

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มใช้แล้วในเอทานอลภาวะเหนือวิกฤตอย่างต่อเนื่องโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์เป็นแบบท่อไหล ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ความดันและอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันพืช ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์ปริมาณเอทิลเอสเทอร์ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

4.1 องค์ประกอบของน้ำมันพืชตัวอย่าง

จากการวิเคราะห์ตามมาตรฐานของ AOCS Ce 2-66 เพื่อหาชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันพืชตัวอย่างทั้งสองชนิดดังตารางที่ 4.1 พบว่า น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มใช้แล้วมีองค์ประกอบของกรดไขมันเหมือนกัน องค์ประกอบหลักได้แก่ กรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิกและกรดลิโนเลอิก แต่น้ำมันปาล์มใช้แล้วเป็นน้ำมันปาล์มได้จากร้านไก่ทอดทำให้ได้รับกรดไขมันจากไขมันไก่ส่งผลให้ปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบเปลี่ยนไป จากตาราง 2.3 พบว่าไขมันไก่มีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ กรดปาล์มมิติก 21.00 เปอร์เซ็นต์ กรดโอเลอิก 48.50 เปอร์เซ็นต์ และกรดลิโนเลอิก 17.30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของกรดไขมันของน้ำมันปาล์มใช้แล้วจึงต่างจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ มวลโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มใช้แล้วมีค่าเท่ากับ 928 และ 914 ตามลำดับ สมบัติค่าวิกฤตของน้ำมันปาล์มทั้งสองชนิดแสดงในภาคผนวก ค.

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มและน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

Fatty acid	Carbon Number	Degree of Unsaturation	MW	RPO Wt%	UPO wt%
Lauric acid	12	0	170	0.46	0.83
Myritic acid	14	0	198	1.22	1.24
Palmitic acid	16	0	226	47.94	42.41
Stearic acid	18	0	252	4.23	2.34
Oleic acid	18	1	251	37.00	41.46
Linoleic acid	18	2	250	9.15	14.16
Molecular weight				928	914

4.2 สมบัติของน้ำมันพืช

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชสองชนิดคือ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มใช้แล้ว จากตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติน้ำมันปาล์มทั้งสองชนิดและน้ำมันดีเซลซึ่งจะเห็นว่า ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มทั้งสองชนิดมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซลมากทำให้การใช้้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงจะเป็นอุปสรรคสำคัญต่อระบบหัวฉีด และน้ำมันปาล์มใช้แล้วมีค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เนื่องจากมีสิ่งเจือปนจำพวกแป้งซึ่งเป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ส่วนค่าความร้อนของน้ำมันพืชทั้งสองชนิดมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล จุดวาบไฟของน้ำมันพืชทั้งสองชนิดมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลแสดงให้เห็นว่าน้ำมันพืชจุดระเบิดยากเนื่องจากมีความสามารถในการระเหยต่ำ แต่จุดวาบไฟสูงถือเป็นข้อดีด้านความปลอดภัยในการเก็บรักษาและการขนส่ง ส่วนค่าไอโอดีนทำให้ทราบถึงความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันในน้ำมันพืช น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนสูงแสดงว่าองค์ประกอบที่เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงซึ่งน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงทำให้เกิดพอลิเมอร์เซชันได้ง่าย ส่วนค่าความหนาแน่นสามารถบอกขนาดโมเลกุลได้ โดยสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จะมีความหนาแน่นสูง จากตารางที่ 4.3 น้ำมันปาล์มทั้งสองชนิดมีความหนาแน่นสูงกว่าเอทานอล เมื่อผสมกันสารทั้งสองชนิดจะแยกชั้นกันเนื่องจากสภาพความมีขั้วต่างกัน ทำให้สารทั้งสองชนิดไม่ทำปฏิกิริยากันในสภาวะปกติ เพื่อให้สารทั้งสองชนิดเกิดปฏิกิริยากันจึงจำเป็นต้องทำให้สารทั้งสองชนิดละลายเป็นเนื้อเดียวกันด้วยการลดความมีขั้วของสารทั้งสองชนิด

ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติน้ำมันพืชทั้งสองชนิดและน้ำมันดีเซล

สมบัติ	ดีเซลหมุนช้า	ดีเซลหมุนเร็ว	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว
ค่าความหนืด (mm/s^2)	4.10	5.32	31.80	45.00
ความถ่วงจำเพาะ (kg/m^3)	0.859	0.897	0.904	0.916
ค่าความร้อน (MJ/kg)	43.70	42.10	33.50	30.34
จุดวาบไฟ ($^{\circ}\text{C}$)	75	78	217	246
ค่าดัชนีซีเทน	54.25	46.24	34.30	N/A

N/A คือ ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 4.3 ความหนาแน่นของสาร

ชนิดของสาร	ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)
เอทานอล	0.879
น้ำมันปาล์ม	0.905
น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	0.917

