

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบน้ำมันสบู่น้ำดิบ

4.1.1 วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางกายภาพของน้ำมันสบู่น้ำดิบ

นำตัวอย่างน้ำมันสบู่น้ำดิบส่งทดสอบที่ภาวะแวดล้อมอุณหภูมิ $25 \pm 5^\circ\text{C}$, ความชื้นสัมพัทธ์ $60 \pm 20\%$ ในวันที่ 6 กันยายน 2553 ได้ผลดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลทดสอบของน้ำมันสบู่น้ำดิบ

รายการ	หน่วย	ผลทดสอบ	วิธีทดสอบ
ดัชนีหักเหที่ 25°C	-	1.469	Refractometer
สี (Lovibond scale, cell $5\frac{1}{4}$ ")	-	Y=80.0, R=7.6	Colorimeter
ความถ่วงจำเพาะที่ 25°C	g/mm	0.917	Hydrometer
ความหนืดที่ 25°C	เซนติสโตก	63.84	Viscometer
ค่าไอโอดีนแบบวิจส์	กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง	97.64	AOAC
ค่าสปอนิฟิเคชัน	มิลลิกรัมโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ต่อกรัมตัวอย่าง	206.49	AOAC

ตารางที่ 4.1 สามารถอธิบายค่าสำคัญๆ เช่น ค่าความหนืดของน้ำมันสบู่น้ำดิบ ซึ่งมีค่าสูงมากถึง 63.84 เซนติสโตก ค่าความหนืดของน้ำมันที่สูงนั้นแสดงถึงคุณภาพต่ำของน้ำมันสบู่น้ำดิบที่นำมาใช้ในการทดลองอาจ ดังนั้นน้ำมันสบู่น้ำดิบที่มีความหนืดมากเช่นนี้ไม่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันดีเซลได้ เพราะจะทำให้เครื่องยนต์เสียหาย ค่าไอโอดีนแบบวิจส์เป็นการวัดคุณภาพของน้ำมันพืช เริ่มต้นซึ่งควรมีค่าน้อยกว่า 120 เนื่องจากแสดงถึงพันธะคู่ที่อยู่ในไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันพืช ถ้าค่าไอโอดีนมีมากกว่า 120 จะทำให้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตออกมามีคุณภาพต่ำ เพราะพันธะคู่ที่มีอยู่มากในไตรกลีเซอไรด์หรือโครงสร้างแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated) ในสายโซ่คาร์บอน เมื่อนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซล พันธะคู่เหล่านี้ จะทำให้ค่าของซีเทนต่ำลง อีกทั้งยังเป็นตำแหน่งที่สามารถถูก

ออกซิไดซ์ (Oxidize) ได้ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้คุณภาพจะต่ำไปด้วย จากการตรวจวัดพบค่าไอโอดีนที่ 97.64 ดังนั้นน้ำมันสบู่ดำจึงเหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล

ค่าสaponification แสดงถึงขนาดของโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันหรือไขมัน โดยค่าสaponification ของน้ำมันพืชทั่วไปควรอยู่ในช่วงประมาณ 200 mgKOH/g.sample จะมีสายโซ่คาร์บอนยาว 16-18 ซึ่งเหมาะสมแก่การนำมาผลิตไบโอดีเซล นอกจากนี้ยังสามารถนำมาคำนวณกลับเพื่อหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันได้ด้วยตามสมการที่ 3.3 สามารถแสดงการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$SN_x = \frac{56 \times (1000)}{MW}$$

$$206.49 = \frac{56 \times (1000)}{MW}$$

$$Mw = 271.19 \quad g$$

ดังนั้นน้ำหนักโมเลกุลของไขมันอิสระสามารถประมาณได้เท่ากับ 271.19 g

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันสบู่ดำ

รายการองค์ประกอบของกรดไขมัน	ผลทดสอบ (ร้อยละ)
Myristic acid (C 14:0)	0.07
Palmitic acid (C 16:0)	15.19
Palmitoleic acid (C 16:0 n-7)	0.82
Heptadecanoic acid (C 17:0)	0.12
Stearic acid (C 18:0)	6.32
Oleic acid (C 18:1 n-9)	41.53
Linoleic acid (C 18:2 n-6)	35.27
Arachidic acid (C 20:0)	0.07
Cis-11-Eicosenoic acid (C 20:1 n-9)	0.04
Behenic acid (C 22:0)	0.04
Ligoceric acid (C 24:0)	0.04
Unidentified peak	0.15

* ทดสอบโดยห้องปฏิบัติการชีวเคมีและจุลชีววิทยา ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา (ศทม.) จังหวัดสมุทรปราการ

ตารางที่ 4.2 เป็นผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่พบในน้ำมันสบู่อำด้วยเทคนิค Gas chromatography จากตารางพบว่าโมเลกุลของน้ำมันสบู่อำที่วิเคราะห์ได้นั้นส่วนใหญ่เป็น Oleic acid 35.27% และ Linoleic acid 41.53% ซึ่งน้ำมันประเภทนี้มีสายโซ่คาร์บอนที่ยาวถึง 18 ตัวจึงเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล นอกจากนั้นสามารถคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยคำนวณตามตารางที่ 4.3 และสมการที่ 4.1

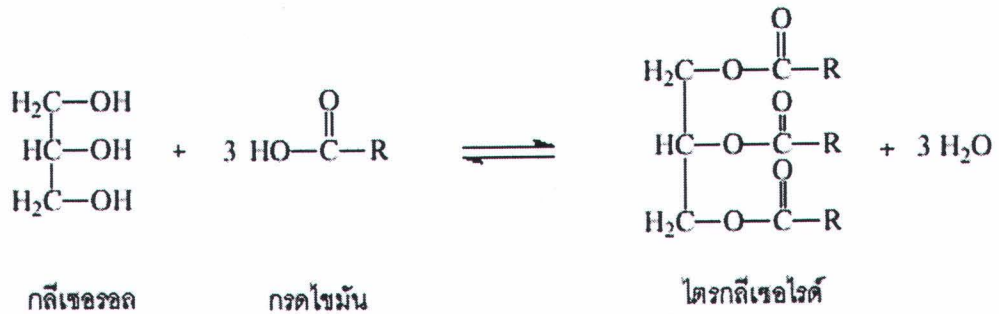
ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันสบู่อำ

ชนิดของกรดไขมัน	สูตร โมเลกุล	น้ำหนัก โมเลกุล	ร้อยละน้ำหนัก ของกรดไขมัน	น้ำหนักของกรดไขมัน ที่อยู่ในน้ำมันสบู่อำ
Myristic acid	$C_{14}H_{28}O_2$	228.37	0.07	15.99
Palmitic acid	$C_{16}H_{32}O_2$	256.42	15.19	3895.02
Palmitoleic acid	$C_{16}H_{30}O_2$	254.41	0.82	208.62
Heptadecanoic acid	$C_{17}H_{34}O_2$	270.45	0.12	32.45
Stearic acid	$C_{18}H_{36}O_2$	284.48	6.32	1797.91
Cis-9, Octadecenoic acid	$C_{18}H_{34}O_2$	282.46	41.53	11730.56
Cis-9,12-Octadecadienoic acid	$C_{18}H_{32}O_2$	280.45	35.27	9891.47
Arachidic acid	$C_{20}H_{40}O_2$	312.53	0.07	21.88
Cis-11-Eicosenoic acid	$C_{20}H_{38}O_2$	310.51	0.04	12.42
Behenic acid	$C_{22}H_{44}O_2$	340.58	0.04	13.62
Lignoceric acid	$C_{24}H_{48}O_2$	368.64	0.04	14.74
			ผลรวม	$27635/100 = 276.35$

$$\frac{\sum(Mw \times \text{ร้อยละองค์ประกอบของไขมันแต่ละชนิด})}{\text{ผลรวมร้อยละน้ำหนักของกรดไขมัน}} = \text{ค่าเฉลี่ยกรดไขมันอิสระ}$$

4.1

จะได้ค่าเฉลี่ยของกรดไขมันของน้ำมันสบู่ดำ คือ 276.35 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณจากค่าสปอนนิฟิเคชัน จากนั้นสามารถนำน้ำหนักของไขมันอิสระเฉลี่ยมาหาน้ำหนักของน้ำมันสบู่ดำในรูปของไตรกลีเซอไรด์ได้ดังรูปที่ 4.1 ต่อไปนี้



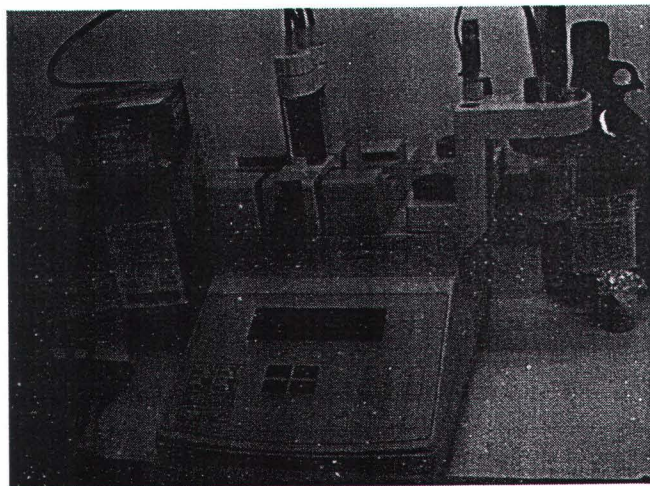
รูป 4.1 สูตรโครงสร้างของไตรกลีเซอรินหรือน้ำมันพืช

$$[(12 \times 3) + (16 \times 3) + (1 \times 8)] + [276.35 \times 3] = \text{ไตรกลีเซอไรด์} + [3 \times 18]$$

$$\text{ไตรกลีเซอไรด์} = 921.05 - 54 = 867.05 \text{ g/mol}$$

จะได้น้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ คือ 867.05 g/mol

4.1.2 ตรวจสอบค่าความเป็นกรดของน้ำมันสบู่ดำดิบหลังจากหีบออกมาด้วยเครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด



รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรด

การใช้เครื่องวิเคราะห์ความเป็นกรดนั้นต้องทำการ Trial and error โดยทำการชั่งน้ำหนักของน้ำมันพืชไปตรวจสอบค่าจนกว่าเครื่องจะสามารถแสดงผลการทดสอบออกมาได้ ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของการไตเตรดที่น้ำหนักต่างๆ

ค่าของกรด	น้ำหนักน้ำมันพืช ($\pm 10\%$) กรัม	ค่าความเป็นกรดที่วัดได้
0-1	20	-
1-4	10	-
4-15	2.50	14.2
15-75	0.50	-
มากกว่า 75	0.10	-

จากตารางที่ 4.4 เมื่อทราบว่าเครื่องสามารถวัดความเป็นกรดได้เมื่อชั่งน้ำหนักน้ำมันพืชที่ 2.50 g จึงทำการทดลองซ้ำอีก 3 ครั้งได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลของการไตเตรดที่น้ำหนัก 2.5 ($\pm 10\%$) กรัม

ค่าของกรด	ค่าความเป็นกรดที่วัดได้ (mg.KOH/g น้ำมัน)	ค่า FFA
2.5004	14.2	7.10
2.5002	14.3	7.15
2.5006	14.2	7.10
เฉลี่ย	14.23	7.115

ดังนั้นค่าความเป็นกรดของน้ำมันสุญค่าที่ใช้ในการวิจัยคือ 14.23 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่สูงมากอาจเนื่องมาจากน้ำมันสุญค่าอาจจะมีการหีบและเก็บไว้นานทำให้เกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสไตรกลีเซอไรด์กลายเป็นกรดไขมันอิสระจำนวนมากแต่ค่ากรดไขมันสูงๆ ไม่สร้างปัญหาแก่กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีสถานะเหนือจุดวิกฤตโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1.3 ผลการวัดปริมาณน้ำในน้ำมันสนูปดำดิบ

ตารางที่ 4.6 ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันสนูปดำดิบ

ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)	ปริมาณน้ำ (%)
1	0.6568	0.17
2	0.6169	0.15
3	0.6023	0.15
เฉลี่ย		0.157

จากตารางที่ 4.6 พบว่าน้ำมันสนูปดำดิบที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้มีค่าปริมาณน้ำเท่ากับ 0.157% ซึ่งในปริมาณน้ำนี้ ถ้าใช้ทำปฏิกิริยาโดยมีค่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้เกิดสนูป ซึ่งเป็นปฏิกิริยาข้างเคียงแต่ในกระบวนการผลิตในสถานะเหนือวิกฤตโดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง อีกทั้งน้ำยังช่วยให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไตรกลีเซอไรด์มาเป็นกรดไขมัน ซึ่งกรดไขมันสามารถทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤตได้ดีทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์มากขึ้น

4.2 ผลการทดสอบการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยไม่มีตัวเร่งในปฏิกิริยาในสถานะที่เมทานอลอยู่เหนือจุดวิกฤต

4.2.1 ผลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงไปต่อการเกิดปฏิกิริยาไบโอดีเซล

จากขั้นตอนที่ 4.1 ทำให้ผู้วิจัยทราบน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันสนูปดำจึงนำมาคำนวณเป็นโมลน้ำมันต่อเมทานอลและปรับอัตราส่วนให้ได้ปริมาตร 150 ml เพื่อให้สามารถใส่ลงไปในรีแอกเตอร์ขนาด 250 ml ได้ดังตารางที่ 4.7

ตาราง 4.7 การคำนวณอัตราส่วน โมลของน้ำมันต่อเมทานอล

โมลน้ำมัน	โมลเมทานอล	ปรับอัตราส่วน	โมลน้ำมัน	โมลเมทานอล
1	30		6.935×10^{-2}	2.08
1	40		5.845×10^{-2}	2.34
1	50		5.048×10^{-2}	2.52
1	60		4.50×10^{-2}	2.70

และจากตารางที่ 4.7 สามารถเปลี่ยนโมลของน้ำมันและโมลของเมทานอลที่ทำการปรับอัตราส่วนแล้วเป็นน้ำหนัก (กรัม) เพื่อให้สะดวกต่อการชั่งและการทำงานวิจัยสามารถปรับได้ดังวิธีคำนวณดังต่อไปนี้จะได้ผลดังตารางที่ 4.8

$$\text{โมลน้ำมัน} \times \text{น้ำหนักโมเลกุลของน้ำมัน} = 0.06934 \times 867.05 = 60.12\text{g}$$

$$\text{โมลเมทานอล} \times \text{น้ำหนักโมเลกุลของเมทานอล} = 2.0805 \times 32 = 66.57$$

ตารางที่ 4.8 การคำนวณอัตราส่วนโดยน้ำหนักของน้ำมันต่อเมทานอล

น้ำหนักของน้ำมัน (กรัม)	น้ำหนักของเมทานอล (กรัม)
60.12	66.58
50.67	74.82
43.76	80.77
39.01	86.40

จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้จากตารางที่ 4.8 มาทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์อุณหภูมิและความดันสูง ณ อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 30 60 และ 120 นาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9 – 4.12

ตารางที่ 4.9 อัตราส่วนของน้ำมันต่อเมทานอลที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ณ อุณหภูมิ 300 °C ความดัน 90-120 bar เป็นเวลา 30 นาที

น้ำหนักน้ำมัน ($\pm 0.50\text{g}$)	น้ำหนักเมทานอล ($\pm 0.50\text{g}$)
60.69	66.66
51.83	75.78
43.69	80.83
39.45	87.01

ตารางที่ 4.10 อัตราส่วนของน้ำมันต่อเมทานอลที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ณ อุณหภูมิ 300 °C ความดัน 90-120 bar เป็นเวลา 60 นาที

น้ำหนักน้ำมัน ($\pm 0.50\text{g}$)	น้ำหนักเมทานอล ($\pm 0.50\text{g}$)
60.25	66.51
50.79	74.70
44.25	80.77
39.82	87.49

ตารางที่ 4.11 อัตราส่วนของน้ำมันต่อเมทานอลที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ณ อุณหภูมิ 300 °C ความดัน 90-120 bar เป็นเวลา 120 นาที

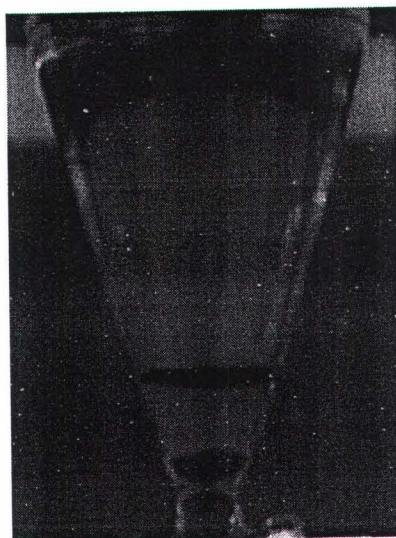
น้ำหนักน้ำมัน ($\pm 0.50\text{g}$)	น้ำหนักเมทานอล ($\pm 0.50\text{g}$)
60.37	66.89
50.49	74.77
43.95	80.81
39.33	86.68

จากนั้นนำผลิตผลของไบโอดีเซลที่ได้ในแต่ละสภาวะ มาเปรียบเทียบเพื่อหาสภาวะที่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้มากที่สุดได้ดังตารางที่ 4.12

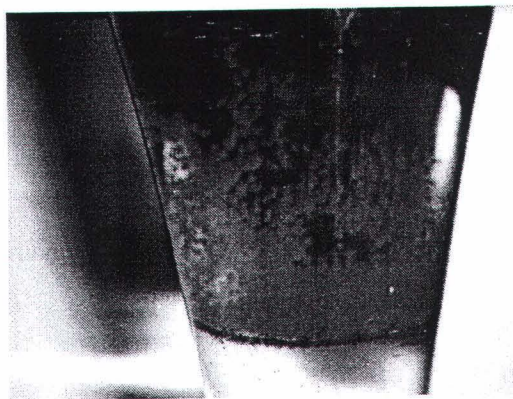
ตารางที่ 4.12 ปริมาณผลิตผลการผลิตไบโอดีเซล ณ อุณหภูมิ 300 °C ความดัน 90-120 bar เป็นเวลา 30, 60 และ 120 นาที

