

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในเนื้อในเมล็ดยางพารา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในเนื้อในเมล็ดยางพาราด้วย Soxhlet (ตามภาคผนวก ก) พบว่า เนื้อในเมล็ดยางพาราจะมีปริมาณน้ำมันอยู่ร้อยละ 46.83 ใกล้เคียงกับรายงานวิจัยของ Ikwaugwu และคณะ (2000) ซึ่งพบว่า ปริมาณน้ำมันในเนื้อในเมล็ดยางพารามีอยู่ร้อยละ 45.63 ขณะที่รายงานวิจัยของ Ikwaugwu และคณะ (2000) อ้างจาก Njoku และคณะ (1996) กล่าวถึงปริมาณน้ำมันในเมล็ดยางพาราจะมีค่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 40 แตกต่างกันออกไปในแต่ละประเทศ

2. การสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดยางพาราด้วยตัวทำละลายแบบถังกวน

จากการสกัดน้ำมันในเนื้อในเมล็ดยางพาราด้วยเฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่อัตราส่วนของเนื้อในเมล็ดยางพาราคือเฮกเซน 1 : 2 โดยน้ำหนัก กวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า สามารถสกัดน้ำมันได้ปริมาณ ร้อยละ 26.54 ตามรายงานวิจัยของวิไล คุณูปการ (2528) สกัดทั้งเปลือกและเมล็ดในของเมล็ดยางพาราด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ในถังกวนได้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 12 – 23 ซึ่งเมื่อคำนวณประสิทธิภาพการสกัดจากปริมาณน้ำมันร้อยละ 46.83 ที่อยู่ในเนื้อในจะมีประสิทธิภาพการสกัด ร้อยละ 57

3. การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพและองค์ประกอบน้ำมันเมล็ดยางพาราที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล

ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดยางพาราได้แสดงไว้ในตารางที่ 5 โดยน้ำมันเมล็ดยางพารามีสีน้ำตาลแดงเข้ม (รูปที่ 17) ความถ่วงจำเพาะ (30 °C) 0.908 ความหนืดจลน์ (40 °C) 30.6 เซนติสโตก กรดไขมันอิสระ (ไอเลอิก) ร้อยละ 28.305 จุดไหลเท 11 องศาเซลเซียส จุดขุ่น 12 องศาเซลเซียส จุดวาบไฟ 234 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำ ร้อยละ 0.17

พิจารณารายงานวิจัยของ Ikwuagwu และคณะ (2000) น้ำมันเมล็ดยางพารามีสีเหลืองทอง ความถ่วงจำเพาะ (30 °C) 0.922 ความหนืดจลน์ (30 °C) 41.24 เซนติสโตค กรดไขมันอิสระ (โอเลอิก) ร้อยละ 2 และจุดวาบไฟ 294 องศาเซลเซียส ส่วน Aigbodion and Pillai (2000) รายงานว่าน้ำมันเมล็ดยางพารามีสีดำ ความถ่วงจำเพาะ (30 °C) 0.910 ความหนืดจลน์ 42 เซนติสโตค และกรดไขมันอิสระ (โอเลอิก) ร้อยละ 26 ดังนั้นจะเห็นว่าสี ความหนืดจลน์ และกรดไขมันอิสระ (โอเลอิก) มีค่าแตกต่างกันสำหรับน้ำมันเมล็ดยางพาราในแต่ละที่แต่ค่าความถ่วงจำเพาะ (30 °C) มีความสอดคล้องกัน เมื่อเปรียบเทียบผลจากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดยางพารากับน้ำมันชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดยางพารา

คุณสมบัติ	This work	Ikwuagwu และคณะ (2000)	Aigbodion and Pillai (2000)	หน่วย
1. สี	น้ำตาลแดงเข้ม	เหลืองทอง	ดำ	-
2. ความถ่วงจำเพาะ (30 °C)	0.908	0.922	0.910	-
3. ความหนืดจลน์ (40 °C)	30.6	41.24(30 °C)	42	cSt
4. กรดไขมันอิสระ (โอเลอิก)	28.305	2	26	%
5. จุดไหลเท	11	na	na	°C
6. จุดขุ่น	12	na	na	°C
7. จุดวาบไฟ	234	294	na	°C
8. ปริมาณน้ำ	0.17	na	na	%

หมายเหตุ : na = not available



รูปที่ 17 ผลการสกัดน้ำมันในเนื้อในเมล็ดยางพาราด้วยเฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่อัตราส่วนของเนื้อในเมล็ดยางพาราท่อเฮกเซน 1 : 2 โดยน้ำหนัก กวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 6 สมบัติน้ำมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันเมล็ดขางพารา

Oil species	Viscosity (38°C)	Cloud point (°C)	Pour point (°C)	Flash point (°C)	Density (kg/L)
This work	30.6	12.0	11.0	234	0.9080
Ikwuagwu <i>et al.</i> , (2000)	41.24	na	na	294	0.922
Aigbodin and Pillai (2000)	42	na	na	na	0.910
Corn	34.9	-1.1	-40.0	277	0.9095
Cotton seed	33.5	1.7	-15.0	234	0.9148
Crambe	53.6	10.0	-12.2	274	0.9044
Linseed	27.2	1.7	-15.0	241	0.9236
Peanut	39.6	12.8	-6.7	271	0.9026
Rape seed	37.0	-3.9	-31.7	246	0.9115
HO Safflower	41.2	-12.2	-20.6	293	0.9021
Sesame	35.5	-3.9	-9.4	260	0.9133
Soya bean	32.6	-3.9	-12.2	254	0.9138
Sunflower	33.9	7.2	-15.0	274	0.9161
Palm	39.6	31.0	na	267	0.9180
Babassu	30.3	20.0	na	150	0.9460
Tallow	na	na	na	201	na
Safflower	31.3	18.3	-6.7	260	0.9144

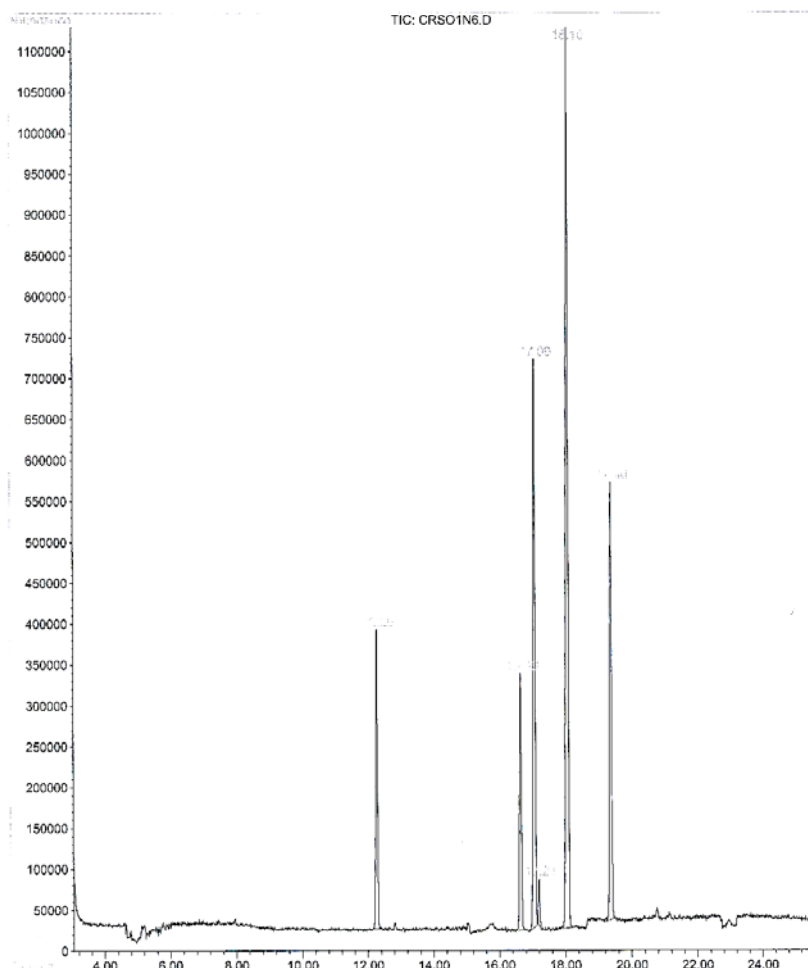
na= not available

HO Safflower=High Oleic Safflower oil

ที่มา : Srivastava and Prasad (1999)

จากตารางที่ 6 จะพบว่า น้ำมันเมล็ดยางพารามีค่าความหนืดที่สูงเช่นเดียวกับน้ำมันชนิดต่างๆ ซึ่งน้ำมันเหล่านี้มีค่าความหนืดที่สูงเนื่องจากโครงสร้างและน้ำหนักโมเลกุลที่สูง โดยทั่วไปแล้วน้ำหนักโมเลกุลน้ำมันพืชจะอยู่ในช่วง 600-900 (Srivastava and Prasad, 1999) จุดจุดนี้มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันถั่วลิสง จุดไหลเทน้ำมันมีค่าแตกต่างออกไปกับน้ำมันแต่ละชนิด จุดวาบไฟมีค่าเท่ากับน้ำมันเมล็ดฝ้าย และความหนาแน่นมีค่าใกล้เคียงกันกับน้ำมันในแต่ละชนิด

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดยางพาราด้วย GC/MS แสดงดังรูปที่ 18 และตารางที่ 7 พบว่า น้ำมันเมล็ดยางพาราจะมีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 19.92 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 80.08 ส่วนใหญ่ของกรดไขมันอิ่มตัวจะเป็นกรดลิโนเลอิกร้อยละ 40.01 และกรดโอเลอิกร้อยละ 23.44 และน้ำมันเมล็ดยางพารามีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 882



รูปที่ 18 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำมันเมล็ดยางพาราด้วย GC/MS

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดยางพาราด้วย GC/MS

Fatty acid	Structure	Fatty acid composition (%)
Saturated fatty acid		
Myristic acid	(14 : 0)	na
Palmitic acid	(16 : 0)	10.34
Stearic acid	(18 : 0)	9.58
Arachidic acid	(20 : 0)	na
Behinic acid	(22 : 0)	na
Lignoceric acid	(24 : 0)	na
Total		19.92
Unsaturated fatty acid		
Palmitoleic acid	(16 : 1)	na
Oleic acid	(18 : 1)	23.44
Linoleic acid	(18 : 2)	40.01
Linolenic acid	(18 : 3)	16.63
Arachidonic acid	(20 : 4)	na
Total		80.08

na = not available

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบน้ำมันเมล็ดยางพาราจากการศึกษาเปรียบเทียบกับองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดยางพาราจากรายงานวิจัยต่างๆ แสดงดังตารางที่ 8 พบว่า องค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดยางพาราตามที่ศึกษาจะสอดคล้องกับรายงานวิจัยที่ได้กล่าวอ้างมา ซึ่งน้ำมันเมล็ดยางพารามีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่ากรดไขมันอิ่มตัวโดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงสุด คือ กรดลิโนเลอิก กรดโอเลอิกและกรดลิโนเลนิกมีปริมาณรองลงมาตามลำดับ และเนื่องจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง (Knothe, G, and Dunn, R.O. 2001 quoted in Gunstone and Hamilton, 2001) จึงทำให้น้ำมันเมล็ดยางพาราเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบน้ำมันเมล็ดคางพาราด้วย GC/MS กับรายงานวิจัยต่างๆ

Fatty acid	Structure	Fatty acid composition (%)					
		This work	CRSO(a)	CRSO(b)	CRSO(c)	CRSO(d)	CRSO(e)
Saturated fatty acid							
Myristic acid	(14 : 0)	na	0.08	0.4	na	0.1	na
Palmitic acid	(16 : 0)	10.34	9.27	8.5	10.2	8.1	13.97
Stearic acid	(18 : 0)	9.58	10.58	10.2	8.7	10.5	12.33
Arachidic acid	(20 : 0)	na	0.57	na	na	0.3	5.85
Behinic acid	(22 : 0)	na	0.15	na	na	na	na
Lignoceric acid	(24 : 0)	na	0.12	na	na	na	na
Total		19.92	20.77	19.1	18.9	19	32.15
Unsaturated fatty acid							
Palmitoleic acid	(16 : 1)	na	0.14	0.2	na	0.3	na
Oleic acid	(18 : 1)	23.44	26.64	23.9	24.6	21.5	30.98
Linoleic acid	(18 : 2)	40.01	34.92	39.3	39.6	37.3	36.87
Linolenic acid	(18 : 3)	16.63	17.27	17.1	16.3	21.7	na
Arachidonic acid	(20 : 4)	na	na	0.4	na	0.2	na
Total		80.08	78.97	80.9	80.5	81	67.85
Others		na	0.26	na	0.6	na	na

na = not available

หมายเหตุ : (a) กำชัย ตันติกาพงศ์ (2544) อ้างจาก Nwokolo (1990)

(b) พงษ์ศิลป์ เขาวนัฏติกุล และ ลอราช บุญศิริ (2541) อ้างจาก Nwokolo (1990)

(c) Aigbodion and Pillai (2000)

(d) ศิริชัย ศรีพงษ์พันธ์ และคณะ (2525) อ้างจาก Orok and Bowlan (1974)

(e) เมธี วิริยะวารี และ วีระพงษ์ จอมหงษ์ (2530)

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดยางพารากับน้ำมันชนิดต่างๆ

Oil species	Fatty Acid composition (%)									
	C 14:0	C 16:0	C 18:0	C 20:0	C 22:0	C 24:0	C 18:1	C 22:1	C 18:2	C 18:3
Rubber seed (This work)	0	10.34	9.58	0	0	0	23.44	0	40.01	16.63
Corn	0	12	2	Tr	0	0	25	0	6	Tr
Cotton seed	0	28	1	0	0	0	13	0	58	0
Crambe	0	2	1	2	1	1	19	59	9	7
Linseed	0	5	2	0	0	0	20	0	18	55
Peanut	0	11	2	1	2	1	48	0	32	1
Rapeseed	0	3	1	0	0	0	64	0	22	8
HO Safflower	Tr	5	2	Tr	0	0	79	0	13	0
Sesame	0	13	4	0	0	0	53	0	30	0
Soya bean	0	12	3	0	0	0	23	0	55	6
Sunflower	0	6	3	0	0	0	17	0	74	0
Safflower	0	9	2	0	0	0	12	0	78	0

