจะไม่สามารถละลายเข้ากันเป็นเนื้อเดียวได้ ทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน ถ้าไม่มีการกวนในระบบ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะเกิดได้ไม่ค่อยดี ดังนั้นอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันที่เหมาะสม คือ 12:1 เนื่องจากให้ค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่สูง โดยมีค่าเท่ากับ 98.25 และ 98.97% สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากหินโดโลไมท์หลังเผา และตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้วตามลำดับ



รูปที่ 24 ค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ณ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากหินโดโลไมท์หลังเผาและหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว

โดยทั่วไปตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีส่วนสำคัญในการช่วยลดพลังงานก่อกัมมันต์ของการเกิดปฏิกิริยา จึงส่งผลให้ปฏิกิริยาสามารถเกิดได้เร็วขึ้น จากรูปที่ 24 เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยากับร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาจากหินโดโลไมท์หลังเผาและ

หินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว ซึ่งปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 wt% ส่วนปัจจัยอื่นๆ ให้มีค่าคงที่ คือ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 3 นาที กำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟเป็น 600 W และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันเป็น 12:1 พบว่าการเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยเพิ่มค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซล โดยเมื่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนจาก 1 wt% เป็น 3 wt% จะทำให้ร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ประมาณ 98%) เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้มีบริเวณก่อกัมมันต์มากขึ้น ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้นนั่นเอง แต่เมื่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า 3 wt% จะทำให้ร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ อาจมีสาเหตุมาจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากจนเกินไป ทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาค ส่งผลให้พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาลดลง อีกทั้งยังเป็นการขัดขวางการกวนในระบบ สารตั้งต้นจึงเกิดการดูดซับบนพื้นผิวตัวเร่งปฏิกิริยาได้เล็กน้อย ส่งผลให้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเกิดได้น้อยลง นอกจากนี้ปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธ์ ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบปฏิกิริยาบนพื้นผิว (Surface Reaction) จะมีกลไกของปฏิกิริยาที่ขึ้นกับอัตราการแพร่เข้าของสารตั้งต้นสู่ชั้นผิวและภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราการแพร่ออกของสารผลิตภัณฑ์ออกจากรูพรุนและพื้นผิว ดังนั้น การใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไป จะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาขัดขวางการแพร่ของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ช้าลง

จากการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากหินโดโลไมท์หลังเผา และตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว โดยพิจารณาจากค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ในเครื่องปฏิกรณ์ชนิดไมโครเวฟ จะพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิดจากหินโดโลไมท์จะให้ค่าร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลสูงสุดประมาณ 98% ณ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 3 นาที กำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟเป็น 600 W อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันเป็น 12:1 และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 3 wt% โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์จะมีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาที่สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสและปริมาตรรูพรุนที่สูงกว่า

โดยทั่วไปการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ พบว่าในบางครั้งจะมีสบู่เกิดขึ้น ทำให้สารผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้เสียสภาพไป ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ และยังพบอีกว่าในขั้นตอนของการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารผลิตภัณฑ์นั้น จะต้องใช้น้ำในการล้างเป็นจำนวนมาก ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณมาก นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์จะมีข้อจำกัดในเรื่องของความสามารถในการกระตุ้นปฏิกิริยาที่ต่ำ ทำให้ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่ยาวนานขึ้น แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้มีข้อดีอีกหลายประการ เช่น ไม่กัดกร่อนถังปฏิกิริยา

ไม่ก่อให้เกิดสบู่เมื่อใช้กับสารตั้งต้นที่มีปริมาณของกรดไขมันอิสระสูง สามารถแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารผลิตภัณฑ์ได้ง่าย รวมถึงยังสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

3. การทดสอบสมบัติต่างๆ ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของไบโอดีเซล

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ	**ไบโอดีเซล**	**มาตรฐาน** ASTM	**มาตรฐาน** EN
ความหนืดไคนีเมติก (mm^2/s)	4.3	1.9-6.0	3.5-5.0
ความถ่วงจำเพาะ (-)	883	860-894	860-900
จุดไหลเท (°C)	8	-15 ถึง 10	ไม่ได้ระบุ
จุดขุ่น (°C)	11	-3 ถึง 12	ไม่ได้ระบุ
จุดวาบไฟ (°C)	169	> 130	> 120
ค่ากรด (mg KOH/g oil)	0.19	≤ 0.5	< 0.5
ปริมาณเอสเทอร์ (%)	98.97	> 96.50	> 96.50
ปริมาณความชื้น (%)	0.01	< 0.05	< 0.05

ทำการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมจากหินโดโลไมท์ที่ผ่านการปรับปรุงแล้วในเครื่องปฏิกรณ์ชนิดไมโครเวฟ และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน จากตารางที่ 5 พบว่าคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน มาตรฐาน ASTM D6751 มาตรฐาน EN 14214 และมีค่าใกล้เคียงกับไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลที่มีขายในปัจจุบัน ดังนั้น ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบเครื่องปฏิกรณ์ชนิดไมโครเวฟนี้ จะสามารถนำไปใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลของภาคการคมนาคมขนส่งและเครื่องจักรกลการเกษตรภายในชุมชนได้ โดยเทคโนโลยีนี้สามารถแก้ไขปัญหาการผลิตไบโอดีเซลแบบเดิมที่มีปัญหาในเรื่องของน้ำเสียจากกระบวนการล้างไบโอดีเซลได้เป็นอย่างดี

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
(Conclusion and Recommendation)

การวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ ซึ่งใช้หินโดโลไมท์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบเครื่องปฏิกรณ์ชนิดไมโครเวฟ โดยให้ปริมาณของสารเอสเทอร์ที่มากและมีความบริสุทธิ์สูงตามความต้องการได้ เพื่อเป็นการสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในระดับชุมชน สำหรับใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลของภาคการคมนาคมขนส่งและเครื่องจักรกลการเกษตร นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างความมั่นคงให้กับเศรษฐกิจของชุมชนได้อีกทางหนึ่งด้วย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์จะมีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาที่สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์ เหมาะต่อการนำไปใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันสบู่ดำ โดยคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ จะมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน มาตรฐาน ASTM D6751 มาตรฐาน EN 14214 และใกล้เคียงกับไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลที่มีขายในปัจจุบัน

สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำด้วยการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ชนิดเมทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแคลเซียมกลีเซอรอกไซด์ผสมกับแมกนีเซียมออกไซด์จากหินโดโลไมท์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบไมโครเวฟ เพื่อให้ค่าร้อยละผลได้และความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่สูงเท่ากับ 98.97% คือ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 3 นาที กำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟเป็น 600 W อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันเป็น 12:1 และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 3 wt% สำหรับการนำเครื่องปฏิกรณ์แบบไมโครเวฟมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลระดับอุตสาหกรรมนั้น จะต้องมีการศึกษาและพัฒนากันต่อไปอีกในอนาคต

ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะ

1. ควรพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวลเพิ่มเติม เนื่องจากปัจจัยนี้มีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับระบบปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์
2. ควรติดตั้งฉนวนทางความร้อนให้กับระบบต่างๆ ในเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการอุดตันของสารต่างๆ ภายในระบบของเครื่องปฏิกรณ์

บรรณานุกรม

(Bibliography)

พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล และ ลลิตา อัตนโถ (2549). ***รอบรู้เรื่องราวไบโอดีเซล***, พิมพ์ครั้งที่ 1, พิมพ์พินิจการพิมพ์, สมุทรปราการ, ประเทศไทย.