อัตราส่วนโดยโมล	ester yield 30 นาที	SD	ester yield 60 นาที	SD	ester yield 120 นาที	SD
30 : 1	69.36	1.237083	90.62	0.762538	95.53	0.733925
40 : 1	85.45	0.544083	90.35	0.614892	95.64	0.187161
50 : 1	89.98	0.134562	94.19	1.382338	95.54	0.235743
60 : 1	87.60	0.58198	88.31	1.115982	89.53	0.347098

หลังจากทำปฏิกิริยาครบตามเวลาที่กำหนดแล้วจะผลิตไบโอดีเซลออกมาได้ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4

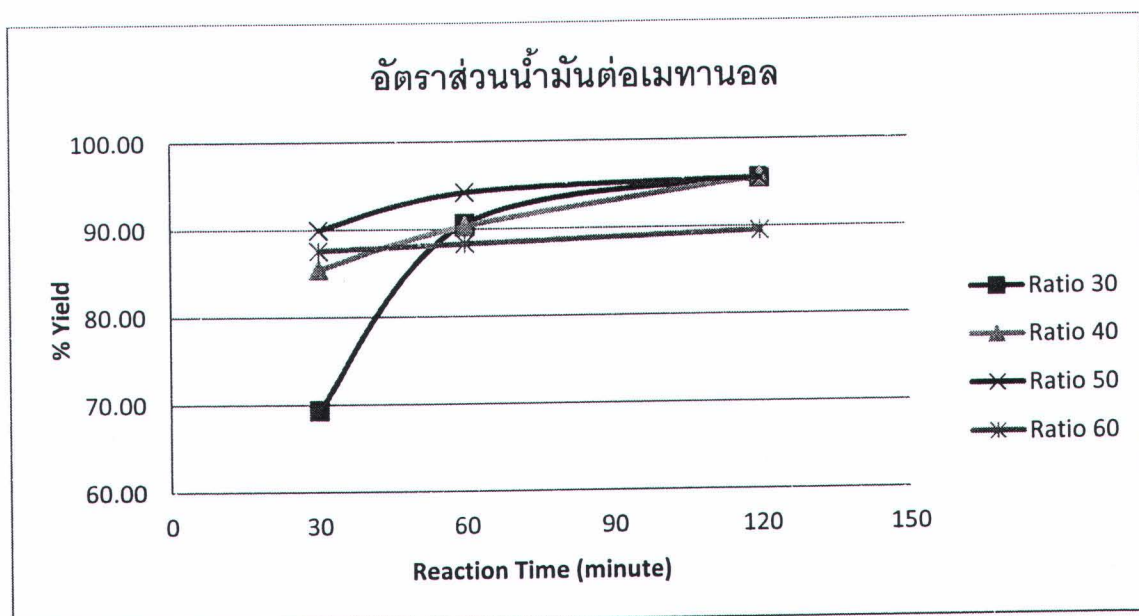


รูปที่ 4.3 ลักษณะไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่เกิดขึ้นหลังจากทำปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 4.4 ลักษณะไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่เกิดขึ้นหลังจากทำปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์บางส่วน

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.5 เพื่อทำการเปรียบเทียบหาสภาวะที่ดีที่สุดในการเกิดผลิตผลไบโอดีเซล

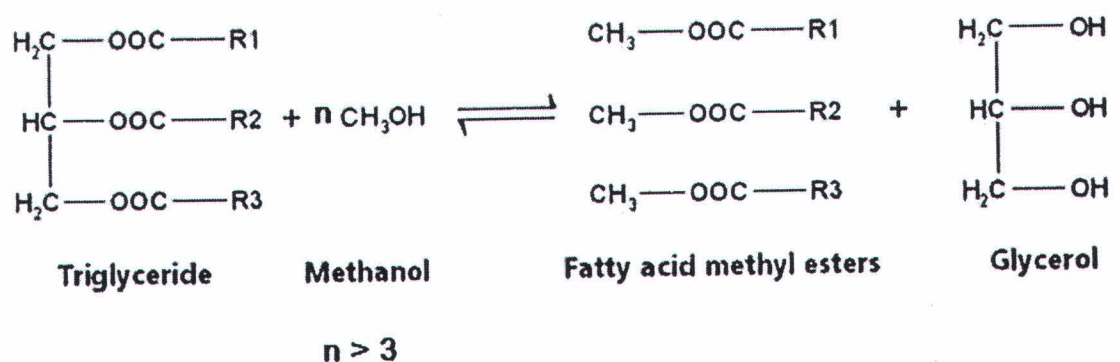


รูปที่ 4.5 ผลต่อการเกิดไบโอดีเซลเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมล

จากรูปที่ 4.5 สามารถอธิบายผลจากการวิจัยได้สองส่วน คือ ผลของอัตราส่วนน้ำมันสบู่อำตร้าต่อเมทานอลเริ่มต้นในปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

- เนื่องจากในทางปฏิบัติอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันสบู่อำตร้าจะมีผลในการเกิดไบโอเซลจากการทดลองพบว่า เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันสบู่อำตร้าจาก 30:1 เป็น

50:1 จะเกิดไบโอดีเซลได้มากขึ้นตามลำดับเนื่องจากการเพิ่มจำนวนโมลของเมทานอลจะทำให้สมดุลในการเกิดปฏิกิริยาเลื่อนไปข้างหน้าฝั่งทำให้เกิดเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรินมากขึ้นดังรูปที่ 4.6 โดยอัตราส่วนที่เพิ่มได้สูงสุดคือ 50:1 แต่เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนจาก 50:1 เป็น 60:1 พบว่าผลผลิตของไบโอดีเซลเกิดลดลงเล็กน้อย คล้ายกับผลงานวิจัยของ Kok. Tan และคณะ[14] เนื่องจากการใช้เมทานอลมากเกินไป จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเมทานอลและน้ำมันสบู่ดำ ทำให้เกิดผลผลิตไบโอดีเซลมากขึ้น แต่เมื่อจำนวนของเมทานอลที่มากเกินไปในระบบพื้นที่ผิวของเมทานอลจะสัมผัสกันเอง จึงลดพื้นที่ผิวสัมผัสส่วนนี้ได้เช่นกัน ทำให้ผลผลิตของไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นลดน้อยลงเล็กน้อย โดยจากผลการวิจัยการเพิ่มอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันสามารถเพิ่มผลผลิต (Yield) จาก 70% เป็น 90% ณ อัตราส่วนโดยโมล 30:1 ถึง 50:1 อุณหภูมิ 300 °C เวลา 30 นาที จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาน้อย อัตราส่วนโดยโมลจะมีผลต่อผลผลิตไบโอดีเซลค่อนข้างมากเพราะในช่วงแรกของการทำปฏิกิริยา เมทานอลจะมีปริมาณมากเกินไปอยู่หลายๆ ทำให้อัตราการเกิดเมทิลเอสเทอร์เป็นไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมทานอลในระบบก็จะลดน้อยลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน เมื่อเมทานอลในระบบลดลงจากเดิมมาก จึงทำให้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันลดลงมาก การเกิดปฏิกิริยาก็จะช้าลงตามลำดับ ดังนั้นเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลเพิ่มขึ้นเป็น 40 50 ตามลำดับจึงทำให้ผลผลิตของไบโอดีเซลเกิดเพิ่มขึ้นอย่างมาก ณ เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นๆ เพียง 30 นาที



รูปที่ 4.6 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ทำให้ค่าเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น

- จากผลการวิจัยพบว่าเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ขึ้นเนื่องจากการใช้อุณหภูมิ ณ 300 °C จะทำให้มีพลังงานสูงอยู่ในระบบ พลังงานจะถูกใช้ไปในการสลายพันธะไตรกลีเซอไรด์ เป็น ไคกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระก่อน และไตรกลีเซอไรด์จะถูกเปลี่ยนเป็น

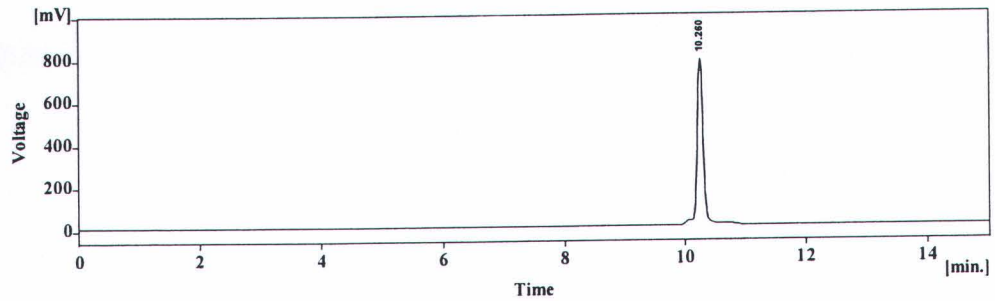
โมโนกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระดังรูปที่ 4.7 ดังนั้นเวลาจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลเกิดสมบูรณ์ขึ้น นอกจากนั้นเมทานอลในระบบจะถูกใช้ไปตลอดเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพื่อผลิตเป็นเมทิลเอสเทอร์ ดังนั้นเมื่อเมทานอลในระบบน้อยลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงน้อยลงด้วย จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อควบคุมเวลาในการเกิดปฏิกิริยาอยู่ที่ 60 นาที ทุกอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันสุญุดำจะให้ผลิตผลของไบโอดีเซลสูงขึ้นถึง 90% เนื่องจากเมทานอลที่เหลืออยู่ในระบบยังเพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาดังนั้นเมื่อเวลามากเพียงพอปฏิกิริยาการเกิดไบโอดีเซลจึงสามารถดำเนินต่อไปได้ และเมื่อเพิ่มเวลาเป็น 120 นาที พบว่าทุกอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันสุญุดำ จะให้ผลิตผลของไบโอดีเซลสูงขึ้นเป็น 95% จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มเวลามากขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาของไบโอดีเซลจะเกิดช้าลงอย่างมากเนื่องจากปฏิกิริยาเกิดใกล้จุดสมดุล จำนวนโมลของเมทิลเอสเทอร์ และกลีเซอรินที่อยู่ในปฏิกิริยาก็จะมีปริมาณมาก และเมื่อปฏิกิริยาการผลิตเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นจำนวนฝั่งผลิตผลจึงอาจจะดันสมดุลปฏิกิริยากลับไปทางสารตั้งต้นทำให้เมทิลเอสเทอร์สามารถเกิดได้สูงสุดประมาณ 95%



