บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

น้ำมันสบู่ดำถูกเลือกใช้เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยผลการทดสอบทางกายภาพพบว่าน้ำมันสบู่ดำมีค่าความหนืดสูงมากถึง 63.84 เซนติสโตก และมีค่าความเป็นกรดสูงถึง 14.23 ซึ่งอาจเกิดจากน้ำมันสบู่ดำที่เลือกใช้นั้นมีสภาพเก่าและเก็บไว้นานสำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีทั่วไปที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะไม่สามารถใช้วัตถุที่มีสมบัติเช่นนี้ไปผลิตได้ เนื่องจากค่าความเป็นกรดสูงเกินกว่าที่จะทำปฏิกิริยาได้ จึงต้องเลือกใช้กระบวนการเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยา แต่กระบวนการนี้ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานกว่ากระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามาก นอกจากนั้นทั้งสองปฏิกิริยาที่กล่าวข้างต้นจะมีของเสียที่เหลือจากการผลิตเป็นจำนวนมาก เช่น สบู่ กลีเซอรีนที่เป็นพิษเพราะปนเปื้อนตัวเร่งปฏิกิริยา และน้ำเสียที่ต้องใช้ล้างสบู่และกลีเซอรีนหลังจากทำปฏิกิริยาเป็นจำนวนมาก ของเสียจำนวนมากที่เกิดขึ้นในการผลิตแต่ละครั้งเป็นการทำลายสิ่งแวดล้อมอย่างมากดังนั้นจึงใช้วิธีการผลิตด้วยสภาวะเหนือจุดวิกฤตเนื่องจากกระบวนการผลิตด้วยวิธีนี้วัตถุดิบที่มีสมบัติทางกายภาพ เช่น ความเป็นกรดสูงๆ ยังคงสามารถนำไปผลิตไบโอดีเซลได้ จึงประหยัดต้นทุนทางวัตถุดิบที่ต้องทำการปรับสภาพก่อนกระบวนการผลิต (Pretreatment) หลังกระบวนการผลิตนอกจากจะได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์สูงแล้วยังไม่มีของเสียที่เหลือจากกระบวนการอีกด้วยเพราะไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จึงได้กลีเซอรีนที่เป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยานั้นค่อนข้างมีความบริสุทธิ์สูงดังนั้นเราสามารถเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกระบวนการผลิตได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบกระบวนการผลิตด้วยวิธี Supercritical กับ Transesterification

กระบวนการผลิต	Supercritical Process	Transesterification
วัตถุดิบ	ใช้ได้หลากหลาย ความเป็นกรดและปริมาณน้ำในน้ำมันสูงได้	ต้องค่าความเป็นกรดต่ำ และปริมาณน้ำในน้ำมันต่ำ
ตัวเร่งปฏิกิริยา	ไม่มี	ด่าง
ความดัน	มากกว่า 70 bars	1 bars (ความดันบรรยากาศ)

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)เปรียบเทียบกระบวนการผลิตด้วยวิธี Supercritical กับ Transesterification

อุณหภูมิ	มากกว่า 300 °C	ประมาณ 60 °C
เวลาในการทำปฏิกิริยา	1-2 ชม.	1-2 ชม.
ผลิตผล (%yield)	สูงมาก	สูงมาก
ของเสีย (waste)	ไม่มี	น้ำเสีย กลีเซอรีนและตัวเร่งปฏิกิริยา
ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรีน	สูงมาก	น้อยมาก

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตผลไบโอดีเซลพบว่าอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเวลาในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิ และความบริสุทธิ์ของเมทานอลเป็นตัวแปรสำคัญในการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธี Supercritical ทั้งนี้จากงานวิจัยพบว่าอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำที่เพิ่มขึ้น จะช่วยเพิ่มผลิตผล (Yield) ของไบโอดีเซลเป็นอย่างมากเมื่อช่วงแรกในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นถ้าต้องการใช้เวลาในการผลิตน้อยลง ก็สามารถเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันให้มากขึ้นได้ แต่ก็จะมีข้อจำกัดในการเพิ่มจำนวนโมลโดยจะสังเกตุจากการเพิ่มจำนวนโมลจาก 40:1 เป็น 50:1 และ 60:1 นั้นผลิตผลของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจาก 85% เป็น 90% เท่านั้นจึงไม่คุ้มค่าต่อต้นทุนดังนั้นเวลาในการทำปฏิกิริยาจึงเป็นส่วนสำคัญในการหาสภาวะที่เหมาะสม เนื่องจากเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มากขึ้นจะสามารถช่วยปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ขึ้นและช่วยเพิ่มผลิตผลไบโอดีเซลให้มากขึ้นด้วยนอกจากนี้อุณหภูมิยังเป็นตัวแปรที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะช่วยเพิ่มพลังงานและความดันในระบบให้สูงขึ้นโอกาสการเกิดปฏิกิริยาไบโอดีเซลก็จะมากขึ้นทำให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ขึ้นด้วยแต่อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ถูกสลายกลายเป็นโมเลกุลเล็ก (Cracking) ด้วยเช่นกัน

ความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่ลดลงได้ถูกนำมาทดสอบในการทำปฏิกิริยาผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธี Supercritical โดยคาดหวังว่าจะสามารถผลิตไบโอดีเซลและลดต้นทุนลงได้ ผลการวิจัยพบว่าการใช้เมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 85% ยังสามารถผลิตไบโอดีเซลให้มีผลิตผลสูงมากกว่า 90% นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์มาตรฐานเชิงพาณิชย์ของไบโอดีเซลที่ผลิตจากเมทานอลที่ความบริสุทธิ์ต่ำ ยังมีค่าใกล้เคียงกับการผลิตโดยใช้เมทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงและค่ามาตรฐานเชิงพาณิชย์

ในกระบวนการผลิตเชิงพาณิชย์นั้นมีโอกาสสูงที่จะต้องนำแอลกอฮอล์ที่มากเกินพอในระบบนำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งเป็นไปได้ว่าเมทานอลที่นำกลับมาใช้ใหม่นั้นจะมีความบริสุทธิ์ต่ำดังนั้นผลงานวิจัยในส่วนนี้จึงมีประโยชน์ในการพัฒนาให้คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป

ในการวิเคราะห์มาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานเชิงพาณิชย์มีบางค่าที่ยังไม่ผ่านค่ามาตรฐานแต่สามารถแก้ไขได้จากกระบวนการผลิต คือ ต้องเพิ่มอุณหภูมิให้อุณหภูมิมากกว่า 300°C(ประมาณ 350°C)ให้ระบบเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์มากขึ้นกว่า 93.58% และลดจำนวนของโมโนกลีเซอไรด์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาลงจาก 3.6-3.8 ให้เหลือกว่า 1.0 จะเป็นการเพิ่มจำนวนของเมทิลเอสเทอร์และจำนวนซีเทนอีกด้วย

น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ยังไม่สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐานเชิงพาณิชย์แต่สามารถใช้งานในชุมชนได้ เพราะผ่านมาตรฐานดังตารางที่ 5.2 หรืออาจจะใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม เป็นน้ำมัน B5 B10 เพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันให้เหมาะสมกับการใช้งานในเครื่องยนต์

ตารางที่ 5.2เปรียบเทียบมาตรฐานชุมชนและมาตรฐานเชิงพาณิชย์ตามกรมธุรกิจพลังงาน

รายการ	วิธีทดสอบ	ข้อกำหนดมาตรฐานชุมชน	สภาวะ 30:1 300°C 2hr	สภาวะ 30:1 300°C 2hr เมทานอล 85% (v/v)
เมทิลเอสเทอร์ (%wt)	EN 14103	-	93.58	86.69
ความหนาแน่น(kg/m3)	ASTM D 1298	860-900	887±5	887±5
ความหนืด(cSt)	ASTM D 445	3.5-5.0	4.7±0.2	4.7±0.2
จุดวาบไฟ (oC)	ASTM D 93	มากกว่า 120	มากกว่า 150	มากกว่า 150
จำนวนซีเทน	ASTM D 613	มากกว่า 51	49.51	49.39
น้ำ	ASTM D 2709	น้อยกว่า 0.2	0.10	0.15
ความเป็นกรด	ASTM D 664	น้อยกว่า 0.8	0.01	0.01
ค่าไอโอดีน	EN 14111	น้อยกว่า 120	97.32	98.37
Mono-glyceride	EN 14105	-	3.6	3.18
Di- glyceride	EN 14105	-	0.37	0.30

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)เปรียบเทียบมาตรฐานชุมชนและมาตรฐานเชิงพาณิชย์ตามกรมธุรกิจพลังงาน

