

บทที่ 3

ผลการทดลอง และวิจารณ์

1. การเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ ในน้ำมันปาล์มดิบให้กลายเป็นกรดไขมันเกือบทั้งหมด

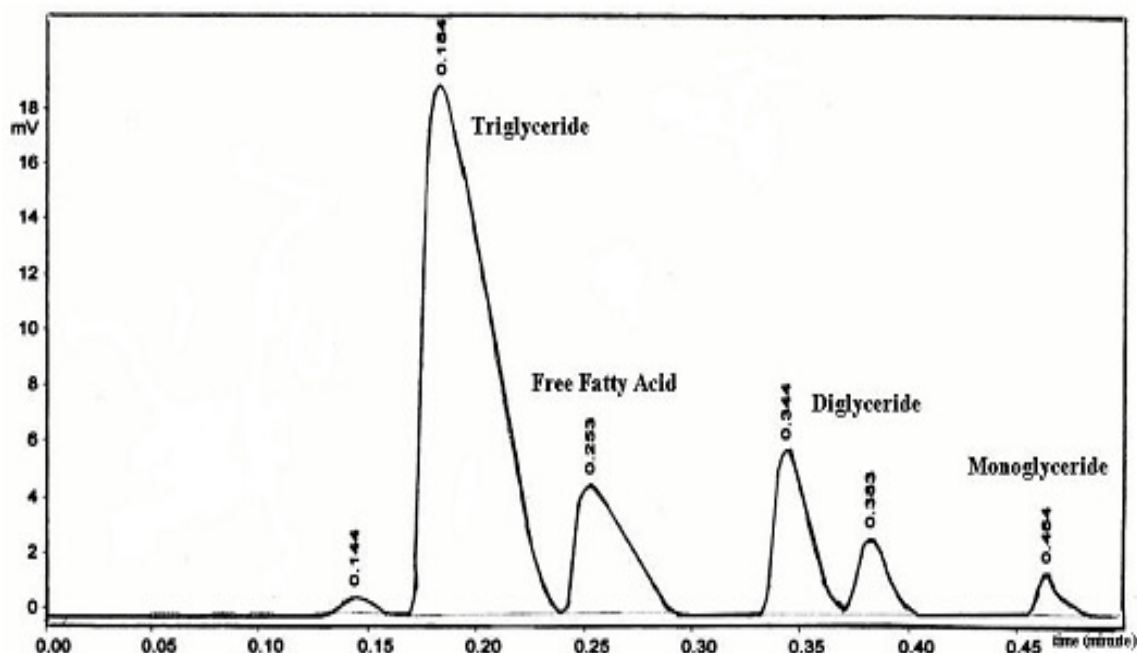
1.1 การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการทดลองทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

น้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการทดลอง นำมาจากโครงการส่งเสริมอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มขนาดเล็กตามพระราชดำริ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยลักษณะทางกายภาพ มีสีส้ม และมีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง แสดงดังภาพประกอบที่ 15



ภาพประกอบที่ 15 แสดงลักษณะทางกายภาพของน้ำมันปาล์มดิบ

จากการทดสอบโดยใช้เทคนิค TLC พบว่า น้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการทดลอง มีองค์ประกอบของ ไตรกลีเซอไรด์ 68.6% ไดกลีเซอไรด์ 15.4% โมโนกลีเซอไรด์ 1.8% และ กรดไขมันอิสระ 13.3% ดังภาพประกอบที่ 16

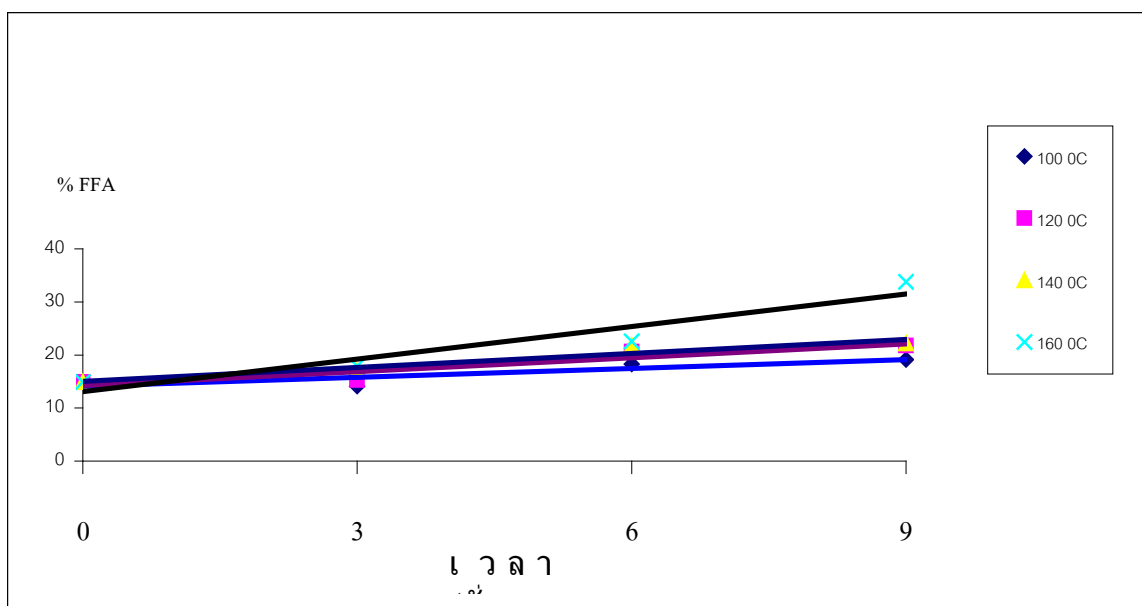


ภาพประกอบที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์ TLC องค์ประกอบน้ำมันปาล์มดิบ

1.2 การศึกษาผลของเวลา อุณหภูมิ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

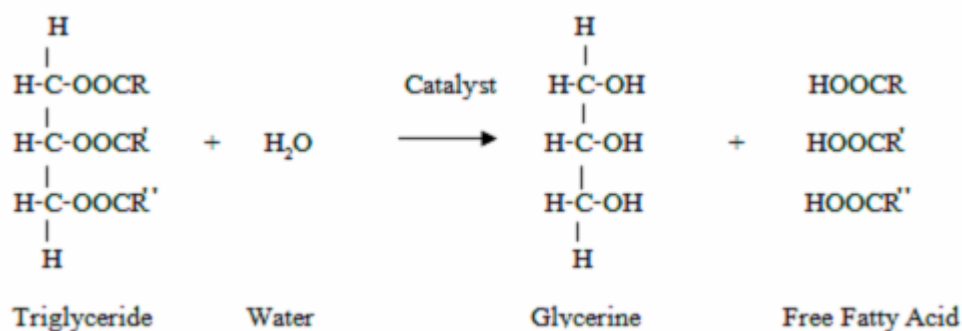
ผลของเวลา อุณหภูมิ และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อกรดไขมันอิสระ

ทำการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 3, 6 และ 9 ชั่วโมง อุณหภูมิในการทดลองคือ 100, 120, 140 และ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งผลของเวลา และอุณหภูมิแสดงดังภาพประกอบที่ 17



ภาพประกอบที่ 17 แสดงผลของเวลากับเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระของผลิตภัณฑ์หลังจากทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ ใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มดิบต่อน้ำกลั่น (2:1) และ H_2SO_4 1%v/w of reactant

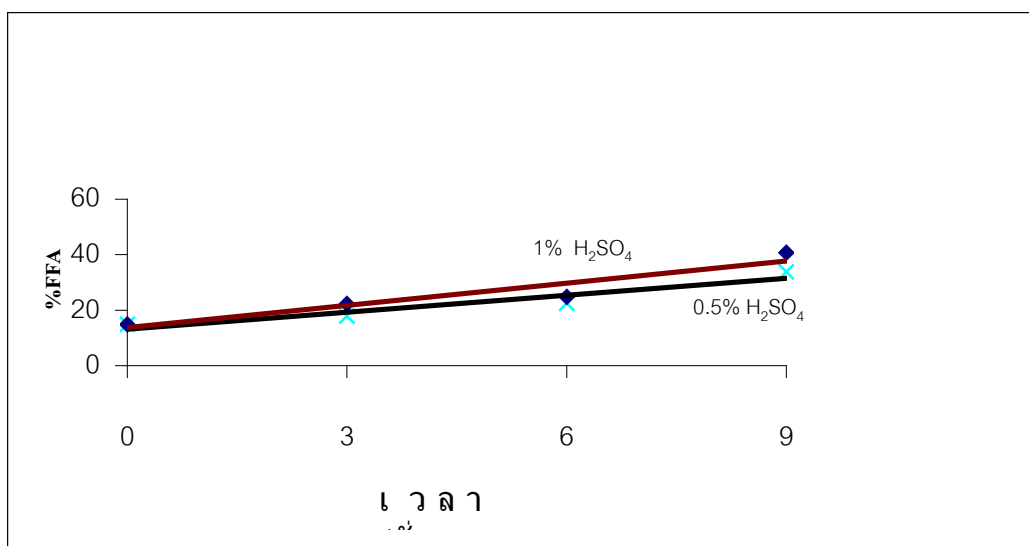
จากภาพประกอบที่ 17 พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและเวลา ทำให้เปอร์เซ็นต์กรดไขมันเพิ่มขึ้น และเพิ่มอย่างเห็นได้ชัดที่ อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100 ถึง 140 องศาเซลเซียส ร้อยละของกรดไขมันที่วิเคราะห์ได้ที่เวลา และอุณหภูมิต่าง ๆ เพิ่มเพียงเล็กน้อย จากการทดลองการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ระหว่างไตรกลีเซอไรด์ และน้ำ ซึ่งมีกรดไขมันอิสระเป็นผลิตภัณฑ์ (Adam Karl Khan 2002) แสดงดังภาพประกอบที่ 18



ภาพประกอบที่ 18 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ที่มา Adam Karl Khan (2002)

ซึ่งจากงานวิจัยของ Adam Karl Khan (2002) พบว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นกรด และอุณหภูมิที่สูงส่งผลเพื่อเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เพราะการเพิ่มอุณหภูมิ และความดันจะเป็นการเพิ่มความสามารถในการละลายทำให้น้ำละลายในชั้นไขมันได้มากขึ้น มีพลังงานกระตุ้นมากกว่า โดยเฉพาะการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลต่อปฏิกิริยามากกว่า ถ้าเพิ่มอุณหภูมิจาก 150 เป็น 220 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มการละลายได้ถึง 2 ถึง 3 เท่า (Hui, 1996) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในระหว่างการทดลองซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นกรด และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 100 – 160 องศาเซลเซียส มีปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เกิดขึ้นจึงทำให้ไขมันเพิ่มขึ้น และผลของตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงดังภาพประกอบที่ 19



ภาพประกอบที่ 19 แสดงผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มดิบต่อน้ำกลั่น (2:1)