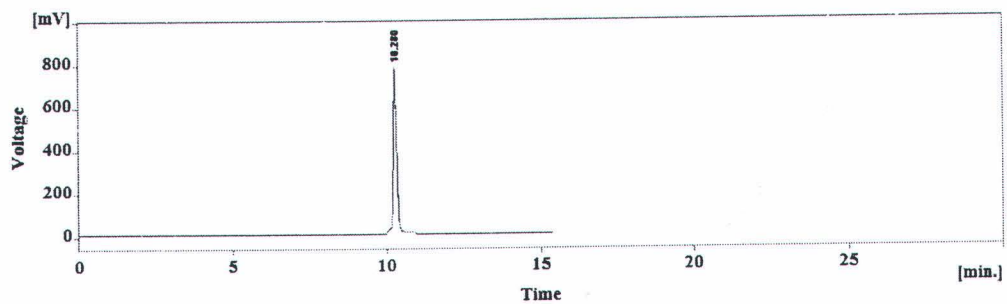
รูปที่ 4.7 การเกิดปฏิกิริยาไบโอดีเซลโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.2.1.1 การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ได้จากเครื่องผลิตไบโอดีเซล

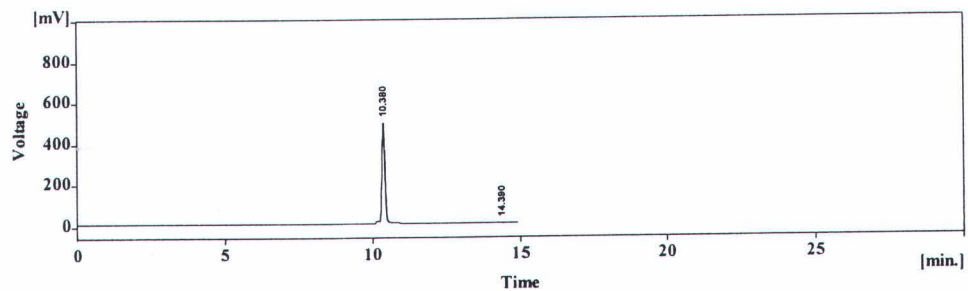
การวิเคราะห์หาค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ HPLC ซึ่งผลที่ได้แสดงดังโครมาโตแกรมในรูปที่ 4.8-4.20



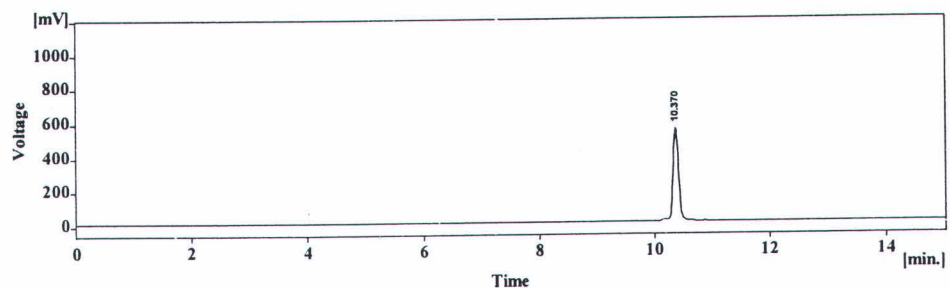
รูปที่ 4.8 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้สภาวะในการทดลองที่ molar ratio 30 : 1, $T = 300^{\circ}\text{C}$, Reaction time = 30 min จากเครื่อง HPLC



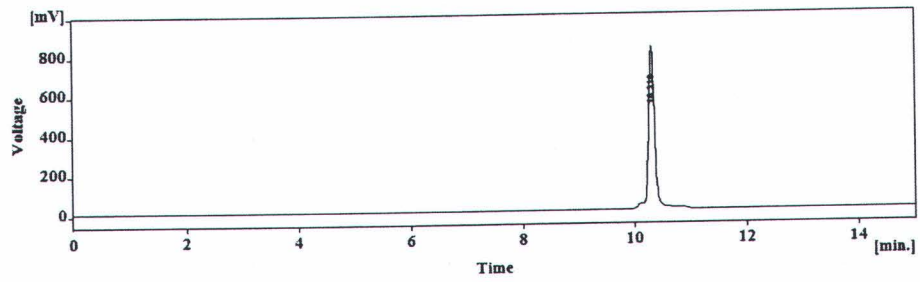
รูปที่ 4.9 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้สภาวะในการทดลองที่ molar ratio 30 : 1, $T = 300^{\circ}\text{C}$, Reaction time = 60 min จากเครื่อง HPLC



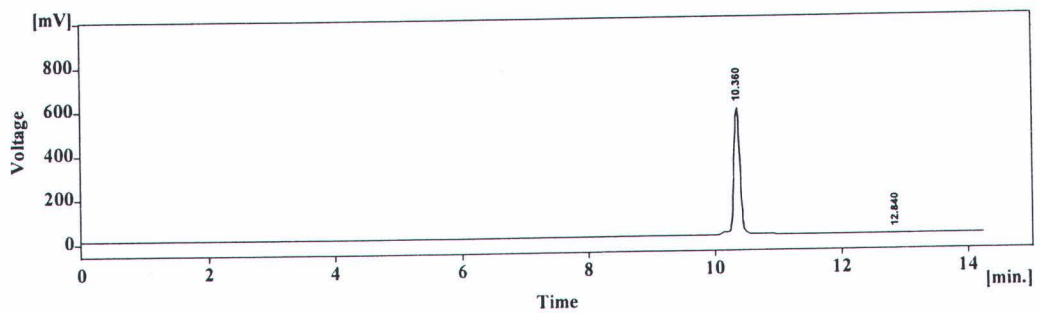
รูปที่ 4.10 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้สภาวะในการทดลองที่ molar ratio 30 : 1, $T = 300^{\circ}\text{C}$, Reaction time = 120 min จากเครื่อง HPLC



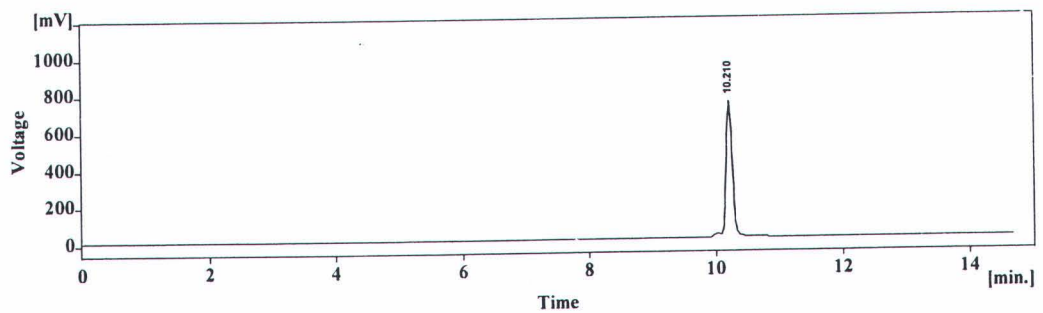
รูปที่ 4.11 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้สภาวะในการทดลองที่ molar ratio 40 : 1, $T = 300^{\circ}\text{C}$, Reaction time = 30 min จากเครื่อง HPLC



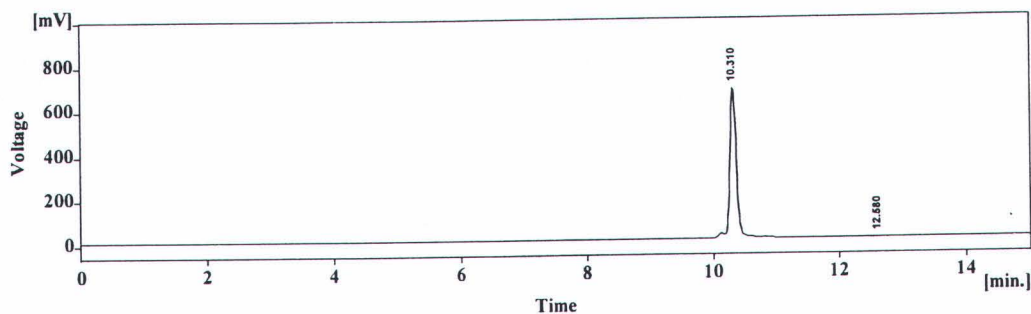
รูปที่ 4.12 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้สภาวะในการทดลองที่ molar ratio 40 : 1, $T = 300^{\circ}\text{C}$, Reaction time = 60 min จากเครื่อง HPLC