Tri- glyceride	EN 14105	-	0	0
กลีเซอรีนอิสระ	EN 14105	0.02	0	0.10
กลีเซอรีนทั้งหมด	EN 14105	1.5	0.975	0.85

ดังนั้นทางผู้วิจัยสามารถจะสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

- สามารถผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำในสภาวะแอลกอฮอล์เหนือจุดวิกฤตโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้โดยน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีมาตรฐานใกล้เคียงตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน
- อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดผลิตผลของไบโอดีเซลสูงขึ้น โดยอัตราส่วนที่ดีที่สุดที่สามารถทำให้เกิดผลิตผลสูงสุด 90% คือ 50:1 โดยใช้เวลาน้อยที่สุดคือ 30 นาที
- การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทำให้ผลิตผลของไบโอดีเซลสูงขึ้นโดยเวลาที่เหมาะสมที่สุด คือ 120 นาทีซึ่งทำให้ได้ไบโอดีเซลสูงที่สุดถึง 95%
- การเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันจะช่วยให้ใช้เวลาในการผลิตน้อยลง
- การเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาทำให้ผลิตผลของไบโอดีเซลสูงขึ้นโดยอุณหภูมิที่สูงที่สุด คือ 350°C สามารถผลิตไบโอดีเซลผลิตผลถึง 96%
- สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไบโอดีเซล คือ อัตราส่วนแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน30:1 ,อุณหภูมิ 300°C, ระยะเวลา 120 นาที เพราะให้ผลิตผลสูงถึง 95% โดยใช้อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน และอุณหภูมิน้อยที่สุด
- เมื่อใช้เมทาอนลที่มีความบริสุทธิ์ 85, 90, 95% ตามลำดับ ยังสามารถผลิตไบโอดีเซลให้มีผลิตผลที่สูงได้ถึง 90%

5.2 ข้อเสนอแนะ

- เนื่องจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยสภาวะเหนือจุดวิกฤตทำที่อุณหภูมิสูงและความดันสูงทำให้เกิดกระบวนการสลายโมเลกุลใหญ่เป็นโมเลกุลเล็กของโมเลกุลน้ำมัน (Crarking) เป็นปฏิกิริยาข้างเคียง ดังนั้นจะได้ผลิตผลข้างเคียงที่เป็นไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลสั้นอยู่บ้าง ดังนั้น

ควรหาวิธีการผลิตโดยลดอุณหภูมิระหว่างปฏิกิริยา เช่น ใช้ CO_2หรือตัวเร่งปฏิกิริยา มาช่วยในการทำปฏิกิริยา

- เนื่องจากสภาวะเหนือวิกฤตของเมทานอลมีความจำเป็นต้องใช้ปริมาณของเมทานอลมากเกินพอมากกว่าระบบทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นเพื่อลดเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจึงอาจเพิ่มจำนวนอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำขึ้นไปอีกในการทำปฏิกิริยา จะช่วยลดเวลาในการทำปฏิกิริยาลงได้โดยยังสามารถผลิตได้ Yield สูง
- เนื่องจากในปฏิกิริยาไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามาทำในปฏิกิริยาจึงควรเพื่ออุณหภูมิ และความดันเพื่อเพิ่มพลังงานให้กับระบบทำให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ขึ้นจะช่วยลดโมโนกลีเซอไรด์ที่เหลืออยู่ในปฏิกิริยาได้ผลิตผลของไบโอดีเซลก็จะสูงขึ้นอีกทั้งค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ก็จะสูงขึ้นอีกด้วย
- การผลิตด้วยกระบวนการ supercritical สามารถใช้กับน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ หรือน้ำมันจากสัตว์ที่มีค่าความเป็นกรดสูงๆได้ดีดังนั้นจึงแก้ปัญหาเรื่องสมบัติของวัตถุดิบที่ไม่เหมาะต่อการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีการ Transesterification อีกทั้งยังประหยัดต่อการออกแบบการดูแลรักษาและจัดเก็บน้ำมันเพื่อคงสภาพของน้ำมันไม่ให้เปลี่ยนสภาพเป็นกรดไขมันอีกด้วย จึงเหมาะสมที่จะวิจัยหาพืชพลังงานที่มีน้ำมันสูงมาวิจัยต่อเนื่องเพื่อพัฒนาต่อไป