จากภาพประกอบที่ 19 พบว่า การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรดทำให้เปอร์เซ็นต์กรดไขมันเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกเท่ากับ 1% v/w of reactant มีค่าการเกิดร้อยละกรดไขมันมากกว่าที่ 0.5% v/w of reactant ดังนั้นปริมาณกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เท่ากับ 1% v/w of reactant

2. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มในบ่อน้ำทิ้ง

น้ำมันปาล์มในบ่อน้ำทิ้ง นำมาจากบริษัทสตูลปาล์มอินคัสทรี มีลักษณะเป็นของแข็ง สีน้ำตาลเข้ม ที่อุณหภูมิห้อง มีกลิ่นเหม็นไม่ละลายน้ำแสดงดังภาพประกอบที่ 20



ภาพประกอบที่ 20 แสดงลักษณะทางกายภาพของไขมันปาล์มเสียในบ่อน้ำทิ้ง

จากการวิเคราะห์หาค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) ด้วยวิธีการไตเตรท แสดงผลในตารางที่ 24 และ 25 ในภาคผนวก ก พบว่า ไขมันเสียก่อนกลั่น ประกอบด้วยกรดไขมันอิสระมากกว่า 86% ซึ่ง วิธีการไตเตรทหาค่ากรดไขมันอิสระในไขมันเสียก่อนกลั่นนั้น อาจจะมีจุดผิดพลาดได้ยาก เนื่องจากสีของไขมันเสียก่อนกลั่นมีสีน้ำตาลเข้ม ดังนั้นจึงยืนยันผล ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ TLC (Thin Layer Chromatography)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบไขมันเสีย ด้วยวิธี TLC พบว่า ไขมันเสียก่อนกลั่น ที่มีกรดไขมันอิสระประมาณ 73% และมีสารประกอบที่ไม่รู้จัก (unknown compound) มากถึง 17.7%

2.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มในบ่อน้ำทิ้ง โดยใช้ไขมันปาล์มในบ่อน้ำทิ้งที่ผ่านการแยกสารปนเปื้อนด้วยการกรองอย่างง่าย (ไขมันเสียก่อนกลั่น) เป็นสารตั้งต้น

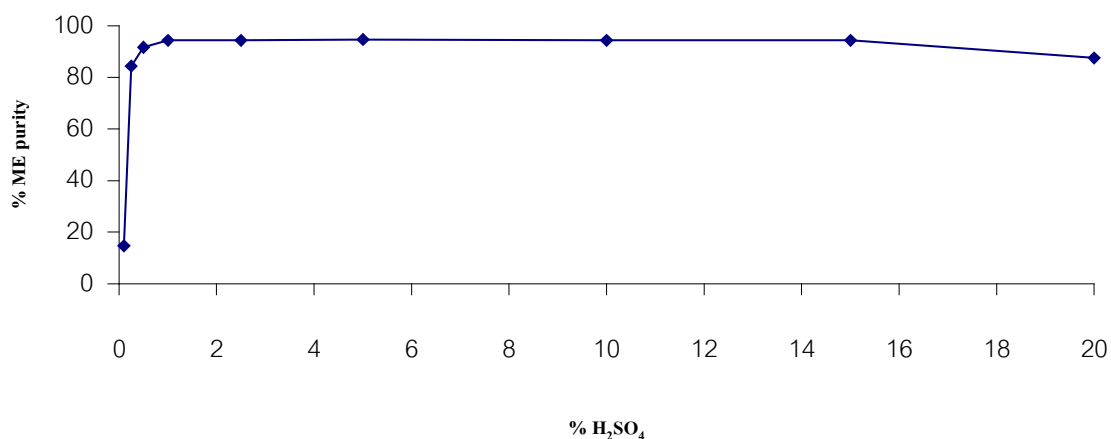
คูจันทร์ และแสงแข (2545) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันในบ่อน้ำทิ้งจากโรงงานปาล์ม สัดส่วนเชิงมวลเมทานอลต่อน้ำมันในบ่อน้ำทิ้ง 50:50 (กรัม/กรัม) ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาซัลฟิวริก 1% v/w of reactant ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเกิดร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ 95 เมื่อใช้สัดส่วนเชิงมวล PFAD (Palm Fatty Acid Distillated) ต่อเมทานอล เท่ากับ 60:40 (กรัม/กรัม) ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 5% v/w of

reactant ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เกิดร้อยละ เมทิลเอสเทอร์ 95.84

ดังนั้นปัจจัยที่เลือกศึกษา คือ เวลาที่ทำปฏิกิริยา ทำการศึกษาที่เวลา 15 นาที, 30 นาที, 1, 2 และ 3 ชั่วโมง และสัดส่วนเชิงมวลน้ำมันต่อเมทานอล ทำการศึกษาในช่วง 10:90 ถึง 90:10 (กรัม/กรัม) ตลอดจนทำการศึกษาก่อนการตั้งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกในช่วง 0.1-20% v/w of reactant ดังนั้นจึงเป็นไปได้ในการลดปัจจัยทางด้านเวลา, สัดส่วนเชิงมวลของน้ำมันต่อเมทานอล, ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ตลอดจนอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เพื่อลดต้นทุนในการผลิตเมทิลเอสเทอร์

ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และ เอสเทอร์ฟิเคชันต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์

จากการทดลองเมื่อนำเมทานอลผสมกับไขมันสัตว์ก่อนกลั่น และเมื่อเทกรดลงไปจะเกิดควัน และสีของสารผสมจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเข้มของไขมันสัตว์ก่อนกลั่นเป็นสีดำ เนื่องจากการทำปฏิกิริยากันบ้างบางส่วน แต่ปฏิกิริยายังเกิดไม่บริบูรณ์เพราะเวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นเกินไป โดยการศึกษาค้นคว้าของตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ แสดงดังภาพประกอบที่ 21



ภาพประกอบที่ 21 แสดงผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้ สัดส่วนเชิงมวลไขมันสัตว์ก่อนกลั่นต่อเมทานอลเท่ากับ 40:60 (g/g) ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส ทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง

จากภาพประกอบที่ 21 พบว่า ที่ปริมาณกรดมีค่ามากกว่า 0.25 ถึง 20% v/w of reactant นั้น ทำให้ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์มากกว่า 90 และเริ่มมีแนวโน้มคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Crabbe et al. (2001) ที่ได้ทำการทดลองศึกษาอิทธิพลของปริมาณกรดในช่วง 1 ถึง 5% v/w of reactant โดยใช้สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 23:1 ทำปฏิกิริยาที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ ผลการทดลองยังสอดคล้องกับการทดลองของ คู่จันทร์ และแสงแข (2545) ที่ได้ทำการทดลองศึกษาอิทธิพลของปริมาณกรดในช่วง 20 – 1% v/w of reactant โดยใช้สัดส่วนเชิงมวล PFAD:MeOH (60g:40g) ทำปฏิกิริยาที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้น และเริ่มมีแนวโน้มคงที่ เมื่อปริมาณกรดมีค่ามากกว่า 0.25% v/w of reactant ถึง 20% v/w of reactant

และจากภาพประกอบที่ 21 ที่ปริมาณกรดเท่ากับ 0.5 และ 0.25% v/w of reactant ปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ แต่ที่ปริมาณกรด 0.1% v/w of reactant ได้ร้อยละ เมทิลเอสเทอร์ต่ำ และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 คืน มีลักษณะเป็นของแข็ง เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดไม่บริบูรณ์ เพราะปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาน้อย ดังแสดงในภาพประกอบที่ 22



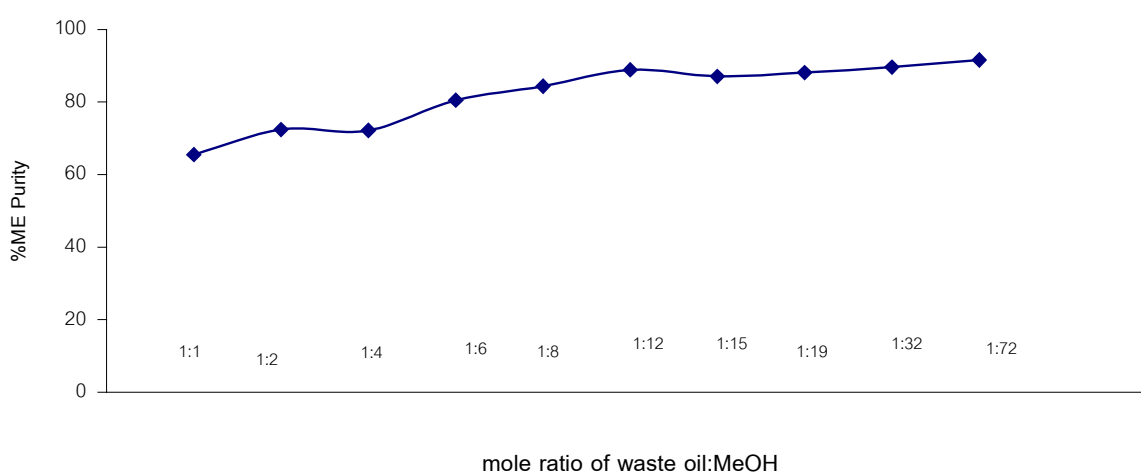
ภาพประกอบที่ 22 แสดงลักษณะทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ ที่ 0.1% H₂SO₄

จากการทดลอง พบว่าเมื่อใช้กรดปริมาณสูงจะต้องใช้น้ำล้างมาก และใช้เวลานาน ดังนั้น เพื่อให้แน่ใจว่า ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ไม่น้อยจนเกินไป และล้างง่าย ปริมาณของกรด เท่ากับ 1% v/w of reactant เป็นค่าที่เหมาะสม

แต่ในการทดลองในหัวข้อต่อไป เลือกใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 20% v/w of reactant เพราะ เป็นปริมาณกรดที่ใช้ในวิธีการหาสัดส่วนเชิงโมลที่อ้างอิงมาจากการทดลองของ คู่จันทร์ และแสงแข (2545)

ผลของสัดส่วนเชิงโมลของไขมันสัตว์ต่อเมทานอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์

ทดลองโดยใช้สัดส่วนเชิงโมลไขมันสัตว์ต่อเมทานอลในช่วง 1:1 ถึง 1:72 ทำปฏิกิริยาที่ อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากทำปฏิกิริยา พบว่าที่สัดส่วนเชิงโมลไขมันสัตว์ต่อเมทานอล 1:1 สังเกต การแยกชั้นได้ยาก เพราะของเหลวที่ได้มีสีดำเข้ม และเป็นของเหลวขุ่นหนืด ผลของสัดส่วนเชิงโมลแสดงดังภาพประกอบที่ 23



ภาพประกอบที่ 23 แสดงผลของสัดส่วนเชิงโมลของไขมันสัตว์ต่อเมทานอลที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้กรด 20% v/w of reactant