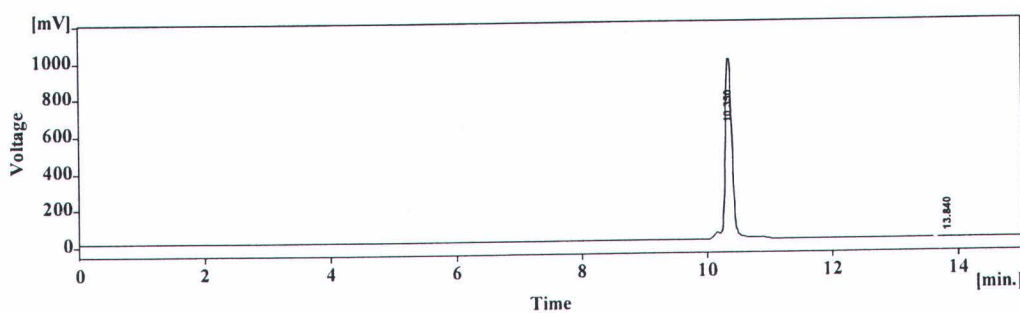
รูปที่ 4.13 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้สภาวะในการทดลองที่ molar ratio 40 : 1, $T = 300^{\circ}\text{C}$, Reaction time = 120 min จากเครื่อง HPLC



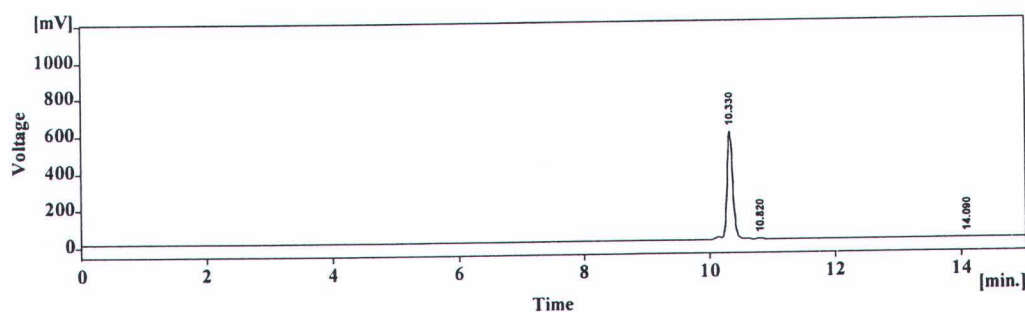
รูปที่ 4.14 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้สภาวะในการทดลองที่ molar ratio 50 : 1, $T = 300^{\circ}\text{C}$, Reaction time = 30 min จากเครื่อง HPLC



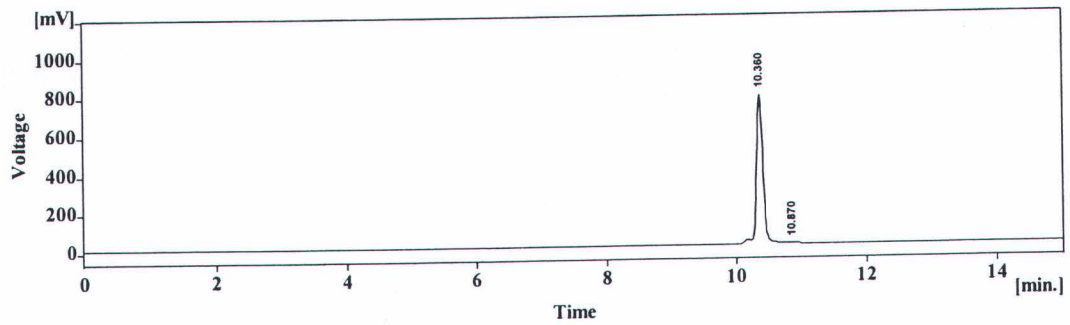
รูปที่ 4.15 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้สภาวะในการทดลองที่ molar ratio 50 : 1, $T = 300^{\circ}\text{C}$, Reaction time = 60 min จากเครื่อง HPLC



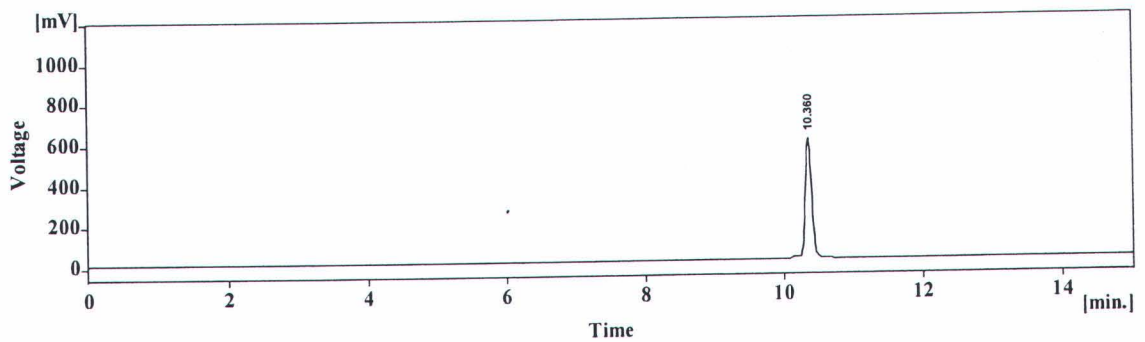
รูปที่ 4.16 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้สภาวะในการทดลองที่ molar ratio 50 : 1, $T = 300^{\circ}\text{C}$, Reaction time = 120 min จากเครื่อง HPLC



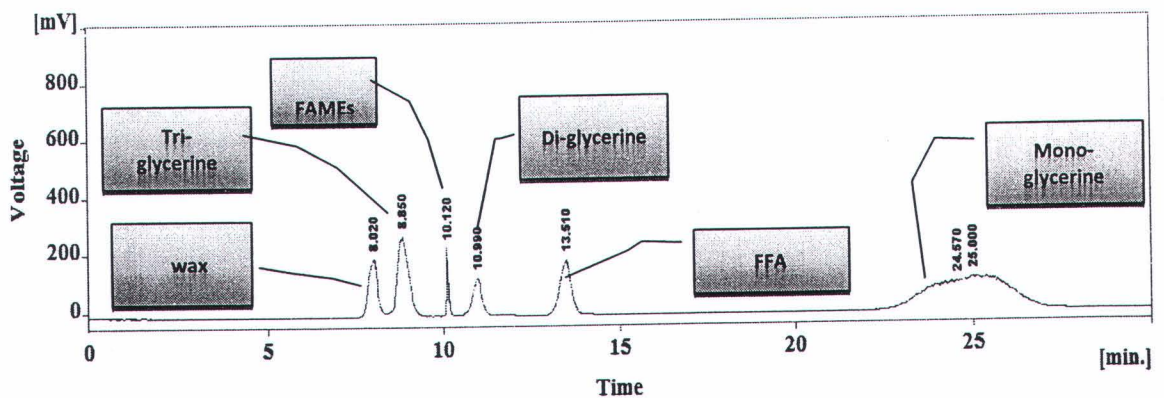
รูปที่ 4.17 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้สภาวะในการทดลองที่ molar ratio 60 : 1, $T = 300^{\circ}\text{C}$, Reaction time = 30 min จากเครื่อง HPLC



รูปที่ 4.18 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้สภาวะในการทดลองที่ molar ratio 60 : 1 , $T = 300^{\circ}\text{C}$, Reaction time = 60 min จากเครื่อง HPLC



รูปที่ 4.19 โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้สภาวะในการทดลองที่ molar ratio 60 : 1 , $T = 300^{\circ}\text{C}$, Reaction time = 120 min จากเครื่อง HPLC



รูปที่ 4.20 โครมาโตแกรมของ standard ที่ใช้เปรียบเทียบค่า peak ณ เวลาต่างๆ จากเครื่อง HPLC

จากรูปที่ 20 เป็นการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ของสารมาตรฐานเพื่อไว้ใช้เปรียบเทียบโดยหลักการ
ทำงานของ HPLC จะเตรียมสารละลายที่คาดว่าจะมีในไบโอดีเซลมาตรวจสอบฉีดเข้าเครื่อง จะมีตัว