อาชาไนย บัวศรี (2555ก). ***พลังงานทดแทน***, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, ประเทศไทย.

อาชาไนย บัวศรี (2555ข). ***ไบโอดีเซล : พลังงานพอเพียง***, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, ประเทศไทย.

Achanai Buasri, Kanokphol Rochanakit, Wasupon Wongvitvichot, Uraiporn Masa-ard and Vorrada Loryuenyong (2015). The application of calcium oxide and magnesium oxide from natural dolomitic rock for biodiesel synthesis. ***Energy Procedia***, 79, 562-566.

Achanai Buasri, Methasit Lukkanasiri, Raviporn Nernrimnong, Surachai Tonseeya, Kanokphol Rochanakit, Wasupon Wongvitvichot, Uraiporn Masa-ard and Vorrada Loryuenyong (2016). Rapid transesterification of *Jatropha curcas* oil to biodiesel using novel catalyst with a microwave heating system. ***Korean Journal of Chemical Engineering***, 33, 3388-3400.

Achanai Buasri, Nattawut Chaiyut, Vorrada Loryuenyong, Chaiwat Wongweang and Saranpong Khamsrisuk (2013). Application of eggshell wastes as a heterogeneous catalyst for biodiesel production. ***Sustainable Energy***, 1, 7-13.

Achanai Buasri, Thaweethong Inkaew, Laorrut Kodephun, Wipada Yenying and Vorrada Loryuenyong (2015). Natural hydroxyapatite (NHAp) derived from pork bone as a renewable catalyst for biodiesel production via microwave irradiation. ***Key Engineering Materials***, 659, 216-220.

Achanai Buasri and Vorrada Loryuenyong (2015). The new green catalysts derived from waste razor and surf clam shells for biodiesel production in a continuous reactor. ***Green Processing and Synthesis***, 4, 389-397.

Asir Obadiah, Gnanadurai Ajji Swaroopa, Samuel Vasanth Kumar, Kenthorai Raman Jeganathan and Alagunambi Ramasubbu (2012). Biodiesel production from palm oil

using calcined waste animal bone as catalyst. ***Bioresource Technology***, 116, 512-516.

Birla A., Singh B., Upadhyay S.N. and Sharma Y.C. (2012). Kinetics studies of synthesis of biodiesel from waste frying oil using a heterogeneous catalyst derived from snail shell. ***Bioresource Technology***, 106, 95-100.

Boey P.L., Maniam G.P., Hamid S.A. and Ali D.M.H. (2011). Utilization of waste cockle shell (*Anadara granosa*) in biodiesel production from palm olein: Optimization using response surface methodology. ***Fuel***, 90 (7), 2353-2358.

Boonyawan Yoosuk, Parncheewa Udomsap and Buppa Puttasawat (2011). Hydration-dehydration technique for property and activity improvement of calcined natural dolomite in heterogeneous biodiesel production: Structural transformation aspect. ***Applied Catalysis A: General***, 395, 87-94.

Boro J., Deka D. and Thakur A.J. (2012). A review on solid oxide derived from waste shells as catalyst for biodiesel production. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 16, 904-910.

Chakraborty R., Bepari S. and Banerjee A. (2011). Application of calcined waste fish (*Labeo rohita*) scale as low-cost heterogeneous catalyst for biodiesel synthesis. ***Bioresource Technology***, 102, 3610-3618.

Inés Reyero, Gurutze Arzamendi, Luis M. Gandía (2014). Heterogenization of the biodiesel synthesis catalysis: CaO and novel calcium compounds as transesterification catalysts. ***Chemical Engineering Research and Design***, 92, 1519-1530.

Jutika Boro, Dhanapati Deka and Ashim J. Thakur (2012). A review on solid oxide derived from waste shells as catalyst for biodiesel production. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 16, 904-910.

Khemthong P., C. Luadthong, W. Nualpaeng, P. Changsuwan, P. Tongprem, N. Viriya-empikul and K. Faungnawakij (2012). Industrial eggshell wastes as the heterogeneous catalysts for microwave-assisted biodiesel production. ***Catalysis Today***, 190, 112-116.

Leandro Marques Correia, Natália de Sousa Campelo, Denise Sousa Novaes, Célio Loureiro Cavalcante Jr., Juan Antonio Cecilia, Enrique Rodríguez-Castellón, Rodrigo Silveira

Vieira (2015). Characterization and application of dolomite as catalytic precursor for canola and sunflower oils for biodiesel production. ***Chemical Engineering Journal***, 269, 35-43.

Lertsathapornsuk V., Pairintra R., Aryusuk K. and Krisnangkura K. (2008). Microwave assisted in continuous biodiesel production from waste frying palm oil and its performance in a 100 kW diesel generator. ***Fuel Processing Technology***, 89, 1330-1336.

Laura León-Reina, Aurelio Cabeza, Jordi Rius, Pedro Maireles-Torres, Ana C. Alba-Rubio and Manuel López Granados (2013). Structural and surface study of calcium glyceroxide, an active phase for biodiesel production under heterogeneous catalysis. ***Journal of Catalysis***, 300, 30-36.

Masato Kouzu, Jyu-suke Hidaka, Kanako Wakabayashi, MichitoTsunomori (2010). Solid base catalysis of calcium glyceroxide for a reaction to convert vegetable oil into its methyl esters. ***Applied Catalysis A: General***, 390, 11-18.

Naomi S.K., Hiroki H., Homare K., Takuji T., Takuya F. and Toshikuni Y. (2007). Biodiesel production using anionic ion-exchange resin as heterogeneous catalyst. ***Bioresource Technology***, 98, 416-421.

Shajaratun Nur Z.A., Taufiq-Yap Y.H., Rabiah Nizah M.F., Teo S.H., Syazwani O.N., Islam A. (2014). Production of biodiesel from palm oil using modified Malaysian natural dolomites. ***Energy Conversion and Management***, 78, 738-744.