4.3 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

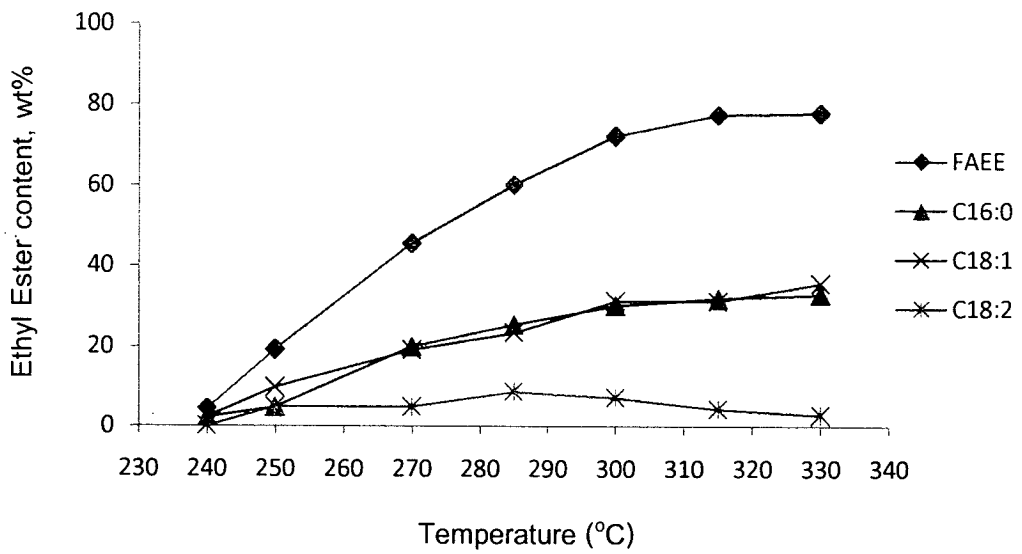
การศึกษาผลของอุณหภูมิของการผลิตเอทิลเอสเทอร์ในเอทานอลภาวะเหนือวิกฤตโดยใช้ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มใช้แล้วเป็นสารตั้งต้น พิจารณาอุณหภูมิที่ใช้ในการ เกิดปฏิกิริยาในช่วง 270-330 องศาเซลเซียส โดยให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันพืช คงที่เท่ากับ 30:1 อัตราการป้อนของสาร 3.5 มิลลิลิตรต่อนาทีและความดัน 20 เมกะพาสคัล

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลของอุณหภูมิของปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์โดยใช้ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นสารตั้งต้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนของเอทานอลลดลง [วิศนี, 2552] ส่งผลให้เอทานอลเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้นและเกิดเป็นเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียสร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์มีอัตราการเพิ่มขึ้นตาม อุณหภูมิอย่างรวดเร็ว แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียสร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์มี อัตราการเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยและเริ่มคงที่เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 315 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 300 315 และ 330 องศาเซลเซียสได้รับร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ 72.18 77.43 และ 77.97 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาชนิดของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้รับ พบว่าได้รับร้อยละผลได้ของ เอทิลปาล์มิเตต (ethyl palmitate, C16:0) และเอทิลโอเลต (ethyl oleate C18:1) เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแต่จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส ส่วนเอทิลลินโอเลต (ethyl linoleate, C18:1) จะได้รับเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ เกิน 300 องศาเซลเซียสกลับพบว่าร้อยละผลได้ของเอทิลลินโอเลตลดลง เนื่องจากการสลายตัว ทางความร้อน (thermal decomposition) จึงทำให้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้รับมีอัตรา การเพิ่มขึ้นน้อยลงที่อุณหภูมิมากกว่า 300 องศาเซลเซียสและคงที่ที่มากกว่า 315 องศาเซลเซียส

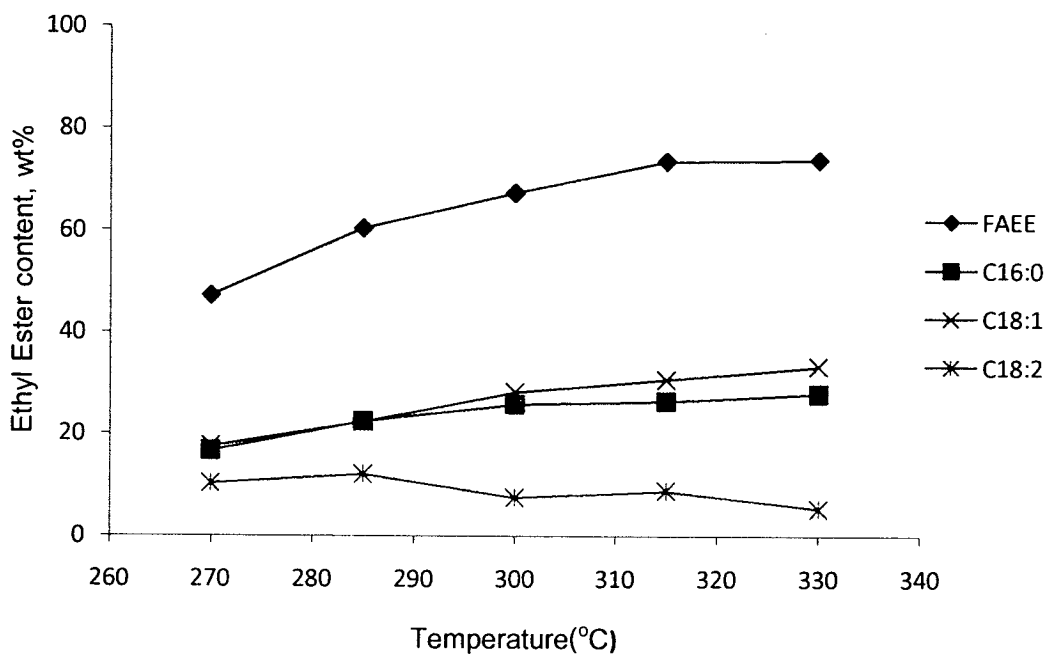
จากรูปที่ 4.2 แสดงผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์โดย ใช้ น้ำมันปาล์มใช้แล้วเป็นสารตั้งต้น การทดลองใช้ภาวะเดียวกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ จากกราฟ