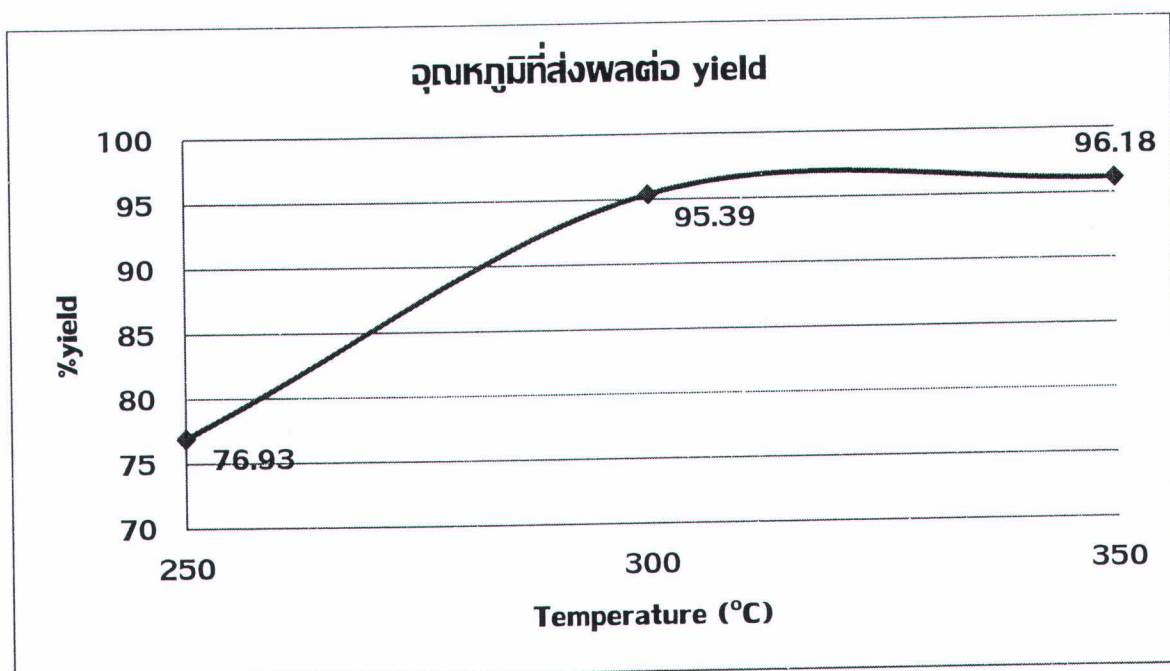
ชะ (Mobile phase) พาสารเข้าไปผ่านในคอลัมน์ ซึ่งตัวชะจะพาโมเลกุลขนาดใหญ่จะผ่านคอลัมน์ออกมาได้ก่อนทำให้ปรากฏพีก ณ ตำแหน่งเวลาที่เร็วกว่า และโมเลกุลที่มีขนาดเล็กจะค่อยๆ ผ่านคอลัมน์ออกมาตามลำดับโดยสามารถเรียงลำดับได้ดังรูปที่ 20 และจากรูปที่ 4.8-4.19 แสดง peak จะปรากฏและเห็นได้ชัดบริเวณตำแหน่ง 10 นาที ซึ่งเป็นพีกของเมทิลเอสเทอร์ (FAMES) และจะมีเพียงบางรูปในการวิเคราะห์ด้วย HPLC คือ รูปที่ 4.9, 4.13, 4.15, 4.17 และ 4.18 จะปรากฏพีกเล็กๆ ที่เวลา 12 นาที และ 14 นาทีเมื่อเทียบกับรูปที่ 20 พีกอ้างอิงพบว่าเป็น ไดกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ ดังนั้นเป็นไปได้ว่าในการตรวจด้วยวิธี HPLC ไม่สามารถยืนยันได้แน่ชัดว่าผลิตผลไบโอดีเซลที่ผลิตได้นั้นมีแต่เพียงเมทิลเอสเทอร์เพียงอย่างเดียว แต่อาจจะตรวจไม่พบในการวิเคราะห์ที่สภาวะในการตรวจตามหัวข้อที่ 3.4.2 คือ ใช้คอลัมน์ Phenogel บรรจุด้วยอนุภาคขนาด 5μ มีความพรุนขนาด $100\text{\AA}$ ใช้ตัวชะ (mobile phase) 0.15% ของกรดอะซิติก (Acetic) ในโทลูอีน (Toluene) 35% และไอโซออกเทน 65% (Isooctane) สามารถสรุปตามผลวิจัยด้วยเทคนิคนี้ได้ว่า น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์สูงมากถึง 99-100% ดังนั้นเราสามารถเลือกวิธีการผลิตที่คุ้มค่าที่สุดโดยคัดเลือกจากผลิตผล (yield) ของการผลิตที่สภาวะต่างๆ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ ที่อัตราส่วนแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 30 : 1, อุณหภูมิ 300°C , เวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาทีซึ่งให้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงถึง 95% เนื่องจากการเลือกจำนวนโมลของเมทานอลที่น้อยกว่าในการผลิต จะเป็นการลดต้นทุนในการผลิต

4.2.2 ผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปต่อการเกิดปฏิกิริยาไบโอดีเซล

ในการทดลองนี้จะเลือกใช้อัตราส่วนโดยโมลที่ 30:1 ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 2 ชม. เนื่องจากผลการทดลองในขั้นตอนที่ 4.2.1 ปรากฏว่าให้ผลิตผลดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสภาวะนี้มาทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยทำการเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 250°C และ 350°C เพื่อดูผลที่เกิดขึ้นกับผลิตผลของเมทิลเอสเทอร์

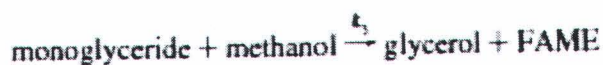
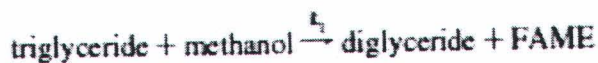
ตารางที่ 4.13 ปริมาณผลผลิตการผลิตไบโอดีเซล ณ อุณหภูมิ 250 300 และ 350°C โดยใช้อัตราส่วน
โดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลที่ 30 : 1 เป็นเวลา 120 นาทีความดัน 105-110 บาร์

อุณหภูมิ		ความดัน (bars)	ester yield (%)	SD
°C	K			
250	523	68-70	76.93	1.179
300	573	105-115	95.39	0.074
350	623	127-128	96.18	0.458



รูปที่ 4.21 ผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดผลผลิตของไบโอดีเซล ณ 30:1 , time 120 นาทีที่
อุณหภูมิต่างๆ

จากรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นถึงผลการทดลองเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ผลผลิตของไบโอดีเซลเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิหมายถึงการเพิ่มพลังงานในระบบให้สูงขึ้นพลังงานในระบบจะถูกใช้ไปเพื่อสลายพันธะไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ ให้กลายเป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล ต่อจากนั้นกรดไขมันจะถูกทำปฏิกิริยากับเมทานอลกลายเป็นเมทิลเอสเทอร์ได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แสดงขั้นตอนการใช้พลังงานในการสลายพันธะเพื่อผลิตเมทิลเอสเทอร์

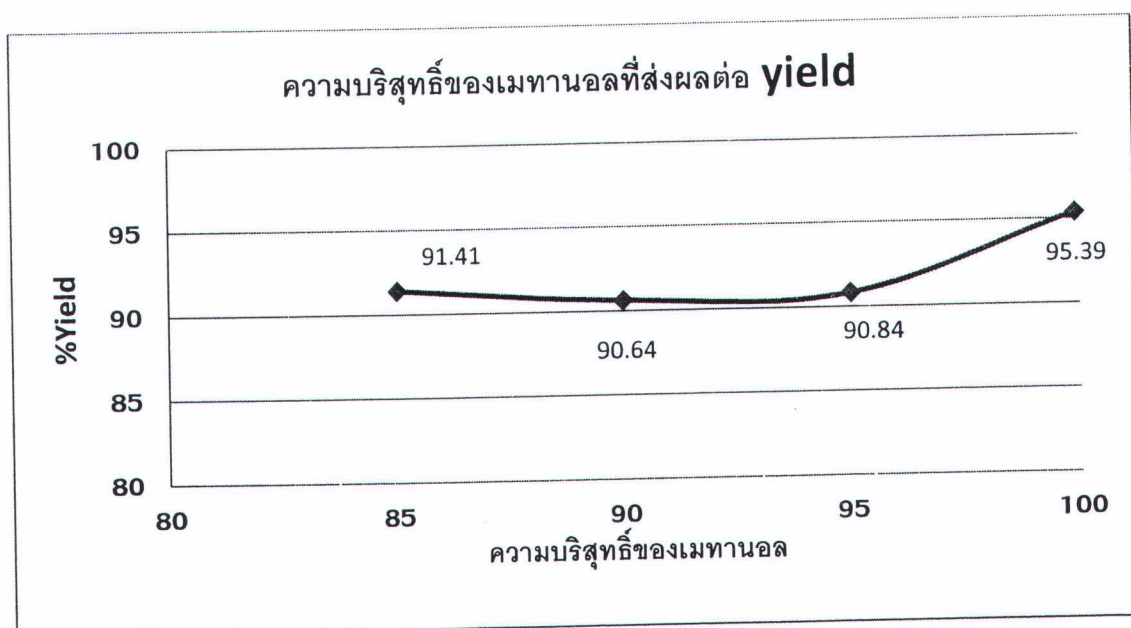
จากงานวิจัยพบว่าเมื่อลดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาลงเป็น 250 °C จะทำให้พลังงานในระบบลดลง ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของเมทานอลมีพลังงานจลน์ลดลงด้วย ดังนั้นพลังงานในระบบจะถูกใช้ไปในการสลายพันธะไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และ โมโนกลีเซอไรด์ แต่โอกาสในการสร้างพันธะในระบบลดลง จึงเป็นเหตุให้ผลผลิตของไบโอดีเซลลดลงจาก 95% เหลือ 77% และเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ตกลงมาเป็นไขมันดังรูปที่ 4.4 และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 350 °C จะทำให้พลังงานในระบบสูงขึ้นทำให้โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และ โมโนกลีเซอไรด์สามารถสลายพันธะกลายเป็นกรดไขมันอิสระได้ดีขึ้น และพลังงานในระบบจะไปเพิ่มให้โมเลกุลของเมทานอลมีพลังงานจลน์สูงขึ้น โอกาสในการชนกับโมเลกุลของไขมันอิสระและสร้างพันธะขึ้นมาใหม่ ก็จะมีมากขึ้นจึงทำให้ผลผลิตของไบโอดีเซลเกิดมาก ในงานวิจัยไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจาก 95% เป็น 96% ผลการทดลองที่ได้คล้ายกับงานวิจัยของ Hawash, S., Kok, T.T และ Rathore, V. [12, 14, 64] คือการเพิ่มอุณหภูมิจะช่วยเพิ่มพลังงานในระบบและช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ขึ้นจึงได้ไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิเข้าไปในระบบจะต้องสิ้นเปลืองพลังงานจากแหล่งกำเนิดมากขึ้นแต่เมื่อเทียบกับผลผลิตที่ได้เพิ่มเพียง 1% จึงไม่คุ้มค่ากับการผลิต ดังนั้นสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัย คือ 300°C