Shengyang H., Yun W. and Heyou H. (2011). Utilization of waste freshwater mussel shell as an economic catalyst for biodiesel production. ***Biomass and Bioenergy***, 35, 3627-3635.

Siyada Jaiyen, Thikumporn Naree and Chawalit Ngamcharussrivichai (2015). Comparative study of natural dolomitic rock and waste mixed seashells as heterogeneous catalysts for the methanolysis of palm oil to biodiesel. ***Renewable Energy***, 74, 433-440.

Vishwanath Ganpat Deshmane and Yusuf Gbadebo Adewuyi (2013). Synthesis and kinetics of biodiesel formation via calcium methoxide base catalyzed transesterification reaction in the absence and presence of ultrasound. ***Fuel***, 107, 474-482.

Yuan-Chung Lin, Shang-Cyuan Chen, Chin-En Chen, Po-Ming Yang and Syu-Ruei Jhang (2014). Rapid Jatropha-biodiesel production assisted by a microwave system and a sodium amide catalyst. ***Fuel***, 135, 435-442.

Yung Bok Cho and Gon Seo (2010). High activity of acid-treated quail eggshell catalysts in the transesterification of palm oil with methanol. ***Bioresource Technology***, 101, 8515-8519.

ภาคผนวก ก

รายชื่อผลงานที่ได้รับการเผยแพร่

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ในระดับนานาชาติ

Achanai Buasri, Methasit Lukkanasiri, Raviporn Nernrimnong, Surachai Tonseeya, Kanokphol Rochanakit, Wasupon Wongvitvichot, Uraiporn Masa-ard and Vorrada Loryuenyong (2016). Rapid transesterification of *Jatropha Curcas* oil to biodiesel using novel catalyst with a microwave heating system, ***Korean Journal of Chemical Engineering***, Vol. 33, No. 12, 2016, 3388-3400 (ISI Impact Factor 2016 = 2.007).

ภาคผนวก ข

ประวัติและผลงานวิจัยที่สำคัญของนักวิจัยและคณะ

<u>ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย</u>

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย อาชาไนย บัวศรี
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Achanai Buasri
2. <u>เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน</u> 3 1606 00364 15 5
3. <u>ตำแหน่งปัจจุบัน</u> รองศาสตราจารย์
   <u>เงินเดือน</u> 58,230 (บาท) <u>เวลาที่ใช้ทำวิจัย</u> 18 (ชั่วโมง-สัปดาห์)
4. ตำแหน่งทางวิชาการปัจจุบัน...รองศาสตราจารย์...
   ☐ ข้าราชการ ☑ พนักงาน
5. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
   ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
   มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ ต.พระปฐมเจดีย์ อ.เมือง จ.นครปฐม 73000
   โทรศัพท์มือถือ 081-9272752, 088-6610222 โทรศัพท์ 034-241708 โทรสาร 034-241708
   e-mail: achanai130@gmail.com
6. ประวัติการศึกษา : ระดับการศึกษา สถาบัน และปีที่จบ
   - ปริญญาตรี สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2545
   - ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2547
7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   สาขาวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช กลุ่มวิชาเคมีอุตสาหกรรม เคมีเทคนิค และเคมีโพลิเมอร์
   สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย กลุ่มวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีพื้นฐานทางวิศวกรรมศาสตร์
8. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

8.1 ผลงานวิจัยที่ดำเนินการเสร็จแล้ว

เรื่องที่...1...

1. ชื่อเรื่อง / ชื่อผลงาน (การประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางชีวภาพเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์สำหรับการผลิตไบโอดีเซลอย่างต่อเนื่องในเครื่องปฏิกรณ์ชนิดเบดนิ่งจากน้ำมันเมล็ดยางพารา/ Application of Bio-waste as a Heterogeneous Catalyst for Continuous Production of Biodiesel in Fixed Bed Reactor from Rubber Seed Oil)
2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน o ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ
   ☑ คณะบุคคล/กลุ่ม ☑ เป็นหัวหน้า (70%) ☐ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา...วิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช...วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย
4. จำนวนงบประมาณ...360,000... บาท
   ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 ถึงปี พ.ศ. 2560
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
   ☑ ในประเทศ
      ☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☑ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
      ☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....
   o ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....
6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว
   o ยังไม่ได้เผยแพร่
   ☑ เผยแพร่แล้ว
      ☑ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ (โปรดระบุชื่อเรื่อง / ชื่อเจ้าของผลงาน / ชื่อสิ่งพิมพ์ / ชื่อสำนักพิมพ์ / ปีที่พิมพ์ / เลขหน้า)
         () ในประเทศ .....
         ☑ ต่างประเทศ

(1) **Achanai Buasri** and Vorrada Loryuenyong, "Continuous Production of Biodiesel from Rubber Seed Oil Using a Packed Bed Reactor with $BaCl_2$ Impregnated CaO as Catalyst", ***Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis***, Vol. 13, No. 2, August **201**8, 320-330.

      ☑ ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน (โปรดระบุ ชื่อเรื่อง / ชื่อผู้นำเสนอ / สถานที่จัด / วัน เดือน ปีที่นำเสนอ)
         () ในประเทศ .....
         ☑ ต่างประเทศ

(1) **Achanai Buasri** and Vorrada Loryuenyong, "Application of KF/CaO as an Efficient Solid Base Catalyst in the Production of Biodiesel from Rubber Seed Oil", ***2017 8th International Conference on Material and Manufacturing Technology (ICMMT 2017)***, May 4-6, 2017, Singapore.

☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

เรื่องที่...2...

1. ชื่อเรื่อง / ชื่อผลงาน (การประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์สำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำด้วยการฉายรังสีไมโครเวฟ/Application of Waste Materials as a Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production from *Jatropha Curcas* Oil via Microwave Irradiation)
2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน ☑ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ
   o คณะบุคคล/กลุ่ม ☐ เป็นหัวหน้า (%) ☐ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา...วิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช...วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย
4. จำนวนงบประมาณ...100,000... บาท
   ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 ถึงปี พ.ศ. 2559
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
   ☑ ในประเทศ
      ☑ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
      ☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....
   o ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....
6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว
   o ยังไม่ได้เผยแพร่
   ☑ เผยแพร่แล้ว
      ☑ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ (โปรดระบุชื่อเรื่อง / ชื่อเจ้าของผลงาน / ชื่อสิ่งพิมพ์ / ชื่อสำนักพิมพ์ / ปีที่พิมพ์ / เลขหน้า)
         () ในประเทศ .....
         (☑) ต่างประเทศ

(1) **Achanai Buasri** and Vorrada Loryuenyong, "Application of Waste Materials as a Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production from *Jatropha Curcas* Oil via Microwave Irradiation", ***Materials Today: Proceedings***, Vol. 4, No. 5 (Part 2), 2017, 6051-6059.