พบว่าเมื่ออุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นและร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้รับคงที่ที่อุณหภูมิมากกว่า 315 องศาเซลเซียสซึ่งมีผลเช่นเดียวกับผลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิ 300 315 และ 330 องศาเซลเซียส ได้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ 67.30 73.43 และ 73.68 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของร้อยละผลได้ของเอทิลปาล์มิตเตต เอทิลโพลิเอตและเอทิลลิโนเลต พบว่าร้อยละผลได้ของเอทิลปาล์มิตเตตและเอทิลโพลิเอตเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ส่วนร้อยละผลได้ของเอทิลลิโนเลตที่ได้รับเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียสทำให้ร้อยละผลได้ของเอทิลลิโนเลตลดลงเนื่องจากการสลายตัวทางความร้อนเช่นเดียวกับผลของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ทำให้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์มีค่าคงที่เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 315 องศาเซลเซียส

ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Silva และคณะ (2010) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องในเอทานอลภาวะเหนือวิกฤตจากน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าได้รับร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่ง Eun-Seok (2008) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการกลั่นในเมทานอลภาวะเหนือวิกฤต พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาในเมทานอลภาวะเหนือวิกฤตส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิในการเกิดมากเกินไปก็ส่งผลเสีย อุณหภูมิมากกว่า 350 องศาเซลเซียสทำให้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ลดลงเนื่องจากเมทิลเอสเทอร์เกิดการสลายตัวทางความร้อน โดย Imahara (2008) ศึกษาการสลายตัวทางความร้อน (thermal decomposition) ของเมทิลเอสเทอร์ในเมทานอลภาวะเหนือวิกฤต พบว่าเมทิลปาล์มิตเตตและเมทิลสเตียเรตซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดจากกรดไขมันอิ่มตัวเกิดการสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เมทิลโพลิเอตและเมทิลลิโนเลตซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดการสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ โดยใช้อัตราการป้อนของสาร 3.5 มิลลิลิตรต่ออนาที ความดัน 20 เมกะพาสคัลและ อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 30:1



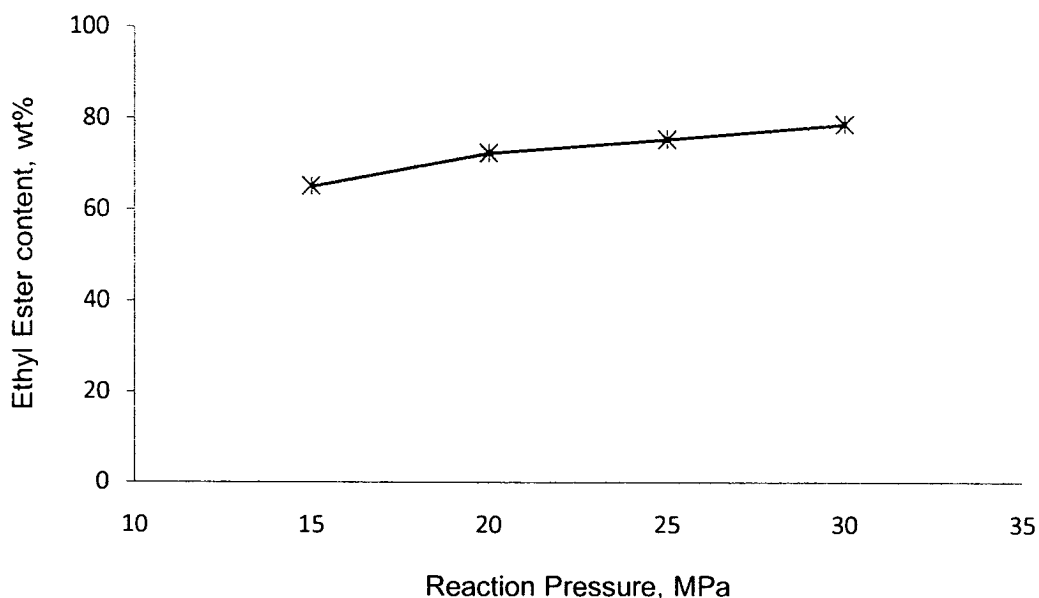
รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว โดยใช้อัตราการป้อนของสาร 3.5 มิลลิลิตรต่ออนาที ความดัน 20 เมกะพาสคัลและ อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 30:1

4.4 ผลของความดันของปฏิกิริยา

ความดันเป็นหนึ่งในหลายปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในแอลกอฮอล์ภาวะเหนือวิกฤต เอทานอลมีอุณหภูมิวิกฤต 243.05 องศาเซลเซียสและความดัน 6.4 เมกะพาสคัล งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความดันที่ใช้ในปฏิกิริยาของการผลิตไบโอดีเซลในเอทานอลภาวะเหนือวิกฤตโดยใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มใช้แล้ว พิจารณาที่ความดันที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาในช่วง 15-30 เมกะพาสคัล อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 39 นาทีและอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันพืช 30:1

