

การผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย Biodiesel Production in Thailand

วารุณี ลิมมัน¹ รัตน์ชัย ไพรินทร²
Limmun W.¹ and Pairintra R.²

Abstract

Due to the low content of saturated fatty acid in plant oils compared to animal tallows, they are usually used as raw materials for biodiesel production, but it takes time for extracting. The waste fish oil can give an oil yield upto 85%. For all of fresh biomass, it can be used as a raw material, because their free fatty acid (FFA) <1% which can produce biodiesel by transesterification process. Methanol is the most common alcohol, at the molar ratio of 1:9, at 50-55 C while the reaction time is 45-60 min. The suitable catalyst for the homogeneous process is NaOH, while CaO is suitable for the heterogeneous process. Using microwave, biodiesel can be produced within 60 sec. An excessed alcohol in glycerin can re-use by distillation which makes the quality of glycerin purer. The heating value of biodiesel is 10-15% lower than diesel, emission gas is also lower, except NO_x is higher.

Keywords: Biodiesel, Free fatty acid, Transesterification, Diesel

บทคัดย่อ

การผลิตไบโอดีเซลน้ำมันพืชมักจะถูกใช้เป็นตัวเติมเพราะมีกรดไขมันอิ่มตัวที่น้อยกว่าไขสัตว์ แต่การสกัดจะใช้เวลานาน ไขมันปลาที่เหลือทิ้งสามารถสกัดน้ำมันโดยใช้เวลาที่สั้น ได้ yield สูงถึง 85% น้ำมันที่ได้จากพืชและสัตว์ทุกชนิดที่ใหม่จะมีค่ากรดไขมันอิสระ <1% ซึ่งสามารถใช้ปฏิกิริยา Transesterification ในการผลิตไบโอดีเซลได้ แอลกอฮอล์ที่เหมาะสมคือเมทานอล มันจะเป็นพิษ แต่จะทำปฏิกิริยาได้เร็ว ส่วน Molar ratio ที่เหมาะสมอยู่ที่ 1:9 ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแบบ Homogeneous ที่เหมาะสมคือ NaOH ส่วนในกระบวนการ Heterogeneous คือ CaO อุณหภูมิที่เหมาะสมคือที่ 50-55 C โดยใช้เวลาราว 45-60 นาที การใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ภายในเวลา 60 วินาที แอลกอฮอล์ส่วนเกินที่อยู่ในกลีเซอรินสามารถกลั่นและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำให้กลีเซอรินมีความบริสุทธิ์ขึ้น ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ Heterogeneous สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ ค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 10-15% Emission gas ก็ต่ำกว่า ยกเว้น NO_x จะสูงกว่า

คำสำคัญ: ไบโอดีเซล กรดไขมันอิสระ ปฏิกิริยา Transesterification น้ำมันดีเซล

คำนำ

อุปสรรคสำคัญในการนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ที่ไม่เป็นไข (wax) ที่อุณหภูมิห้องมาใช้เป็นเชื้อเพลิงคือความหนืด น้ำมันพืชโดยทั่วไปเช่นน้ำมันปาล์มจะมีความหนืดประมาณ 39.6 mm²/s เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล (2-8 mm²/s) แล้วคิดเป็น 10-15 เท่า หากต้องการนำไปใช้โดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องนำน้ำมันพืชเหล่านั้นไปให้ความร้อนเพื่อลดความหนืดลง ดังนั้นการนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์เหล่านี้ไปผลิตเป็นไบโอดีเซลจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยไม่จำเป็นต้องปรับแต่งเครื่องยนต์แต่อย่างใด ไบโอดีเซลจึงเป็นพลังงานทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีหลายวิธีเช่น การผสมโดยตรง (Direct blending), Micro-emulsions, การย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis), การใช้เอ็นไซม์, การใช้กระบวนการ Transesterification, กระบวนการ Esterification วัตถุประสงค์ของบทความนี้คือการ

¹ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ 17/1 หมู่ 6 ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ. ชุมพร 86160

¹ Department of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, 17/1 Moo6 Chumko Amphor Pathio Chumporn 86160

² คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (บางขุนเทียน) 49 ซ. เทียนทะเล 25 ถ. บางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงท่าข้าม เขต บางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150