Tr = traces HO Safflower=High Oleic Safflower oil

ที่มา : Srivastava and Prasad (1999)

จากตารางที่ 9 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดขางพาราจากการศึกษากับองค์ประกอบของน้ำมันชนิดต่างๆ พบว่า น้ำมันเมล็ดขางพารามีองค์ประกอบใกล้เคียงกับน้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันเมล็ดถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน และ น้ำมันเมล็ดดอกคำฝอย ซึ่งมีกรดลิโนเลอิก (C 18:2) มากที่สุด และกรดโอเลอิกมีปริมาณ (C 18:1) รองลงมา ส่วนปริมาณกรดปาล์มมีติกต่ำ ซึ่งน้ำมันเหล่านี้จัดอยู่ในกลุ่มที่มีกรดลิโนเลอิกและกรดโอเลอิกสูงแต่มีกรดปาล์มมีติกต่ำ น้ำมันในกลุ่มนี้ที่สำคัญ เช่น น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกคำฝอย และน้ำมันลินสีด เป็นต้น (เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล, 2534 อ้างจาก Hadziyev, 1987)

4. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดขางพารา

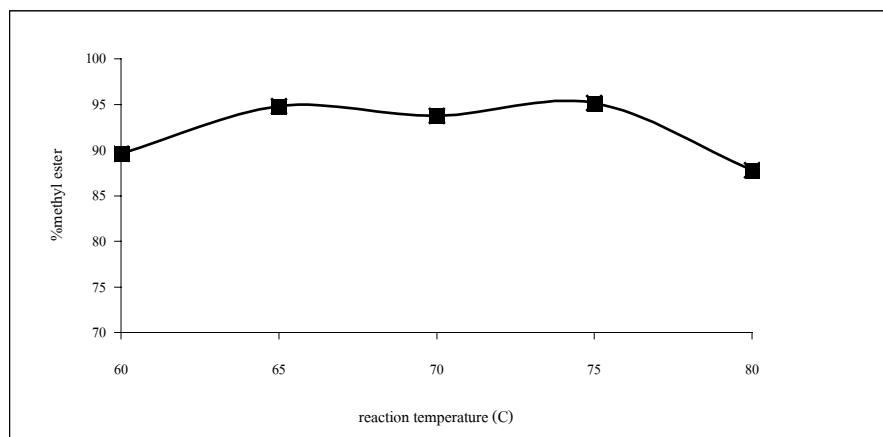
4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง

4.1.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาต่อการผลิตไบโอดีเซล

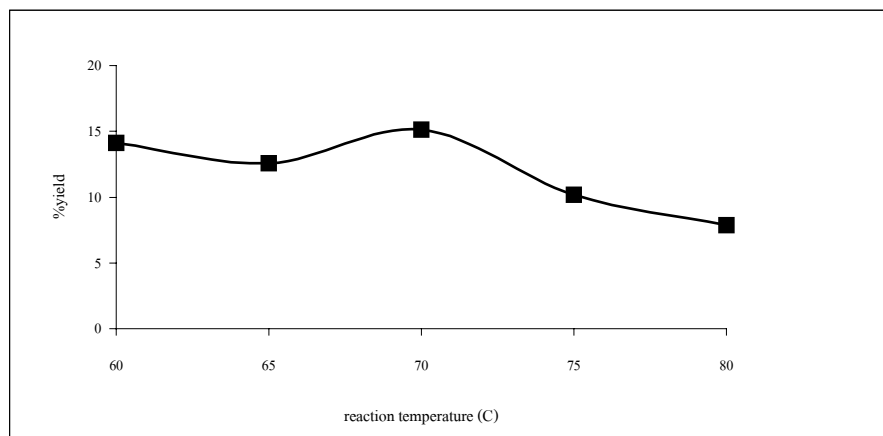
การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาต่อการผลิตไบโอดีเซลใช้น้ำมันเมล็ดขางพาราที่ผ่านกระบวนการในหัวข้อ 3.4.1 ทำปฏิกิริยา transesterification ที่อุณหภูมิ 60 65 70 75 และ 80 องศาเซลเซียส ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ ประมาณ 1% โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 กวนเป็นเวลา 15 นาที และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาต่อานาน 4 ชั่วโมง จึงแยกกลีเซอรินออก ผ่านกระบวนการล้างน้ำและขจัดน้ำออก พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 60 - 65 องศาเซลเซียส ทำให้ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้น และในช่วงอุณหภูมิ 65 - 75 องศาเซลเซียส ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์คงที่ และการเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์จะลดลง (รูปที่ 19) ส่วนร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ในช่วงอุณหภูมิ 60 - 80 องศาเซลเซียส มีค่าลดลงยกเว้นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์สูงที่สุด เท่ากับ 15.13 (รูปที่ 20) ซึ่งจะเห็นว่าผลของอุณหภูมิต่อการผลิตไบโอดีเซลจะให้ผลที่ไม่ชัดเจนนักที่อุณหภูมิ 70 - 80 องศาเซลเซียส อาจเนื่องมาจากในการทดลองกระทำในระบบเปิด ทำให้เมทานอลซึ่งมีจุดเดือด 64.7 องศาเซลเซียส ระเหยไปบางส่วนซึ่งมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา รายงานวิจัยของ Nouredini and Zhu (1997) ศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยา transesterification ของน้ำมันถั่วเหลืองในช่วงอุณหภูมิ 30 - 70 องศาเซลเซียส สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันถั่วเหลือง 6 : 1 ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2% โดยน้ำหนักน้ำมัน เวลา 15 นาที (Reynolds Number : $N_{RE}=6200$) พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 20 เป็นร้อยละ 74 เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ความสามารถในการละลาย

ของสารตั้งต้นมีมากขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงสูงขึ้น ส่วนรายงานวิจัยของ Ma and Hanna (1999) อ้างจาก Smith (1949) จากการศึกษาปฏิกิริยา transesterification ของน้ำมันละหุ่ง พบว่า ปฏิกิริยา transesterification จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของน้ำมัน ในกรณีของน้ำมันละหุ่งการเปลี่ยนเป็น methyl ricinoleate อุณหภูมิ 20 – 35 องศาเซลเซียส สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 – 12 : 1 ตัวเร่งปฏิกิริยา โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.005 – 0.35 % โดยน้ำหนักน้ำมัน จะเหมาะสมที่สุด นอกจากนี้รายงานวิจัยของ Ma and Hanna (1999) อ้างจาก Freedman และคณะ (1984) พิจารณาปฏิกิริยา transesterification ของน้ำมันถั่วเหลืองบริสุทธิ์ สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 ตัวเร่งปฏิกิริยา โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% ที่อุณหภูมิแตกต่างกันคือ 60 45 และ 32 องศาเซลเซียส พบว่า เอสเตอร์ เกิดได้ดีเท่ากันที่ 60 และ 45 องศาเซลเซียส แต่จะเกิดได้น้อยที่ 32 องศาเซลเซียส

ดังนั้นการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยา 70 องศาเซลเซียส



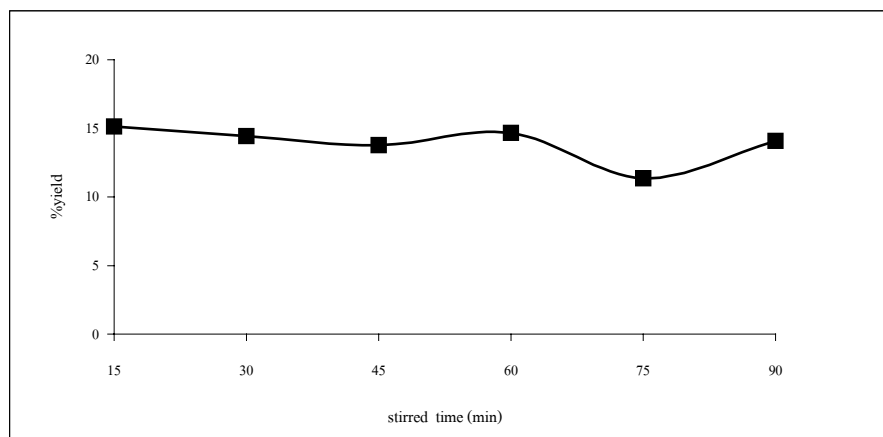
รูปที่ 19 ผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาต่อร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา โซเดียมไฮดรอกไซด์



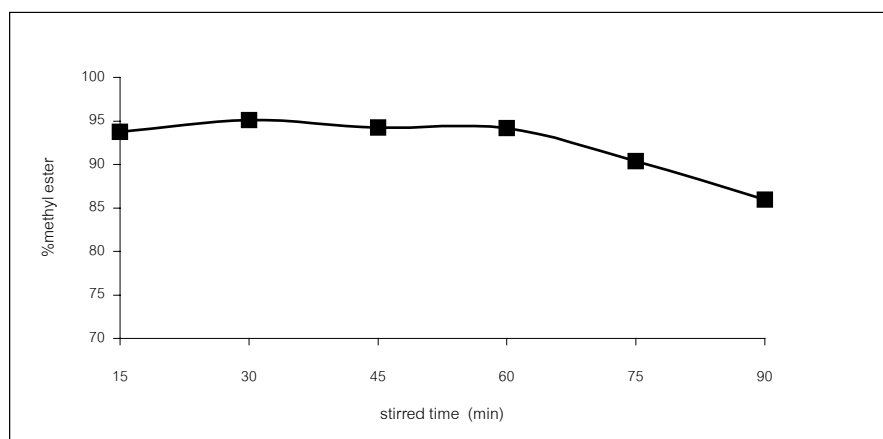
รูปที่ 20 ผลของอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา โซเดียมไฮดรอกไซด์

4.1.2 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการกวนต่อการผลิตไบโอดีเซล

การศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ในการกวนต่อการผลิตไบโอดีเซล ใช้ น้ำมันเมล็ดขางพาราที่ผ่านกระบวนการตั้งแตในหัวข้อ 3.4.1 ทำปฏิกิริยา transesterification อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 70 องศาเซลเซียส ใช้ 1% โดยน้ำหนักน้ำมันของโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 กวนเป็นระยะเวลา 15 30 45 60 75 และ 90 นาที พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการกวนในช่วง 15 - 90 นาที ร้อยละผลได้ของ เมทิลเอสเทอร์จะลดลง ยกเว้นที่ระยะเวลาที่ใช้กวน 60 และ 90 นาที จะแตกต่างออกไป (รูปที่ 21) ส่วนร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์ในช่วงระยะเวลาที่ใช้กวน 15 - 60 นาที จะคงที่แต่หลังจาก 60 นาที จะลดลง (รูปที่ 22) ซึ่งจะเห็นว่าผลของระยะเวลาที่ใช้ในการกวนต่อการผลิตไบโอดีเซล ไม่ชัดเจนมากนักเช่นเดียวกันกับผลของอุณหภูมิ เมื่อพิจารณาตามรายงานวิจัยของ Nouredini and Zhu (1997) ศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยา transesterification ของน้ำมันถั่วเหลือง สัดส่วน เมทานอลต่อน้ำมันถั่วเหลือง 6 : 1 ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2% โดยน้ำหนัก น้ำมัน อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ N_{RE} ต่างกันคือ 12400 6200 และ 3100 พบว่า เมื่อ N_{RE} เพิ่มขึ้นร้อยละการเปลี่ยนแปลงเป็นเมทิลเอสเทอร์สูงสุดจะใช้เวลาอันน้อยลงสำหรับช่วงแรกก่อนเข้าสู่ สมดุลโดยที่ N_{RE} มากกว่า 10,000 ปฏิกิริยาจะเข้าสู่สมดุลภายใน 1 ถึง 2 นาที เนื่องจากเริ่มแรกสาร ตั้งต้นจะประกอบด้วยของเหลว 2 ส่วนที่ไม่ละลายเข้าด้วยกัน การเกิดเป็นเอสเทอร์จะ อาศัยการถ่ายโอนมวลในช่วงนี้จึงจำเป็นต้องมีการกวนเพื่อช่วยให้สารตั้งต้นเกิดเป็นเอสเทอร์ได้ อย่างรวดเร็ว สำหรับรายงานวิจัยของ Ma and Hanna (1999) อ้างจาก Freedman และคณะ (1984) พิจารณาปฏิกิริยา transesterification ของน้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน และน้ำมันเมล็ดถั่วเหลือง สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5% อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ผลได้เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน และน้ำมันเมล็ดถั่วเหลืองร้อยละ 80 ภายใน 1 นาที และหลังจาก 1 ชั่วโมงร้อยละการเปลี่ยนแปลงเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันทั้ง 4 ชนิด เท่ากับ ร้อยละ 93 - 98 ส่วนรายงานวิจัยของ Ma and Hanna (1999) อ้างจาก Ma และคณะ (1998) ศึกษาผลของระยะเวลาต่อการเกิดปฏิกิริยา transesterification จากไขมันวัวด้วยเมทานอล พบว่า ปฏิกิริยาจะเกิดช้ามากใน 1 นาทีแรก เนื่องจากต้องมีการผสมและการละลายของเมทานอลเข้ากับ ไขมันวัว แต่ที่ระยะเวลา 1 - 5 นาที ปฏิกิริยาจะเกิดเร็วมากและค่อยลดลงโดยมีค่าสูงสุดที่ 15 นาที