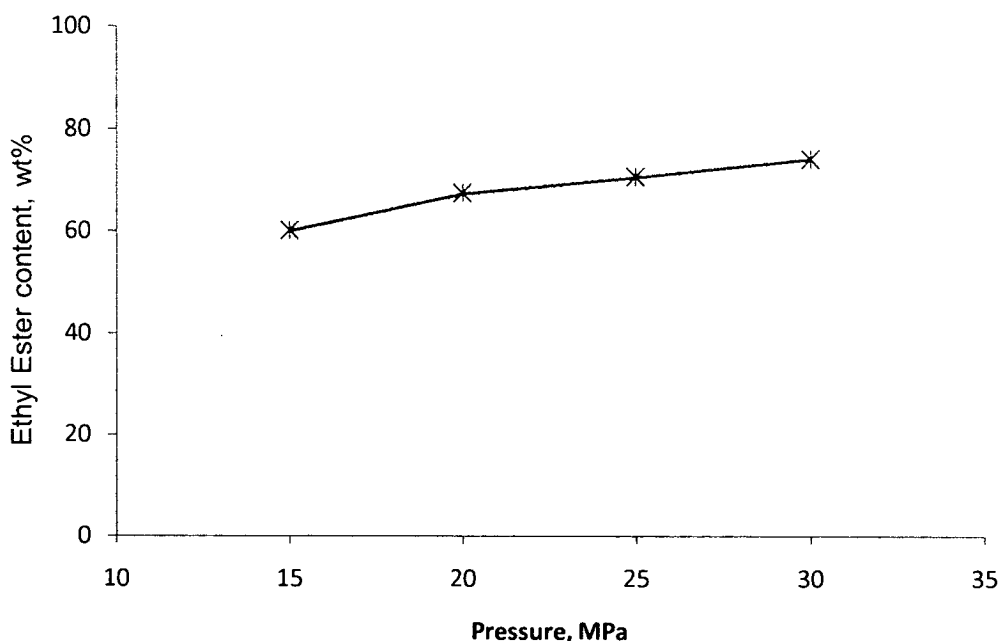
จากรูปที่ 4.3 แสดงผลของความดันที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ที่ใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นสารตั้งต้น พบว่าเมื่อเพิ่มความดันในการเกิดปฏิกิริยาส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น โดยความดันเท่ากับ 15 20 25 และ 30 เมกะพาสคัลได้รับร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ 64.93 72.18 75.23 และ 78.49 ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มความดันทำให้ความหนาแน่นของสารผสมระหว่างน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กับเอทานอลเพิ่มมากขึ้นและลดความเป็นขั้วของเอทานอลลงส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น

จากรูปที่ 4.4 แสดงผลของความดันที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ที่ใช้น้ำมันปาล์มใช้แล้วเป็นสารตั้งต้น ผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เมื่อเพิ่มความดันในการเกิดปฏิกิริยาส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น โดยความดันเท่ากับ 15 20 25 และ 30 เมกะพาสคัลได้รับร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ 60.05 67.30 70.50 และ 72.80 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ผลของความดันต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ โดยใช้อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนของสาร 3.5 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 30:1

ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Silva และคณะ (2010) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องในเอทานอลภาวะเหนือวิกฤตจากน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าเมื่อเพิ่มความดันส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นตามลำดับ จาก He และคณะ (2007) พบว่า การเพิ่มความดันทำให้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น โดยร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจาก 43 ที่ความดัน 10 เมกะพาสคัล เป็น 73 ที่ความดัน 23 เมกะพาสคัล แต่ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเพิ่มความดันมากกว่า 23 เมกะพาสคัล Bunyakit และคณะ (2006) พบว่า การเพิ่มความดันที่ภาวะเหนือวิกฤตมีผลเพียงเล็กน้อยต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เนื่องจากการเพิ่มความดันจาก 10 ถึง 19 เมกะพาสคัล ได้รับร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ 65.82 และ 67.64 ตามลำดับ การใช้ความดันมากกว่า 20 เมกะพาสคัลไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากได้รับร้อยละผลได้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาแพง [Silva et.al, 2010]