² School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 49 Soi Thian Thale 25, Bang Khun Thian Chai Thale Road, Tha Kham, Bang Khun Thian Bangkok 10150

นำเสนอการเลือกใช้ วัตถุดิบ, กระบวนการผลิตที่ใช้เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีค่า Yield สูงสุด ตลอดจนการนำ by product โดยเฉพาะกลีเซอรินไปใช้ประโยชน์

กระบวนการผลิตไบโอดีเซล: Transesterification เป็นกระบวนการที่นิยมใช้มากที่สุดเพราะปลอดภัย และรวดเร็วกว่าการใช้กระบวนการแบบ Esterification การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการ Transesterification แสดงดังสมการที่ (1) ข้อเสียของกระบวนการ Transesterification คือวัตถุดิบจำเป็นที่จะต้องมียาค่า Acid Value หรือค่า Free Fatty Acid (FFA) ต่ำกว่า 1% (w/w) หากมีค่ามากกว่านั้นจะทำให้เกิดเป็นสบู่ขัดขวางการทำปฏิกิริยา ทำให้ได้ biodiesel Yield ต่ำลง อีกทั้งวัตถุดิบจะต้องมี water contain ต่ำกว่า 0.5% การขจัดน้ำโดยการให้ความร้อนสามารถทำได้ โดยให้ความร้อนที่ไม่สูงเกินไป และใช้เวลาไม่นานเกินไป หากใช้ความร้อนสูงและเวลานานจะทำให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation ขึ้น ทำให้ค่า FFA สูงขึ้นได้หรืออาจจะใช้ Sodium sulfate anhydrous ดูดน้ำออกก็ได้ กระบวนการอิมัลซิฟิเคชัน (Emulsification) ควรใช้ toluene ผสมกับน้ำมันก่อนหลังจากนั้นจึงผสมตัว Emulsifier เช่น Acetonitrile ลงไป การให้ความร้อนที่ 40 C และการกวนผสมที่ 300 rpm จะทำให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพดีขึ้น การใช้เอนไซม์ไลเปส และกระบวนการ Supercritical Alcohol Transesterification เป็นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ไม่มีของเสียออกจากกระบวนการก็จริง แต่มีต้นทุนในการผลิตสูงมาก โดย Critical Point ของ Methanol อยู่ที่ 240°C, ความดัน 7.95 MPa และของ Ethanol อยู่ที่ 243°C, ที่ความดัน 6.38 MPa สภาวะในการผลิตโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ 295-350°C Pressure 10-50 MPa



วัตถุดิบ: การสกัดน้ำมันจากวัตถุดิบมีหลายวิธี สำหรับพืชสามารถสกัดโดยการหีบ ซึ่งปริมาณน้ำมันจะได้น้อยกว่าการสกัดด้วยกระบวนการทางเคมีราว 10-15% แต่มีข้อดีกว่าคือสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่า การนำเมล็ดพืชไปให้ความร้อนที่ 70-80 C ก่อนการหีบประมาณ 20-30 นาทีจะช่วยทำให้ได้ปริมาณน้ำมันพืชเพิ่มมากขึ้น ในกระบวนการทางเคมี Solvent extraction ส่วนมากจะใช้ Hexane, Petroleum Ether ในการสกัด แม้ว่าจะได้ปริมาณน้ำมันที่มากขึ้นแต่ใช้เวลานานในการสกัดและต้องทำในห้องปฏิบัติการ Table 1 แสดงปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในวัตถุดิบแต่ละชนิด

Table 1 Oil Content in Each Raw Materials

Raw Materials	Oil Content % (w/w)	Raw Materials	Oil Content % (w/w)
Waste sea bass Oil	85	Para Rubber seed	40-50
Goat Tallow	82	Palm Oil	42
Chicken, Cow, Pig Tallow	70-72	Jatropha seeds	35-40
Crocodile Oil	62	Cotton seed	17-25

การสกัดโดยใช้ความร้อน หรือการเจียวเป็นกรรมวิธีที่ง่ายเหมาะสมสำหรับไขสัตว์ การหั่นไขให้เป็นชิ้นเล็กๆจะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันเพิ่มมากขึ้นช่วยลดระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ลง ข้อเสียของไขสัตว์คือเมื่อน้ำมันเย็นตัวลงจะกลายเป็นไข (Wax) ที่อุณหภูมิห้องเนื่องจากไขสัตว์ส่วนมากมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Saturated fatty acid) มากกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว ยกเว้นเศษไขมันปลา น้ำมันจากเมล็ดพืชอื่นๆ เช่นน้ำมันจากเมล็ดงาเป็นไขที่อุณหภูมิห้อง สำหรับวัตถุดิบที่เป็นไขจำเป็นต้องใช้ Co-solvent เช่น Hexane หรือ Toluene ในอัตราส่วน 1:1 (V/V) เข้าช่วยก่อนนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซลสำหรับ CO-solvent อื่นๆยกตัวอย่างเช่น Dichloromethane, Ethyl Ether, Tetrahydrofuran, Diethyl ether เป็นต้น

ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid): กรดไขมันอิสระจากวัตถุดิบที่สดใหม่ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันที่สกัดมาจากไขสัตว์ หรือน้ำมันจากพืช จะมีค่า FFA <1% (w/w) ซึ่งสามารถใช้กระบวนการ Transesterification ในผลิตได้เลยแต่หากทิ้งไว้นานจะเกิดปฏิกิริยา Oxidation ทำให้ค่า FFA เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมล็ดพืชเมื่อหลุดร่วงจากต้นเอนไซม์จะเริ่มทำงานทำให้เกิดการเน่าเสีย นอกจากนั้นแสงยังสามารถทำให้ FFA เพิ่มขึ้นได้ ในน้ำมันเมล็ดยางพารา ปริมาณ FFA เพิ่มขึ้นจาก 0.87 เป็น 2.82% ภายในระยะเวลา 75 วัน แม้นเก็บในขวดสีชา การ Titertion เพื่อหาปริมาณ FFA ส่วนมากนิยมใช้ KOH หรือ NaOH ข้อดีของไขสัตว์คือสามารถเก็บรักษาได้นานกว่าพืช เนื่องจากปฏิกิริยา Oxidation สามารถเกิดขึ้นได้เฉพาะบริเวณผิวหน้าของไขเท่านั้น วัตถุดิบที่มีค่า FFA>1% จำเป็นต้องใช้กรดลดค่า FFA ให้ต่ำลง โดยควรลดให้ FFA <1% โดยใช้กระบวนการ

Esterification แล้วใช้กระบวนการ Transesterification ต่อไป ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Acid Value และ FFA แสดงดังสมการที่ (2) - (4)

Palm Oil: Acid Value = $2.19 \times \%FFA$ (the formula is C16:0 ,Palmitic Acid).....(2)

Coconut Oil and Palm Kernel Oil: Acid Value = $2.81 \times \%FFA$ (the formula is C12:0, Lauric Acid).....(3)

Others Oil: Acid Value = $1.99 \times \%FFA$ (the formula is C18:1,Oleic Acid)(4)

Water contain: วัตถุประสงค์โดยทั่วไปจะมีปริมาณน้ำน้อยมาก ยกเว้นวัตถุประสงค์ที่เป็นน้ำมันพืชใช้แล้ว หากมีปริมาณน้ำที่มากกว่า 0.5% (w/w) น้ำจะยับยั้งปฏิกิริยาและทำให้เกิดสบู่อิ่ม ทำให้ได้ Yield ของไบโอดีเซลน้อยลง

Molar Ratio: สำหรับกระบวนการ transesterification อัตราส่วนทางทฤษฎีอยู่ที่น้ำมันต่อแอลกอฮอล์ ที่ 1:3 แต่เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาแบบ Reversible ดังที่แสดงในสมการที่ (1) เพื่อให้ปฏิกิริยาไปด้านขวามากขึ้นจึงต้องใช้ที่อัตราส่วน 1:6 หรือ 1:9 ขึ้นไป หรือจะลดอัตราส่วนลงแต่ทำแบบ two step transesterification ก็ได้ แต่จะใช้เวลาที่นานขึ้น ในกรณีกระบวนการ Esterification อัตราส่วนจะสูงกว่านี้ แต่ข้อดีคือไม่มีปัญหาเรื่อง กรดไขมันอิสระและปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัตถุประสงค์

Catalyst: ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแบบ Homogeneous นิยมใช้ NaOH หรือ KOH โดย NaOH มีราคาที่ถูกกว่า แต่คุณภาพของกลีเซอรินจะด้อยกว่า โดยทั่วไปจะใช้ที่ราว 0.75-1.5 % (w/w) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนเกินที่เหลืออยู่ในกลีเซอรินสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้แต่การ recycle ยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูงจึงไม่นิยมนำมา recycle ในกระบวนการแบบ Heterogeneous นิยมใช้ CaO, SrO ซึ่งสามารถ Recycle นำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ biodiesel yield ที่ได้จะน้อยลง โดยทั่วไปสามารถ recycle ได้ <5 ครั้ง ไม่ค่อยมีความคุ้มค่าเชิงพลังงานและเชิงพาณิชย์ CaO ในธรรมชาติที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคือ CaO ที่ได้จากการเผาเปลือกไข่ เปลือกไข่กระเซ้ เปลือกหอย เปลือกปู และกระดูกสัตว์ เช่น กระดุกไก่ เปลือกไข่ไก่เป็นวัตถุประสงค์ในธรรมชาติที่ดีที่สุดในการนำไปเผาเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะเปลือกไข่สามารถบดให้เป็นผงได้ง่าย สีของ CaO ภายหลังการเผาสามารถบอกถึงความแรงของเบสได้ โดยยิ่งขาวความแรงของเบสยิ่งสูงขึ้น แต่สำหรับกากปลาไม่เหมาะสมเพราะมีฟอสเฟสเป็นองค์ประกอบคอยยับยั้งปฏิกิริยา transesterification จากตารางธาตุ BaO อาจมีความแรงของเบสที่ดีกว่า CaO, SrO แต่มีความเป็นพิษสูงมากจึงไม่นิยมนำมาใช้

Alcohol: ที่เหมาะสมคือเมทานอล เม้นจะมีความเป็นพิษแต่เป็นแอลกอฮอล์สายสั้นจึงสามารถทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่าแอลกอฮอล์ชนิดอื่นๆ อีกทั้งยังมีราคาถูก ส่วนข้อดีของเอทานอลคือมีความเป็นพิษน้อยกว่าผลิตมาจากชีวมวล ช่วยเพิ่มค่าความร้อนและค่า Cetane number ให้สูงขึ้น มีค่า Cloud point และ Pour point มีค่าต่ำกว่า และกลีเซอรินที่ได้จะมีคุณภาพที่ดีกว่า การ Recycle ของแอลกอฮอล์ทั้งสองชนิดสามารถทำได้ง่ายโดยการกลั่นลำดับส่วนที่อุณหภูมิปรกติ

Reaction Time: ในกระบวนการแบบ Homogeneous จะใช้เวลาราว 45-60 นาที ในกระบวนการแบบ Heterogeneous จะใช้เวลาราว 150-180 นาที โดยใช้ Hot Plate แต่หากเปลี่ยนแหล่งความร้อนเป็นการใช้ Microwave ในการให้ความร้อนจะสามารถผลิต Biodiesel ได้ภายในระยะเวลา 60 วินาที และสามารถผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องได้อีกด้วย

Reaction Temperature: แม้ว่าการใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ดีกว่า แต่หากเกินจุดเดือดของแอลกอฮอล์จะทำให้แอลกอฮอล์ระเหยกลายเป็นไอ ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเมื่อใช้เมทานอลคือ 50-55 C (จุดเดือดของเมทานอลอยู่ที่ 64.5 C) และสำหรับเอทานอลคือ 60-65 C (จุดเดือดของเอทานอลอยู่ที่ 78.4 C) การใช้อุณหภูมิที่ต่ำลงจะทำให้ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาให้นานขึ้น

Glycerin: ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรินที่ได้ซึ่งเป็น Byproduct จะอยู่ที่ 30-40% ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยตรงได้ กลีเซอรินมีความเป็นพิษสูง (High Toxic) ไม่ควรนำไปใช้แม้แต่ใช้ในการล้างพื้น แต่ในกลีเซอรินจะมีแอลกอฮอล์ส่วนเกินที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาอยู่ สามารถนำไปกลั่น และนำแอลกอฮอล์นั้นกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลได้ใหม่เป็นการลดต้นทุนได้ด้วย อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความปลอดภัยของกลีเซอรินให้สูงขึ้นอีกด้วย

Engine Test: เนื่องจากไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มี O_2 เป็นส่วนประกอบจึงทำให้ค่าความร้อนจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (43,000 kJ/liters) ประมาณ 10-15% ค่า Fuel consumption และ ค่า Specific fuel consumption ของไบโอดีเซลจะสูงกว่า O_2 ที่มีอยู่ในไบโอดีเซลจะช่วยทำให้ CO และ Light hydrocarbon จาก Emission gas ต่ำกว่า 30% แต่ O_2 ส่วนเกินที่อยู่ในไบโอดีเซลจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ NOx ใน Emission gas สูงกว่าน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลยังมีข้อดีอีกคือช่วยลดสิ้นรักษาเครื่องยนต์

Upgrade Biodiesel Quality: สามารถทำได้โดยยกตัวอย่างเช่นผสมไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันมะพร้าว และได้จากเมล็ดงาในอัตราส่วน 50:50 จะช่วยเพิ่มค่า Oxidation Stability จาก 3.7 ชม. เป็น 7.3 ชม. หรือผสม Anti-oxidation Additive เช่น BHA (Butylated hydroxyanisole), BHT (Butylated hydroxytoluene), Kerobit TP26 จะสามารถเก็บรักษาไบโอดีเซลได้นานขึ้นเป็น 10 สัปดาห์

Cost: กว่า 60% ของต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลจะเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับวัตถุดิบ หากสามารถหาแหล่งวัตถุดิบที่ราคาถูก จะทำให้ไบโอดีเซลสามารถแข่งขันกับน้ำมันดีเซลได้ หากคำนวณจากสมการของกรมธุรกิจพลังงาน $B100=0.97cpo$ (ราคาน้ำมันปาล์มดิบ) + 0.15 MtOH (ราคาของเมทานอล) + 3.32(น้ำมันดีเซลหากมีราคา) > 36 บาท/ลิตร การผลิตไบโอดีเซลเชิงชุมชนจะสามารถแข่งขันได้

Further Problem: คือการลดต้นทุนในการผลิต การทำกลีเซอรินที่เป็น by product ที่ได้ให้มีความบริสุทธิ์ขึ้น เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางต่อไป เช่นนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นต้น

สรุป

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยรักษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ แม้จะมีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าดีเซลอยู่ก็ตาม สำหรับวัตถุดิบที่เหมาะสมที่นำไปใช้ผลิตเป็นไบโอดีเซลซึ่งเป็นวัตถุดิบที่บริโภคได้คือเศษไขมันปลา สำหรับวัตถุดิบที่บริโภคไม่ได้ที่เหมาะสมคือเมล็ดงาพารา โดยใช้กระบวนการแบบ Transesterification ซึ่งมีเงื่อนไขและสภาวะที่เหมาะสมคือ Catalyst: NaOH, ส่วน Alcohol ที่ใช้คือ Methanol เวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 45-60 นาที อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาคือ 55-60 C โดยมี Molar Ratio อยู่ที่ 1:6 ถึง 1:9 ซึ่งจะได้ Biodiesel Yield ที่ > 96.5% และมีคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงที่ผ่านมาตรฐานชุมชน และมาตรฐานเชิงพาณิชย์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการไขมัน (Lipid) KMUTT ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่อง HPLC ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Fangrui Ma and Milford a Hanna (1998) Biodiesel Production : a review, Bioresource Technology Volume 70 Issue 1 p.1-15

พจนา บางแสง และ รัตนชัย ไพรินทร์, 2015; การผลิตไบโอดีเซลจากไข่จะระเซ้ โดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่จะระเซ้ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา, การประชุมวิชาการ ระดับชาติ วิทยาลัยเทคโนโลยีภาคใต้วิจัยครั้งที่ 5, วารสารเทคโนโลยีภาคใต้, ฉบับที่ 7.

อธิตา คงแข็ง และ รัตนชัย ไพรินทร์, 2015, การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดงาพาราที่มีกรดไขมันอิสระสูงโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน, การประชุมวิชาการ ระดับชาติ วิทยาลัยเทคโนโลยีภาคใต้วิจัยครั้งที่ 5, วารสารเทคโนโลยีภาคใต้, ฉบับที่ 7.

4) ชิตชนก กุลพร, และ รัตนชัย ไพรินทร์, 2015, การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันจากไข่ปลาโดยใช้สคอนเทียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา, การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ครั้งที่ 2, งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น.