4.2.3 ผลของน้ำที่อยู่ในแอลกอฮอล์ต่อปฏิกิริยาเมื่อใช้เมทานอลที่ความบริสุทธิ์แตกต่างกัน

ในการทดลองนี้จะเลือกใช้อัตราส่วนโดยโมลที่ 30:1 ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 2 ชม. ที่อุณหภูมิ 300 °C เนื่องจากผลการทดลองในขั้นตอนที่ 4.2.1 และ 4.2.2 ปรากฏว่าให้ผลผลิตที่คุ้มค่าที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสภาวะดังกล่าวมาทดสอบการเปลี่ยนแปลงของความบริสุทธิ์ของเมทานอลโดยทำการเปลี่ยนความบริสุทธิ์ของเมทานอลเป็น 85% 90% และ 95% เพื่อดูผลที่เกิดขึ้นต่อผลผลิตและสมบัติของไบโอดีเซล ได้ผลดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงปริมาณผลผลิตการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลที่ 30 : 1 เป็นเวลา 120 นาที ณ อุณหภูมิ 300 °C โดยทำการเปลี่ยนแปลงความบริสุทธิ์ของเมทานอลเป็น 85 90 และ 95%

ความบริสุทธิ์ของเมทานอล (%v/v)	ความดัน (bars)	Ester yield (%)	SD
85	98-99	92.44	0.61
90	100-103	90.64	0.29
95	108-110	90.84	0.79



รูปที่ 4.23 ผลของความบริสุทธิ์ของเมทานอลที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดผลผลิตของไบโอดีเซล ณ สัดส่วน โมล 30:1 , time 120 นาทีที่อุณหภูมิ 300 °C

จากรูปที่ 4.23 ผลการวิจัยโดยใช้เมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ต่ำกว่า 99% มาผลิตไบโอดีเซลด้วยสถานะเหนือวิกฤต พบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ให้ผลผลิตสูงอยู่ในช่วง 90-91% โดยจุดประสงค์ของการใช้เมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ต่ำ เพราะในกระบวนการผลิตจริงเมทานอลที่เหลือจากกระบวนการใช้

ผลิตจะถูกนำกลับมาใช้ในกระบวนการเพื่อลดต้นทุน (Recovery) แต่เมทานอลที่นำกลับมาใช้นั้นจะมีความบริสุทธิ์ต่ำ เนื่องจากในกระบวนการผลิตทั่วไปน้ำมันพืชที่ใช้มักจะมีน้ำหรือความชื้นปนอยู่ด้วย ซึ่งเมทานอลสามารถละลายกับน้ำได้ดี เพราะเป็นสารที่มีสภาพความเป็นขั้วเหมือนกัน ดังนั้นจากผลการวิจัยพบว่าเมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ต่ำสุดที่ใช้ คือ 85% ยังสามารถผลิตไบโอดีเซลได้สูงที่สุดถึง 91.41% ซึ่งจะสามารถทำให้ประหยัดต้นทุนในการผลิตลงได้ การที่ลดความบริสุทธิ์ของเมทานอลลงส่งผลให้ผลิตผลไบโอดีเซลลดลงด้วยนั้นอาจเกิดจากน้ำที่อยู่ในเมทานอลปริมาณมากนี้มีสถานะวิกฤตที่สูงกว่าเมทานอลมาก ($P_{critical\text{น้ำ}} = 2200 \text{ bars}$) ดังนั้นการใช้อุณหภูมิเท่าเดิมจึงทำให้น้ำไม่สามารถอยู่ในสถานะวิกฤตได้ โมเลกุลของเมทานอลที่อยู่ในสถานะเหนือวิกฤตจะถูกขัดขวางด้วยโมเลกุลของน้ำ โอกาสในการชนกันของโมเลกุลของเมทานอลและกรดไขมันจึงลดลง เป็นเหตุให้ผลิตผลลดลงด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามการผลิตไบโอดีเซลจากเมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ต่ำนั้นสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะพัฒนาหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป

4.3 สมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้

จากงานวิจัยพบว่าสามารถผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากเมทานอลผสมกับน้ำมันสบู่ดำดิบที่มีค่าความเป็นกรดสูงมาก ($AV \approx 14$) ด้วยสถานะเมทานอลเหนือจุดวิกฤตที่สถานะต่างๆ ตามการทดลองข้างต้น และได้เลือกสถานะที่สามารถผลิตได้คุ้มค่าที่สุด คือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน 30 : 1 ที่อุณหภูมิ 300°C เวลา 120 นาที และอัตราส่วนของเมทานอล 85% ต่อน้ำมัน 30 : 1 ที่อุณหภูมิ 300°C เวลา 120 นาที นำมาตรวจสอบหาสมบัติตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานเชิงพาณิชย์ได้ดังตารางที่

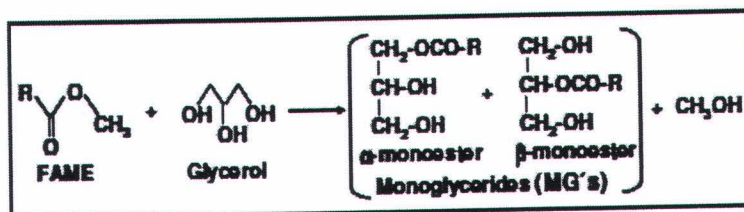
ตารางที่ 4.15 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานไบโอดีเซลที่ผลิตได้กับมาตรฐานเชิงพาณิชย์

คุณสมบัติ	วิธีทดสอบ	ข้อกำหนด มาตรฐานเชิง พาณิชย์	สภาวะ 30:1 300°C 2hr	สภาวะ 30:1 300°C 2hr เมทานอล 85% (v/v)
เมทิลเอสเทอร์ (%wt)	EN 14103	มากกว่า 96.5	93.58	86.69
ความหนาแน่น (kg/m ³)	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 (°C)	ASTM D 93	มากกว่า 120	มากกว่า 150	มากกว่า 150
จำนวนซีเทน	ASTM D 613	มากกว่า 51	49.81	50.14
น้ำ	ASTM D 2709	น้อยกว่า 0.050	0.10	0.15
ความเป็นกรด	ASTM D 664	น้อยกว่า 0.05	0.01	0.01
ค่าไอโอดีน	EN 14111	น้อยกว่า 120	97.32	98.37
Mono-glyceride	EN 14105	0.80	3.6	3.18
Di- glyceride	EN 14105	0.20	0.37	0.30
Tri- glyceride	EN 14105	0.20	0	0
กลีเซอรินอิสระ	EN 14105	0.02	0	0.10
กลีเซอรินทั้งหมด	EN 14105	0.25	0.975	0.85

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมาตรฐานตามตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมัน
สบู่ดำที่ผลิตได้จากกระบวนการ supercritical alcohol นั้นมีมาตรฐานใกล้เคียงกับมาตรฐานเชิง
พาณิชย์ เช่น ความหนืดเริ่มต้นของน้ำมันสบู่ดำที่วัดได้ตอนแรก คือ 63.84 เซนติสโตก แต่หลังทำ
ปฏิกิริยา ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำอยู่ในช่วงของมาตรฐาน คือ 3.5-5.0 ซึ่งใน
งานวิจัยได้ผลเท่ากับ 4.7±0.2 ดังนั้นน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ความหนืดจึงเหมาะสมอยู่ในช่วงของ
การใช้งานกับเครื่องยนต์ นอกจากนั้นจุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าสูงกว่า 150°C ซึ่ง
มาตรฐานกำหนดให้สูงกว่า 120°C น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จึงมีความปลอดภัยในการใช้งาน และ