รูปที่ 21 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการกวนต่อร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 22 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการกวนต่อร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากการทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง (รูปที่ 23) เนื่องจากน้ำมันเมล็ดยางพาราที่ใช้ในการผลิตมีค่ากรดไขมันอิสระสูง จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการแยกยางเหนียวและกระบวนการกำจัดกรดไขมัน เพื่อให้ค่ากรดไขมันอิสระน้อยกว่าร้อยละ 1 จึงสามารถเข้าสู่กระบวนการ transesterification ได้ โดยในแต่ละกระบวนการจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันไปพบว่า น้ำมันเมล็ดยางพาราผ่านกระบวนการแยกยางเหนียวแล้วเหลือน้ำมันเมล็ดยางพาราร้อยละ 90.11 กระบวนการกำจัดกรดไขมันเกิดสูญจึ้นร้อยละ 67.61 และได้น้ำมันเมล็ดยางพาราบริสุทธิ์ร้อยละ 22.50 ส่วนกระบวนการ transesterification ผลได้เมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 15.16 กลีเซอรินไม่ได้ตรวจสอบ อธิบายได้ว่าน้ำมันเมล็ดยางพารามีร้อยละกรดไขมันอิสระที่สูง ทำให้ในกระบวนการขจัดกรดไขมันเกิดสูญจึ้นจำนวนมาก จากรายงานวิจัยของ Canakci and Van Gerpen (1999) อ้างจาก Freedmen และ pryde (1982) และ Liu (1994) พบว่า น้ำมันที่มีร้อยละกรดไขมันอิสระมากกว่า 1 เมื่อใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา transesterification ทำให้เกิดการฟอร์มตัวเป็นสูญจึ้น ซึ่งจะเป็นอุปสรรคในการแยกเอสเทอร์ออกจากกลีเซอริน อีกทั้งยังลดการเปลี่ยนเอสเทอร์ (ester conversion rate)



รูปที่ 23 ผลการทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง

ตารางที่ 10 คุณสมบัตการผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง

Process	Material	%FFA	Input (kgs)	Output (kgs)	Yield (%)
					Process Overall
Solvent extraction	Kernel		4	-	-
	Rubber Seed				
	Hexane		6.3	2.1	33.3
	Crude Rubber Seed Oil		-	1.062	26.6
Degumming	Crude Rubber Seed Oil	28.31	1.062	-	-
	Rubber Seed Oil	27.25	-	0.957	90.1
	impurity		-	0.105	9.9
Neutralization	Rubber Seed Oil	27.25	0.957	-	-
	soap		-	0.718	67.6
	Refined Rubber Seed Oil	1	-	0.239	22.5
Transesterification	Refined Rubber Seed Oil	1	0.239	-	-
	Methanol		0.048	-	-
	NaOH		0.00239	-	-
	Glycerine		-	-	-
	Methyl ester		-	0.161	15.16

หมายเหตุ : Glycerine ไม่ได้ตรวจสอบ (พิจารณาตามปริมาณสัมพัทธ์จะเท่ากับ 0.025 kg หรือ 2.35 %wt)

4.2 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด

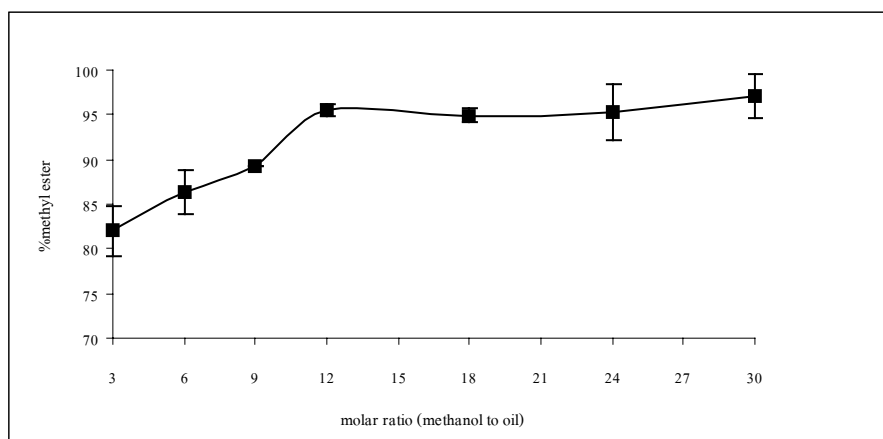
4.2.1. ผลของสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอล

การศึกษาผลของสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อการผลิตไบโอดีเซลใช้สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดยางพารา 3 : 1 6 : 1 9 : 1 12 : 1 18 : 1 24 : 1 และ 30 : 1 ทำปฏิกิริยา transesterification โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 1% ปริมาตรต่อน้ำหนักน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผ่านกระบวนการล้างน้ำและขจัดน้ำออก พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดยางพาราในช่วง 3 : 1 – 12 : 1 ผลผลิตที่ได้มีความเป็นเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 82.02 เป็น 95.54 และเมื่อเพิ่มสัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดยางพารามากกว่า 12 : 1 ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์ในผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (รูปที่ 24) ส่วนร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์เมื่อเพิ่มสัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดยางพาราในช่วง 3 : 1 – 30 : 1 ร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์โดยรวมจะคงที่ (รูปที่ 25) นอกจากนี้ยังมีไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมัน ไคโลลิเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ หลงเหลืออยู่ร้อยละ 1.72 0.45 1.18 และ 1.69 ตามลำดับ (รูปที่ 26) ดังนั้นจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดยางพาราเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์ในผลผลิตเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ภาวะสมดุล ซึ่งสอดคล้องตามรายงานวิจัยของ Canakci and Van Gerpen (1999) ซึ่งศึกษาการเกิดปฏิกิริยา transesterification ด้วยกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 3% อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 48 ชั่วโมง ที่สัดส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันแตกต่างกัน คือ 3.3 : 1 3.9 : 1 6 : 1 20 : 1 และ 30 : 1 พบว่า เมื่อสัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 98.4 ที่สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 30 : 1 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Crabbe และคณะ (2001) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ พบว่า การเพิ่มสัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันทำให้ร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดร้อยละ 78 ที่สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 23 : 1 ตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 3% ส่วน Canakci and Van Gerpen (1999) อ้างจาก Formo (1954) ศึกษาปฏิกิริยา transesterification ด้วยกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ที่ปริมาณเมทานอลมากเกินไป 15 – 35 หลังจากทำปฏิกิริยาด้วยการรีฟลักซ์ไปหลายชั่วโมง ทำให้ร้อยละผลได้ของเอสเทอร์เท่ากับร้อยละ 95 นอกจากนี้ Canakci and Van Gerpen (1999) อ้างจาก Freedman และคณะ (1984) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลของตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดกับเมทานอลที่สัดส่วนเชิงโมล 6 : 1 20 : 1 และ 30 : 1 พบว่า ที่สัดส่วนเชิงโมล 6 : 1 และ 20 : 1 หลัง

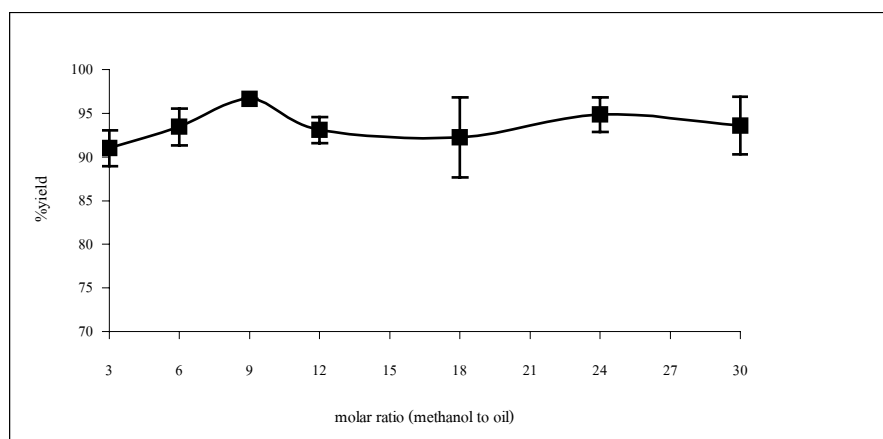
จากการทำปฏิกิริยานาน 18 ชั่วโมง ความเป็นเมทิลเอสเทอร์ยังไม่เพียงพอ โดยร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์จะมากที่สุดที่สัดส่วนเชิงโมล 30 : 1

โดยทางทฤษฎีแล้วปริมาณสัมพันธของปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ที่บริบูรณ์ คือ อัตราส่วนโมลระหว่างไตรกลีเซอไรด์ต่อแอลกอฮอล์ 1 ต่อ 3 แต่ในทางปฏิบัติ พบว่า ปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์สามารถผันกลับได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์อัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันต้องเพิ่มจำนวนโมลเมทานอลมากขึ้นด้วยเพื่อขับเคลื่อนให้สภาวะสมดุลเลื่อนเข้าไปใกล้ผลิตภัณฑ์มากที่สุด (Ma and Hanna, 1999)

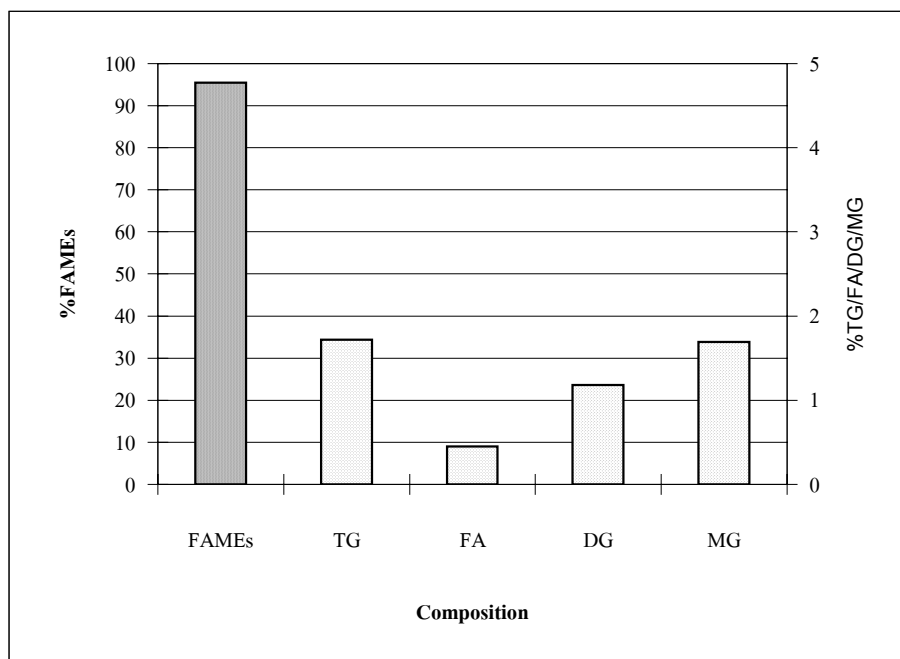
ดังนั้นในการผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดคางพารา 12 : 1 เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดคางพาราที่ทำให้เมทิลเอสเทอร์เข้าสู่สภาวะสมดุลโดยให้ค่าร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 95.54



รูปที่ 24 ผลของสัดส่วนเชิงโมลต่อร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา กรดซัลฟิวริก



รูปที่ 25 ผลของสัดส่วนเชิงโมลต่อร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา กรดซัลฟิวริก



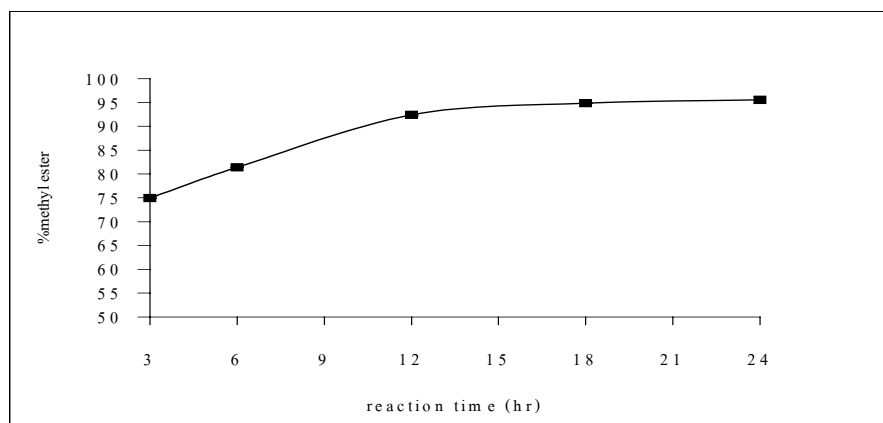
รูปที่ 26 ผลผลิตของปฏิกิริยา transesterification ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก จากผลสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลที่เหมาะสม

4.2.2 ผลของระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา

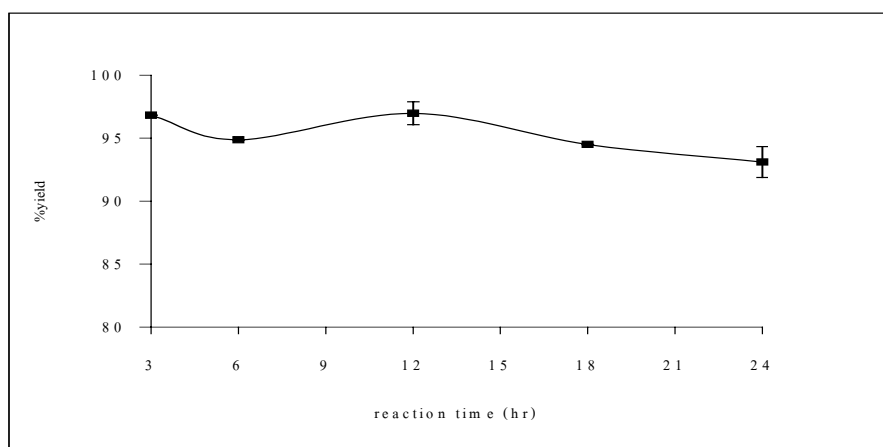
การศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาจากสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดขางพารา 12 : 1 ทำปฏิกิริยา transesterification โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 1% ปริมาตรต่อน้ำหนักน้ำมันที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างกัน คือ 3 6 9 12 15 18 21 และ 24 ชั่วโมง พบว่า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 – 12 ชั่วโมง ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์เพิ่มสูงขึ้นจาก 74.97 ไปเป็น 92.41 หลังจากระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์จะคงที่ (รูปที่ 27) ส่วนร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์ พบว่า ในช่วงระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 - 24 ชั่วโมง ร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์จะลดลงจากร้อยละ 96.82 เป็น 93.11 ยกเว้นที่เวลา 12 ชั่วโมง จะแตกต่างออกไป สาเหตุการลดลงของร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์ อาจเนื่องมาจากการเกิดการรั่วไหลของเมทานอลเพราะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยานานแม้จะใช้ภาชนะบรรจุแบบมีฝาปิดแล้วก็ตาม (รูปที่ 28) นอกจากนี้ยังมีไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมัน ไคลิเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ หลงเหลืออยู่ ร้อยละ 3.48 0.38 2.60 และ 1.13 (รูปที่ 29) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ภาวะสมดุลซึ่งสอดคล้องตามรายงานวิจัยของ

Canakci and Van Gerpen (1999) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยา transesterification ด้วยกรดซัลฟิวริก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 3% สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 45 และ 96 ชั่วโมง พบว่า การเปลี่ยนแปลงเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 87.8 เป็น ร้อยละ 95.1 เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นจาก 48 ไปเป็น 96 ชั่วโมง เช่นเดียวกับรายงานวิจัยของ Canakci and Van Gerpen (1999) อ้างจาก Freedman และคณะ (1984) ศึกษาปฏิกิริยา transesterification ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก ที่สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 20 : 1 และ 30 : 1 พบว่า สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 และ 20 : 1 เวลาทำปฏิกิริยา 18 ชั่วโมง จะไม่เพียงพอสำหรับการเปลี่ยนแปลงของเอสเทอร์ ส่วนสัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 30 : 1 เวลาทำปฏิกิริยา 69 ชั่วโมง จึงจะเพียงพอสำหรับการเปลี่ยนแปลงของเอสเทอร์

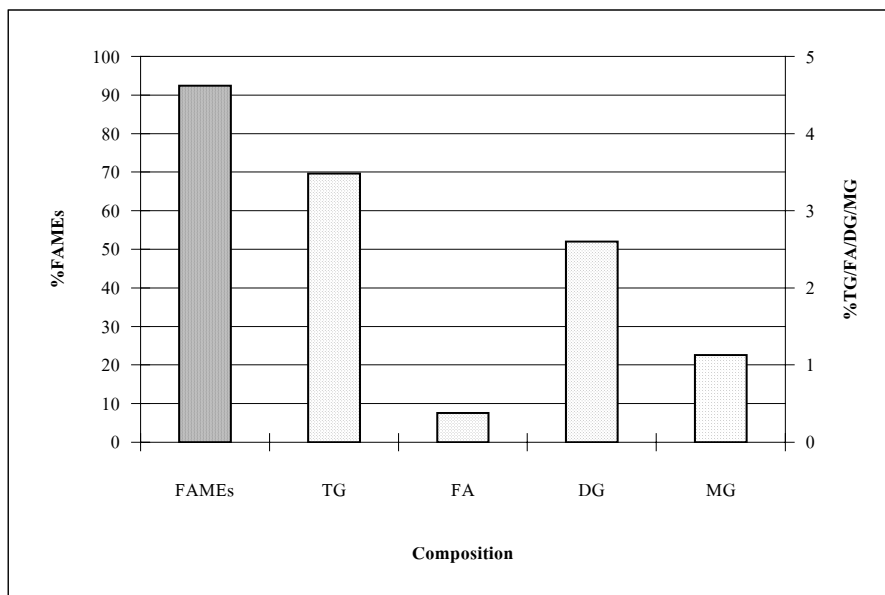
ดังนั้นในการผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง เหมาะสมที่สุดเนื่องจากเป็นระยะเวลาทำปฏิกิริยาที่ทำให้เมทิลเอสเทอร์เข้าสู่สภาวะสมดุล โดยให้ค่าร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 92.41



รูปที่ 27 ผลระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่อร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา กรดซัลฟิวริก



รูปที่ 28 ผลระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา กรดซัลฟิวริก



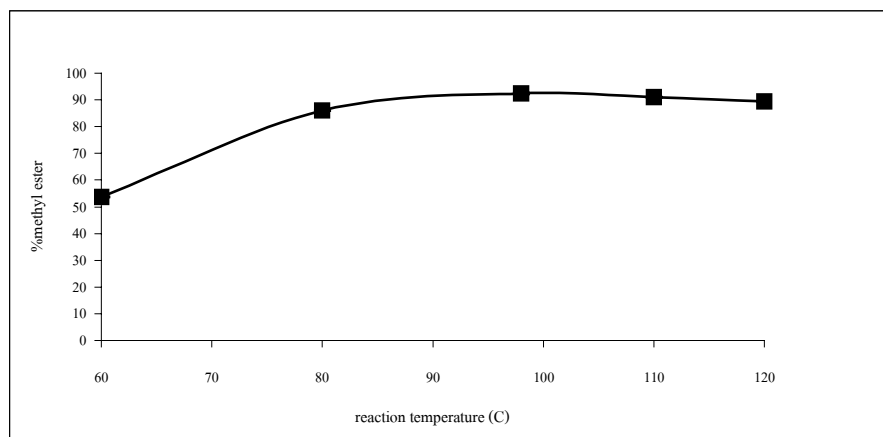
รูปที่ 29 ผลผลิตปฏิกิริยา transesterification ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก จากผลของระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

4.2.3 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา

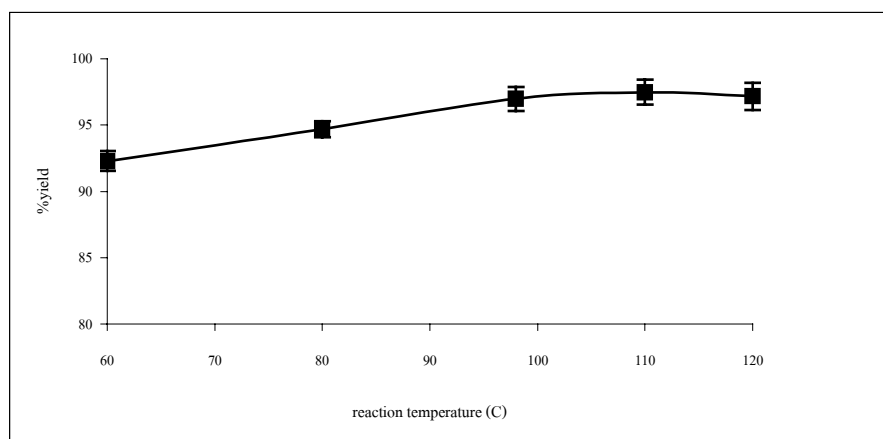
การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาโดยใช้สัดส่วนเชิงโมลของ เมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดคางพารา 12 : 1 ทำปฏิกิริยา transesterification ด้วยกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 1% ปริมาตรต่อน้ำหนักน้ำมัน เวลา 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่าง ๆ กัน คือ 60 80 98 110 และ 120 องศาเซลเซียส พบว่า การผลิตเมทิลเอสเทอร์ในช่วงอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 60 - 98 องศาเซลเซียส ร้อยละเมทิลเอสเทอร์เพิ่มจากร้อยละ 53.79 เป็น 92.41 และหลังจากอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 98 องศาเซลเซียส ร้อยละเมทิลเอสเทอร์จะคงที่ (รูปที่ 30) ส่วนร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์ พบว่า อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาในช่วง 60 - 98 องศาเซลเซียส ร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 92.29 เป็น 96.98 แต่หลังจากอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 98 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์จะคงที่ (รูปที่ 31) นอกจากนี้ยังมี ไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมัน ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์หลงเหลืออยู่ร้อยละ 3.48 0.38 2.60 และ 1.13 (รูปที่ 32) ดังนั้นจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์ และร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นจนเข้าสู่สภาวะสมดุลซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Canakci and Ven Gerpen (1999) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยา transesterification ด้วยกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 3% สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 นาน 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ กัน คือ 25 45 และ 60 องศาเซลเซียส โดยเลือกใช้อุณหภูมิสูงสุดที่ 60

องศาเซลเซียส เนื่องจากต่ำกว่าจุดเดือดของเมทานอล (65 องศาเซลเซียส) พบว่า การเปลี่ยนแปลง เอสเตอร์เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงเอสเตอร์ เท่ากับ 8.3% 57.2% และ 87.8% ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 25 45 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Crabbe และคณะ (2001) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจาก น้ำมันปาล์มดิบโดยพิจารณาอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 70 80 และ 95 องศาเซลเซียส สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 40 : 1 ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 5% พบว่า อัตราการเกิด ปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับการเพิ่มอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 95 องศาเซลเซียส จะมีร้อยละผลได้เมทิลเอสเตอร์สูงสุด 99.7 เวลาในการทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง

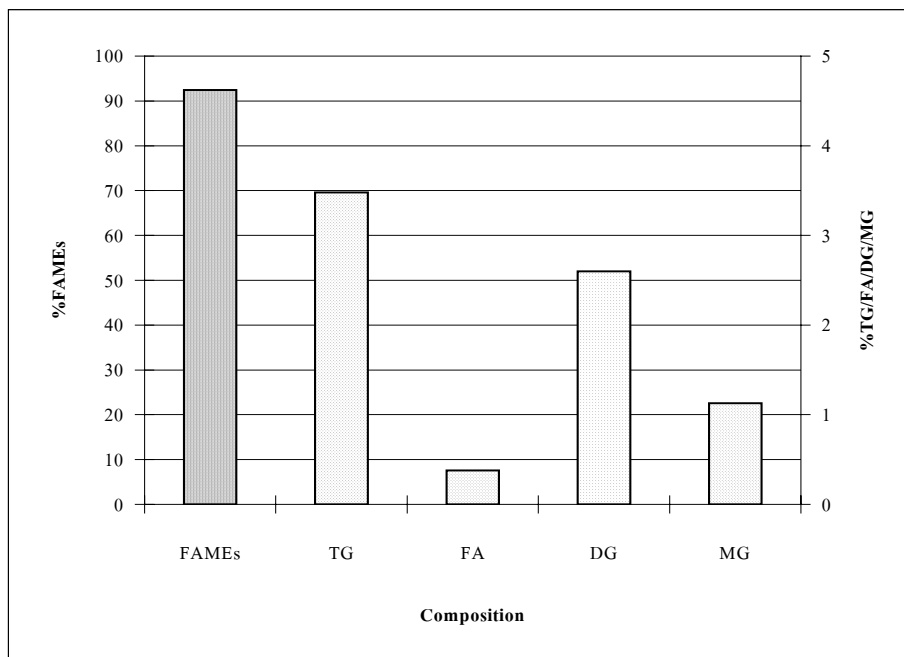
ดังนั้นในการผลิตเมทิลเอสเตอร์โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 98 องศาเซลเซียส เหมาะสมที่สุดเนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เมทิลเอสเตอร์เข้าสู่ภาวะสมดุล โดยให้ค่าร้อยละความเป็นเมทิลเอสเตอร์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 92.41



รูปที่ 30 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่อร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก



รูปที่ 31 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก



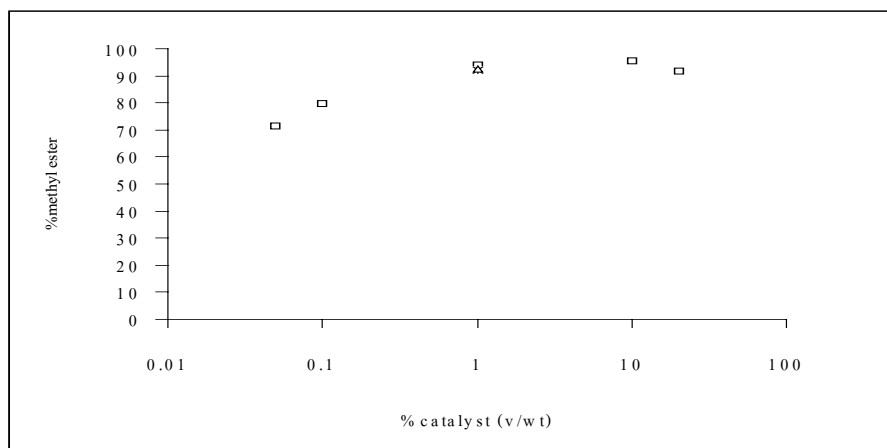
รูปที่ 32 ผลผลิตปฏิกิริยา transesterification ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกจากผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

4.2.4 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

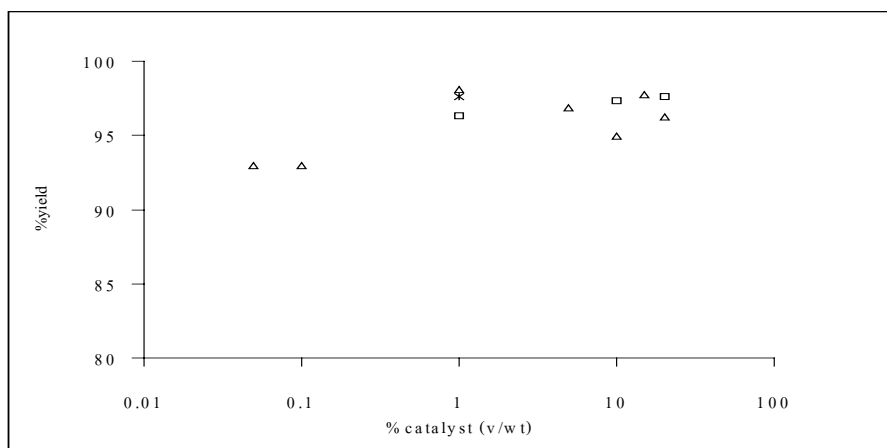
การศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดขางพารา 12 : 1 ทำปฏิกิริยา transesterification นาน 12 ชั่วโมง อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 98 องศาเซลเซียส กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณต่างๆ กันคือ ร้อยละ 0.05 0.1 1 5 10 15 และ 20 ปริมาตรต่อน้ำหนัก พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วงร้อยละ 0.05 – 1.0 ปริมาตรต่อน้ำหนัก ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 71.50 เป็น 92.94 และหลังจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 ปริมาตรต่อน้ำหนัก ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์จะคงที่ (รูปที่ 33) ส่วนร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.05 – 1.0 ปริมาตรต่อน้ำหนัก ค่าร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากร้อย 92.98 เป็น 97.36 และหลังจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 ปริมาตรต่อน้ำหนัก ค่าร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์จะคงที่ (รูปที่ 34) นอกจากนี้ยังมีไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมัน ไคลิเซอไรด์ และโมนอกลิเซอไรด์ หลงเหลืออยู่ร้อยละ 3.48 0.43 2.58 และ 1.73 (รูปที่ 35) นั่นก็แสดงว่าเมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์และร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจนเข้าสู่ภาวะสมดุลซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Canakci

and Van Gerpen (1999) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยา transesterification ด้วยกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 3% สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 48 ชั่วโมง ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกต่างๆ กัน คือร้อยละ 1 3 และ 5 พบว่า เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1 เป็น 5 จะทำให้การเปลี่ยนแปลงเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 72.7 เป็น 95.0 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Crabbe และคณะ (2001) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ พบว่า การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น โดยที่สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 23 : 1 ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 5% จะได้รับร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์สูงสุดร้อยละ 82

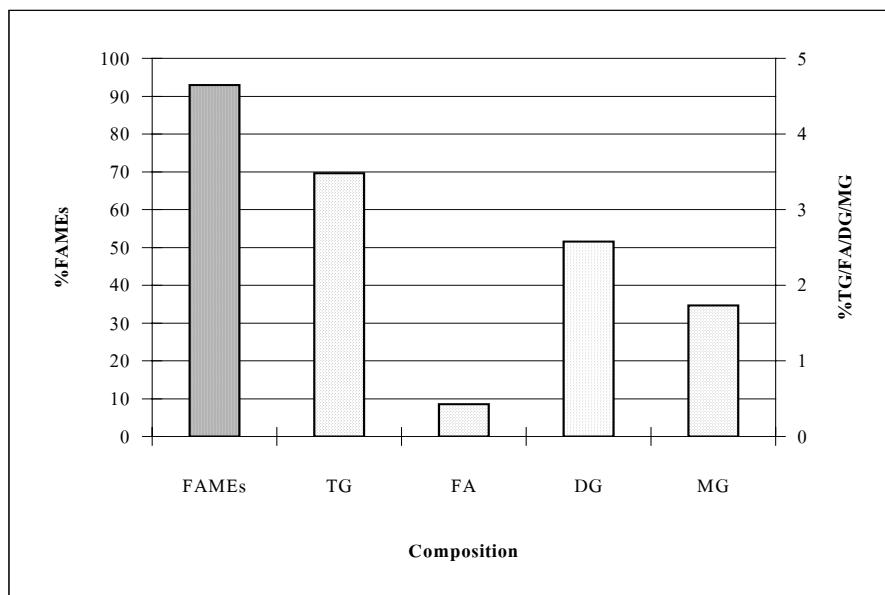
ดังนั้นในการผลิตเมทิลเอสเทอร์โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกร้อยละ 1 เหมาะสมที่สุดเนื่องจากเป็นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เมทิลเอสเทอร์เข้าสู่ภาวะสมดุล โดยให้ค่าเมทิลเอสเทอร์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 92.94



รูปที่ 33 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก



รูปที่ 34 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก



รูปที่ 35 ผลผลิตปฏิกิริยา transesterification ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริกจากผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม

4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงและองค์ประกอบของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราผลิตจากหัวข้อ 3.5.1 โดยทำการเปรียบเทียบกับข้อกำหนดคุณภาพไบโอดีเซลมาตรฐานและน้ำมันดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 11 อธิบายได้ดังนี้

จุดวาบไฟมีค่า 185 องศาเซลเซียส เป็นไปตามข้อกำหนดคุณภาพไบโอดีเซลมาตรฐานแต่เกินค่ามาตรฐานข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและหมุนช้า (52 °C min) จึงทำให้ไบโอดีเซลที่ได้สามารถขนถ่ายและเก็บได้อย่างปลอดภัยกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องมาจากการมีจุดวาบไฟที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลจึงมีความเสี่ยงต่อการระเบิดหรือการติดไฟน้อยกว่า

จุดขุ่นมีค่า 2 องศาเซลเซียส ตามข้อกำหนดคุณภาพไบโอดีเซลมาตรฐานและน้ำมันดีเซลไม่ได้กำหนด ส่วนจุดไหลเทมีค่า 0 องศาเซลเซียส เป็นไปตามข้อกำหนดน้ำมันดีเซลหมุนช้า (16 °C max) และหมุนเร็ว (10 °C max) ซึ่งหากนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลจะไม่เกิดการแข็งตัวได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส

ค่าความถ่วงจำเพาะ (30 °C) เท่ากับ 0.88 ตามข้อกำหนดคุณภาพไบโอดีเซลมาตรฐานไม่ได้กำหนดแต่จะมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำมันดีเซล

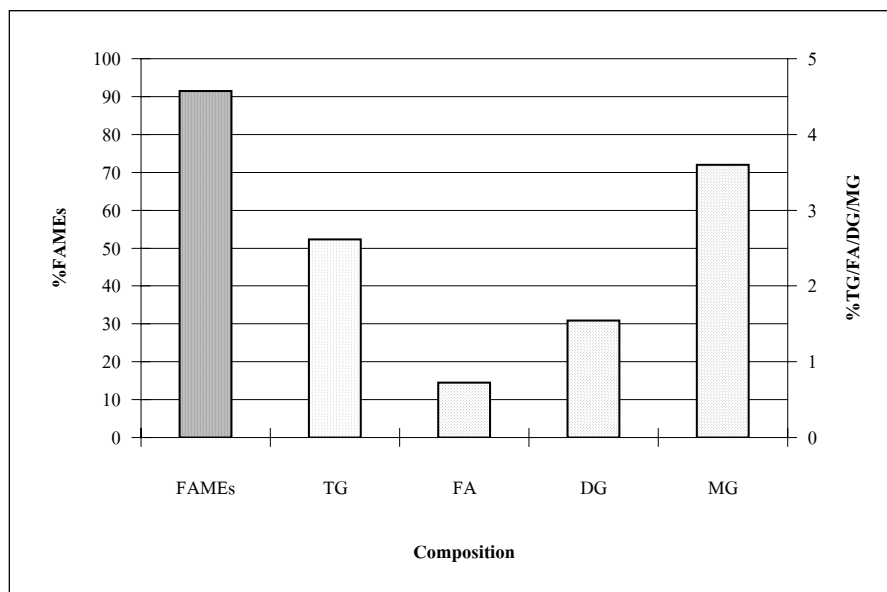
ค่าความหนืด (40 °C) 7.32 เซนติสโตค มีค่าเกินมาตรฐานข้อกำหนดไบโอดีเซล (6.0 max) และน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (1.8-4.1 cSt) แต่มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานข้อกำหนดคุณภาพ น้ำมันดีเซลหมุนช้า (8.0 max) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเมล็ดคางพาราดิบ (30.6 cSt) ค่าความหนืด จะลดลง (4.18 เท่า) ไบโอดีเซลที่ได้จึงน่าจะเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ชนิดรอบต่ำ (300 รอบต่อนาที) และชนิดรอบปานกลาง (300-1000 รอบต่อนาที) (กนกอร รัตนกิจ และ จินดา เจริญพรพานิชย์, 2545)

อุณหภูมิการกลั่น (เทียบเท่าที่ความดันบรรยากาศกลั่นได้ร้อยละ 90) มีค่า 344 องศาเซลเซียส เป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนดไบโอดีเซลและเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมัน ดีเซลจะมีค่าต่ำกว่าซึ่งน่าจะทำให้ไบโอดีเซลมีการเผาไหม้ที่บริบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล

ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์ 91.5 ตามข้อกำหนดคุณภาพไบโอดีเซลมาตรฐาน และน้ำมันดีเซลไม่ได้กำหนด

เมื่อพิจารณาผลผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก พบว่า มีลักษณะ สีดำคล้ำ (รูปที่ 37) ซึ่งจะแตกต่างจากไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีลักษณะสีเหลืองทอง (รูปที่ 23) และมีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมัน ไคกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ เหลืออยู่ร้อยละ 2.61 0.72 1.54 และ 3.60 ตามลำดับ (รูปที่ 36) จะเห็นว่า ปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์มีอยู่สูงสุดเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ (Ma and Hanna, 1999 quoting Ma และคณะ, 1998)

ส่วนผลการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดคางพารา เปรียบเทียบกับไบโอดีเซลจากน้ำมันชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 12 พบว่า คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง ของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดคางพาราเมื่อเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลจากน้ำมันชนิดต่างๆ จะมีค่า แตกต่างกันออกไปขึ้นคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพและกระบวนการผลิตไบโอดีเซลของน้ำมันในแต่ละชนิด



รูปที่ 36 องค์ประกอบของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดขางพารา จากผลของสัดส่วนเชิงโมล
ระยะเวลา อุณหภูมิ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม



รูปที่ 37 ผลผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดขางพารา จากผลของสัดส่วนเชิงโมล
ระยะเวลา อุณหภูมิ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์กับไบโอดีเซลมาตรฐานจากประเทศต่างๆ

คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง	หน่วย	This work	USA(a)		Thailand(b)	
			ASTM D 6751		High Speed	Low Speed
			Minimum	Maximum	Diesel	Diesel
จุดวาบไฟ	°C	185	130	na	52 min.	52 min.
จุดขุ่น	°C	2	รายงานผล		na	na
จุดไหลเท	°C	0	na	na	10 max.	16 max.
ค่าความถ่วงจำเพาะ	-	0.88(30 °C)	na	na	0.81-0.87(15.6°C)	0.92 max.
ค่าความหนืด (40 °C)	cSt	7.32	1.9	6.0	1.8-4.1	8.0 max.
อุณหภูมิการกลั่น เทียบเท่า ที่ความดันบรรยากาศ กลั่นได้ร้อยละ 90	°C	344	na	360	357 max.	na
ร้อยละเมทิลเอสเทอร์	%	91.5	na	na	na	na

na = not available

ที่มา : a = อ้างอิงใน คณะกรรมการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร (2545), b= อ้างอิงใน ศิริพร คำนคร (2544)

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์กับไบโอดีเซลจากน้ำมันชนิดต่างๆ

ลำดับ	คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง	หน่วย	This work	RSO ME(a)	SUNFLOWER OIL ME (b)	LINSEED OIL ME (b)	CASTOR OIL ME (c)	INNER PALM KERMEL OIL ME (c)	COTTON SEED OIL ME (c)
1	จุดวาบไฟ	°C	185	235	na	79	204	154	110
2	จุดจุด	°C	2	0.4	na	< - 1	na	na	na
3	จุดไหลเท	°C	0	na	na	na	-24	18	-2
4	ค่าความหนืด	cSt	7.32(40 °C)	6.29 (30 °C)	8.4(20 °C)	3.12(30 °C)	6.82	4.8	2.69
5	ค่าความถ่วงจำเพาะ	-	0.88(30 °C)	0.885	0.8962	0.84	0.884(15 °C)	0.876(15 °C)	0.870(15 °C)
6	อุณหภูมิการกลั่น เทียบเท่าที่ความดันบรรยากาศกลั่นได้ร้อยละ 90	°C	344	na	na	na	310	325	
7	ร้อยละเมทิลเอสเทอร์	%	91.5	na	na	na	na	na	na

na = not available

หมายเหตุ : Test condition

molar ratio (oil : methanol) = 1 : 12

reaction time = 12 hrs

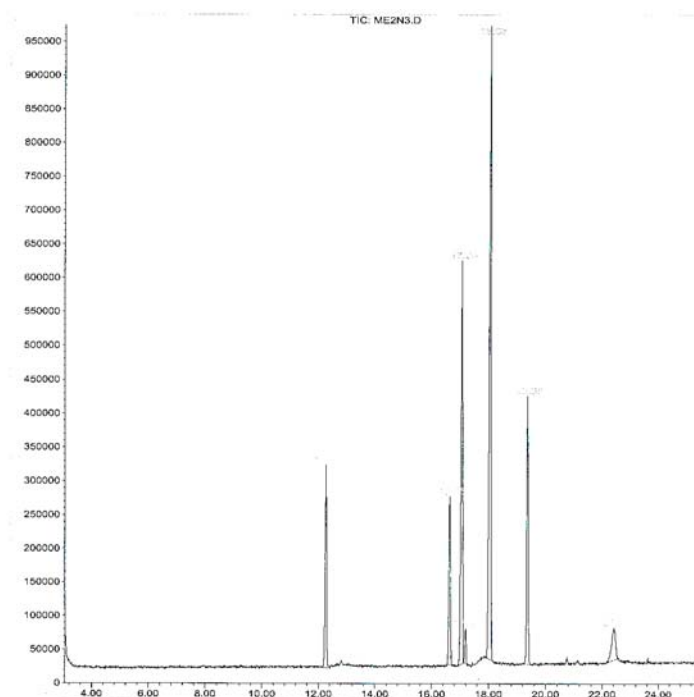
reaction temp = 98 C

a = Ikwuagwu *et al.*, (2000)

b = Ikwuagwu *et al.*, (2000) อ้างจาก Quick (1989)

c = มุทิตา ยันบูรพา และคณะ (2545)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราที่ผลิตจากหัวข้อ 3.5.1 ด้วยเครื่อง GC/MS แสดงดังรูปที่ 38 และตารางที่ 13 พบว่า ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพารามีองค์ประกอบส่วนใหญ่ของ เมทิลลินโนเลทร้อยละ 43.05 และเมทิลโอเลทร้อยละ 23.67 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบชนิดเมทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันในไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราจะสอดคล้องกับองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดยางพาราดิบที่มีองค์ประกอบของกรดลิโนเลอิก (40.01%) สูงสุดและกรดโอเลอิก (23.44%) รองลงมา



รูปที่ 38 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราด้วย GC/MS

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบชนิดเมทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันในไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราที่ศึกษาเปรียบเทียบกับชนิดเมทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันในไบโอดีเซลจากรายงานวิจัยต่างๆ แสดงดังตารางที่ 14 พบว่า ชนิดเมทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันในไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราจะแตกต่างจากชนิดเมทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันในไบโอดีเซลจากรายงานวิจัยซึ่งเป็นผลผลิตจากปาล์มน้ำมันที่มีองค์ประกอบของเอสเทอร์จากกรดไขมันชนิดอิ่มตัว เช่น เมทิลปัลมิเตท เป็นส่วนใหญ่ แต่สำหรับชนิดเมทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันในไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพารา มีองค์ประกอบของเอสเทอร์จากกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เช่น เมทิลลินโนเลท เป็นส่วนใหญ่เป็นผลให้จุดไหลเท (0 °C) ดำจึงไม่เกิดการตกผลึกและแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องแตกต่างจากไบโอดีเซลจากผลผลิตปาล์มน้ำมันต้องผ่านการตกผลึกเพื่อแยกเมทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันอิ่มตัวก่อนนำไปใช้

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดขางพาราด้วย GC/MS

Methyl ester	Structure	Composition (%)
Methyl laurate	12:0	-
Methyl myristate	14:0	-
Methyl palmitate	16:0	10.56
Methyl stearate	18:0	9.01
Methyl arachidate	20:0	-
Methyl palmitoleate	16:1	-
Methyl oleate	18:1	23.67
Methyl linoleate	18:2	43.05
Methyl linolenate	18:3	13.71

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดขางพารากับไบโอดีเซลจากรายงานวิจัยต่างๆ

Methyl ester	Structure	Palm oil (a)	Palm oil (b)		Palm oil (c)	Palm oil (d)			This work
			RBD	Stearin		CPO	CPS	CPKO	
Methyl laurate	12:0	0.35	-	-	0.2	0.3	0.4	44.9	-
Methyl myristate	14:0	1.08	1.19	0.05	1.1	0.8	1.9	16.0	-
Methyl palmitate	16:0	43.79	27.10	69.12	44.0	44.3	52.0	10.1	10.56
Methyl stearate	18:0	4.42	7.25	7.63	4.5	5.0	4.1	2.4	9.01
Methyl arachidate	20:0	0.38	-	-	0.4	-	-	0.2	-
Methyl palmitoleate	16:1	0.15	1.78	0.21	0.1	0.2	-	-	-
Methyl oleate	18:1	39.90	42.93	21.72	39.2	39.1	32.7	17.1	23.67
Methyl linoleate	18:2	9.59	18.68	1.27	10.1	10.1	7.9	2.8	43.05
Methyl linolenate	18:3	0.17	1.07	-	0.4	0.1	0.1	0.2	13.71

หมายเหตุ : a = Darnoko and Munir Cheryan (2000)

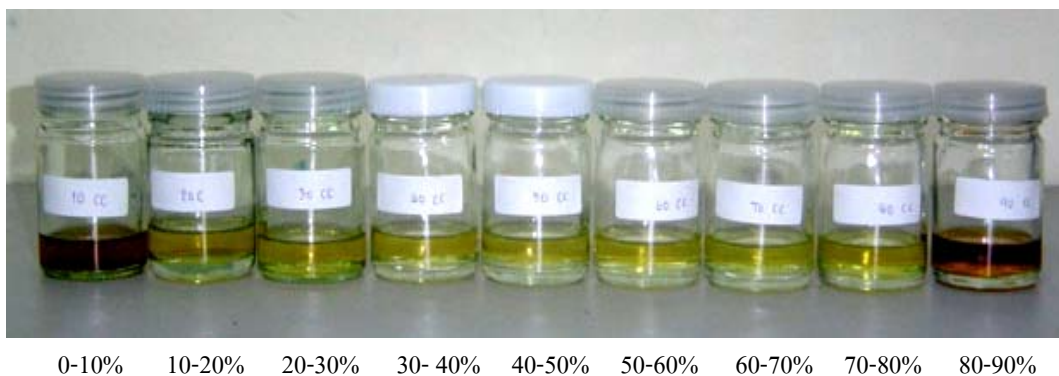
b = ชาคริต ทองอุไร และคณะ (2544)

c = Darnoko and Munir Cheryan (2000) อ้างจาก Maycock (1987)

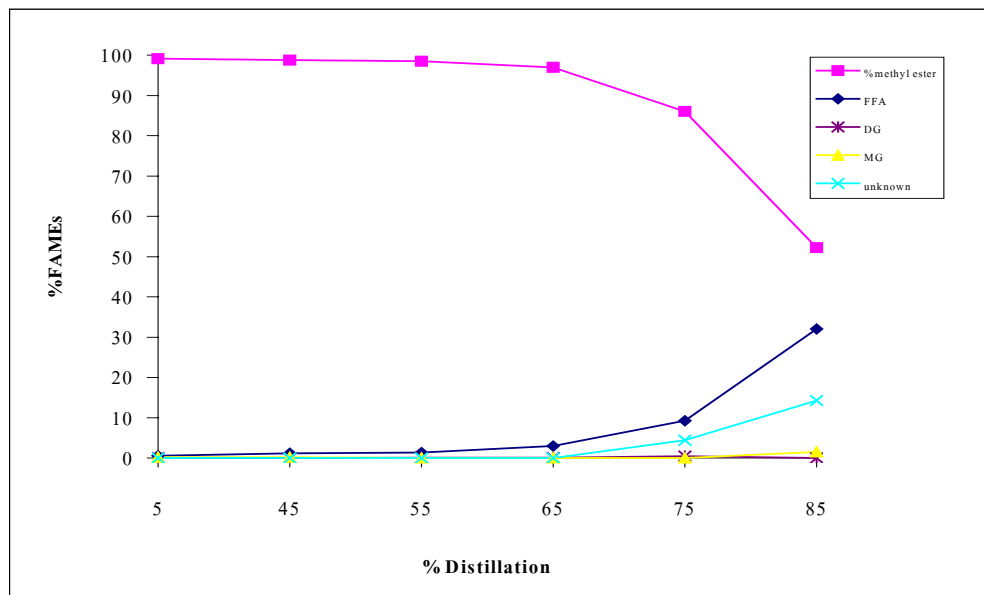
d = Choo and Ma (1996)

4.4 การปรับปรุงคุณภาพไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราด้วยกระบวนการกลั่น

ผลการปรับปรุงคุณภาพไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราด้วยกระบวนการกลั่นพบว่า ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากหัวข้อ 3.5.1 เมื่อผ่านกระบวนการกลั่นร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์เพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 91.5 เป็น 99.11 ในช่วงร้อยละ 0 – 10 โดยปริมาณน้ำมันร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์จะคงที่ ในช่วงร้อยละ 10 – 70 โดยปริมาณน้ำมัน และหลังจากร้อยละ 70 โดยปริมาณน้ำมัน ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์จะลดลง กรดไขมันและสารปนเปื้อนจะเพิ่มขึ้น (รูปที่ 40) ในช่วงร้อยละ 10 – 70 โดยปริมาณของน้ำมันที่กลั่นได้เปลี่ยนสีจากน้ำตาลแดงไปเป็นเหลืองทองอ่อนลงเรื่อยๆ (รูปที่ 39) หลังจากนั้นสีของน้ำมันจะเข้มขึ้น ผลการวิเคราะห์ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์ ในแต่ละช่วงปริมาณของน้ำมันที่กลั่นได้ พบว่า ช่วงร้อยละ 0-10 โดยปริมาณน้ำมัน มีความเป็นเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 99.11 ในช่วงร้อยละ 10-70 โดยปริมาณน้ำมัน ร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์มีค่าเกือบคงที่ และมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 96.94-98.71 โดยปริมาณน้ำมัน ส่วนหลังจากนั้นมีการ้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์ลดลงรวดเร็ว โดยร้อยละสิบโดยปริมาตร สุดท้ายน่าจะมีความเป็นเมทิลเอสเทอร์ไม่เกินร้อยละ 32 ที่เหลือส่วนใหญ่ คือ กรดไขมันอิสระ ไคคลิโซไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ และสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ



รูปที่ 39 ผลการปรับปรุงคุณภาพไบโอดีเซลด้วยกระบวนการกลั่น



รูปที่ 40 องค์ประกอบของไบโอดีเซลจากผลการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการกลั่น

ผลการหาร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์เฉลี่ยในช่วงร้อยละ 70 แรกของน้ำมันที่กลั่นได้ จากการหาพื้นที่ใต้เส้นความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความเป็นเมทิลเอสเทอร์กับช่วงปริมาตรที่กลั่นได้มีค่าประมาณร้อยละ 59.21 ซึ่งใกล้เคียงกับมาตรฐานของอิตาลี (≥ 95) และฝรั่งเศส (≥ 96.5) อ้างจาก Neto da la Silva และคณะ (2003) ข้อมูลที่น่าเสนอนี้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการกลั่นเมทิลเอสเทอร์จากกระบวนการผลิตที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยนำร้อยละ 70 โดยปริมาตรไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ส่วนที่เหลือซึ่งมีกรดไขมันอิสระ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ อาจนำกลับไปรวมกับน้ำมันจากเมล็ดขางพาราเพื่อผลิตเป็นเมทิลเอสเทอร์อีกครั้ง

5. ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดขางพาราโดยคำนวณต้นทุนผันแปรที่ใช้ในการผลิต

5.1 ฐานการคำนวณและข้อมูลพื้นฐานของกระบวนการผลิต

เพื่อให้การประมาณค่าใช้จ่ายผันแปรสอดคล้องกับหน่วยผลิตขนาดเล็ก ในที่นี้กำหนดฐานการคำนวณของหน่วยผลิต ซึ่งใช้เมล็ดขางพารา 1,000 กิโลกรัม เป็นวัตถุดิบในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ เมล็ดขางพาราที่ใช้ประกอบด้วยเปลือกร้อยละ 43 และเนื้อใน ร้อยละ 57 โดยน้ำหนัก และส่วนที่เป็นเนื้อในมีน้ำมันอยู่ร้อยละ 46.83 และความชื้นร้อยละ 3.45 โดยน้ำหนัก กระบวนการผลิตเริ่มจากนำเมล็ดขางพารามากระเทาะเปลือก นำส่วนที่เป็นเนื้อในมาอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงบดขยี้ขนาดเพื่อป้อนรวมกับเฮกเซนในถังกวน เพื่อ

สกัดน้ำมันที่อยู่ในเนื้อในออกเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แยกกากของเนื้อในที่สกัดน้ำมันแล้วออก และนำ ส่วนผสมของเหลวไประเหยเพื่อเรียกคืนเฮกเซนกลับไปใช้ในการสกัดใหม่ ส่วนน้ำมันเมล็ด ยางพาราที่ได้เข้าสู่กระบวนการ transesterification เพื่อผลิตเมทิลเอสเทอร์ต่อไป

การผลิตเมทิลเอสเทอร์ เริ่มจากนำน้ำมันไปทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยใช้ สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 12 : 1 และใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 1 โดยปริมาตรน้ำหนักน้ำมัน ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จึงนำไป ระเหยเมทานอลที่เหลือออกเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ ส่วนที่เหลือ (รวมทั้งกลีเซอรินที่เกิดขึ้น) นำไป ล้างน้ำ โดยใช้น้ำปริมาณเท่ากันและแบ่งน้ำเท่าๆกัน เพื่อใช้ในการล้าง 5 ครั้ง แยกเมทิลเอสเทอร์ ออกไประเหยน้ำที่ค้างอยู่ออก ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้อุณหภูมิของ ปฏิกิริยา กำหนดให้ร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ มีค่า 97 และผลผลิตสุดท้าย มีความเป็นเมทิล เอสเทอร์ร้อยละ 92

5.2 คุณมูลสารของกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยางพารา

การศึกษาค่าใช้จ่ายผันแปรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยางพารา จะ ต้องทำคุณมูลสารของกระบวนการผลิตโดยรวม ทั้งเพื่อประเมินค่าวัตถุดิบต่างๆ รวมทั้งใช้เป็น ฐานในการประเมินค่าพลังงาน และค่าแรงในการผลิต อย่างไรก็ตามเนื่องจากมีตัวแปรซึ่งเกี่ยวข้องกับ ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆ อยู่มาก ในที่นี้จึงได้แยกคุณมูลสารออก เป็นสองส่วน คือ คุณมูลสารของกระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดยางพารา และคุณมูลสารของ กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ โดยแต่ละส่วนอาจจะต่อเชื่อมกันเป็นกระบวนการผลิตโดยรวม หรือแยกนำไปใช้ประเมินค่าใช้จ่ายในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดยางพารา หรือประเมินค่าใช้จ่ายใน การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยางพาราก็ได้

5.2.1 คุณมูลสารของกระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดยางพารา

ตัวแปรซึ่งเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของกระบวนการนี้มีสองค่า คือ ประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันออกจากเนื้อในเมล็ดยางพารา และประสิทธิภาพการเรียกคืนเฮกเซนเพื่อ กลับมาใช้ใหม่ ในที่นี้กำหนดประสิทธิภาพการเรียกคืนเฮกเซนให้เป็นร้อยละ 99 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับประสิทธิภาพการเรียกคืนในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันพืชทั่วไป ส่วนประสิทธิภาพการสกัด น้ำมันออกจากเนื้อในเมล็ดยางพารา ได้ทำคุณมูลสารจาก 2 ค่า คือ ร้อยละ 57 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จาก การศึกษาครั้งนี้ และร้อยละ 80 เพื่อทดสอบว่าจะมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้อย่างไร ผลทำ คุณมูลสารจากข้อมูลและตัวแปรต่างๆ ที่กำหนด เป็นไปดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 คุณสมบัติของกระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดยางพารา ประสิทธิภาพการเรียกคืน
เฮกเซนร้อยละ 99

สารเข้า (วัตถุดิบ)	กิโลกรัม	สารออก (ผลผลิต)	กิโลกรัม	
			สกัดได้ 57%	สกัดได้ 80%
เมล็ดยางพารา	1,000	กากเมล็ดยางพารา	403.44 (น้ำมัน 27.47%)	334.16 (น้ำมัน 14.98%)
		เปลือกเมล็ดยางพารา	430.00	430.00
		ความชื้นจากการอบเนื้อใน	19.67	19.67
		น้ำมันเมล็ดยางพาราที่สกัดได้	146.90	206.18
เฮกเซน	1,140.00	เฮกเซนที่เรียกคืนได้	1,128.60	1,128.60
		เฮกเซนที่สูญเสียในการสกัด	11.40	11.40

จากตารางที่ 15 พบว่า เมื่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันจากเมล็ดยางพาราเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 57 เป็นร้อยละ 80 ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นจาก 146.90 เป็น 206.18 กิโลกรัม และมีปริมาณน้ำมันเหลืออยู่ในกากเมล็ดยางพาราลดลงจากร้อยละ 27.47 เป็น 14.98 ทำให้เป็นผลดีต่อการนำกากเมล็ดยางพาราไปทดแทนอาหารสัตว์ทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์และโภชนาศาสตร์ ซึ่งจากรายงานวิจัยของศิริชัย ศรีพงศ์พันธุ์ และคณะ (2525) อ้างจาก Sen (1952) พบว่า ปริมาณน้ำมันในเนื้อในเมล็ดยางพาราจะมีผลต่อระบบทางเดินอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง แต่ถ้าสกัดน้ำมันออกไปบ้างแล้วก็จะไม่มีปัญหาในเรื่องน้ำมันแต่อย่างใด

5.2.2 คุณสมบัติของกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยางพารา

เมื่อใช้น้ำมันเมล็ดยางพารา 146.90 กิโลกรัม ซึ่งได้จากการนำเมล็ดยางพารา 1,000 กิโลกรัม สกัดด้วยเฮกเซนด้วยประสิทธิภาพการสกัดร้อยละ 57 เป็นฐานในการคำนวณ โดยกำหนดร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์มีค่า 97 และกำหนดประสิทธิภาพการเรียกคืนเมทานอลในการทำคุณสมบัติสารเป็น 3 ค่า คือ ร้อยละ 0 (ไม่มีการเรียกคืนเมทานอล) ร้อยละ 50 และร้อยละ 99 (เช่นเดียวกับกรณีของการเรียกคืนเฮกเซน) เพื่อทดสอบว่าจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายผันแปรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์อย่างไร ผลการทำคุณสมบัติสารจากข้อมูลและตัวแปรต่างๆ ที่กำหนด เป็นไปดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 คุณมวลสารของกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดขางพารา

สารป้อนเข้า (วัตถุดิบ)	กิโลกรัม	สารออก (ผลผลิต)	กิโลกรัม		
			ไม่เรียกคืน	เรียกคืน 50%	เรียกคืน 99%
น้ำมันเมล็ดขางพารา	146.90	ไบโอดีเซล (ME 92%)	142.49	142.49	142.49
เมทานอล	63.96	เมทานอลที่เรียกคืนได้	-	23.99	47.50
		เมทานอลที่สูญเสีย ในการผลิต	47.98	23.99	0.48
กรดซัลฟิวริก	2.69	กรดซัลฟิวริก	2.69	2.69	2.69
น้ำล้างเมทิลเอสเทอร์	142.49	น้ำจากปฏิกิริยาและน้ำทิ้ง	162.49	162.49	162.49

จากตารางที่ 16 จะเห็นว่า เมื่อไม่มีการเรียกคืนเมทานอลทำให้เกิดการสูญเสียเมทานอลในการผลิต 47.98 กิโลกรัม แต่เมื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียกคืนเมทานอลจากร้อยละ 0 เป็น 99 ทำให้สามารถได้เมทานอลเพิ่มกลับคืนมาจาก 0 กิโลกรัม เป็น 47.50 กิโลกรัม ซึ่งทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้

5.3 การประเมินพลังงานและแรงงานในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดขางพารา

การประเมินพลังงานและแรงงานในกระบวนการผลิตโดยไม่มีโรงงานจำลองต้นแบบ หรือหน่วยผลิตจริงให้ศึกษา มีความยุ่งยากและระดับความคลาดเคลื่อนสูง อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ค่าคร่าวๆ ของค่าใช้จ่ายในการผลิต จึงได้กำหนดสมมติฐานและเงื่อนไขที่ใช้ในการประเมินไว้หลายประการ พอสรุปเป็นข้อๆ ดังนี้

(1) พลังงานและเวลาการดำเนินงานที่ใช้ในการกระเทาะเปลือก แยกเปลือกบดขยี้เมล็ดขางพารา และการกวนผสม ทั้งในเครื่องสกัดน้ำมันและในถังปฏิกรณ์ อิงจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์เดียวกันหรือใกล้เคียงกัน โดยปรับกำลังผลิตให้สอดคล้องกับฐานการคำนวณที่ใช้ การแปลงเวลาดำเนินการให้เป็นแรงงานในรูปของชั่วโมง-คน (Man-hour) ใช้ความสอดคล้องกับการปฏิบัติงานจริง เช่น เวลาในการทำปฏิกิริยา transesterification 12 ชั่วโมง เทียบเป็น 4 ชั่วโมง-คนเท่านั้น รายละเอียดของเครื่องมือ ความจุหรือกำลังผลิต กำลังงานที่ใช้ เวลาดำเนินงานและชั่วโมง-คน ที่ใช้ ตามกำลังผลิตที่กำหนดในฐานการคำนวณ แสดงดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 รายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต

เครื่องมือ/อุปกรณ์	ความสามารถ หรือความจุ	กำลังไฟฟ้า (kW)	เมล็ดยางพารา 1000 kg	
			ชั่วโมง	ชั่วโมง-คน
เครื่องกระเทาะเมล็ด	600 kg/h	1.14	2	2
เครื่องแยกเปลือก	250 kg/h	0.62	4	4
เครื่องอบเนื้อใน	600 kg	4	3	2
เครื่องบดเนื้อใน	600 kg/h	1.14	1	1
ถังกวนสกัดน้ำมัน	2000 liter	1.52	3	2
ถังปฏิกรณ์ไบโอดีเซล	250 liter	0.62	12	4

(2) พลังงานความร้อนที่ใช้ในถังปฏิกรณ์ การระเหยเพื่อเรียกคืนเฮกเซนและเมทานอล คำนวณจากข้อมูลความจุความร้อนและความร้อนแฝงในการระเหยของสารที่เกี่ยวข้อง โดยประมาณการสูญเสียพลังงานจากอุปกรณ์เหล่านี้ ร้อยละ 20

(3) กำหนดให้น้ำสูญเสียในกระบวนการผลิตเฉพาะส่วนที่ใช้ล้างเมทิลเอสเทอร์ โดยน้ำที่ใช้ในเครื่องควบแน่นจะมีการวนซ้ำกลับมาใช้ใหม่หลังจากผ่านระบบลดอุณหภูมิลงแล้ว

(4) ไม่คำนึงการใช้พลังงานในอุปกรณ์ย่อย เช่น ปัมป์ อุปกรณ์ควบคุม รวมทั้งไม่ได้กำหนดเงื่อนไขที่สามารถประหยัดพลังงาน เช่น ใช้พลังงานความร้อนอื่นแทนพลังงานไฟฟ้าในเครื่องอบ นำความร้อนที่ได้จากการควบแน่นมาใช้ในกระบวนการ หรือใช้พลังงานสะสมจากกระบวนการก่อนหน้าจากความต่อเนื่องในกระบวนการผลิต เป็นต้น

ผลการประเมินพลังงานและแรงงานที่ใช้ ในส่วนของการสกัดน้ำมันจากเมล็ดยางพารา และการผลิตเมทิลเอสเทอร์ จากฐานการคำนวณและเงื่อนไขเดียวกันกับการทำดุลมวลสาร แสดงดังตารางที่ 18 และตารางที่ 19

ตารางที่ 18 พลังงานและแรงงานที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดยางพารา

กระบวนการ	พลังงานที่ใช้ (MJ)		ชั่วโมง-คน
	ไฟฟ้า	ความร้อน	
กระเทาะเปลือกเมล็ดยางพารา	8.21		2
แยกเปลือกเมล็ดยางพารา	17.86		4
อบเนื้อในเมล็ดยางพารา		25.92	2
บดเนื้อในเมล็ดยางพารา	4.10		1
สกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดยางพารา	16.42		2
เรียกคืนเฮกเซน		604.68	2
รวม	46.58	630.60	13

จากตารางที่ 18 พบว่า ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดยางพาราพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ต้องใช้เท่ากับ 46.58 และ 630.60 MJ ที่ประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดยางพาราร้อยละ 57 และ 80 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดยางพาราไม่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพของการสกัดจะขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวทำละลาย ชนิดของตัวทำละลาย ขนาดและความหนาของแผ่นเมล็ดพืช

ตารางที่ 19 พลังงานและแรงงานที่ใช้ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยางพารา

กระบวนการ	พลังงานที่ใช้ (MJ)			ชั่วโมง-คน	
	ไฟฟ้า	ความร้อน			
		ไม่เรียกคืน	เรียกคืน 50%		เรียกคืน 99%
เปลี่ยนน้ำมันเป็นเมทิลเอสเทอร์	26.78	45.55	45.55	45.55	4
เรียกคืนเมทานอล		0.00	46.84	81.45	2
ล้างน้ำ		16.61	16.61	16.61	2
ไอน้ำออกจากเมทิลเอสเทอร์		17.37	17.37	17.37	2
รวม	26.78	79.52	126.36	160.97	10

จากตารางที่ 19 พบว่า เมื่อประสิทธิภาพการเรียกคืนเมทานอลเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 50 เป็น 99 ทำให้พลังงานที่ต้องใช้ในการเรียกคืนเมทานอลเพิ่มขึ้นจาก 46.84 เป็น 81.45 MJ แต่ประสิทธิภาพการเรียกคืนเมทานอลที่เพิ่มขึ้นก็สามารถเพิ่มเมทานอลกลับเข้ามาใช้ใหม่ซึ่งจะช่วยลดเมทานอลที่ต้องใช้ป้อนกลับเข้าไปทำปฏิกิริยาใหม่ได้

5.4 การประเมินค่าใช้จ่ายผันแปรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากเมล็ดยางพารา

ในการศึกษาค่าใช้จ่ายผันแปรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากเมล็ดยางพารา ซึ่งประกอบด้วยค่าวัตถุดิบ ค่าพลังงาน และค่าแรงงาน เพื่อพิจารณาผลของตัวแปรที่สำคัญบางตัวที่มีต่อค่าใช้จ่าย ได้แยกพิจารณาเป็นสองกรณีเช่นเดียวกัน คือ การสกัดน้ำมันจากเมล็ดยางพารา และการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยางพารา โดยรอบการพิจารณาในแต่ละกรณี คือ ค่าใช้จ่ายในการสกัดน้ำมันเมล็ดยางพาราจะต้องอยู่ในกรอบราคาน้ำมันพืชดิบ และค่าใช้จ่ายในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยางพารา จะต้องอยู่ในกรอบราคาน้ำมันดีเซล เพื่อให้สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายจากข้อมูลคลุมมวลสาร พลังงานและแรงงานข้างต้นได้ จึงได้กำหนดข้อมูลค่าใช้จ่ายต่อหน่วยต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณไว้ในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ข้อมูลค่าใช้จ่ายต่อหน่วยที่ใช้ในการคำนวณ

รายการค่าใช้จ่าย	หน่วยนับ	ค่าที่ใช้ในการศึกษา	หมายเหตุ
เมล็ดขางพารา	บาท/กิโลกรัม	2, 2.5 และ 3	
เฮกเซน	บาท/ลิตร	30.4	ถ.พ. 0.72
เมทานอล	บาท/ลิตร	14.7	ถ.พ. 0.79
กรดซัลฟิวริก	บาท/ลิตร	9.82	ถ.พ. 1.834
น้ำ	บาท/ลบ.เมตร	10	ใช้ค่า 0.01 บาท/กิโลกรัม
กากเนื้อในเมล็ดขางพารา	บาท/กิโลกรัม	6, 8 และ 10	
เปลือกเมล็ดขางพารา	บาท/กิโลกรัม	ไม่คิดมูลค่า	ใช้เป็นเชื้อเพลิง
ค่าพลังงานไฟฟ้า	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	3	เทียบได้เป็น 0.90 บาท/MJ
ค่าพลังงานความร้อน	บาท/MJ	0.90	ใช้ค่าเดียวกับพลังงานไฟฟ้า
ค่าแรงงาน	บาท/คน/วัน	200	สูงกว่าขั้นต่ำประมาณ 50%

5.4.1 การศึกษาค่าใช้จ่ายผันแปรในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดขางพารา

เป็นการศึกษาเพื่อพิจารณาผลของตัวแปรสำคัญซึ่งมีผลต่อค่าใช้จ่าย ประกอบด้วย ราคาเมล็ดขางพารา ราคาขายกากเนื้อในเมล็ดขางพารา ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมัน และประสิทธิภาพของการเรียกคืนเฮกเซนที่ใช้ในการสกัด และเพื่อให้ค่าใช้จ่ายต่างๆ อยู่ในฐานเดียวกัน จึงได้ปรับให้เป็นค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดขางพาราดิบที่สกัดได้ ผลของตัวแปรต่างๆ ที่ศึกษาเป็นดังนี้

(1) ผลของราคาเมล็ดขางพาราและประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมัน

ค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดขางพาราดิบที่สกัดได้ เมื่อประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมัน ร้อยละ 57 และร้อยละ 80 ราคาขายกากเนื้อในเมล็ดขางพารา 6 บาท/กิโลกรัม และสามารถเรียกคืนเฮกเซนได้ร้อยละ 99 ที่ราคาเมล็ดขางพาราต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราคิบตามราคาเมล็ดยางพารา

รายการค่าใช้จ่าย	สกัดน้ำมันได้ร้อยละ 57			สกัดน้ำมันได้ร้อยละ 80		
	2.00 บาท/กก.	2.50 บาท/กก.	3.00 บาท/กก.	2.00 บาท/กก.	2.50 บาท/กก.	3.00 บาท/กก.
ค่าวัตถุดิบ	15.32	18.41	21.49	10.92	13.12	15.31
ค่าพลังงาน	3.76	3.76	3.76	2.68	2.68	2.68
ค่าแรง	2.68	2.68	2.68	1.91	1.91	1.91
กากเนื้อในที่ขายได้	-14.95	-14.95	-14.95	-9.08	-9.08	-9.08
ค่าใช้จ่ายสุทธิ	6.81	9.90	12.99	6.42	8.62	10.82

จากตารางที่ 21 พบว่า เมื่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันได้ร้อยละ 57 ราคาเมล็ดยางพารา 2 2.5 และ 3 บาท/กก. จะมีค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราคิบเท่ากับ 6.81 9.90 และ 12.99 บาท แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของราคาเมล็ดยางทำให้ค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราคิบเพิ่มขึ้น ส่วนที่ประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันได้ร้อยละ 80 ราคาเมล็ดยางพารา 2 2.5 และ 3 บาท/กก. จะมีค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราคิบเท่ากับ 6.42 8.62 และ 10.82 บาท แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของราคาเมล็ดยางทำให้ค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราคิบเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาในส่วนประสิทธิภาพการสกัดที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 57 เป็น 80 ราคาเมล็ดยางพารา 2 2.5 และ 3 บาท/กก. จะมีค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราคิบลดลงในแต่ละราคาเมล็ดยางพาราเดียวกัน

(2) ผลของราคาขายกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

ค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราคิบที่สกัดได้ เมื่อประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมัน ร้อยละ 57 ราคาซื้อเมล็ดยางพารา 2 บาท/กิโลกรัม และ 3 บาท/กิโลกรัม สามารถเรียกคืนเสกเซนได้ร้อยละ 99 ที่ราคาขายกากเนื้อในเมล็ดยางพาราต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราคิดตามราคาขายกากเนื้อในเมล็ดยางพารา

รายการค่าใช้จ่าย	ราคาเมล็ดยางพารา 2 บาท/กก.			ราคาเมล็ดยางพารา 3 บาท/กก.		
	ราคาขายกากเนื้อในเมล็ดยางพารา			ราคาขายกากเนื้อในเมล็ดยางพารา		
	6.00 บาท/กก.	8.00 บาท/กก.	10.00 บาท/กก.	6.00 บาท/กก.	8.00 บาท/กก.	10.00 บาท/กก.
ค่าวัตถุดิบ	15.32	15.32	15.32	21.49	21.49	21.49
ค่าพลังงาน	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76
ค่าแรง	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
กากเนื้อในที่ขายได้	-14.95	-19.93	-24.91	-14.95	-19.93	-24.91
ค่าใช้จ่ายสุทธิ	6.81	1.83	-3.15	12.99	8.01	3.02

จากตารางที่ 22 พบว่า เมื่อราคาเมล็ดยางพารา 2 บาท/กก. ราคาขายกากเนื้อในเมล็ดยางพารา 6 8 และ 10 บาท/กก. มีค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราคิดเท่ากับ 6.81 1.83 และ -3.15 แสดงให้เห็นว่า ราคาขายกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราคิดลดลง ส่วนที่ราคาเมล็ดยางพารา 3 บาท/กก. ราคาขายกากเนื้อในเมล็ดยางพารา 6 8 และ 10 บาท/กก. มีค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราคิดเท่ากับ 12.99 8.01 และ 3.02 แสดงให้เห็นว่า ราคาขายกากเนื้อในเมล็ดยางพาราที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราคิดลดลงเช่นเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาในส่วน of ราคาเมล็ดยางพาราที่เพิ่มขึ้นจาก 2 เป็น 3 บาท/กก. ราคาขายกากเนื้อในเมล็ดยางพารา 6 8 และ 10 บาท/กก. ทำให้ค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราคิดมีค่าเพิ่มขึ้นในแต่ละราคาขายกากเนื้อในเมล็ดยางพาราเดียวกัน

(3) ผลของประสิทธิภาพของการเรียกคืนเฮกเซนที่ใช้ในการสกัด

ค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราคิดที่สกัดได้ เมื่อประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมัน ร้อยละ 57 และร้อยละ 80 ราคาซื้อเมล็ดยางพารา 2 บาท/กก. ราคาขายกากเนื้อในเมล็ดยางพารา 6 บาท/กิโลกรัม ที่ประสิทธิภาพการเรียกคืนเฮกเซนต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดคางพาราดิบตามประสิทธิภาพการเรียกคืนเฮกเซน

รายการค่าใช้จ่าย	สกัดน้ำมันได้ร้อยละ 57			สกัดน้ำมันได้ร้อยละ 80		
	ร้อยละ 98.5	ร้อยละ 99	ร้อยละ 99.5	ร้อยละ 98.5	ร้อยละ 99	ร้อยละ 99.5
ค่าวัตถุดิบ	16.81	15.32	13.83	11.97	10.92	9.86
ค่าพลังงาน	3.76	3.76	3.76	2.68	2.68	2.68
ค่าแรง	2.68	2.68	2.68	1.91	1.91	1.91
กากเนื้อในที่ขายได้	-14.95	-14.95	-14.95	-9.08	-9.08	-9.08
ค่าใช้จ่ายสุทธิ	8.30	6.81	5.33	7.48	6.42	5.36

จากตารางที่ 23 พบว่า เมื่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันได้ร้อยละ 57 และประสิทธิภาพการเรียกคืนเฮกเซนร้อยละ 98.5 99 และ 99.5 จะมีค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดคางพาราดิบเท่ากับ 8.30 6.81 และ 5.33 บาท แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของร้อยละประสิทธิภาพการเรียกคืนเฮกเซนทำให้มีผลต่อค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดคางพาราดิบลดลง ส่วนที่ประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันได้ร้อยละ 80 และประสิทธิภาพการเรียกคืนเฮกเซนร้อยละ 98.5 99 และ 99.5 จะมีค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดคางพาราดิบเท่ากับ 7.48 6.42 และ 5.36 บาท แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของร้อยละประสิทธิภาพการเรียกคืนเฮกเซนทำให้มีผลต่อค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดคางพาราดิบลดลงเช่นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 57 เป็น 80 ประสิทธิภาพการเรียกคืนเฮกเซนร้อยละ 98.5 99 และ 99.5 จะมีค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดคางพาราดิบลดลงในแต่ละประสิทธิภาพการเรียกคืนเฮกเซนเดียวกัน

5.4.2 การศึกษาค่าใช้จ่ายผันแปรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดคางพารา

ตัวแปรที่ศึกษาในกรณีนี้ ประกอบด้วยราคาต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดคางพาราและประสิทธิภาพการเรียกคืนเมทานอล ในที่นี้กำหนดราคาน้ำมันเมล็ดคางพาราไว้ที่ 5 7.5 และ 10 บาทต่อลิตร และประสิทธิภาพการเรียกคืนเมทานอล ร้อยละ 0 และร้อยละ 99 โดยสภาวะการผลิตที่ใช้ ทำให้ได้เมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 97 มีความเป็นเมทิลเอสเทอร์ ร้อยละ 92 และได้ปรับค่าใช้จ่ายที่คำนวณได้เป็นค่าใช้จ่ายต่อลิตรของเมทิลเอสเทอร์ ดังแสดงผลไว้ในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ค่าใช้จ่ายต่อลิตรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ตามราคาน้ำมันเมล็ดยางพารา

รายการค่าใช้จ่าย	ไม่มีการเรียกคืนเมทานอล			เรียกคืนเมทานอลได้ร้อยละ 99		
	5.00 บาท/ลิตร	7.50 บาท/ลิตร	10.00 บาท/ลิตร	5.00 บาท/ลิตร	7.50 บาท/ลิตร	10.00 บาท/ลิตร
ค่าวัตถุดิบ	12.45	14.95	17.45	6.94	9.44	11.94
ค่าพลังงาน	0.6	0.6	0.6	1.05	1.05	1.05
ค่าแรง	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06
ค่าใช้จ่ายสุทธิ	15.11	17.61	20.11	10.05	12.55	15.05

จากตารางที่ 24 พบว่า เมื่อไม่มีการเรียกคืนเมทานอลและราคาน้ำมันเมล็ดยางพารา 5 7.5 และ 10 บาท/ลิตร จะมีค่าใช้จ่ายต่อลิตรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 15.11 17.61 และ 20.11 บาท แสดงให้เห็นว่า ราคาน้ำมันเมล็ดยางพาราที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าใช้จ่ายต่อลิตรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้น ส่วนในการเรียกคืนเมทานอลได้ร้อยละ 99 และราคาน้ำมันเมล็ดยางพารา 5 7.5 และ 10 บาท/ลิตร จะมีค่าใช้จ่ายต่อลิตรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 10.05 12.55 และ 15.05 บาท แสดงให้เห็นว่า ราคาน้ำมันเมล็ดยางพาราที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าใช้จ่ายต่อลิตรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้นเช่นเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาจากไม่มีการเรียกคืนเมทานอลมาเป็นเรียกคืนเมทานอลได้ร้อยละ 99 ราคาน้ำมันเมล็ดยางพารา 5 7.5 และ 10 บาท/ลิตร จะมีค่าใช้จ่ายต่อลิตรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ลดลงในแต่ละราคาน้ำมันเมล็ดยางพาราเดียวกัน

จากการคำนวณค่าใช้จ่ายต่อลิตรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ตามราคาน้ำมันเมล็ดยางพารา นำมาเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มแสดงดังตารางที่ 25 พบว่า ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพารา น้ำมันปาล์มดิบ และPFAD ราคาวัตถุดิบ 5.00-12.00 บาท/กก. สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ในราคาต้นทุน 8.00-15.05 บาท/ลิตร ซึ่งยังสอดคล้องกับราคาน้ำมันดีเซลในท้องตลาด ส่วนวัตถุดิบจากน้ำมันปาล์มโอเลอินและสเดียริน เนื่องจากราคาวัตถุดิบอยู่ในช่วง 7.00-17.00 บาท/กก. ทำให้ผลิตไบโอดีเซลได้ในราคาต้นทุน 10.00-19.50 บาท/ลิตร ซึ่งสูงกว่าราคาน้ำมันดีเซล

ตารางที่ 25 ราคาไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

วัตถุดิบ	ราคาวัตถุดิบ (บาท/กก.)		ราคาไบโอดีเซล (บาท/ลิตร)	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
น้ำมันเมล็ดยางพารา	5.50	11.00	10.05	15.05
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	6.00	12.00	8.50	14.50
PFAD	5.00	9.00	8.00	12.00
น้ำมันปาล์มโอเลอิน	9.00	17.00	11.50	19.50
สเตียร์น	7.00	13.00	10.00	16.00

PFAD = Palm Free Acid Distillation

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และคณะ (2546)

5.5 สรุป

การคำนวณต้นทุนผันแปรที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลขั้นตอนการคำนวณมีดังนี้

(1) การกำหนดฐานการคำนวณของหน่วยผลิตซึ่งใช้ฐานการคำนวณจากเมล็ดยางพารา 1,000 กิโลกรัม และนำข้อมูลที่ได้จากศึกษาส่วนประกอบของเมล็ดยางพารา กระบวนการสกัดน้ำมัน และการทำปฏิกิริยา transesterification มาใช้ประกอบในการวิเคราะห์

(2) คุณสมบัติสารของกระบวนการผลิตโดยรวมเพื่อประเมินค่าวัตถุดิบต่างๆ ค่าพลังงาน และค่าแรง ซึ่งสามารถแยกคุณสมบัติออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นคุณสมบัติสารของกระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดยางพารา ซึ่ง พบว่าขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ

(1) ประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันออกจากเนื้อในเมล็ดยางพารา โดยกำหนดร้อยละ 57 และ 80 พบว่า ประสิทธิภาพการสกัดที่เพิ่มขึ้นจะสามารถสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วยและมีน้ำมันหลงเหลือในกากลดลง

(2) ประสิทธิภาพการเรียกคืนเฮกเซน กำหนดให้มีค่าร้อยละ 99 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับประสิทธิภาพการเรียกคืนในอุตสาหกรรมน้ำมันพืชทั่วไป

ส่วนที่ 2 เป็นคุณสมบัติสารของกระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยางพารา พบว่า ปัจจัยที่มีผลก็คือ การเรียกคืนเมทานอล โดยกำหนดให้มีการเรียกคืนได้ร้อยละ 0 50 และ 99 ซึ่งร้อยละที่เพิ่มขึ้นจะสามารถเรียกคืนเมทานอลกลับมาได้มากขึ้น

(3) คำนวณพลังงานและแรงงานในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยางพารา ซึ่งประกอบด้วย 2 กระบวนการ

กระบวนการที่ 1 พลังงานและแรงงานที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดยางพารา พบว่า พลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่ใช้เท่ากับ 46.58 และ 630.60 MJ ส่วนแรงงานที่ใช้เท่ากับ 13 ชั่วโมง-คน

กระบวนการที่ 2 พลังงานและแรงงานที่ใช้ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยางพารา พบว่า พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เท่ากับ 26.78 MJ ส่วนพลังงานความร้อนจะแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ พลังงานความร้อนที่ใช้หากไม่เรียกคืนเมทานอลเท่ากับ 79.52 MJ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการเรียกคืนเมทานอลร้อยละ 50 และ 99 เท่ากับ 126.36 และ 160.97 MJ ส่วนแรงงานที่ใช้เท่ากับ 10 ชั่วโมง-คน

(4) คำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยางพารา ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ค่าใช้จ่ายผันแปรในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดยางพาราขึ้นกับปัจจัยดังนี้

ก. ผลของราคาเมล็ดยางพาราและประสิทธิภาพการสกัดน้ำมัน พบว่า ประสิทธิภาพการสกัดที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าใช้จ่ายต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราลดลง แม้ราคาเมล็ดยางพาราจะสูงขึ้นก็ตาม

ข. ผลของราคาขายกากเนื้อในเมล็ดยางพารา พบว่า ราคาเมล็ดยางพาราที่เพิ่มขึ้น ทำให้ราคาต่อลิตรของน้ำมันเมล็ดยางพาราเพิ่มขึ้น แม้ราคาขายกากเนื้อในเมล็ดยางพาราจะเพิ่มขึ้นก็ตาม

ค. ผลของประสิทธิภาพของการเรียกคืนเฮกเซนที่ใช้ในการสกัด พบว่า การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการสกัดและการเรียกคืนเฮกเซนมีผลทำให้ราคาต่อลิตรน้ำมันเมล็ดยางพาราลดลง

ส่วนที่ 2 ค่าใช้จ่ายผันแปรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยางพารา พบว่า การเรียกคืนเมทานอลได้ร้อยละ 99 ทำให้ราคาต่อลิตรในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ลดลง ซึ่งเปรียบเทียบกับไม่การเรียกคืนเมทานอล แม้ว่าราคาน้ำมันเมล็ดยางพาราเพิ่มขึ้นก็ตาม