จากภาพประกอบที่ 23 พบว่า การเพิ่มสัดส่วนเชิงโมลไขมันสัตว์ต่อเมทานอล ทำให้เปอร์เซ็นต์การเกิดเมทิลเอสเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้น และหากใช้ปริมาณเมทานอลน้อยกว่า 8 โมล หรือ เมทานอลน้อยกว่า 50 กรัม นอกจากจะสังเกตการแยกชั้นได้ยากแล้ว ยังยากในการล้างน้ำอีกด้วย ดังภาพประกอบที่ 26 เพราะปริมาณเมทานอลที่น้อยเกินไปทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่บริบูรณ์ ดังนั้นสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลที่น้อยกว่า 8 โมล จึงไม่เหมาะต่อการทำปฏิกิริยา แต่ที่สัดส่วนเชิงโมลของไขมันสัตว์ต่อเมทานอล 1:8 ถึง 1:72 พบว่าร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดปริมาณเมทานอล และลดต้นทุนในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขมันสัตว์ในปฏิกิริยาเป็นสารตั้งต้น สัดส่วนเชิงโมลของไขมันสัตว์ต่อเมทานอล ที่เหมาะสมคือ 1:8



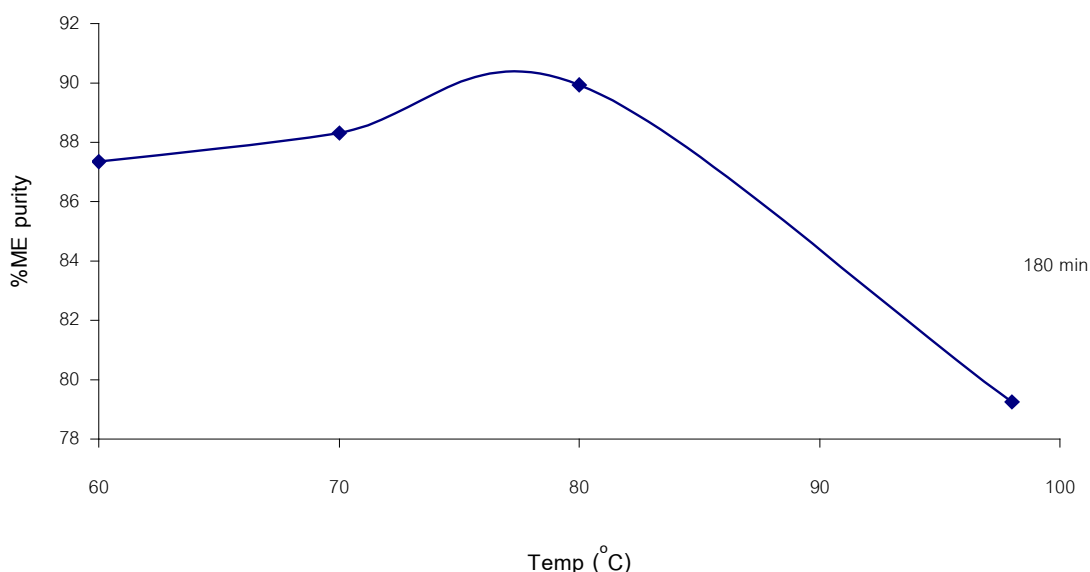
ภาพประกอบที่ 24 แสดงลักษณะการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง ที่สัดส่วน
เชิงโมลไขมันลิพิดต่อเมทานอล 1:1

จากผลการทดลองสัดส่วนเชิงโมลของไขมันลิพิดต่อเมทานอล ที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Crabbe et al. (2001) ที่ทำการศึกษการผลิต เมทิลเอสเทอร์จากไขมันลิพิด สัดส่วนเชิงโมลของไขมันลิพิดต่อเมทานอลตั้งแต่ 1:3 ถึง 1:40 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด 3% v/w of reactant ทำปฏิกิริยาที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าผลได้เอสเทอร์เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สัดส่วนเชิงโมลของไขมันลิพิดต่อเมทานอลเพิ่มขึ้น โดยการประมาณค่านอกช่วง (extrapolation) สัดส่วนเชิงโมลสูงสุด ที่ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างบริบูรณ์ จะอยู่ระหว่าง 1:35 และ 1:45

ผลการทดลองยังสอดคล้องกับการศึกษาของ คูจันทร์ และแสงแข (2545) ที่ทำการผลิตเมทิลเอสเทอร์จาก PFAD สัดส่วนเชิงโมลของPFADต่อเมทานอลตั้งแต่ 1:1 ถึง 1:35 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด 20% v/w of reactant ทำปฏิกิริยาที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ร้อยละ การเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนเชิง โมลของPFADต่อเมทานอลเพิ่มขึ้น และที่ สัดส่วนเชิงโมลของPFADต่อเมทานอล ตั้งแต่ 1:4 ถึง 1:35 ร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์เริ่มมีค่าคงที่

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์

ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการทำปฏิกิริยา 60 70 80 และ 98 องศาเซลเซียส ทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง แสดงผลดังภาพประกอบที่ 25



ภาพประกอบที่ 25 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้สัดส่วนเชิง
โมลไขมันลิเซียต่อเมทานอล 1:8 และปริมาณกรด 1% v/w of reactant

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาดังภาพประกอบที่ 25 พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิ ส่งผลให้แนวโน้มการเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น และที่ อุณหภูมิ 60 ถึง 80 องศาเซลเซียสมีร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์ใกล้เคียงกัน แต่ที่ อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียสมีค่าการเกิด เมทิลเอสเทอร์ลดลง อาจเกิดจากความผิดพลาดของระบบที่ใช้ในการทดลองปิดไม่สนิท ทำให้ เมทานอลระเหยออก ยังผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างไม่บริบูรณ์ เนื่องจากปริมาณ เมทานอลระเหยออกไป อย่างไรก็ตามที่ อุณหภูมิ 70 ถึง 80 องศาเซลเซียส ก็มีการระเหยของเมทานอล แต่ระเหยน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง screw capped bottled สามารถป้องกันการระเหยได้บ้างบางส่วน ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส

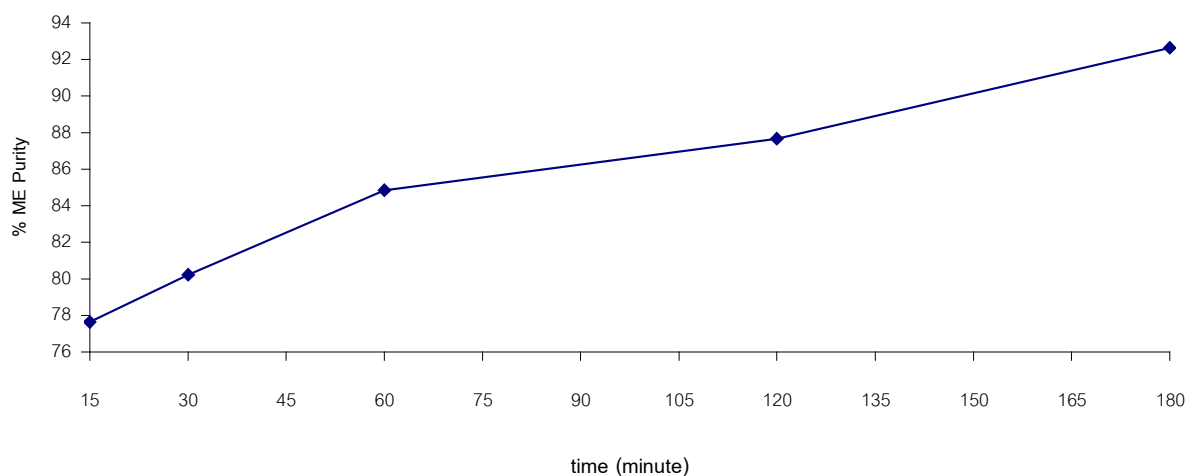
จากผลการทดลองอุณหภูมิมีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Canakci และ Gerpen (1999) ซึ่งทำการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มที่มีกรดไขมันสูงในระดับโรงงานนำร่อง โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันด้วยกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล 1:6 เวลาที่ใช้ในการทดลอง 48 ชั่วโมง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ กัน คือ 25 45 และ 60 องศาเซลเซียส โดย

เลือกใช้อุณหภูมิสูงสุดที่ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากต่ำกว่าจุดเดือดของเมทานอล (65 องศาเซลเซียส) พบว่า การเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยการเกิดเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 8.3% 57.2% และ 87.8% ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 25 45 และ 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Crabbe et al (2001) ซึ่งทำการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยพิจารณาอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 70 80 และ 95 องศาเซลเซียส สัดส่วนน้ำมันต่อเมทานอล 1:40 ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 5% v/w of reactant พบว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 95 องศาเซลเซียส มีร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์สูงสุด 99.7 เวลาในการทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง

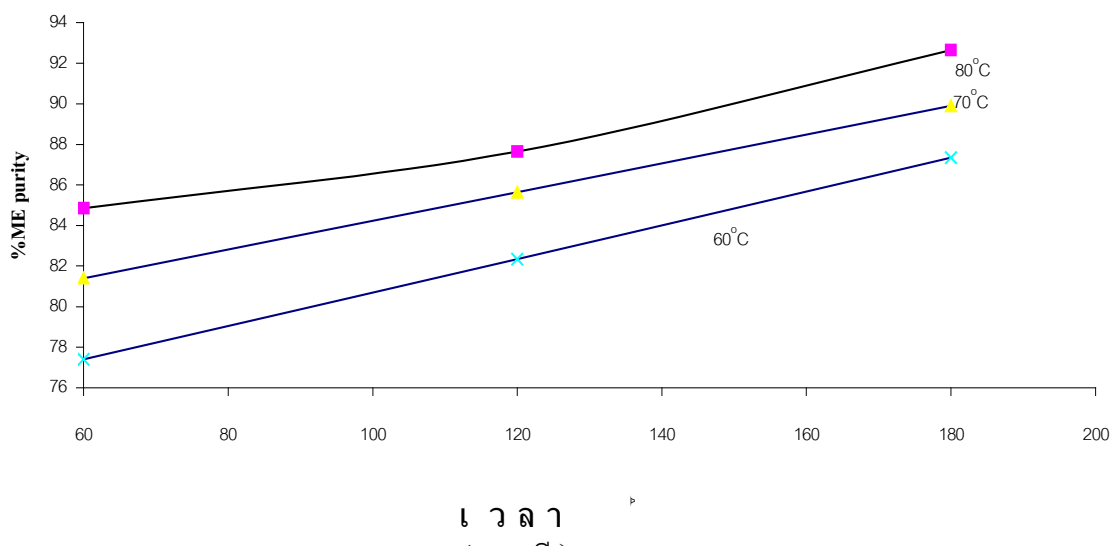
ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์

ทำการศึกษาผลของเวลา ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทำปฏิกิริยา 15 นาที, 30 นาที, 1, 2 และ 3 ชั่วโมง จากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่า การเพิ่มเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ทำให้แนวโน้มการเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นดังภาพประกอบที่ 26 ซึ่งพบว่า เวลาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา และร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์ โดยร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 60 นาทีแรก และที่เวลา 180 นาที มีผลได้เมทิลเอสเทอร์สูงสุด