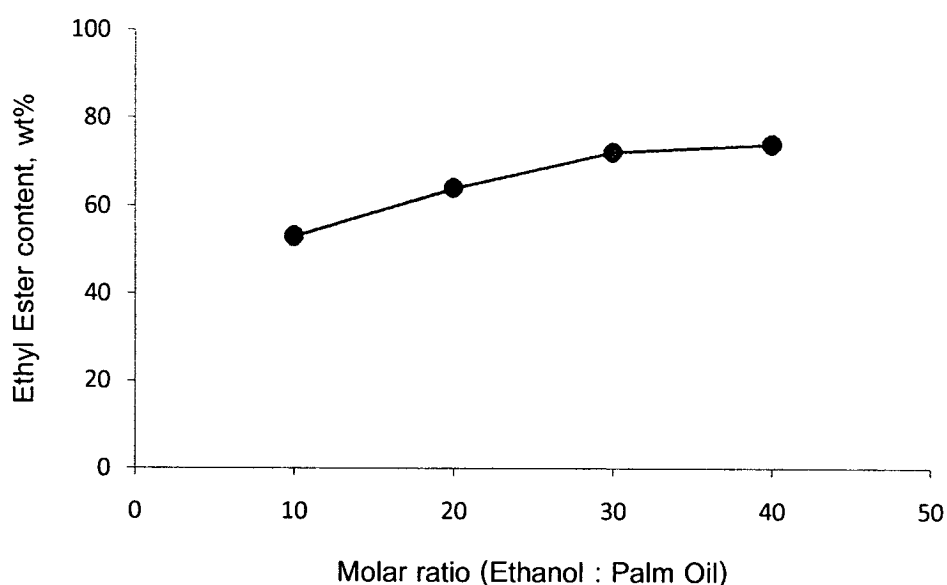
รูปที่ 4.4 ผลของความดันต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว โดยใช้อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนของสาร 3.5 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 30:1

4.5 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันพืช

การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันพืชที่ส่งผลต่อการผลิตเอทิลเอสเทอร์ในเอทานอลภาวะเหนือวิกฤตโดยใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มใช้แล้วเป็นสารตั้งต้น พิจารณาอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันพืชที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาในช่วง 10:1-40:1 โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนของสาร 3.5 มิลลิลิตรต่อนาทีและความดัน 20 เมกะพาสคัล

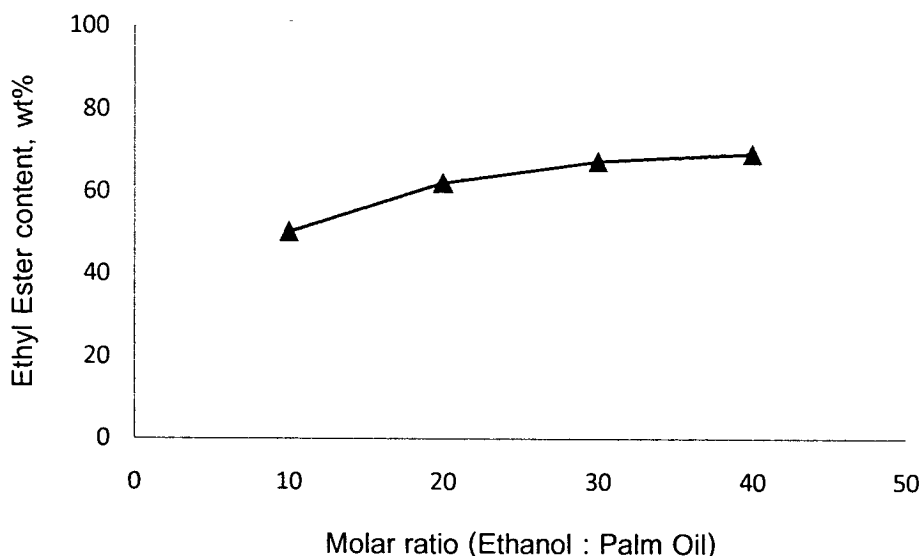
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันต้องการอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อไตรกลีเซอไรด์ 3:1 ตามทฤษฎี แต่สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันในแอลกอฮอล์ภาวะเหนือวิกฤตนั้นต้องการเอทานอลมากเกินไปเพื่อผลักดันของปฏิกิริยาไปข้างหน้าและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับเอทานอล จากรูปที่ 4.5 เป็นผลการทดลองที่แสดงผลของอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มทำให้ได้รับร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น อัตราส่วนโดยโมล 10:1 20:1 และ 30:1 ได้รับ

ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ 53.18 62.02 และ 67.30 แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลเป็น 40:1 ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ที่ได้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณของเอทานอลมากเกินไป พอลจึงไม่มีผลต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์



รูปที่ 4.5 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์โดยใช้อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ความดัน 20 เมกะพาสคัล และอัตราการป้อนของสาร 3.5 มิลลิลิตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.6 แสดงผลของอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มใช้แล้วมากขึ้นทำให้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นด้วย แต่ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์เพิ่มเล็กน้อยเมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มใช้แล้วมากกว่า 30:1 ซึ่งมีผลเช่นเดียวกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์



รูปที่ 4.6 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มใช้แล้วต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์โดยใช้อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ความดัน 20 เมกะพาสคัล และอัตราการป้อนของสาร 3.5 มิลลิลิตรต่อนาที

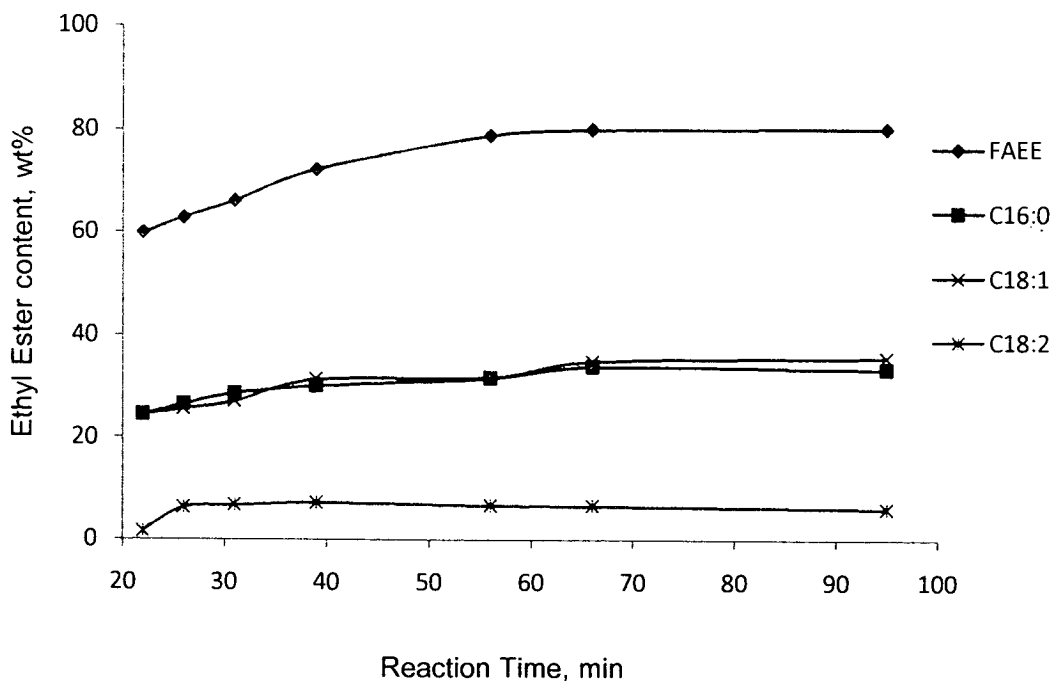
ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Silva และคณะ (2010) ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันถั่วเหลืองต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันถั่วเหลืองทำให้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วน 40:1 ได้รับร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์มากที่สุด จาก Hawash และคณะ (2009) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลในเมทานอลภาวะเหนือวิกฤตจากน้ำมันจากสบู่ดำ พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำทำให้ได้รับปริมาณของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น Song และคณะ ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลในเมทานอลภาวะเหนือวิกฤตจากน้ำมันปาล์ม พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มทำให้ได้รับปริมาณของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลมากเกินไปแต่ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์คงที่ พบว่าอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันพืชที่เหมาะสมคือ 33:1 [Tan et.al, 2010] และ 40:1 [Silva et.al, 2007] ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้

4.6 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาของการผลิตเอทิลเอสเทอร์ในเอทานอลภาวะเหนือวิกฤตโดยใช้น้ำมันปาล์มและน้ำมันปาล์มใช้แล้วเป็นสารตั้งต้น พิจารณาเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาในช่วง 20-30 นาที โดยที่ให้อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันพืช 30:1 และความดัน 20 เมกะพาสคัล

ดังรูปที่ 4.7 แสดงผลของเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ จากผลการทดลองพบว่าการใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาจาก 22 นาทีไปจนถึง 54 นาทีส่งผลให้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมันพืชกับเอทานอลภาวะเหนือวิกฤตมีเวลาในการสัมผัสกันมากขึ้น โดยที่เวลา 31 39 และ 56 นาที ด้ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ 66.05 77.05 และ 78.8 ตามลำดับ แต่เมื่อให้เวลาของการเกิดปฏิกิริยามากกว่า 54 นาทีทำให้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์มีอัตราการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น โดยที่เวลา 66 นาที และ 95 นาที ด้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ 79.89 กับ 80.14 ตามลำดับ เนื่องจากที่เวลาของการเกิดปฏิกิริยามากกว่า 54 นาที ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันเข้าสู่ภาวะสมดุลจึงทำให้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์คงที่ เมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของเอทิลปาล์มเตรต เอทิลโอล์เอต และเอทิลลิโนเลเอต พบว่า เอทิลปาล์มเตรต เอทิลโอล์เอตและเอทิลลิโนเลเอตมีแนวโน้มเดียวกันคือร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แต่ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ทั้งสามตัวมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลามากกว่า 54 นาที