      ☐ ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน (โปรดระบุ ชื่อเรื่อง / ชื่อผู้นำเสนอ / สถานที่จัด / วัน เดือน ปีที่นำเสนอ)
         () ในประเทศ .....
         () ต่างประเทศ.....
      ☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

เรื่องที่...3...

1. ชื่อเรื่อง / ชื่อผลงาน (การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำในเครื่องปฏิกรณ์ชนิดเบดนิ่งโดยใช้เปลือกหอย/คาร์บอนกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์/Biodiesel Production from *Jatropha Curcas* Oil in Fixed Bed Reactor Using Shells/Activated Carbon as a Heterogeneous Catalyst)
2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน o ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ
   ✓ คณะบุคคล/กลุ่ม ☑ เป็นหัวหน้า (70%) ☐ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา...วิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช...วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย
4. จำนวนงบประมาณ...353,400... บาท
   ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 ถึงปี พ.ศ. 2558
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
   ✓ ในประเทศ
      ☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☑ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
      ☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....
   o ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....
6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว
   o ยังไม่ได้เผยแพร่
   ✓ เผยแพร่แล้ว
      ☑ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ (โปรดระบุชื่อเรื่อง / ชื่อเจ้าของผลงาน / ชื่อสิ่งพิมพ์ / ชื่อสำนักพิมพ์ / ปีที่พิมพ์ / เลขหน้า)
         () ในประเทศ .....
         ✓ ต่างประเทศ

(1) **Achanai Buasri** and Vorrada Loryuenyong, "The New Green Catalysts Derived from Waste Razor and Surf Clam Shells for Biodiesel Production in Continuous Reactor", ***Green Processing and Synthesis***, Vol. 4, No. 5, October 2015, 389-397 (ISI Impact Factor 2015 = 1.291).

(2) **Achanai Buasri**, Tidarat Rattanapan, Chalida Boonrin, Chosita Wechayan and Vorrada Loryuenyong, "Oyster and Pyramidella Shells as Heterogeneous Catalysts for the Microwave-assisted Biodiesel Production from Jatropha Curcas Oil", ***Journal of Chemistry***, Vol. 2015, 2015, Article ID 578625, 7 pages (Impact Factor 2015 = 0.996).

□ ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน (โปรดระบุ ชื่อเรื่อง / ชื่อผู้นำเสนอ / สถานที่จัด / วัน เดือน ปีที่นำเสนอ)

() ในประเทศ .....

() ต่างประเทศ.....

□ อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

เรื่องที่...4...

1. ชื่อเรื่อง / ชื่อผลงาน (การออกแบบและสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งสำหรับผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้คาร์บอนกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา/Design and Construction of Fixed Bed Reactor for Biodiesel Production from Palm Oil Using Activated Carbon as Catalyst)
2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน o ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ
   ✓ คณะบุคคล/กลุ่ม ☑ เป็นหัวหน้า (55%) ☐ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา...วิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช...เกษตรศาสตร์และชีววิทยา...วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย
4. จำนวนงบประมาณ...1,279,500... บาท
   ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 ถึงปี พ.ศ. 2554
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
   ✓ ในประเทศ
      ☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☑ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
      ☐ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....
   o ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....
6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว
   o ยังไม่ได้เผยแพร่
   ✓ เผยแพร่แล้ว
      ☑ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ (โปรดระบุชื่อเรื่อง / ชื่อเจ้าของผลงาน / ชื่อสิ่งพิมพ์ / ชื่อสำนักพิมพ์ / ปีที่พิมพ์ / เลขหน้า)
         () ในประเทศ .....
         ✓ ต่างประเทศ

(1) **Achanai Buasri**, Bussarin Ksapabutr, Manop Panapoy and Nattawut Chaiyut, "Synthesis of Biofuel from Palm Stearin Using an Activated Carbon Supported Catalyst in Packed Column Reactor", ***Advanced Science Letters***, Vol. 19, No. 12, December 2013, 3473-3476 (ISI Impact Factor 2010 = 1.253).

(2) **Achanai Buasri**, Bussarin Ksapabutr, Manop Panapoy and Nattawut Chaiyut, "Biodiesel Production from Waste Cooking Palm Oil Using Calcium Oxide Supported on Activated Carbon as Catalyst in a Fixed Bed Reactor", ***Korean Journal***

of Chemical Engineering, Vol. 29, No. 12, December 2012, 1708-1712 (ISI Impact Factor 2012 = 1.059).

(3) **Achanai Buasri**, Bussarin Ksapabutr, Manop Panapoy and Nattawut Chaiyut, "Process Optimization for Ethyl Ester Production in Fixed Bed Reactor Using Calcium Oxide Impregnated Palm Shell Activated Carbon (CaO/PSAC)", ***International Journal of Renewable Energy Development***, Vol. 1, No. 3, October 2012, 81-86.

(4) **Achanai Buasri**, Nattawut Chaiyut, Vorrada Loryuenyong, Chao Rodklum, Techit Chaikwan, Nanthakrit Kumphan, Kritsanapong Jadee, Pathravut Klinklom and Wittaya Wittayarounayut, "Transesterification of Waste Frying Oil for Synthesizing Biodiesel by KOH Supported on Coconut Shell Activated Carbon in Packed Bed Reactor", ***ScienceAsia***, Vol. 38, No. 3, September 2012, 283-288 (ISI Impact Factor 2012 = 0.398).

(5) **Achanai Buasri**, Nattawut Chaiyut, Vorrada Loryuenyong, Chao Rodklum, Techit Chaikwan and Nanthakrit Kumphan, "Continuous Process for Biodiesel Production in Packed Bed Reactor from Waste Frying Oil Using Potassium Hydroxide Supported on *Jatropha Curcas* Fruit Shell as Solid Catalyst", ***Applied Sciences***, Vol. 2, No. 3, September 2012, 641-653 (ISI Impact Factor 2014 = 1.484).

☑ ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน (โปรดระบุ ชื่อเรื่อง / ชื่อผู้นำเสนอ / สถานที่จัด / วัน เดือน ปีที่นำเสนอ)

() ในประเทศ .....

☑ ต่างประเทศ

(1) **Achanai Buasri**, Bussarin Ksapabutr, Manop Panapoy and Nattawut Chaiyut, "Biodiesel Production from Palm Oil in a Fixed Bed Reactor", ***8th European Congress of Chemical Engineering (ECCE) & 1st European Congress of Applied Biotechnology (ECAB)***, September 25-29, 2011, Berlin, Germany.

(2) Chaiwut Nakweang, Nattawut Chaiyut and **Achanai Buasri**, "Biodiesel Fuel Production Using Activated Carbon as Heterogeneous Catalyst", ***Sixth Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT6) & Fifth Asia Pacific Congress on Catalysis (APCAT5)***, July 18-23, 2010, Sapporo, Japan.

☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

เรื่องที่...5...