นอกจากนี้ได้ศึกษาผลของเวลาที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 60, 70 และ 98 องศาเซลเซียส เพิ่มเติมที่เวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง แสดงผลดังภาพประกอบที่ 27



ภาพประกอบที่ 26 แสดงผลของเวลาที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้สัดส่วนเชิง
โมลไขมันน้ำมันเสี้ยวต่อเมทานอล 1:8 และปริมาณกรด 1% v/w of reactant
ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

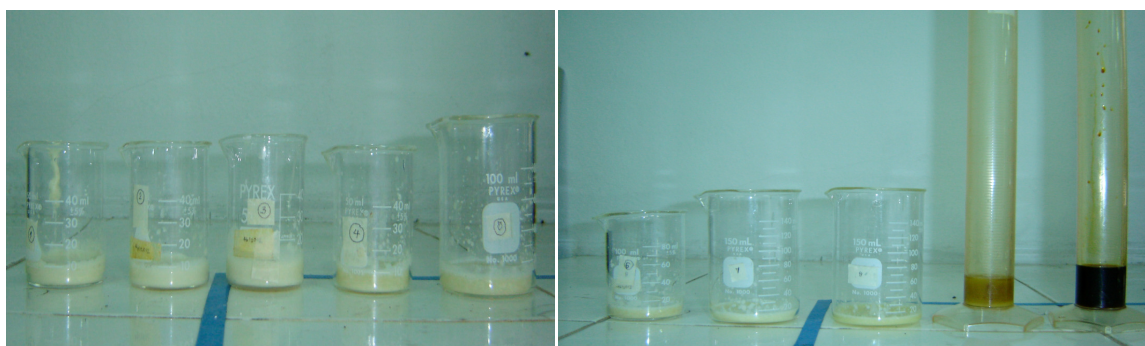


ภาพประกอบที่ 27 แสดงผลของเวลาที่มีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ เมื่อใช้สัดส่วนเชิง
โมลไขมันน้ำมันเสี้ยวต่อเมทานอล 1:8 ปริมาณกรด 1% v/w of reactant ที่
อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส

จากภาพประกอบที่ 27 พบว่า ทุกๆ อุณหภูมิมีแนวโน้มผลได้เมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งแต่ละอุณหภูมิจะมีค่าร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์ใกล้เคียงกัน และที่ทุกๆเวลาในการทำปฏิกิริยา พบว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์มากกว่าทุกๆ อุณหภูมิ จากผลที่ได้นี้ทราบว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นน่าจะขึ้นอยู่กับเวลามากกว่าอุณหภูมิโดยผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zullaikah et al. (2005) ซึ่งใช้น้ำมันจากเมล็ดข้าวและมีการดไขมันอิสระสูงตั้งแต่ 6.6% ถึง 75.8 % โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 5% v/w of reactant ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 1- 24 ชั่วโมง พบว่า เปอร์เซนต์การเกิด เมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทดลอง อย่างไรก็ตาม Zullaikah พบว่า เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามากกว่า 12 ชั่วโมง ทำให้แนวโน้มการเกิดเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มคงที่

3. การปรับปรุงคุณภาพไขมันเสียด้วยการกลั่น

นำไขมันเสียมากลั่นด้วยเครื่องกลั่นมาตรฐาน ASTM D 86 เพื่อดูจุดกลั่นต่างๆ 10% หยอดกลั่น เพื่อนำอุณหภูมิหยดกลั่นที่ได้ เป็นค่าเริ่มต้นในการกลั่นไขมันเสียด้วยเครื่องกลั่น แสดงดังรูปที่ 12 ซึ่งลักษณะทางกายภาพของทุกส่วนกลั่นที่ได้ แสดงดังตารางที่ 19 และภาพประกอบที่ 28



Fraction 1 Fraction 2 Fraction 3 Fraction 4 Fraction 5 Fraction 6 Fraction 7 Fraction 8 Fraction 9 Fraction 10

ภาพประกอบที่ 28 แสดงลักษณะทางกายภาพทุกๆ 10 % ของไขมันเสียกลั่นได้เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

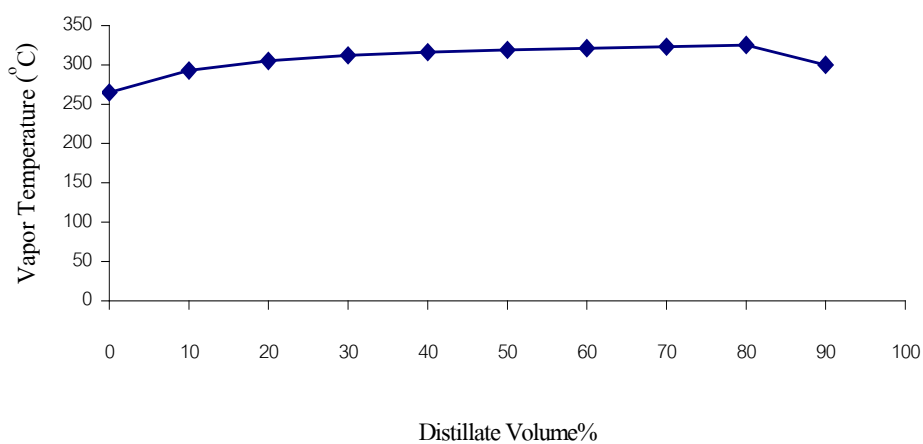
จากภาพประกอบที่ 28 พบว่า ลักษณะทางกายภาพของไขมันเสียกลั่นได้ ตั้งแต่ fraction 1 ถึง fraction 8 มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลืองอ่อนคล้าย PFAD (Palm Fatty Acid Distillated) ที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีกลิ่นเหม็น ไม่ละลายน้ำ แต่ที่ fraction 9 และ 10 นั้น จะมีลักษณะเป็นของเหลวที่

อุณหภูมิห้อง ซึ่ง fraction 9 จะมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองเข้ม ต่างจาก fraction ที่ 10 ซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นแสบจมูก

ตารางที่ 19 แสดงอุณหภูมิจุดกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D 86 ทุกๆ 10% หยดกลั่น

Fraction	Volume (ml)	Temp (°C)
1	หยดแรก	265
2	10	293
3	20	305
4	30	312
5	40	316
6	50	319
7	60	321
8	70	323
9	80	325
10	90	300

และเมื่อนำอุณหภูมิจุดกลั่นมา plot กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิจุดกลั่นกับ ปริมาตรจุดกลั่นทุกๆ 10% หยดกลั่นแสดงดังภาพประกอบที่ 29



ภาพประกอบที่ 29 แสดงอุณหภูมิจุดกลั่นไข่น้ำมันเสีย จากการกลั่น D 86

จากภาพประกอบที่ 29 พบว่า อุณหภูมิจุดกลั่นของไขนํ้ามันเสียแต่ละทุกๆ เปอร์เซ็นต์ ปริมาตรจุดกลั่น มีอุณหภูมิต่ำๆ เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน และเส้นกราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงที่เปอร์เซ็นต์ปริมาตรจุดกลั่นตั้งแต่ 10 ถึง 80 และลดลงที่ 90 แสดงว่าไขนํ้ามันเสียเป็นสารไม่มีบริสุทธิ

นำ ไขนํ้ามันเสียที่กลั่นได้ทุกๆ เปอร์เซ็นต์ปริมาตรจุดกลั่น มาวิเคราะห์หองค์ประกอบใน ไขนํ้ามันด้วยเครื่อง TLC/FID แสดงผลดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 แสดงองค์ประกอบของแต่ละเปอร์เซ็นต์ปริมาตรจุดกลั่น

Fraction	%FFA	%TG	%DG	%MG	%Unknown
1	98.4	0.8	0.5	0.8	0
2	98.8	1.3	0.3	0.6	0
3	97.7	1.8	0.4	0.7	0
4	96.9	2.2	2.5	0	0
5	97.3	2.7	0	0	0
6	97.7	2.3	0	0	0
7	97.3	2	0.8	0.6	0
8	98	2	0.9	0	0
9	92.2	2.4	2.2	1	1.2
10	80.8	7.3	3.6	1.2	7.2

จากตารางที่ 20 พบว่า fraction 1 ถึง fraction 8 ประกอบด้วยกรดไขมันอิสระเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งต่างจาก fraction 9 และ fraction 10 ซึ่งมีสีต่างจาก fraction อื่นๆ และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบ ในไขนํ้ามันเสีย ที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า fraction 9 และ 10 มีร้อยละของกรดไขมันน้อยกว่า fraction อื่นๆ และมีสารประกอบไม่รู้ชนิด (unknown compound) ที่จะไม่เจอใน fraction 1 ถึง 8

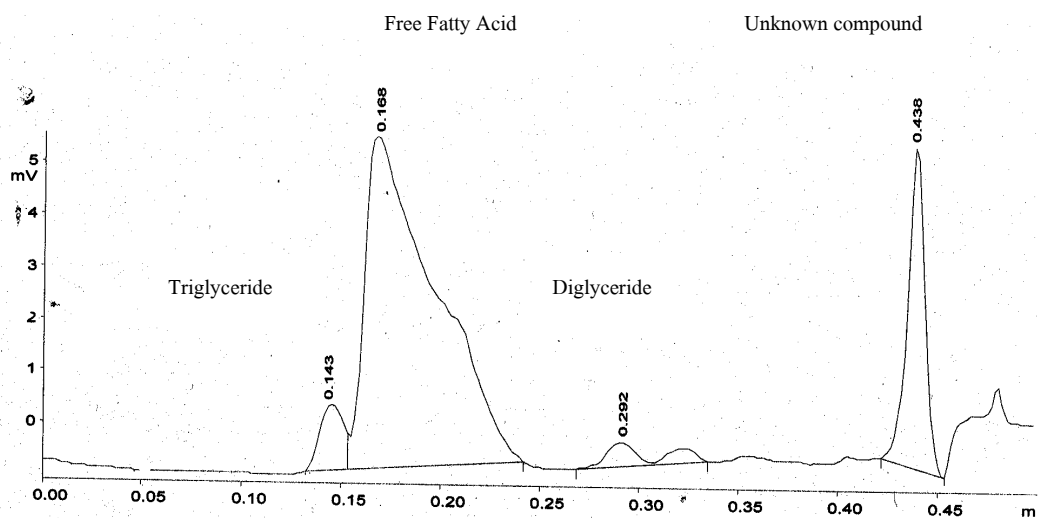
นำไขนํ้ามันเสียมากลั่นด้วยเครื่องกลั่น แสดงดังภาพประกอบที่ 12 ทำการกลั่นโดยใช้ อุณหภูมิจุดกลั่นไขนํ้ามันเสียจากการกลั่นตามมาตรฐาน ASTM D 86 และนำไขนํ้ามันเสียที่กลั่น ได้ทั้งส่วนที่เป็นของเหลวใส และไขสีขาว มาวิเคราะห์องค์ประกอบไขนํ้ามันด้วยเทคนิค GC แสดง ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 แสดงองค์ประกอบน้ำมันกลิ่นได้ทั้งส่วนใส และไขสีขาว