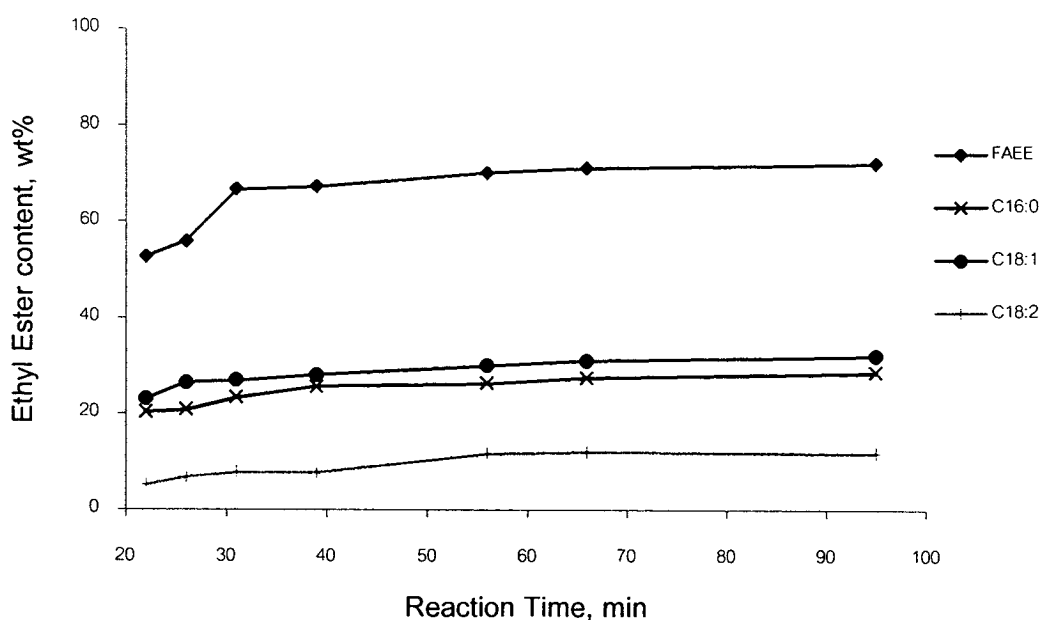
จากรูปที่ 4.8 แสดงถึงผลของเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว ผลของน้ำมันปาล์มใช้แล้วมีแนวโน้มเดียวกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เมื่อให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นด้วย โดยที่เวลา 31 39 และ 54 นาที ด้ร้อยละเอทิลเอสเทอร์ 66.76 67.30 และ 70.17 ตามลำดับ แต่เมื่อให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยามากกว่า 54 นาที ด้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์มีอัตราการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยที่เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 66 และ 95 นาที ด้ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ 71.20 กับ 72.15 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเอทิลเอสเทอร์แต่ละชนิด พบว่า เอทิลปาล์มเตรต เอทิลโอล์เอตและเอทิลลิโนเลเอตมีแนวโน้มเดียวกันคือร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แต่ร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์แนวโน้มคงที่เมื่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากกว่า 54 นาที



รูปที่ 4.7 ผลของเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ โดยใช้อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 30:1 และความดัน 20 เมกะพาสคัล

ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Silva และคณะ (2010) ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์ พบว่า การเพิ่มเวลาของการเกิดปฏิกิริยาส่งผลต่อค่าการเปลี่ยนของไตรกลีเซอไรด์สูงขึ้นและได้รับร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์มากขึ้น จาก Quesada-Medina (2011) ศึกษาการสลายตัวของเมทิลเอสเทอร์ในระหว่างการผลิตไบโอดีเซลในเมทานอลภาวะเหนือวิกฤตจากน้ำมันถั่วเหลือง พบว่า ค่าการเปลี่ยน (conversion) ของไตรกลีเซอไรด์ในเมทานอลภาวะเหนือวิกฤตขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาของการเกิดปฏิกิริยา เมื่ออุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นจะใช้เวลาน้อยลงเพื่อทำให้ไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์อย่างสมบูรณ์ โดยที่ Imahara (2008) ศึกษาการสลายตัวทางความร้อน (thermal decomposition) ของเมทิลเอสเทอร์ในเมทานอลภาวะเหนือวิกฤต พบว่า เมทิลปาล์มิเตรตและเมทิลสเตียเรตซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดจากกรดไขมันอิ่มตัวเกิดการสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสและอัตราการสลายตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ส่วนเมทิลโอเลอิตและเมทิลลิโนเลอิตซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดการสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาและจำนวนพันธะคู่ใน

โครงสร้างเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการสลายตัวเพิ่มขึ้นด้วย Olivares-Carrillo และคณะ (2011) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลในเมทานอลภาวะเหนือวิกฤตจากน้ำมันถั่วเหลือง พบว่า เมทิลเอสเทอร์ ไม่มีการสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิ 250 และ 275 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เมทิลเอสเทอร์ไม่มีการสลายตัวทางความร้อนเมื่อเวลาของการเกิดปฏิกิริยามากกว่า 75 นาที



รูปที่ 4.8 ผลของเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว โดยใช้อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 30:1 และความดัน 20 เมกะพาสคัล

4.7 ผลการศึกษาสมบัติของเอทิลเอสเทอร์

กรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดมาตรฐานเชื้อเพลิงเพื่อกำหนดสมบัติของเชื้อเพลิง ซึ่งสมบัติทางเชื้อเพลิงเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงผลกระทบของพลังงานที่มีต่อเครื่องยนต์ภายหลังการใช้ สมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลแสดงดังตารางที่ 2.6

ภาวะที่เหมาะสมของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์คือ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 30:1 ความดัน 20 เมกะพาสคัลและเวลา 54 นาที เมื่อนำไบโอดีเซลที่ได้มาทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลดังแสดงในตารางที่ 4.5

พบว่า สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันปาล์มได้แก่ จุดวาบไฟ ความหนาแน่น และค่าดัชนีซีเทนตรงตามเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซล นอกจากนี้ความหนืดเท่านั้น อาจจะเป็นเพราะปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ที่มีเหลืออยู่จึงทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อย

สภาวะที่เหมาะสมของน้ำมันปาล์มใช้แล้วคือ อุณหภูมิ 315 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ 30:1 ความดัน 20 เมกะพาสคัลและเวลา 39 นาที จากตารางที่ 4.5 พบว่า สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันปาล์มได้แก่ จุดวาบไฟ ความหนืด ความหนาแน่นและค่าดัชนีซีเทนตรงตามเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซล

ตารางที่ 4.4 สมบัติของเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

สมบัติ	เอทิลเอสเทอร์		วิธีทดสอบ ASTM
	น้ำมันปาล์ม บริสุทธิ์	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	
ค่าความหนืด (mm/s ²)	5.50	4.55	D445
ความหนาแน่น (15.6/15.6 °C)	0.870	0.871	D1298
ค่าความร้อน(MJ/kg)	36.14	33.23	D240
จุดวาบไฟ(°C)	175	176	D92
ค่าดัชนีซีเทน	52.74	52.46	D976

เมื่อเทียบสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้กับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มใช้แล้วพบว่า กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถปรับปรุงสมบัติของน้ำมันพืชทั้งสองให้ดีขึ้น ไบโอดีเซลที่ได้สามารถทดแทนการใช้ น้ำมันดีเซลได้ การใช้ไบโอดีเซลโดยตรงจะเหมาะสมกับเครื่องยนต์ความเร็วรอบเร็วต่ำเนื่องจากค่าความร้อนของไบโอดีเซลที่ได้มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล สำหรับเครื่องยนต์ความเร็วรอบสูงสามารถใช้ได้โดยการนำไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆตามที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

ปัจจัย				ร้อยละผลได้ของ เอทิลเอสเทอร์ (wt%)
อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (MPa)	อัตราส่วนโดยโมลของ เอทานอลต่อน้ำมันพืช	เวลา (นาที)	
270	20	30	39	45.47
285	20	30	39	60.13
300	20	30	39	72.18
315	20	30	39	77.43
330	20	30	39	77.97
300	15	30	39	64.93
300	25	30	39	75.23
300	30	30	39	76.07
300	20	10	39	53.02
300	20	20	39	64.21
300	20	40	39	74.10
300	20	30	22	59.85
300	20	30	26	62.84
300	20	30	31	66.05
300	20	30	54	78.80
300	20	30	66	79.89
300	20	30	95	80.14

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

ปัจจัย				ร้อยละผลได้ของ เอทิลเอสเทอร์ (wt%)
อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (MPa)	อัตราส่วนโดยโมลของ เอทานอลต่อน้ำมันพืช	เวลา (นาที)	
270	20	30	39	47.15
285	20	30	39	60.30
300	20	30	39	67.30
315	20	30	39	73.43
330	20	30	39	73.68
300	15	30	39	60.50
300	25	30	39	70.50
300	30	30	39	72.80
300	20	10	39	50.10
300	20	20	39	62.30
300	20	40	39	69.20
300	20	30	22	52.76
300	20	30	26	55.97
300	20	30	31	66.76
300	20	30	54	70.17
300	20	30	66	71.20
300	20	30	95	72.15

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบผลการทดลองของงานวิจัยที่ผ่านมา

	Reactor	Vegetable oil	Condition	Ester Content wt%
Saka et.al, 2001	Batch	Rapeseed/Methanol	350°C, 1:42, 35 MPa,240s	95
Demirbas,2002	Batch	Cottonseed/Methanol	350°C, 1:41, 35 MPa,300s	95
Bunyakiat et.al., 2006	Continuous	Palm kernel/Methanol	350°C, 1:42, 19MPa	96
		Coconut/Methanol	350°C, 1:42, 19MPa	95
วิศนีย์, 2009	Continuous	Palm oil/ Methanol	350°C, 1: 29, 35 MPa,	81
Tan et.al., 2010	Batch	Palm oil/ Methanol	372°C, 1:40, 16 min	81.5
		Palm oil/ Ethanol	349°C, 1:33, 29 min	79.2
Silva et.al., 2010	Continuous	Soybean/ Ethanol	325°C, 1:20, 45 min, 20MPa	70
Vieitez et.al., 2008	Continuous	castor oil/ Ethanol	300°C, 20MPa, 0.8ml/min	75
Olivares et.al, 2011	Batch	Soybean/ Methanol	325°C, 60 min 35 MPa, 1:43	84
This study	Continuous	Refined palm oil/ Ethanol	300°C, 20MPa, 1:30, 95 min	80.14
		Used palm oil/ Ethanol	315°C, 20MPa, 1:30, 39 min	73.43

4.8 การเปรียบเทียบผลจากงานวิจัยที่ผ่านมา

จากตารางที่ 4.8 เป็นการเปรียบเทียบผลของการผลิตไบโอดีเซลในแอลกอฮอล์ภาวะเหนือวิกฤตจากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมา

จากงานวิจัยของ Carrillo และคณะ (2011) การใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่ำสามารถลดการสลายตัวทางความร้อนของไบโอดีเซลได้และการใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่ำจะต้องใช้เวลานานขึ้นเพื่อให้ค่าการเปลี่ยนของไตรกลีเซอไรด์มีค่ามากขึ้น

โดยภาพรวมผลการทดลองของงานวิจัยนี้มีผลที่สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาคือ อุณหภูมิ เวลา ความดันและอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันพืชมีผลต่อปฏิกิริยา แต่การเพิ่มอุณหภูมิมักเกินไปพร้อมกับให้เวลามากจนเกินไปทำให้เกิดผลลบต่อปริมาณการผลิตไบโอดีเซล