1. ชื่อเรื่อง / ชื่อผลงาน (การพัฒนาขั้วอิเล็กโทรดแบบโปร่งใสของฟิล์มฉลาดโดยใช้แผ่นนาโนกราฟีนและบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วสำหรับการใช้งานเป็นวัสดุประหยัดพลังงาน/Development of Transparent Electrodes of Smart Film Using Graphene Nanosheet and Post-consumer Packaging for Energy-saving Materials Application)
2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน o ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ
   ✓ คณะบุคคล/กลุ่ม ☑ เป็นหัวหน้า (60%) ☐ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา...สาขาวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช..กลุ่มวิชาเคมีโพลิเมอร์...
4. จำนวนงบประมาณ...340,000... บาท
   ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 ถึงปี พ.ศ. 2560
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
   ✓ ในประเทศ
      ☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
      ☑ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.)
   o ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....
6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว
   o ยังไม่ได้เผยแพร่
   ✓ เผยแพร่แล้ว
      ☑ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ (โปรดระบุชื่อเรื่อง / ชื่อเจ้าของผลงาน / ชื่อสิ่งพิมพ์ / ชื่อสำนักพิมพ์ / ปีที่พิมพ์ / เลขหน้า)
         () ในประเทศ .....
         ✓ ต่างประเทศ

(1) **Achanai Buasri**, Duangamol Ongmali, Pongsatorn Sriboonpeng, Sarinee Prompanut and Vorrada Loryuenyong, "Synthesis of PET-PLA Copolymer from Recycle Plastic Bottle and Study of Its Applications in the Electrochromic Devices with Graphene Conductive Ink", ***Materials Today: Proceedings***, Vol. 5, No. 5 (Part 1), 2018, 11060-11067.

(2) **Achanai Buasri**, Duangamol Ongmali, Pongsatorn Sriboonpeng, Sarinee Prompanut and Vorrada Loryuenyong, "Development of Transparent Electrodes Using Graphene Nano-Ink and Post-Consumer PET Bottles for Electrochromic Application",

Key Engineering Materials, Vol. 744 : Symposium on Materials Science and Engineering, 2017, 463-467.

☑ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน (โปรดระบุ ชื่อเรื่อง / ชื่อผู้นำเสนอ / สถานที่จัด / วัน เดือน ปีที่นำเสนอ)

☑ ในประเทศ

(1) **อาชาไนย บัวศรี**, วรดา หล่อยืนยง และ ชื่นกมล รัตนพันธ์, "การพัฒนาขั้วอิเล็กโทรดแบบโปร่งใสโดยใช้กราฟีนและบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้ว", ***การประชุมใหญ่โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา ครั้งที่ 5 (The 5th Higher Education Research Promotion Congress: HERP CONGRESS V)***, 2-4 มีนาคม 2560, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, อุดรธานี, ประเทศไทย.

(2) **อาชาไนย บัวศรี**, ดวงกมล อ่องมะลิ, พงศธร ศรีบุญเพ็ง, สาริณี พรหมพนัส และ วรดา หล่อยืนยง, "การพัฒนาฟิล์มฉลาดเปลี่ยนสีได้โดยใช้หมึกนำไฟฟ้ากราฟีนและบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วสำหรับการใช้งานเป็นวัสดุประหยัดพลังงาน", ***การแข่งขันรางวัลความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 9 (Sci & Tech Initiative and Sustainability Awards 2016 - 9th STISA)***, 1 สิงหาคม 2559, โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์, กรุงเทพ, ประเทศไทย.

() ต่างประเทศ

☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

เรื่องที่...6...

1. ชื่อเรื่อง / ชื่อผลงาน (การพัฒนาขั้วอิเล็กโทรดแบบโปร่งใสจากพอลิเมอร์ชีวภาพและแผ่นนาโนกราฟีนสำหรับการประยุกต์ใช้งานเป็นฟิล์มอัจฉริยะ/Development of Transparent Electrodes Based on Biopolymer and Graphene Nanosheet for Smart Film Applications)
2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน o ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ
   ✓ คณะบุคคล/กลุ่ม ☑ เป็นหัวหน้า (60%) ☐ เป็นผู้ร่วม
3. สาขาวิชา...สาขาวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช..กลุ่มวิชาเคมีโพลิเมอร์...
4. จำนวนงบประมาณ...300,000... บาท
   ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 ถึงปี พ.ศ. 2559
5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน
   ✓ ในประเทศ
      ☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....
      ☑ ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.)
   o ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....
6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว
   o ยังไม่ได้เผยแพร่
   ✓ เผยแพร่แล้ว
      ☑ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ (โปรดระบุชื่อเรื่อง / ชื่อเจ้าของผลงาน / ชื่อสิ่งพิมพ์ / ชื่อสำนักพิมพ์ / ปีที่พิมพ์ / เลขหน้า)
         () ในประเทศ .....
         ✓ ต่างประเทศ

(1) Chuenkamon Rattanapan, Chakrit Jankaenkaew, Thornpong Sirithiwakorn, Vorrada Loryuenyong and **Achanai Buasri**, "Application of Bioplastics and Thermal Reduced Graphene Oxide in Electrochromic Devices", ***Materials Today: Proceedings***, Vol. 5, No. 7 (Part 1), 2018, 14868-14873.

(2) **Achanai Buasri**, Thanyaras Ananganjanakit, Naruemon Peangkom, Punyaporn Khantasema, Karoon Pleeram, Jompit Arthnukarn, Anupong Lakaeo and Vorrada Loryuenyong, "A Facile Route for the Synthesis of Reduced Graphene Oxide (RGO) by DVD Laser Scribing and Its Applications in the Environment-friendly Electrochromic Devices (ECD)", ***Journals of Optoelectronics and Advanced***

Materials, Vol. 19, No. 7-8, July-August 2017, 492-500 (ISI Impact Factor 2016 = 0.449).

☑ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน (โปรดระบุ ชื่อเรื่อง / ชื่อผู้นำเสนอ / สถานที่จัด / วัน เดือน ปีที่นำเสนอ)

☑ ในประเทศ

(1) **อาชาไนย บัวศรี**, ชื่นกมล รัตนพันธ์, ชาคริต จันทร์แก่นแก้ว, ธรพงษ์ สิริทิวากร และ วรดา หล่อยืนยง, "การประยุกต์ใช้พลาสติกชีวภาพและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในอุปกรณ์อิเล็กโทรโครมิก", ***การแข่งขันรางวัลความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 9 (Sci & Tech Initiative and Sustainability Awards 2016 - 9th STISA)***, 1 สิงหาคม 2559, โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์, กรุงเทพ, ประเทศไทย.

(2) **อาชาไนย บัวศรี** และ วรดา หล่อยืนยง, "การพัฒนาขั้วอิเล็กโทรดแบบโปร่งใสจากพอลิเมอร์ชีวภาพและแผ่นนาโนกราฟีนสำหรับการประยุกต์ใช้งานเป็นฟิล์มอัจฉริยะ", ***การประชุมใหญ่โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา ครั้งที่ 4 (The 4th Higher Education Research Promotion Congress: HERP CONGRESS IV)***, 8-10 กุมภาพันธ์ 2559, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, อุบลราชธานี, ประเทศไทย.

☑ ต่างประเทศ

(1) **Achanai Buasri**, Chuenkamon Rattanapan, Chakrit Jankaenkaew, Thornpong Sirithiwakorn and Vorrada Loryuenyong, "The Fabrication of Electrochromic Devices Based on Reduced Graphene Oxide/Polylactide Thin Films", ***2017 World Congress on Micro and Nano Manufacturing (WCMNM 2017)***, March 27-30, 2017, Kaohsiung, Taiwan.

☐ อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

หากผลงานวิจัยหรือผลงานสร้างสรรค์เคยได้รับรางวัลโปรดกรอก

(1) การประชุมใหญ่โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา ครั้งที่ 5 (The 5th Higher Education Research Promotion Congress: HERP CONGRESS V), 2-4 มีนาคม 2560, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, อุดรธานี, ประเทศไทย

1. ชื่อรางวัล...ผลงานวิจัยดีมาก...

2. หน่วยงานที่ให้รางวัล...สำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติภายใต้สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ...

3. ปี พ.ศ. ที่ได้รับรางวัล...2560...

4. สาขาวิชาที่ได้รับรางวัล...ผลงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยของรัฐ 20 แห่ง...

(2) The 3rd International Symposium on Hybrid Materials and Processing (HyMaP 2014), 10-13 พฤศจิกายน 2557, โรงแรม Haeundae Grand, เมืองปูซาน, ประเทศสาธารณรัฐเกาหลี

1. ชื่อรางวัล...Outstanding Paper Award (Poster Presentation)...

2. หน่วยงานที่ให้รางวัล...GLOBAL FRONTIER Hybrid Interface Materials, Korea...National Core Research Center (NCRC) for Hybrid Materials Solution (하이브리드 소재 솔루션 국가핵심연구센터), Pusan National University, Korea...

3. ปี พ.ศ. ที่ได้รับรางวัล...2557...

4. สาขาวิชาที่ได้รับรางวัล...Organic/Inorganic Hybrid Composites...

(3) การประชุมสมาคมจุลทรรศน์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31 (31st Annual Conference of the Microscopy Society of Thailand - MST31), 29-31 มกราคม 2557, โรงแรมกรีนเนอรี่ รีสอร์ท เขาใหญ่, นครราชสีมา, ประเทศไทย

1. ชื่อรางวัล...รางวัลที่ 1 การนำเสนอผลงานแบบโปสเตอร์...รางวัลที่ 3 และรางวัลชมเชย การประกวดภาพถ่ายจุลทรรศน์ เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM)...

2. หน่วยงานที่ให้รางวัล...สมาคมจุลทรรศน์แห่งประเทศไทย...มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี...

3. ปี พ.ศ. ที่ได้รับรางวัล...2557...

4. สาขาวิชาที่ได้รับรางวัล...วัสดุศาสตร์ (Materials Science)...

(4) การแข่งขันรางวัลความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 6 (Sci & Tech Initiative and Sustainability Awards 2013 - 6th STISA), 6 มิถุนายน 2556, โรงแรมแกรนด์ เมอร์เคียว ฟอร์จูน กรุงเทพ, กรุงเทพ, ประเทศไทย

1. ชื่อรางวัล...รางวัลชมเชย...

2. หน่วยงานที่ให้รางวัล...สมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย...บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด...บริษัท ดาว เคมิคอล ประเทศไทย จำกัด...

3. ปี พ.ศ. ที่ได้รับรางวัล...2556...

4. สาขาวิชาที่ได้รับรางวัล...วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี...

(5) การประกวดนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยี ระดับประเทศ ครั้งที่ 4, 28-29 มีนาคม 2556, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพ, ประเทศไทย

1. ชื่อรางวัล...รางวัลรองชนะเลิศ อันดับ 3...

2. หน่วยงานที่ให้รางวัล...วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง...ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ...ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์..

3. ปี พ.ศ. ที่ได้รับรางวัล...2556...

4. สาขาวิชาที่ได้รับรางวัล...นวัตกรรมเชิงพาณิชย์...

(6) การประชุมวิชาการ งานเกษตรแห่งชาติ ประจำปี 2551 และ งานวันเกษตรแห่งชาติ ประจำปี 2551, 5-14 กันยายน 2551, คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก, ประเทศไทย

1. ชื่อรางวัล...รางวัลการนำเสนอผลงานทางวิชาการ ภาคโปสเตอร์ดีเด่น อันดับ 1...

2. หน่วยงานที่ให้รางวัล...กระทรวงเกษตรและสหกรณ์...มหาวิทยาลัยนเรศวร...

3. ปี พ.ศ. ที่ได้รับรางวัล...2551...

4. สาขาวิชาที่ได้รับรางวัล...พลังงานทดแทน...

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - สกุล (นาย,นาง,นางสาว) (ภาษาไทย) วรดา หล่อยืนยง
   (ภาษาอังกฤษ) Vorrada Loryuenyong
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน **3100602896111**
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.
   เวลาที่ใช้ทำการวิจัย 18 ชั่วโมง/สัปดาห์
4. ตำแหน่งทางวิชาการปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
   ☐ ข้าราชการ ☑ พนักงาน
5. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

   สถานที่ทำงาน: ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร โทรศัพท์ 0-3424-1708
   โทรสาร 0-3424-1708

   ที่อยู่ปัจจุบัน: บ้านเลขที่ 10 ซอย/ถนน ลาดพร้าว 110 แยก 2 เขตวังทองหลาง
   จังหวัดกรุงเทพมหานคร

   e-mail: vorrada@gmail.com

   มือถือ 0898111748
6. ประวัติการศึกษา : ระดับการศึกษา สถาบัน และปีที่จบ

   ปริญญาตรี
   สาขา Materials Science and Engineering
   สถาบัน The Pennsylvania State University ปีที่จบ 2543
   ปริญญาโท
   สาขา Materials Science and Engineering
   สถาบัน University of California-Berkeley ปีที่จบ 2545
   ปริญญาเอก
   สาขา Materials Science and Engineering
   สถาบัน University of California-Berkeley ปีที่จบ 2549
7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

   สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย ประกอบด้วยกลุ่มวิชา วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีพื้นฐานทางวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมอุตสาหกรรมวิจัยและอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

8. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

8.1 ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ทางด้านศิลปะและการออกแบบที่ดำเนินการเสร็จแล้ว

เรื่องที่ 1

1. ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทใช้ทาหรือเป็นหมึกพิมพ์โดยใช้อนุภาคระดับนาโนของไทเทเนียที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง

(ภาษาอังกฤษ) The Development of Paint-On/Printing Solar Cells using Titania Nanoparticles with High Specific Surface Area

2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน O ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ

⊘ คณะบุคคล/กลุ่ม ⊘ เป็นหัวหน้า O เป็นผู้ร่วม

3. สาขาวิชา วัสดุศาสตร์และวิศวกรรม

4. จำนวนงบประมาณ 383,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึงปี พ.ศ. 2555

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

⊘ ในประเทศ

☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☑ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

O ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....

O ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว

O ยังไม่ได้เผยแพร่

⊘ เผยแพร่แล้ว

☑ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์

V. Loryuenyong, A. Buasri, C. Srilachai, and H. Srimuang, “The synthesis of microporous and mesoporous titania with high specific surface area using sol-gel method and activated carbon templates,” *Mater. Lett.*, 87, 47-50 (2012). **2011 ISI impact factor = 2.275**

V. Loryuenyong, K. Angamnuaysiri, J. Sukcharoenpong, and A. Suwannasri, “Sol-gel derived mesoporous titania nanoparticles: effects of calcination temperature and alcoholic solvent on the photocatalytic behavior,” *Ceram. Inter.*, 38, 2233-2237 (2012). **2011 ISI impact factor = 1.751**

V. Loryuenyong, K. Angamnuaysiri, J. Sukcharoenpong, and A. Suwannasri, “Sol-Gel Template Synthesis of Anatase Titania Nanoparticles and Their Photocatalytic Behavior,” *ScienceAsia*, 38, 283-288 (2012). **2011 ISI impact factor = 0.344**

V. Loryuenyong, A. Buasri, J. Pochana, S. Hosawangwong, S. Thaisaung and P. Sooksaen, "Synthesis of Anatase TiO_2 Nanoparticles by Template Sol-Gel Method and Its Application in Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants," *Adv. Sci. Lett*., 19(10), 2919-2922 (2013). **2010 ISI impact factor = 1.253**

V. Loryuenyong, P. Sooksaen, P. Sanitchai, "Synthesis of Anatase-Based Titania Nanostructures Using Extreme Hydrothermal Conditions," *Advanced Materials Research*, 463-464, 1493-1496 (2012).

☑ ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน

⦸ ต่างประเทศ

- The 10th International Conference on "Nanostructured Materials" (NANO 2010), Rome, Italy, 13-17 September 2010.
- 8th European Congress of Chemical Engineering and 1st European Congress of Applied Biotechnology, Berlin, Germany, 25-29 September 2011.

<u>เรื่องที่ 2</u>

1. ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การเตรียมคาร์บอนกัมมันต์และท่อนาโนคาร์บอนจากวัสดุเหลือทิ้งทางภาคการเกษตรสำหรับใช้เป็นเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไว้แสง

   (ภาษาอังกฤษ) The Preparation of Activated Carbon and Carbon Nanotubes from Agricultural Solid Wastes for the Uses as Counter Electrodes in Dye sensitized Solar Cells

2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน **O** ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ

   ⦸ คณะบุคคล/กลุ่ม ⦸ เป็นหัวหน้า (60%) **O** เป็นผู้ร่วม

3. สาขาวิชา วัสดุศาสตร์และวิศวกรรม

4. จำนวนงบประมาณ 410,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึงปี พ.ศ. 2558

ดำเนินงานไปแล้ว 100%

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

   ⦸ ในประเทศ

   ☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☑ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

   O ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....

   O ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว

   O ยังไม่ได้เผยแพร่

   ⦸ เผยแพร่แล้ว

   ☑ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์

V. Loryuenyong, J. Phongthongcharoen, K. Klomchit, R. Chaiklang and **A. Buasri**, "A Facile Route for the Synthesis of Graphitic Carbon-Fe Based Nanocomposites from K_2CO_3-Activated Sugarcane Bagasse", *Optoelectronics and Advanced Materials - Rapid Communications,* 9(1-2), 218-221 (2015). **2014 ISI impact factor = 0.394**

   ☑ ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน

   ⦸ ต่างประเทศ

- The 3rd International Symposium on Hybrid Materials and Processing (HyMaP 2014), 10-13 November 2014, Pusan National University, Korea.

- 13th International Conference on Modern Materials and Technologies (CIMTEC2014), 6th Forum on New Materials, June 15-20, 2014, Montecatini Terme, Italy.

หากผลงานวิจัยหรือผลงานสร้างสรรค์เคยได้รับรางวัลโปรดกรอก

The 3rd International Symposium on Hybrid Materials and Processing (HyMaP 2014), 10-13 พฤศจิกายน 2557, โรงแรม Haeundae Grand, เมืองปูซาน, ประเทศสาธารณรัฐเกาหลี

1. ชื่อรางวัล...Outstanding Paper Award (Poster Presentation)...

2. หน่วยงานที่ให้รางวัล...GLOBAL FRONTIER Hybrid Interface Materials, Korea...National Core Research Center (NCRC) for Hybrid Materials Solution (하이브리드 소재 솔루션 국가핵심연구센터), Pusan National University, Korea...

3. ปี พ.ศ. ที่ได้รับรางวัล...2557...

4. สาขาวิชาที่ได้รับรางวัล...Organic/Inorganic Hybrid Composites...

<u>เรื่องที่ 3</u>

1. ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การพัฒนาวัสดุคอมโพสิตระดับนาโนระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และกราฟีนหรืออนุพันธ์ของกราฟีน

   (ภาษาอังกฤษ) The development of polyvinyl alcohol (PVA)-graphene/graphene derivative nanocomposite

2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน ⦸ ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ

   O คณะบุคคล/กลุ่ม O เป็นหัวหน้า O เป็นผู้ร่วม

3. สาขาวิชา วัสดุศาสตร์และวิศวกรรม

4. จำนวนงบประมาณ 100,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 ถึงปี พ.ศ. 2559

ดำเนินงานไปแล้ว 100%

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

   ⦸ ในประเทศ

   ☑ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

   O ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....

   O ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว

   O ยังไม่ได้เผยแพร่

   ⦸ เผยแพร่แล้ว

   ☑ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์

<u>V. Loryuenyong</u>, C. Saewong, C. Aranchaiya and A. Buasri, "The Improvement on Mechanical and Barrier Properties of Poly(Vinyl Alcohol)/Graphene", *Packaging Technology and Science*, 28(12), 939-947 (2015). **2014 ISI impact factor = 1.706**

<u>เรื่องที่ 4</u>

1. ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การพัฒนาวัสดุเสริมองค์ประกอบระดับนาโนระหว่างไทเทเนียและกราฟีน/อนุพันธ์กราฟีนสำหรับใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงร่วมขั้นสูง

   (ภาษาอังกฤษ) The development of TiO_2-grephene/graphene derivative nanocomposites as advanced photocatalytic materials

2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน **O** ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ

   ⦸ คณะบุคคล/กลุ่ม ⦸ เป็นหัวหน้า (60%) **O** เป็นผู้ร่วม

3. สาขาวิชา วัสดุศาสตร์และวิศวกรรม

4. จำนวนงบประมาณ 280,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 ถึงปี พ.ศ. 2558

ดำเนินงานไปแล้ว 100%

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

   ⦸ ในประเทศ

   ☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☑ อื่นๆ (โปรดระบุ).....สกอ.....

   O ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....

   O ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว

   O ยังไม่ได้เผยแพร่

   ⦸ เผยแพร่แล้ว

   ☑ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์

<u>V. Loryuenyong</u>, J. Charoensuk, R. Charupongtawitch, A. Usakulwattana and A. Buasri, "Kinetics of Photocatalytic Degradation of Methylene Blue by TiO_2-Graphene Nanocomposites", *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 16(1), 296-302 (2016). **2014 ISI impact factor = 1.556**

   ☑ ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน

   ⦸ ในประเทศ

- การประชุมใหญ่โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา ครั้งที่ 3 (HERP CONGRESS III), 9-11 มีนาคม 2558, นครศรีธรรมราช, ประเทศไทย

<u>เรื่องที่ 5</u>

1. ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การเตรียมกราฟีนและอนุพันธ์ของกราฟีนสำหรับใช้เป็นเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไว้แสง

   (ภาษาอังกฤษ) The Preparation of Graphene and its Derivatives for the Uses as Counter Electrodes in Dye sensitized Solar Cells

2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน **O** ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ

   ⦸ คณะบุคคล/กลุ่ม ⦸ เป็นหัวหน้า (60%) **O** เป็นผู้ร่วม

3. สาขาวิชา วัสดุศาสตร์และวิศวกรรม

4. จำนวนงบประมาณ 393,700 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 ถึงปี พ.ศ. 2559

ดำเนินงานไปแล้ว 100%

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

   ⦸ ในประเทศ

   ☑ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

   O ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....

   O ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว

   O ยังไม่ได้เผยแพร่

   ⦸ เผยแพร่แล้ว

   ☑ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์

<u>V. Loryuenyong</u>, K. Totepvimarn, P. Eimburanapravat, W. Boonchompoo, and A. Buasri, “Preparation and Characterization of Reduced Graphene Oxide Sheets via Water-Based Exfoliation and Reduction Methods,” *Advances in Materials Science and Engineering*, volume 2013, Article ID 923403 (2013). **2012 ISI impact factor = 0.5**

<u>V. Loryuenyong</u>, W. Pengthum, W. Thasatan, and A. Buasri, " A Facile Preparation of Reduced Graphene Oxide Papers for Electrode and Adsorption Applications ", *Optoelectronics and Advanced Materials - Rapid Communications,* 10(5-6), 417-421 (2016). **2016 ISI impact factor = 0.47**

<u>เรื่องที่ 6</u>

1. ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การพัฒนาขั้วเคาน์เตอร์อิเล็กโทรดแบบโปร่งใสจากพอลิเมอร์นำไฟฟ้าและกราฟีนในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมแสง

   (ภาษาอังกฤษ) The development of transparent conductive polymer-graphene counter electrode in dye-sensitized solar cells

2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน **O** ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ

   ⦸ คณะบุคคล/กลุ่ม ⦸ เป็นหัวหน้า (60%) **O** เป็นผู้ร่วม

3. สาขาวิชา วัสดุศาสตร์และวิศวกรรม

4. จำนวนงบประมาณ 300,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 ถึงปี พ.ศ. 2559

ดำเนินงานไปแล้ว 100%

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

   ⦸ ในประเทศ

   ☐ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☑ อื่นๆ (โปรดระบุ).....สกอ.....

   O ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....

   O ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว

   O ยังไม่ได้เผยแพร่

   ⦸ เผยแพร่แล้ว

   ☑ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์

   <u>V. Loryuenyong</u>, S. Yaotrakool, P. Prathumtead, C. Lertsiri and A. Buasri, "Synergistic Effects of Graphene-Polyaniline Counter Electrode in Dye-Sensitized Solar Cells", *Micro & Nano Letters*, 11(2), 77-80 (2016). **2014 ISI impact factor = 0.853**

<u>เรื่องที่ 7</u>

1. ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงจากขั้วไฟฟ้าคอมโพสิตระหว่างไทเทเนียและกราฟีนออกไซด์ที่ถูกรีดิวซ์

   (ภาษาอังกฤษ) The development of dye-sensitized solar cells based on TiO_2-reduced graphene oxide composite electrode

2. ลักษณะโครงการ /ผลงาน O ส่วนบุคคล/เดี่ยว หรือ

   ⦸ คณะบุคคล/กลุ่ม ⦸ เป็นหัวหน้า (60%) O เป็นผู้ร่วม

3. สาขาวิชา วัสดุศาสตร์และวิศวกรรม

4. จำนวนงบประมาณ 397,000 บาท

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ผลงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 ถึงปี พ.ศ. 2560

ดำเนินงานไปแล้ว 100%

5. ชื่อแหล่งทุน / แหล่งสนับสนุน

   ⦸ ในประเทศ

   ☑ ภาควิชา ☐ คณะวิชา ☐ มหาวิทยาลัย ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

   O ภายนอกมหาวิทยาลัย (โปรดระบุ).....

   O ต่างประเทศ (โปรดระบุ).....

6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย/ผลงานสร้างสรรค์ดังกล่าว

   O ยังไม่ได้เผยแพร่

   ⦸ เผยแพร่แล้ว

   ☑ ในรูปของบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์

<u>V. Loryuenyong</u>, K. Intong, V. Pongpraphan, W. Suksakkhee, and A. Buasri, “Photocatalytic Application of Graphene-based TiO_2 Nanocomposite,” Solid State Phenomena, Vol. 266 : Material and Manufacturing Technology VIII, 2017, 79-83.

<u>V. Loryuenyong</u>, P. Kaewmeesri, R. Siritanon, S. Nilwadee, and A. Buasri, “The Enhancement of Photoanode Efficiency in DSSCs with TiO_2/Graphene Nanocomposite,” อยู่ในระหว่างการส่งเข้ารับการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติที่มีระบบตรวจสอบคุณภาพของต้นฉบับและมีค่าดัชนีผลกระทบการอ้างอิง

   ☑ ชื่อการประชุมวิชาการฯ หรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน

   ⦸ ต่างประเทศ

- 2017 8th International Conference on Material and Manufacturing Technology (ICMMT 2017), May 4-6, 2017, Singapore.

ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่