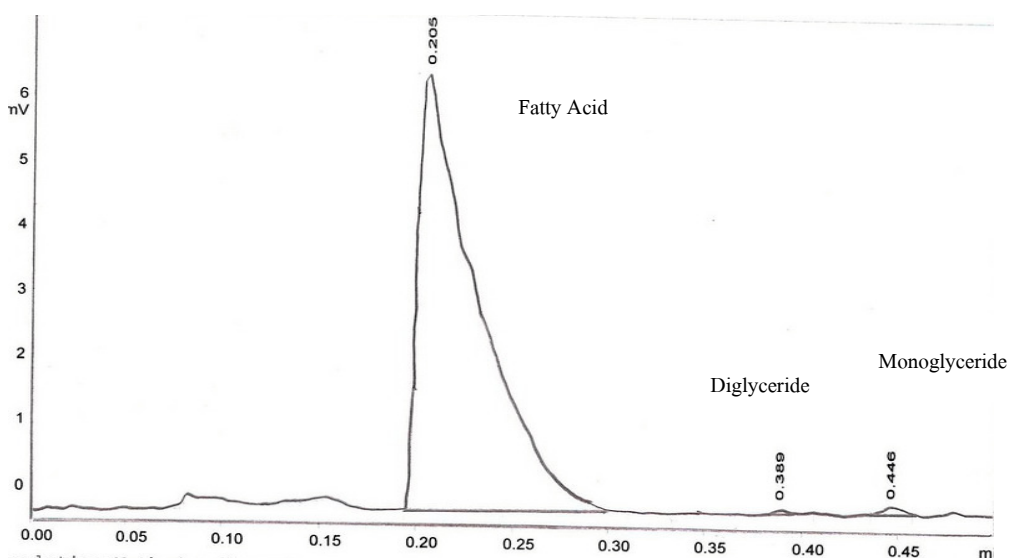
ตัวอย่าง	เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ที่พบ	โครงสร้าง	ชนิดของกรดไขมัน
ไขน้ำมันเสียนกลิ่นได้ ส่วนใส	Myristic acid methyl ester	C14 : 0	Myristic acid
	Palmitic acid methyl ester	C16 : 0	Palmitic acid
	Palmitoleic acid methyl ester	C16 : 1	Palmitoleic acid
	Stearic acid methyl ester	C18 : 0	Stearic acid
	Oleic acid methyl ester	C18 : 1	Oleic acid
	Linoleic acid methyl ester	C18 : 2	Linoleic acid
ไขน้ำมันเสียนกลิ่นได้ ส่วนไขขาว	Myristic acid methyl ester	C14 : 0	Myristic acid
	Palmitic acid methyl ester	C16 : 0	Palmitic acid
	Palmitoleic acid methyl ester	C16 : 1	Palmitoleic acid
	Stearic acid methyl ester	C18 : 0	Stearic acid
	Oleic acid methyl ester	C18 : 1	Oleic acid
	Linoleic acid methyl ester	C18 : 2	Linoleic acid

จากตารางที่ 21 พบว่า ทั้งน้ำมันกลิ่นได้ส่วนใส และไขสีขาว ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดเดียวกัน

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ TLC ของไขน้ำมันเสียนกลิ่น เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ TLC ของ ไขน้ำมันเสียนกลิ่นแล้วทุกๆ สัดส่วนกลิ่นได้ที่มีสีเหลืองอ่อน แสดงดังภาพประกอบที่ 30 และ 31



ภาพประกอบที่ 30 แสดงผลการวิเคราะห์ TLC (Thin Layer Chromatograph) ของ ไขมันเสียก่อนกลั่น



ภาพประกอบที่ 31 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์ TLC (Thin Layer Chromatograph) ไขมันเสียกลั่นแล้ว

จากภาพประกอบที่ 30 และ 31 พบว่า องค์ประกอบไขมันเสียกลั่นแล้ว ประกอบด้วย กรดไขมันอิสระ เป็นส่วนใหญ่ คือ ประมาณ 95% ซึ่งมากกว่าไขมันเสียก่อนกลั่น ที่มี

กรดไขมันอิสระ ประมาณ 73% และมีสารประกอบที่ไม่รู้จักชนิด unknown compound มากถึง 17.7% ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วย TLC จะ ไม่พบในไขมันเสียกลิ่นแล้วโดยมีร้อยละผลได้ของการกลั่นเท่ากับ 75 โดยประมาณ

จากนั้น นำไขมันเสียที่กลั่นได้ ด้วยเครื่องกลั่นแบบมีรีฟลักซ์ โดยรวบรวมเฉพาะสัดส่วนที่มีสีเหลืองอ่อนเท่านั้น ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันอิสระประมาณ 95% นำมาเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และเอสเทอร์ฟิเคชันในคราวเดียวกัน ต่อไป

4. ศึกษาปัจจัยที่มีต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ไขมันเสียกลิ่นแล้วเป็นสารตั้งต้น จากสถานะที่เหมาะสมของไขมันเสียก่อนกลั่นด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

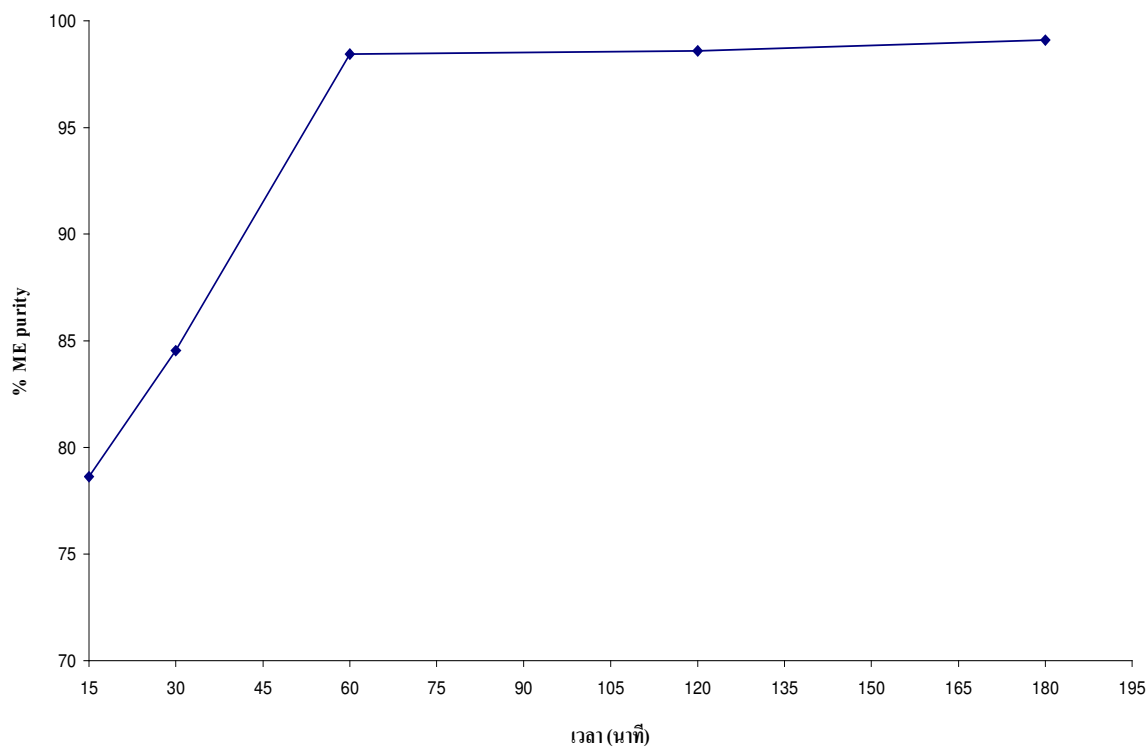
การทดลองเบื้องต้นโดยใช้ไขมันเสียก่อนกลั่นเป็นสารตั้งต้น สนใจในส่วนของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และสัดส่วนเชิงโมลของไขมันเสียก่อนกลั่นต่อเมทานอล เนื่องจากมีผลต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์สูง ศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของไขมันเสียก่อนกลั่น สัดส่วนเชิงโมลของไขมันเสียก่อนกลั่นต่อเมทานอลในช่วง 1:1 ถึง 1:72 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรด 1 - 20% v/w of reactant อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 70 80 และ 98 องศาเซลเซียส เวลาในการทำการทดลอง 15 – 180 นาที พบว่า ร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์มีค่าสูงประมาณ 80-90 ได้ เมื่อทำปฏิกิริยาโดยใช้สัดส่วนเชิงโมลไขมันเสียต่อเมทานอล 1:8 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1% v/w of reactant อุณหภูมิ 70 - 98 องศาเซลเซียส เวลา 1 – 3 ชั่วโมง

ดังนั้นปัจจัยที่เลือกทำการศึกษาคือการผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้ไขมันเสียกลิ่นแล้วเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด คือ เวลาที่ทำปฏิกิริยา ทำการศึกษาที่เวลา 1 – 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาตั้งแต่ 60 70 80 และ 98 องศาเซลเซียส

4.1 การศึกษาผลของเวลา และอุณหภูมิ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ไขมันเสียกลิ่นแล้ว เป็นสารตั้งต้น

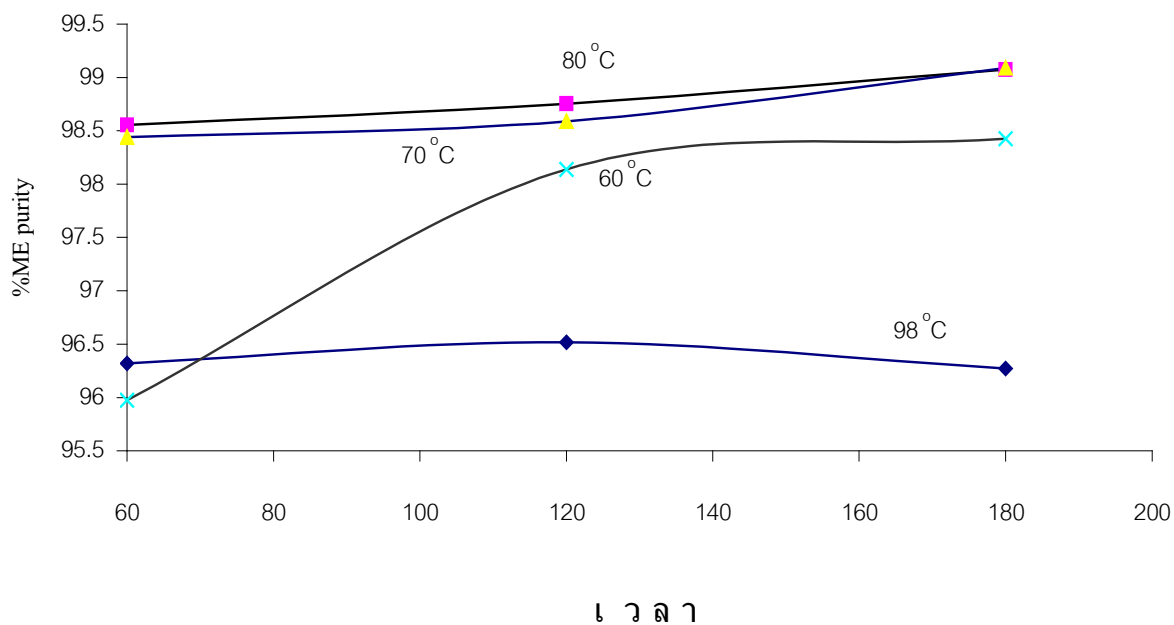
ผลของเวลา และอุณหภูมิ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์

ทำการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 15 นาที, 30 นาที, 1, 2 และ 3 ชั่วโมง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา คือ 60 70 80 และ 98 องศาเซลเซียส แสดงผลดังภาพประกอบที่ 34 และ



ภาพประกอบที่ 32 แสดงผลของเวลา ที่มีต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์สัดส่วนเชิง โมลของ ไขมัน้ำมันเสียบกลั่นแล้วต่อเมทานอล 1:8 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรด ซัลฟูริก 1% v/w of reactant ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

จากภาพประกอบที่ 32 พบว่า เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยลงจะได้ร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์น้อยลง และพบว่าปฏิกิริยาเกิดเร็วในช่วง 60 นาทีแรก และเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่า 60 นาที ร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์เริ่มมีค่าคงที่ จากการทดลองได้ว่า เวลาที่มีผลต่อร้อยละการเกิด เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ค่อนข้างมาก นอกจากนี้ได้แสดงผลของเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังภาพประกอบที่ 33



ภาพประกอบที่ 33 แสดงผลของเวลา และอุณหภูมิ ที่มีต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์สัดส่วน
เชิงโมลของไขมันสัตว์เสกแล้วต่อเมทานอล 1:8 ปริมาณตัวเร่ง
ปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 1% v/w of reactant

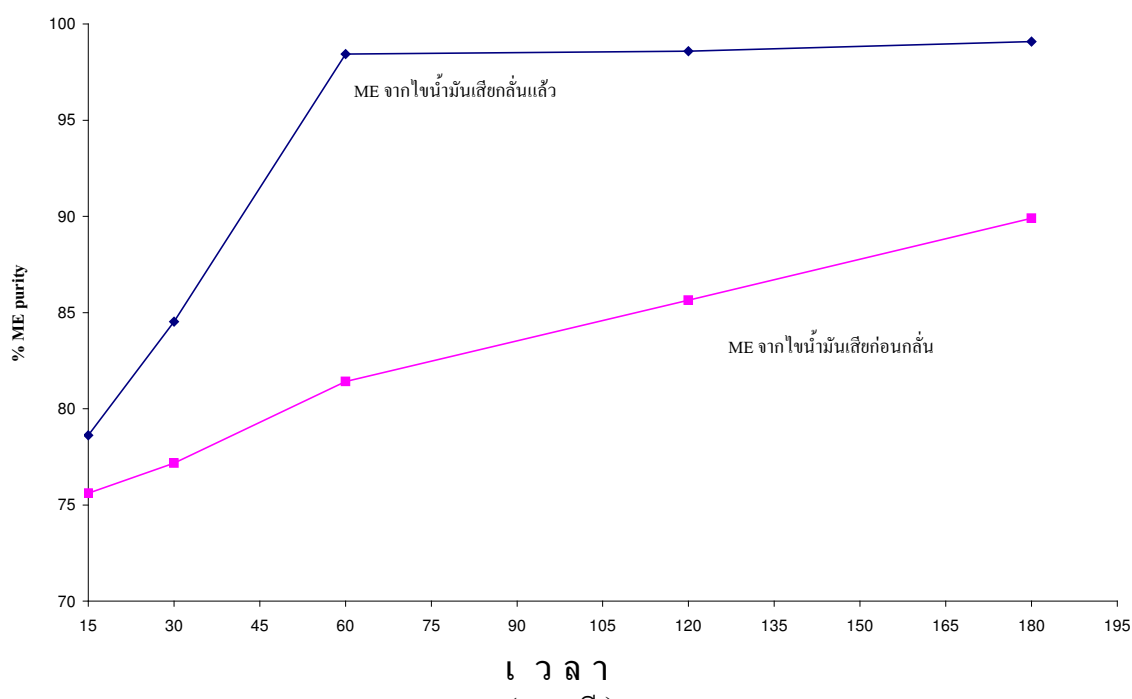
จากภาพประกอบที่ 33 พบว่า ที่ทุก ๆ อุณหภูมิ เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา ทำให้แนวโน้มน้ำเกิดการเกิดเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น และเกิดได้เร็วในช่วงเวลา 1-2 ชั่วโมง เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่า 2 ชั่วโมง แนวโน้มน้ำเกิดการเกิดเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มน้ำคงที่ แต่อาจมีบางอุณหภูมิ เช่น ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียสพบว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่า 1 ชั่วโมง มีแนวโน้มน้ำเกิดการเกิดเมทิลเอสเทอร์ต่ำกว่า ทุกๆ อุณหภูมิ อาจเนื่องจากระบบที่ทำการทดลองปิดไม่สนิท และที่ อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการทำปฏิกิริยาเดียวกัน มีแนวโน้มน้ำเกิดการเกิด เมทิลเอสเทอร์ที่ใกล้เคียงกันทุกๆ เวลา ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไป จึงเลือกทำการทดลองที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและลดการระเหยของเมทานอล ซึ่งมีจุดเดือดประมาณ 65 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสก็เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาเมื่อใช้ไขมันสัตว์เสกแล้วเป็นสารตั้งต้น

โดยผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองโดยใช้ไขมันสัตว์เสกก่อนกลั่นเป็นสารตั้งต้น จากนั้น ได้ทำการทดลองซ้ำเพื่อพิสูจน์ข้อสันนิษฐานที่ว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเกิดได้ดีที่

อุณหภูมิสูง จึงเลือกทำปฏิกิริยาที่ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส กระทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบควบคุมความดัน โดยใช้สัดส่วนเชิงโมของน้ำมันต่อเมทานอล 1:8 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรด 1% v/w of reactant หลังทำการทดลองพบว่า เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียสโดยทำในระบบที่ปิดสนิทจะได้ร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์สูงถึง 99.3

4.2 ผลของเวลา และ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันต่อการเกิด เมทิลเอสเทอร์ โดยใช้ ไขมันน้ำมันเสียก่อนกลั่นเป็นสารตั้งต้น เปรียบเทียบกับไขมันน้ำมันเสียกลั่นแล้ว เป็นสารตั้งต้น

4.2.1 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์ ทำการเปรียบเทียบเวลาในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพประกอบที่ 34

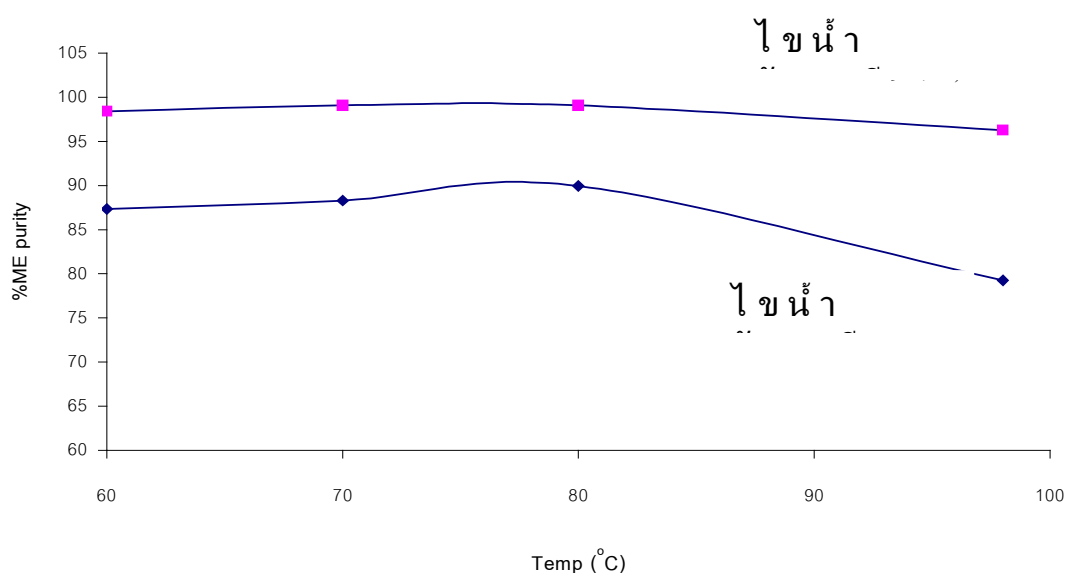


ภาพประกอบที่ 34 เปรียบเทียบผลของเวลา ที่มีต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ ไขมันน้ำมันเสียไม่กลั่น เทียบกับไขมันน้ำมันเสียกลั่นแล้ว ที่สัดส่วนเชิงโมลไขมันน้ำมันเสียต่อเมทานอล 1:8 และปริมาณกรด 1% v/w of reactant

จากภาพประกอบที่ 34 พบว่า เมื่อใช้ไชน้ำมันเสียกลั่นแล้วเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันจะได้ร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์สูงกว่า การทำการทดลองโดยการใช้ไชน้ำมันเสียไม่กลั่นเป็นสารตั้งต้น

4.2.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันต่อการเกิด เมทิลเอสเทอร์

ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 60 70 80 และ 98 องศาเซลเซียส ที่เวลา 3 ชั่วโมง แสดงดังภาพประกอบที่ 35

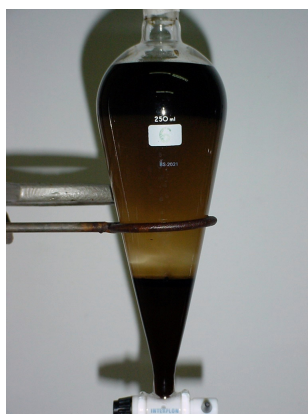


ภาพประกอบที่ 35 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิ ที่มีต่อการเกิดเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ไชน้ำมันเสียไม่กลั่น เทียบกับ ไชน้ำมันเสียกลั่นแล้ว ที่สัดส่วนเชิงโมล ไชน้ำมันเสียต่อเมทานอล 1:8 และปริมาณกรด 1% v/w of reactant

จากภาพประกอบที่ 35 พบว่า เมื่อใช้ไชน้ำมันเสียกลั่นแล้วเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันจะได้ร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์สูงกว่า การทำการทดลองโดยการใช้ไชน้ำมันเสียไม่กลั่น เป็นสารตั้งต้น

4.3 ลักษณะน้ำล้าง เมื่อใช้ไชน้ำมันเสียก่อนกลั่นเป็นสารตั้งต้น เทียบกับ ไชน้ำมันเสียกลั่นแล้วเป็นสารตั้งต้น

ทำการเปรียบเทียบลักษณะน้ำล้างของเมทิลเอสเทอร์ครั้งที่ 1 ที่ได้หลังทำปฏิกิริยาครบ 1 ชั่วโมง แสดงดังภาพประกอบที่ 36



(อ)



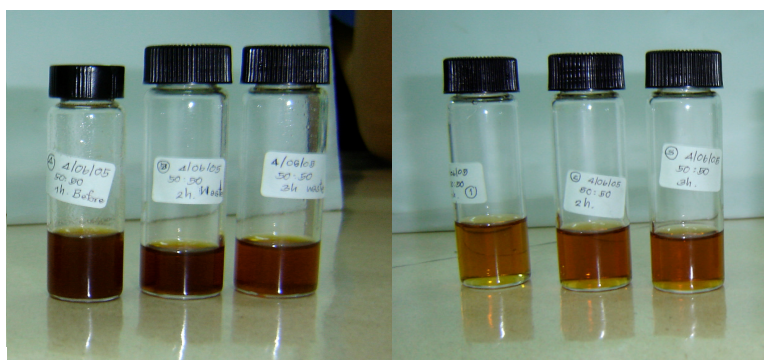
(ข)

ภาพประกอบที่ 36 ลักษณะน้ำล้างของเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ไขน้ำมันเสียไม่กลั่นเป็นสารตั้งต้น เทียบกับไขน้ำมันเสียกลั่นแล้ว เป็นสารตั้งต้น (ก) คือ ลักษณะน้ำล้างเมื่อใช้ ไขน้ำมันเสียก่อนกลั่นเป็นสารตั้งต้น (ข) คือ ลักษณะน้ำล้างเมื่อใช้ ไขน้ำมันเสียกลั่นแล้วเป็นสารตั้งต้น

จากภาพประกอบที่ 36 พบว่า น้ำล้างเมทิลเอสเทอร์น้ำแรกที่ได้จากการทำปฏิกิริยาโดยใช้ไขน้ำมันเสียก่อนกลั่น เป็นสารตั้งต้น ลักษณะน้ำล้างจะมีสีน้ำตาลเข้ม และมีตะกอนปูนขาวลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งต่างจากน้ำล้างของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาโดยใช้ไขน้ำมันเสียกลั่นแล้วเป็นสารตั้งต้น น้ำล้างจะมีลักษณะใสไม่มีสี และไม่มีตะกอน และเมื่อเปรียบเทียบจำนวนครั้งในการล้างน้ำ พบว่า จำนวนครั้งในการล้างน้ำของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาโดยใช้ไขน้ำมันเสียก่อนกลั่นเป็นสารตั้งต้น จะต้องล้างน้ำมากกว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาโดยใช้ไขน้ำมันเสียกลั่นแล้วเป็นสารตั้งต้น มากถึง 3 - 4 ครั้ง ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองน้ำล้าง นอกจากนี้แล้ว การล้างน้ำของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาโดยใช้ไขน้ำมันเสียก่อนกลั่นเป็นสารตั้งต้นยังเสี่ยงต่อการสูญเสียผลได้เมทิลเอสเทอร์ไปกับตะกอนที่แขวนลอยในน้ำล้างอีกด้วย

4.4 ลักษณะทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาโดยใช้ ไขมันสัตว์ ก่อนกลั่นเป็นสารตั้งต้น เทียบกับเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาโดยใช้ไขมันสัตว์กลั่นแล้ว เป็นสารตั้งต้น

ทำการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพระหว่างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาโดยใช้ไขมันสัตว์ก่อนกลั่นเป็นสารตั้งต้น เทียบกับเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาโดยใช้ไขมันสัตว์กลั่นแล้วเป็นสารตั้งต้น แสดงดังภาพประกอบที่ 37



เมทิลเอสเทอร์จากไขมันสัตว์
ก่อนกลั่น

เมทิลเอสเทอร์ จากไขมันสัตว์
กลั่นแล้ว

ภาพประกอบที่ 37 แสดงลักษณะทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากไขมันสัตว์ไม่
กลั่น และไขมันสัตว์กลั่นแล้วเป็นสารตั้งต้น

จากภาพประกอบที่ 37 พบว่า เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเมื่อใช้ไขมันสัตว์
กลั่นเป็นสารตั้งต้นมีสีเหลืองใส ซึ่งต่างจาก เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเมื่อใช้ ไขมันสัตว์
ไม่กลั่น เป็นสารตั้งต้น ที่มีสีน้ำตาลเข้มกว่า และเมื่อตั้งเมทิลเอสเทอร์ทิ้งไว้ 7 วัน พบว่า เม
ทิลเอสเทอร์ ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเมื่อใช้ ไขมันสัตว์ไม่กลั่นเป็นสารตั้งต้น จะมีตะกอนที่ก้น
ขวดเก็บ ซึ่งอาจเป็นตะกอนสิ่งปนเปื้อนที่ไม่สามารถกรองออกด้วยผ้ากรองเพราะมีขนาดเล็ก และ
ตะกอนนี้ไม่พบในเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเมื่อใช้ ไขมันสัตว์กลั่นเป็นสารตั้งต้น
แสดงดังภาพประกอบที่ 38

จากการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขมันสัตว์ก่อนกลั่น และไขมันสัตว์กลั่นแล้ว
เป็นสารตั้งต้น แสดงสถานะในการผลิต และปริมาณน้ำค้าง ตลอดจนจำนวนครั้งในการล้างน้ำ
เปรียบเทียบกัน แสดงผลดังตารางที่ 22

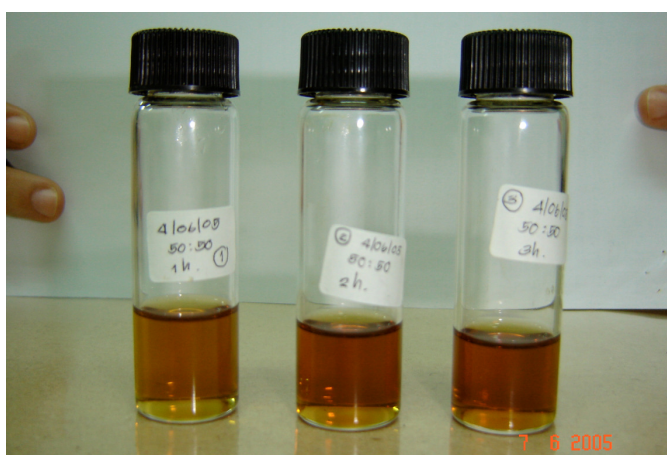
ตารางที่ 22 การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์เมื่อใช้ไขมันเสียก่อนกลั่น เป็นสารตั้งต้น กับใช้ไขมันเสียกลั่นแล้วเป็นสารตั้งต้นที่สภาวะการทดลอง ที่ดีที่สุด เมื่อใช้สัดส่วนเชิงโมลของไขมันเสียต่อเมทานอล 1:8 และปริมาณ ตัวเร่งปฏิกิริยากรด 1% v/w of reactant

ชนิดของสารตั้งต้น	อุณหภูมิที่ ทำปฏิกิริยา (°C)	เวลาในการทำ ปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำล้าง/ครั้ง (มิลลิลิตร)	จำนวนครั้งล้างน้ำ (ครั้ง)
ไขมันเสียก่อน กลั่น	80	3	200	8
ไขมันเสียกลั่น แล้ว	70	1	200	3

จากตารางที่ 22 พบว่า กระบวนการผลิต เมื่อใช้ไขมันเสียกลั่นแล้วเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ จะผลิตได้ง่ายกว่าการผลิตเมื่อใช้ไขมันเสียก่อนกลั่นเป็นสารตั้งต้น



ภาพประกอบที่ 38 แสดงตะกอนก้นขวดเมื่อตั้งเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเมื่อใช้ ไขมันสัตว์เสียก่อนกลั่นเป็นสารตั้งต้น ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน



ภาพประกอบที่ 39 แสดงลักษณะทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเมื่อใช้ ไขมันสัตว์เสียก่อนกลั่นเป็นสารตั้งต้น ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน

จากภาพประกอบที่ 39 พบว่า เมื่อตั้งเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา เมื่อใช้ไขมันสัตว์เสียก่อนกลั่นเป็นสารตั้งต้น 7 วัน ไม่มีตะกอนเกิดขึ้นที่ก้นขวดอาจเนื่องจากการกลั่นสามารถแยกสิ่งปนเปื้อนที่ไม่สามารถแยกออกด้วยการกรองได้ ทำให้ตะกอนสิ่งปนเปื้อนถูกกำจัดออก ซึ่งตะกอนสิ่งปนเปื้อน จะอยู่ในส่วนสุดท้ายของส่วนที่กลั่นได้ ซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอนแข็งสีดำอยู่ที่ก้นขวดกลั่น ทำให้สีของไขมันสัตว์ขาวขึ้น

5. ทำการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยชุดสาริตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องโดยใช้ PFAD (Palm Fatty Acid Distillated) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแบบต่อเนื่อง ก่อนทำการผลิต โดยใช้ไขมันสัตว์เสียก่อนกลั่นเป็นสารตั้งต้น จากสภาวะที่เหมาะสมจากการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบแบทช์ ที่ใช้ไขมันสัตว์เสียก่อนกลั่นแล้วเป็นสารตั้งต้น

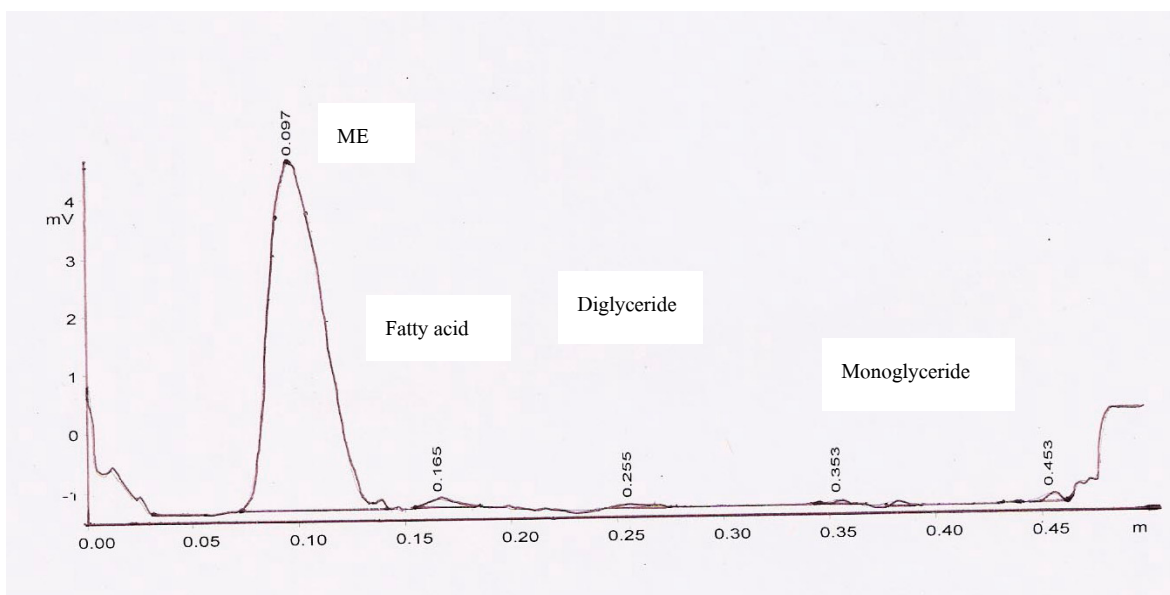
ทำการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยชุดสาริตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ดังภาพประกอบที่ 11 โดยใช้ PFAD (Palm Fatty Acid Distillated) เป็นสารตั้งต้นเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต เมทิลเอสเทอร์แบบต่อเนื่อง ก่อนใช้ไขมันสัตว์เสียก่อนกลั่นแล้วเป็นสารตั้งต้น โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจาก

การผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบแบทช์ ใช้สัดส่วนเชิงโมลน้ำมันต่อเมทานอล 1:8 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรด 1% v/w of reactant ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพประกอบที่ 40



ภาพประกอบที่ 40 แสดงการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยชุดสาริตแบบต่อเนื่อง

จากภาพประกอบที่ 40 พบว่า เมื่อทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ครบ 1 ชั่วโมง แล้วนำมาแยกที่หลอดแก้ว ซึ่งใช้เวลาแยกชั้นระหว่างสารละลายเมทานอลส่วนใสข้างบน กับส่วนของ เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ จากการทำปฏิกิริยาซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าอยู่ข้างล่างใช้เวลาในการแยกเมื่อออกจากปฏิกรณ์ประมาณ 15 นาที นำตัวอย่างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TLC แสดงผลดังภาพประกอบที่ 41

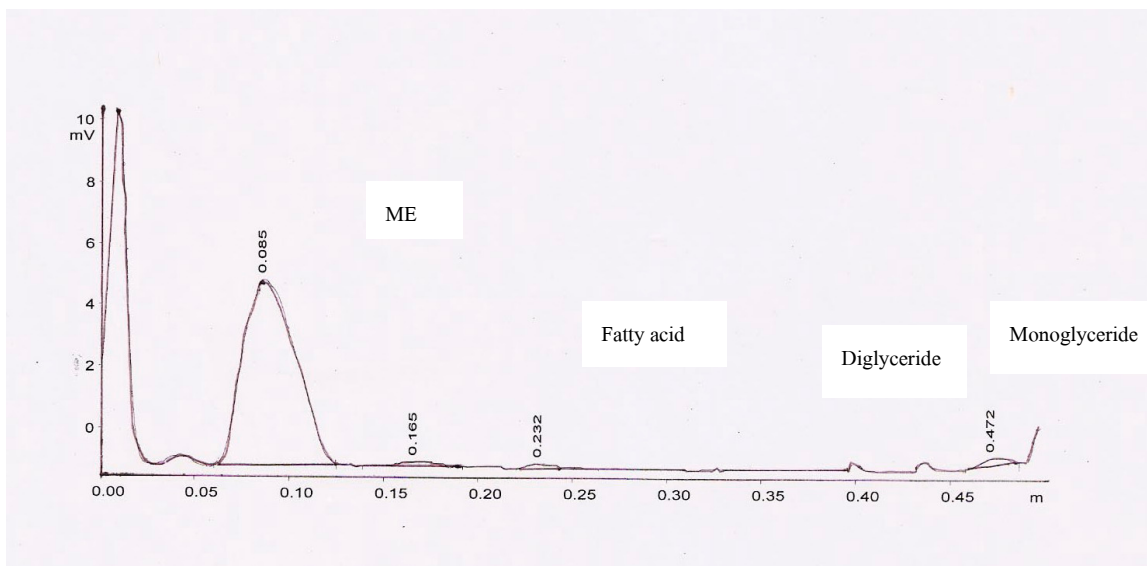


ภาพประกอบที่ 41 แสดงองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ ที่ผลิตแบบต่อเนื่องโดยใช้ PFAD เป็นสารตั้งต้น

จากภาพประกอบที่ 41 พบว่า สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบต่อเนื่องที่มี PFAD เป็นสารตั้งต้นโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบแบทช์ ที่ใช้ไขมันสัตว์เป็นสารตั้งต้นได้ โดยได้ร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์ อยู่ในช่วง 90 – 95 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองแบบแบทช์ ที่ใช้ ไขมันสัตว์เป็นสารตั้งต้น

6. ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยชุดสาริตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง โดยใช้ไขมันสัตว์แล้วเป็นสารตั้งต้น จากสภาวะที่เหมาะสมจากการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบต่อเนื่อง ที่ใช้ PFAD เป็นสารตั้งต้น

ทำการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยชุดสาริตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่อง ดังภาพประกอบที่ 11 โดยใช้ ไขมันสัตว์ เป็นสารตั้งต้นโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบต่อเนื่อง ที่ใช้ PFAD เป็นสารตั้งต้น ใช้สัดส่วนเชิงโมลน้ำมันต่อเมทานอล 1:8 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรด 1% v/w of reactant ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพประกอบที่ 40 นำตัวอย่างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TLC แสดงผลดังภาพประกอบที่ 42



ภาพประกอบที่ 42 แสดงองค์ประกอบของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตแบบต่อเนื่องโดยใช้ ไขมันเสียกลั่นแล้วเป็นสารตั้งต้น

จากภาพประกอบที่ 42 พบว่า สามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบต่อเนื่องที่มีไขมันน้ำมันเสียกลั่นเป็นสารตั้งต้น โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการผลิตเมทิลเอสเทอร์แบบต่อเนื่องที่ใช้ PFAD เป็นสารตั้งต้นได้ โดยได้ร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์ อยู่ในช่วง 93 – 95 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองแบบต่อเนื่องที่ใช้ PFAD เป็นสารตั้งต้นเช่นเดียวกับการทดลองแบบเบทซ์ ที่มีไขมันน้ำมันเสียกลั่นเป็นสารตั้งต้น

7. การศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์จาก ไขมันน้ำมันเสียไม่กลั่น และ ไขมันน้ำมันเสียกลั่น

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์จากไขมันน้ำมันเสียไม่กลั่น และ ไขมันน้ำมันเสียกลั่น ซึ่งผลิตจากกระบวนการแบบเบทซ์ โดยทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานของเมทิลเอสเทอร์ และน้ำมันดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 23 และอธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 23 แสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ กับ
มาตรฐานเมทิลเอสเทอร์

ชนิดของเมทิลเอสเทอร์	ค่าความหนืด (40°C) cSt	จุดจุด (°C)	จุดไหล เท (°C)	จุดวาบ ไฟ (°C)	ค่า ความถ่วง จำเพาะที่ 30 °C	อุณหภูมิการกลั่น เทียบเท่าที่ ความดัน บรรยากาศ กลั่นได้ร้อยละ 95 (°C)
จากไขมันสัตว์ไม่กลั่น	8.466	7	3	192	0.8638	280
จากไขมันสัตว์กลั่นแล้ว	4.9507	5	2	189	0.8612	304
มาตรฐานเมทิลเอสเทอร์						
ASTM 6751-02 ^a	1.9-6.0	3 to 12	-15 to 10	min 130	na	183-338
DIN EN 14214	3.5-5.0	na	na	min 120	0.86-0.90	na
มาตรฐาน						
ดีเซลหมุนเร็ว ^b	1.8-4.1	na	max 10	min 52	0.81-0.87	max 357
ดีเซลหมุนช้า ^b	max 8.0	na	max 16	min 52	max 0.92	na

na = not available

ที่มา : ^a คณะกรรมการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร (2545)

^b ศิริพร (2544)

ผลการวิเคราะห์จุดวาบไฟของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 189 ถึง 192 °C เป็นไปตามมาตรฐานเมทิลเอสเทอร์ และสูงกว่าค่ามาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและหมุนช้า จึงทำให้เม

ทิลเอสเตอร์ที่ได้สามารถขนถ่ายและเก็บได้อย่างปลอดภัยกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากการมีจุดวาบไฟที่สูงกว่า จึงมีความเสี่ยงต่อการระเบิดหรือการติดไฟน้อยกว่าน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและหมุนช้า

ผลการวิเคราะห์จุดขุ่น (cloud point) ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ มีค่าอยู่ระหว่าง 5 ถึง 7 องศาเซลเซียส จากตาราง พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของเมทิลเอสเตอร์ ASTM 6751-02^a ซึ่งมาตรฐานเมทิลเอสเตอร์ประเทศไทยไม่ได้ระบุไว้ และน้ำมันดีเซลไม่ได้กำหนด ส่วนจุดไหลเท (pour point) มีค่า 2 ถึง 3 องศาเซลเซียส เป็นไปตามมาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนช้า (16 °C max) และหมุนเร็ว (10°C max) ซึ่งนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้เป็นอย่างดี

ผลการวิเคราะห์ความถ่วงจำเพาะของเมทิลเอสเตอร์ที่ผลิตได้ (30°C) ค่าที่ได้อยู่ระหว่าง 0.8612 ถึง 0.8638 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมันพ.ศ. 2548 ค่าความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15 °C ไม่ต่ำกว่า 0.860 และไม่สูงกว่า 0.900 และค่าที่ได้ก็มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานของน้ำมันดีเซล

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ (40 °C) มีค่าอยู่ประมาณ 4.95 cSt เมื่อใช้น้ำมันที่ผ่านการกลั่น และมีค่าประมาณ 8.47 cSt เมื่อใช้น้ำมันที่เก็บได้ ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้จากใช้น้ำมันที่ผ่านการกลั่นได้ มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของเมทิลเอสเตอร์ (ไม่เกิน 5.0 cSt) และค่ามาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนช้า (8.0 cSt max) แต่มีค่าเกินน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (1.8-4.1 cSt) ซึ่งการมีค่าความหนืดสูงคาดว่ามาจากสารปนเปื้อนที่ไม่รู้ชนิด ดังนั้นไบโอดีเซลที่ผลิตได้หากไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพเพิ่มเติม น่าจะเหมาะสมกับการใช้งานในเครื่องยนต์ชนิดรอบต่ำ (300 รอบต่อนาที) และชนิดรอบปานกลาง (300-100 รอบต่อนาที) เท่านั้น (กนกอร และจินดา, 2545)

อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ มีค่า 280 ถึง 304 °C เป็นไปตามมาตรฐานน้ำมันดีเซลที่ต้องไม่สูงกว่า 357 °C