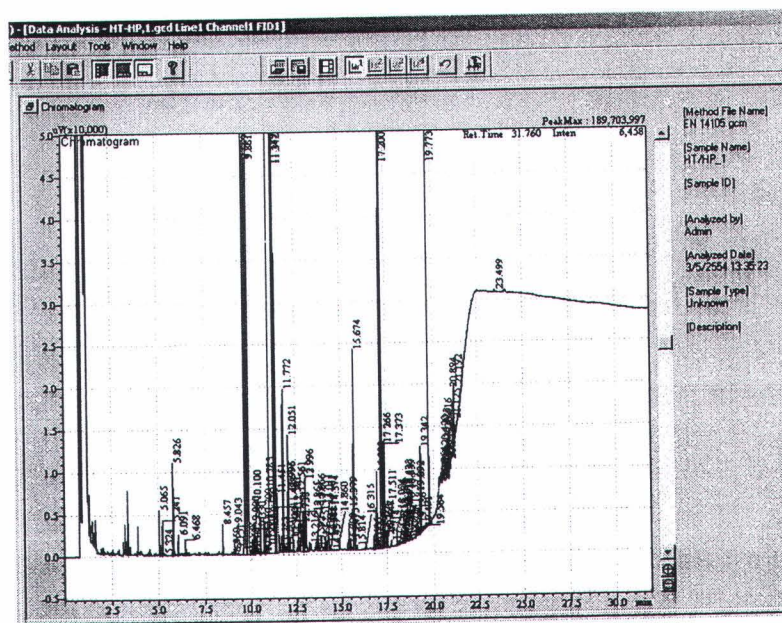
ขนส่งได้ในเชิงพาณิชย์ ส่วนค่าอื่นๆ ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐานนั้น แต่มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน เช่น ค่าเมทิลเอสเทอร์ มาตรฐานกำหนดไว้ 96.5% แต่ในกระบวนการผลิต ด้วยสภาวะน้ำมันต่อเมทานอล 30:1 อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าได้ %เมทิลเอสเทอร์สูงสุดเพียง 93.65% สาเหตุแรกอาจมาจากการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและความดันสูง อาจทำให้โมเลกุลของน้ำมันสบู่ดำ เกิดการสลายเป็นโมเลกุลเล็ก (Cracking) โดยไม่คงสภาพอยู่ในรูปแบบของกรดไขมันอิสระสายโซ่ยาวก่อนเกิดปฏิกิริยาโดยสังเกตุได้จากรูปที่ 4.25 ยังพบว่ามีฟีดของสารต่างๆ เกิดขึ้นมากมายซึ่งเปรียบเทียบกับการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธี transesterification โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น มีฟีดปรากฏน้อยกว่ารูปที่ 4.27 มาก สาเหตุที่สองอาจเกิดจากค่า Mono-glyceride ที่ตรวจพบ มีอยู่ปริมาณสูงมากแต่ Tri-glyceride และ Di-glyceride พบน้อยและใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่ตรวจพบดังนั้นคาดว่า พลังงานในระบบที่เกิดจากการเพิ่มอุณหภูมิที่ 300°C นั้นจะต้องไปสลายพันธะของ Tri-glyceride ให้เป็น Di-glyceride และ Mono-glyceride ตามลำดับจึงเหลือ Mono-glyceride ในระบบอยู่มาก กรดไขมันอิสระส่วนใหญ่สามารถเกิดปฏิกิริยากับเมทานอลในสภาวะเหนือจุดวิกฤตได้ดี และเมื่อเมทานอลในระบบส่วนใหญ่ถูกใช้ในการทำปฏิกิริยาอัตราการเกิดปฏิกิริยาและโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาก็จะลดลงจึงทำให้เหลือ Mono-glyceride เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ Mono-glyceride ถูกตรวจพบอยู่เกินกว่าค่ามาตรฐาน

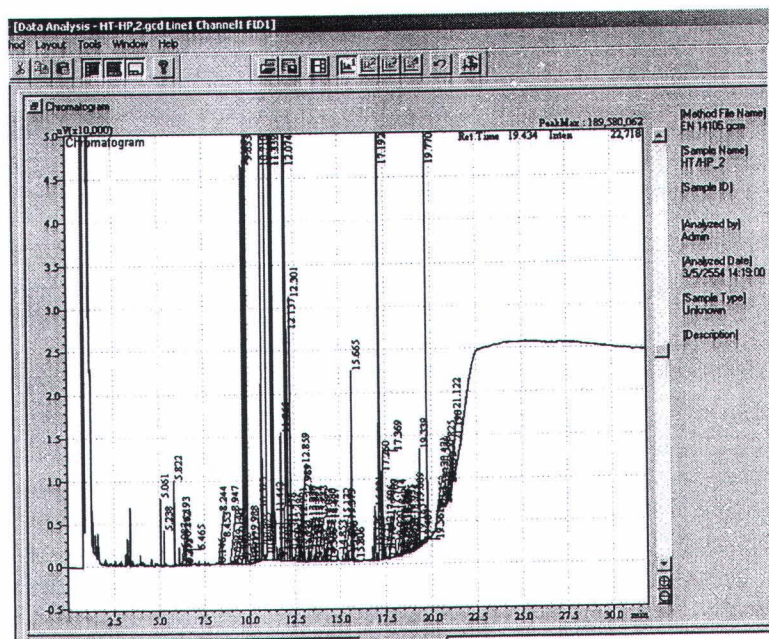
นอกจากนั้นการทำปฏิกิริยาอาจจะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง คือ ปฏิกิริยาไกลเซอไรไลซิส (Glycerolysis) ดังรูปที่ 4.24 ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นหลังจากดำเนินการผลิตไปจนครบเวลาที่กำหนดแล้วจะเกิดเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรินขึ้นมาก อีกทั้งจำนวนของเมทานอลในระบบจะถูกใช้ไปจากปฏิกิริยาจำนวนโมลของผลิตภัณฑ์จึงเริ่มมากกว่าสารตั้งต้นทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ปฏิกิริยานี้อาจจะเกิดขึ้นได้ในขณะที่อุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์ยังคงสูงอยู่เมื่อทำการ cooling ระบบหลังจากปิดเตาปฏิกรณ์แล้วอุณหภูมิของเตาปฏิกรณ์จะค่อยๆ ลดลงจาก 300 °C เข้าสู่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นในขณะที่อุณหภูมิลดลง จึงเป็นโอกาสที่ปฏิกิริยาอาจจะถูกผันกลับ และเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงขึ้นได้ ปฏิกิริยาข้างเคียงสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 200°C ได้ผลิตภัณฑ์เป็น โมโนกลีเซอไรด์และเมทานอลจึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โมโนกลีเซอไรด์ในระบบเพิ่มมากขึ้น [22, 23]



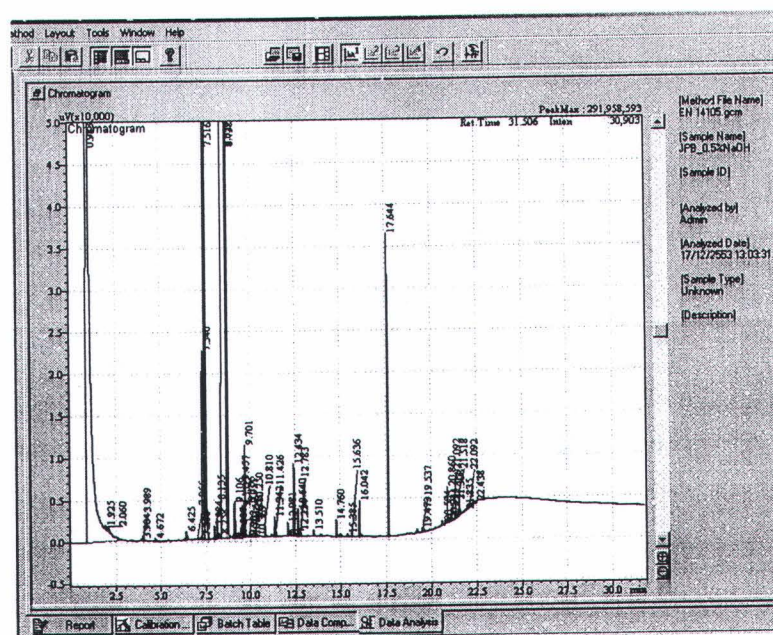
รูปที่ 4.24 ปฏิกิริยาไกลเซอโรไลซิส (Glycerolysis)

การใช้เมทานอล 85% ในการผลิตสามารถผลิตไบโอดีเซลด้วยสภาวะเหนือจุดวิกฤตได้เช่นเดียวกับเมทานอล 99% แต่ทำให้เมทิลเอสเทอร์มีค่าลดลงเป็น 86.69% อาจเป็นเพราะการใช้เมทานอลที่มีความบริสุทธิ์ต่ำนั้นจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบซึ่งน้ำมีอุณหภูมิวิกฤตที่สูงกว่าเมทานอลมาก ($P_{critical\text{น้ำ}} = 2200$ bars) ดังนั้นที่อุณหภูมิเท่าเดิมที่ 300°C ความดันของเตาปฏิกรณ์จะอยู่ที่ 100-110 bars จึงไม่สามารถทำให้น้ำอยู่ในสภาวะเหนือวิกฤตได้ โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในระบบจึงอาจไปรบกวนหรือขัดขวางโอกาสการเกิดปฏิกิริยาของเมทานอลกับกรดไขมัน จึงทำให้เกิดเมทิลเอสเทอร์น้อยลง





รูปที่ 4.26 ผลของการวิเคราะห์ Glyceride ด้วยเทคนิค Gas chromatography จากสถานะเมทานอล 85%(v/v) ต่อน้ำมัน 30:1 อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.27 ผลของการวิเคราะห์ Glyceride ด้วยเทคนิค Gas chromatography จากกระบวนการ transesterification โดยใช้ NaOH 0.5% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา