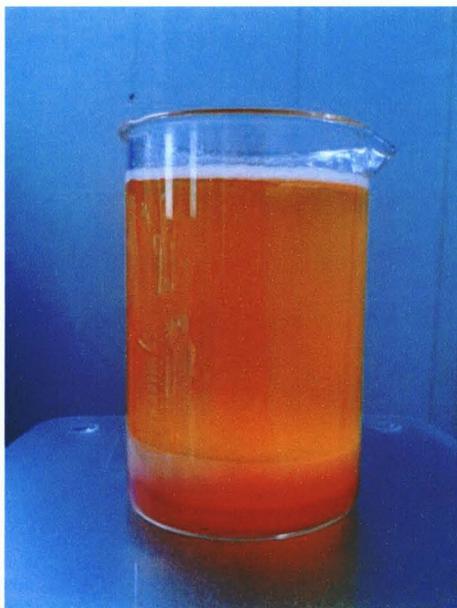


บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการทดสอบการผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้าพบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซล และ แยกกลีเซอรินในกระบวนการผลิตได้โดยมีลักษณะของการแยกชั้นดังแสดงในรูปที่ 4.1 และมีผลการทดสอบที่ได้จากการศึกษาผลที่เกี่ยวข้องที่สำคัญดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ผลการแยกชั้นระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลกับกลีเซอริน
จากการทดสอบการผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้า

4.1 ผลของสัดส่วนของสารตั้งต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (น้ำมัน: แอลกอฮอล์: ตัวเร่งปฏิกิริยา)

ในการทดสอบได้มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของสารผสมที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้ว : เมทานอล : โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ในค่าที่แตกต่างกัน ขณะทำการทดสอบมีการควบคุมการผลิตโดยใช้ แรงดันไฟฟ้าแบบกระแสสลับที่แรงดันไฟฟ้า 1, 5, และ 10 กิโลโวลต์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 นาที ลักษณะอิเล็กโทรดเป็นแบบแท่งคู่ และอิเล็กโทรดแบบ

แท่งกับวงแหวน ระยะห่างอิเล็กโทรด 2.5, 3, และ 3.5 เซนติเมตร ผลที่ได้จากการทดสอบในแต่ละเงื่อนไขจะให้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณที่แตกต่างกัน ตารางที่ 4.1 เป็นอิเล็กโทรดแบบแท่งคู่ ส่วนในตารางที่ 4.2 เป็นอิเล็กโทรดแบบแท่งกับวงแหวน ที่แสดงตัวอย่างของเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่สกัดส่วนต่างๆของแอลกอฮอล์และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ค่อน้ำมัน โดยลักษณะ ระยะห่างอิเล็กโทรด 2.5 เซนติเมตร แรงดันไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์

ตารางที่ 4.1 สกัดส่วนต่างๆ ของสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้าด้วยอิเล็กโทรดเป็นแบบแท่งคู่ ระยะห่างอิเล็กโทรด 2.5 เซนติเมตร แรงดันไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์

การทดลองที่	ปริมาณน้ำมัน (g)	เมทานอล (g)	ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH (% โดยน้ำหนักของน้ำมัน)	% yield
1	100	11.31	0.75	25.4
2	100	11.31	1	-
3	100	11.31	1.25	-
4	100	22.62	0.75	82.7
5	100	22.62	1	89.9
6	100	22.62	1.25	84.5
7	100	33.93	0.75	83.1
8	100	33.93	1	89.9
9	100	33.93	1.25	84.8

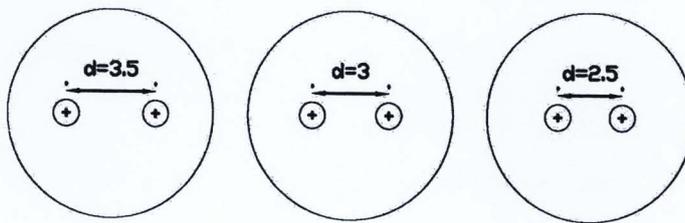
ผลการศึกษาสกัดส่วนสารผสมที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นว่าสัดส่วนที่น่าจะมีความเหมาะสมต่อการเลือกใช้ผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้า คือการใช้ น้ำมันพืชใช้แล้ว: เมทานอล: โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ในสัดส่วน 100: 22.6: 1 หรือ น้ำมันพืชใช้แล้ว: เมทานอล 1: 6 โดยโมล KOH 1% โดยน้ำหนัก (1: 6: 1%wt) ทั้งนี้เพราะ เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนอื่นๆ ในเวลาของการทำปฏิกิริยาเท่ากัน ถ้าสัดส่วนเมทานอลน้อยกว่าค่าสัดส่วนข้างต้น จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ และถ้าเพิ่มสัดส่วนเมทานอลมากขึ้นก็จะได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นมาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.2 สัดส่วนต่างๆของสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้าด้วยอิเล็กโทรดแบบวงแหวนที่ ระยะห่างอิเล็กโทรด 2.5 เซนติเมตร แรงดันไฟฟ้า 5 กิโลโวลท์

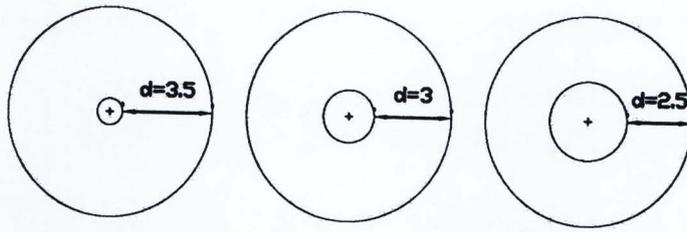
การทดลองที่	ปริมาณน้ำมัน (g)	เมทานอล (g)	ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH (% โดยน้ำหนักของน้ำมัน)	% yield
1	100	11.31	0.75	25.4
2	100	11.31	1	38.6
3	100	11.31	1.25	-
4	100	22.62	0.75	92.7
5	100	22.62	1	98.7
6	100	22.62	1.25	94.1
7	100	33.93	0.75	92.9
8	100	33.93	1	98.8
9	100	33.93	1.25	94.6

4.2 ผลของลักษณะและระยะห่างของอิเล็กโทรด

ในการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้า ได้ทำการทดสอบกับอิเล็กโทรดสองลักษณะได้แก่อิเล็กโทรดแบบแท่งคู่ และอิเล็กโทรดแบบวงแหวน ลักษณะของอิเล็กโทรดทั้งสองแบบแสดงดังรูปที่ 4.2



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 4.2 ลักษณะอิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดสอบ
(ก. อิเล็กโทรดแบบแท่งคู่ ข. อิเล็กโทรดแบบแท่งกับวงแหวน)

ผลการทดสอบปริมาณน้ำมันไบโอดีเซล และกลีเซอรินในแต่ละระยะห่างของอิเล็กโทรดแบบแท่งคู่ แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการวางระยะห่างของอิเล็กโทรดแบบแท่งคู่ แรงดันไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์

ระยะห่าง (cm.)	ความเข้มข้นไฟฟ้า (V/m)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	% yield
2.5	3,191.22	46	89.9
3.0	3,171.28	40	76.9
3.5	2,984.43	37	67.5

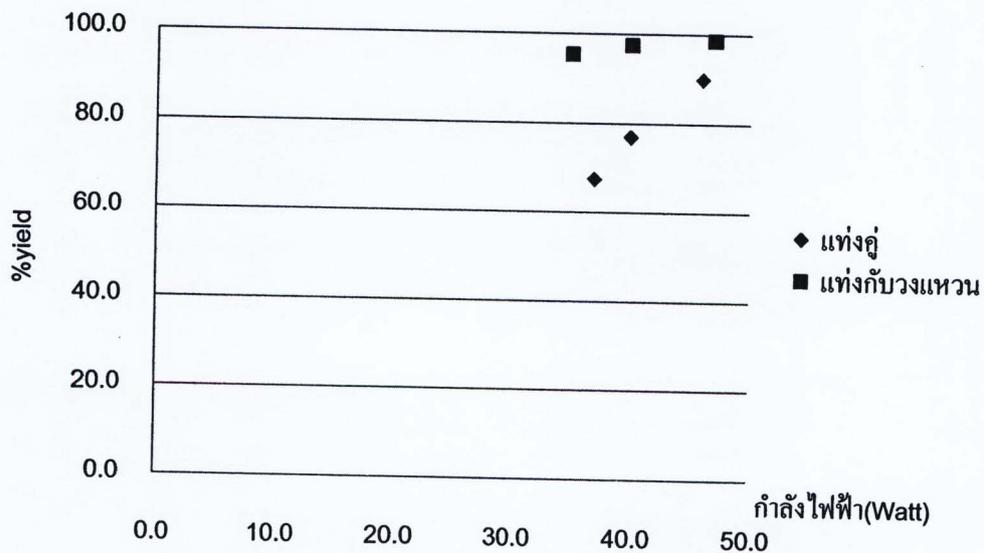
จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเปลี่ยนระยะห่างของอิเล็กโทรดแท่งคู่ตั้งแต่ 2.5 ถึง 3.5 เซนติเมตร พบว่าระยะห่างของอิเล็กโทรด ค่าสุดที่ 2.5 เซนติเมตร ให้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซล สูงที่สุดซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับปริมาณความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่มีปริมาณมากที่สุดด้วย และเมื่อปริมาณความเข้มข้นไฟฟ้าสูงขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น ทำให้สัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าสูงขึ้นที่เวลาการทำงานเท่ากัน

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการเปลี่ยนระยะห่างของอิเล็กโทรดแบบแท่งกับวงแหวน แรงดันไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์

รัศมี (cm.)	ความเข้มข้นไฟฟ้า (V/m)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	% yield
2.5	4,808.98	47	98.7
3	3,606.74	40	97.5
3.5	3,398.48	35	95.4

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าที่ระยะห่างระหว่างรัศมีภายในและภายนอกที่ระยะ 2.5 เซนติเมตร ให้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระยะห่างอื่นๆ ทั้งนี้สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับระยะห่างของอิเล็กโทรดแบบแท่งคู่ ซึ่งผลของปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มสนามไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า

จากผลการทดสอบการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้า โดยอาศัยอิเล็กโทรดแบบวงแหวน และแท่งคู่ จะเห็นได้ว่าให้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากอิเล็กโทรดทั้งสองแบบมีสัดส่วนและปริมาณที่แตกต่างกันออกไป โดยสามารถเปรียบเทียบปริมาณของไบโอดีเซลในแต่ละระดับกำลังไฟฟ้าของอิเล็กโทรดทั้งสองชนิดดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ กำลังไฟฟ้าระดับต่างๆของการใช้อิเล็กโทรดแบบแท่งคู่และแบบแท่งกับวงแหวน

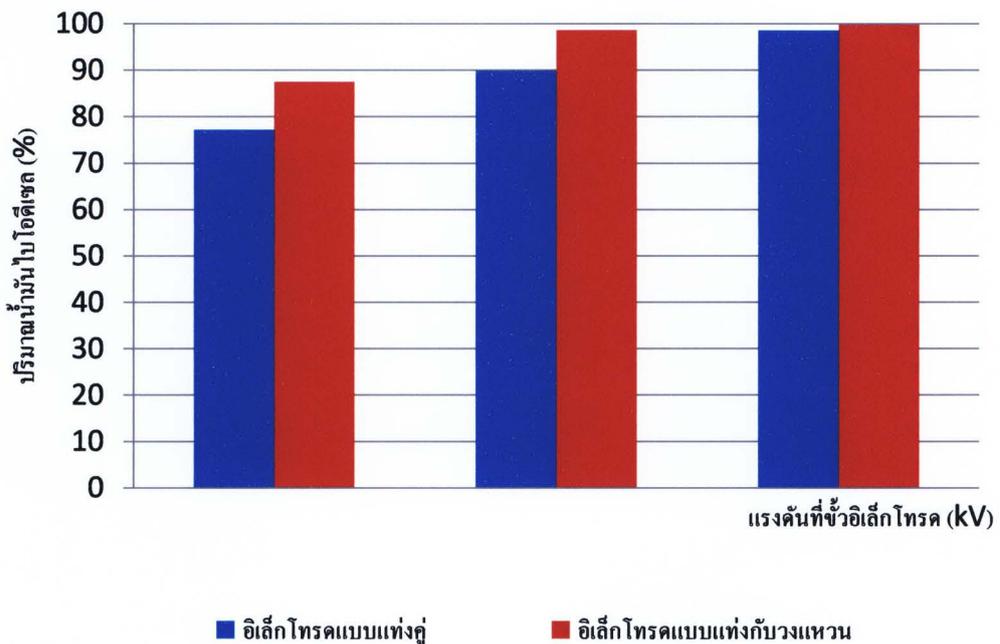
จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบอิเล็กโทรดทั้งสองชนิดอิเล็กโทรดแบบแท่งกับวงแหวนน่าจะมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้ามากกว่าอิเล็กโทรดแบบแท่งคู่ โดยที่ระดับกำลังไฟฟ้าเดียวกัน ลักษณะของอิเล็กโทรดแบบแรกจะให้ความเข้มสนามไฟฟ้าสูงกว่าทำให้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในสัดส่วนที่สูง

4.3 ผลของค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วอิเล็กโทรด

นอกจากการพิจารณาถึงลักษณะ และระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้าแล้วในการศึกษานี้ยังได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วอิเล็กโทรด ผลแสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลในแต่ละระดับแรงดันไฟฟ้า

แรงดัน (kV)	ผลการทดสอบ					
	แบบแท่งคู่			แบบแท่งกับวงแหวน		
	ความเข้ม สนามไฟฟ้า (V/m)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	% yield	ความเข้ม สนามไฟฟ้า (V/m)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	% yield
1	406.46	16	77.2	583.40	22	87.6
5	2,032.33	45	89.9	2917.03	55	98.7
10	4064.66	107	98.6	5834.07	102	99.8



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลในแต่ละระดับแรงดันไฟฟ้า

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ความเข้มสนามไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นทำให้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น และที่ระดับแรงดันไฟฟ้าเดียวกัน อิเล็กโทรดแบบแท่งคู่จะให้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณที่ต่ำกว่าอิเล็กโทรดแบบแท่งกับวงแหวน แต่อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ใช้แรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูง

จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการทนแรงดันของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และความปลอดภัยของผู้ทำการทดลองในการใช้อุปกรณ์สร้างสนามไฟฟ้าที่มีแรงดันสูง

4.4 ผลของการเปลี่ยนปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ภายหลังจากทำการศึกษาลักษณะของอิเล็กโทรดที่เหมาะสมรวมถึงแรงดันไฟฟ้าที่ส่งผลต่อการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้าแล้ว ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของปริมาณน้ำมันพืชใช้แล้วซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยทำการควบคุมลักษณะของอิเล็กโทรดเป็นแบบแท่งกบวงแหวน ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2.5 เซนติเมตร แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วอิเล็กโทรด 10 กิโลโวลต์ ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลของการเปลี่ยนปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา อิเล็กโทรดแบบแท่งกบวงแหวน ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 2 เซนติเมตร แรงดันไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์

ปริมาณน้ำมัน (g)	พลังงานไฟฟ้า (Watt)	% yield
100	55	98.7
200	56	98.0
300	55	98.1

จากผลการทดสอบพบว่าสัดส่วนของปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อสัดส่วนน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ

4.5 สมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้

ในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการตรวจสอบสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ โดยทำการเปรียบเทียบกับ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชชนิดอื่นด้วยวิธีการทั่วไป ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.7 และยังสามารถศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของน้ำมันที่ผลิตได้ด้วยวิธีการแก๊สโครมาโทกราฟีดังรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยสนามไฟฟ้าเปรียบเทียบกับวิธีการทั่วไป

คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน			น้ำมันไบโอดีเซล			
	เมทิลเอสเทอร์	ไบโอดีเซลชุมชน	ดีเซล	น้ำมันพืชใช้แล้ว (จากการทดลอง)	ถั่วเหลือง	ถั่วลิสง	สบู่ดำ
ความหนืด cSt@40°C	3.5-5.0	1.9-8.0	1.8-4.1	7.5	13	20	11
จุดวาบไฟ °C	>120	>120	>52	-	>120	>120	>120
จุดไหลเท °C	-	-	<10	-	<0	10	<0
จุดขุ่นตัว °C	-	-	-	14.1	10	20	19
ค่าความร้อน kJ/kg	-	-	-	37.293	39.23	39.355	37.723

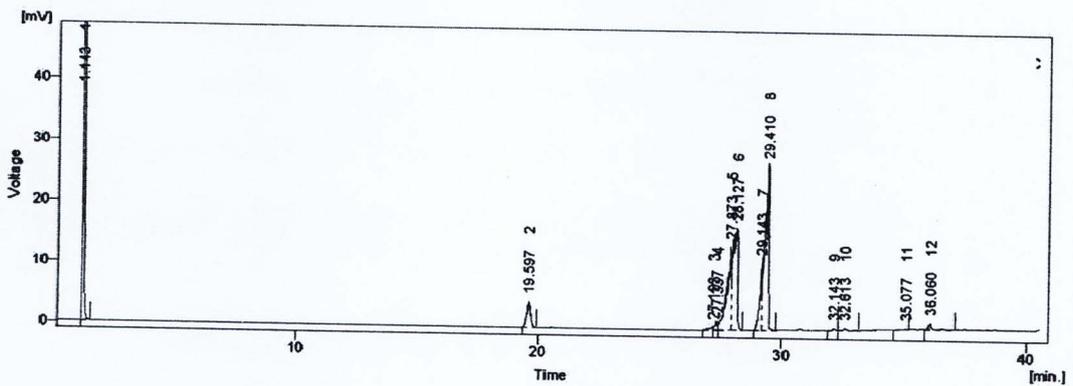
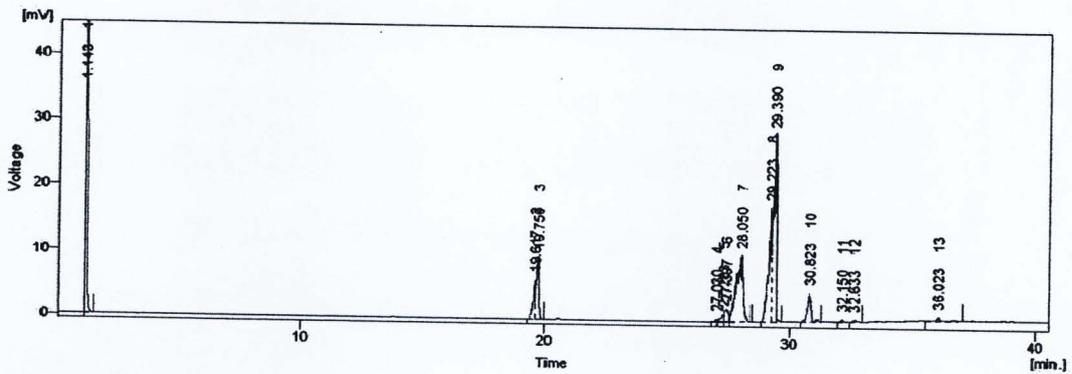
จากสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ดังตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยสนามไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากวิธีการทั่วไป ซึ่งค่าอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานของไบโอดีเซลชุมชน ในส่วนของจุดขุ่นตัวและค่าความร้อนของน้ำมันที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันไบโอดีเซลทั่วไป

4.6 การวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (GC)

การวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ในงานวิจัยนี้ จะศึกษาองค์ประกอบเฉพาะ เมทิลเอสเทอร์ ซึ่งวิธีการดังกล่าวอ้างอิงการตรวจสอบมาตรฐานตามกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรคไคมัน พ.ศ. 2550 ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

การวิเคราะห์นี้จะทำการศึกษาเฉพาะลักษณะความคล้ายของสารองค์ประกอบในแต่ละตำแหน่งการตรวจจับของเครื่องมือ (GC) แสดงผลดังรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า ณ เวลาของการตรวจพบองค์ประกอบทางเคมี ผลการทดสอบพบว่าแนวโน้มของกราฟน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตภายใต้สนามไฟฟ้ากับวิธีการทั่วไป จะซ้อนทับกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีสารกลุ่มเดียวกัน ที่สามารถตรวจจับได้ และพบว่ากลุ่มของสารที่ตรวจสอบพบอยู่ในช่วง Retention time ในช่วง 19 – 40 นาที

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มของสาร Internal Standard ดังแสดงค่าในตารางที่ 4.8 และ 4.9 จะเห็นได้ว่าสารที่ตรวจพบมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับกลุ่มสาร Internal Standard และมีสารองค์ประกอบที่มีคาร์บอนอยู่ในช่วง C-18 ถึง C-22 ซึ่งเป็นสารที่บ่งชี้และแสดงให้เห็นว่ามีการเกิดเมทิลเอสเทอร์ขึ้นในน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการทดสอบ



รูปที่ 4.5 องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีของน้ำมันที่ผลิตได้ด้วยวิธีการแก๊สโครมาโทกราฟี

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ ด้วยวิธีการ GC ของน้ำมันไบโอดีเซลจากการผลิตด้วย
 ขดลวดความร้อน

No.	Reten.Time (min)	Area (mV.s)	Area (%)	Height (mV)	Height (%)
1	1.143	1436.917	64.300	478.515	85.600
2	19.617	37.789	1.700	5.997	1.100
3	19.750	69.381	3.100	9.534	1.700
4	27.030	1.960	0.100	0.373	0.100
5	27.283	8.564	0.400	1.125	0.200
6	27.397	20.721	0.900	1.931	0.300

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ ด้วยวิธีการ GC ของน้ำมันไบโอดีเซลจากการผลิตด้วย
ขดลวดความร้อน (ต่อ)

No.	Reten.Time (min)	Area (mV.s)	Area (%)	Height (mV)	Height (%)
7	28.050	196.929	8.800	9.957	1.800
8	29.223	157.113	7.000	17.429	3.100
9	29.390	247.711	11.100	28.437	5.100
10	30.823	45.044	2.000	4.410	0.800
11	32.150	3.030	0.100	0.388	0.100
12	32.633	2.934	0.100	0.301	0.100
13	36.023	6.910	0.300	0.525	0.100
Total		2235.003	100	558.922	100

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ ด้วยวิธีการ GC ของน้ำมันไบโอดีเซลจากการผลิตภายใต้สนามไฟฟ้า

No.	Reten.Time (min)	Area (mV.s)	Area (%)	Height (mV)	Height (%)
1	1.143	1488.152	63.800	474.866	86.300
2	19.597	45.865	2.000	4.257	0.800
3	27.193	4.919	0.200	0.367	0.100
4	27.337	7.929	0.300	1.365	0.200
5	27.873	174.401	7.500	13.613	2.500
6	28.127	220.606	9.500	16.657	3.000
7	29.143	61.990	2.700	10.956	2.000
8	29.410	311.694	13.400	26.760	4.900
9	32.143	2.281	0.100	0.307	0.100
10	32.613	3.424	0.100	0.259	0.005
11	35.077	1.251	0.100	0.076	0.001
12	36.060	10.453	0.400	1.021	0.200
Total		2332.965	100	550.504	100

ตารางที่ 4.11 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ และเทียบสาร Internal Standard ด้วยวิธีการ GC ของ น้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มดิบ

Ret.Time	Area	Height	Name
2.574	300560869.2	141651761	HEPTANE
3.579	3181.6	1345.6	C8:0
5.006	3486.1	1270.7	C10:0
7.988	49307.9	13969.2	C12:0
12.628	176658.8	40471	C14:0
18.372	8689882.7	976021	C16:0
18.939	24126.8	5330.3	C16:1
21.513	3971183.7	458642.4	Internal standard
25.327	725619	85439.1	C18:0
26.293	7608150.4	669690.7	C18:1
26.391	100396.9	25060.5	C18:1
27.834	1748825.2	261534.2	C18:2
30.032	37706.9	6663.6	C18:3
32.375	53935.9	9882.5	C20:0
33.006	17230.6	3430.7	C20:1
39.771	9866.3	1160.3	C22:0
Total area = 323780428			

(ที่มา: <http://www.tistr.or.th/>)

4.6 ผลการศึกษาด้านจลนศาสตร์เคมีของอัตราการเกิดปฏิกิริยา Transesterification

การศึกษาเกี่ยวกับสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการ Transesterification ตามแนวทางการศึกษาจลนศาสตร์เคมีที่เกี่ยวข้องทั้ง อัตราการเกิดปฏิกิริยา และสมการอาร์เรเนียส ใน การศึกษานี้ งานวิจัยนี้ อาศัยแนวทางการศึกษาตามการศึกษาของ Kusdiana and Saka (2001) ซึ่ง ศึกษาการกระบวนการ Transesterification ของน้ำมันที่ได้จาก rapeseed ทำปฏิกิริยากับเมทานอล ตามความสัมพันธ์



ตามการศึกษาของ Kusdiana and Saka (2001) ได้พบว่าปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง โดยหาค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยา (r) และค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา (k) ได้ดังความสัมพันธ์

$$r = -\frac{dC_{TG}}{dt} = -\left(\frac{1}{3}\right)\frac{dC_{MeOH}}{dt} = \frac{dC_G}{dt} = \left(\frac{1}{3}\right)\frac{dC_{ME}}{dt} \quad (4.2)$$

เมื่อ C_{TG} คือค่าความเข้มข้นของ triglycerides C_{MeOH} คือความเข้มข้นของเมทานอล C_G ความเข้มข้นของ glycerin และ C_{ME} ความเข้มข้นของไบโอดีเซลหรือ methyl esters ที่ผลิตได้ หรือสามารถสร้างความสัมพันธ์เพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ ดังสมการ

$$r = kC_{TG}^m C_{MeOH}^n \quad (4.3)$$

ดังนั้นจะสามารถหาค่าความสัมพันธ์ โดยพิจารณาปฏิกิริยาในอันดับที่ 1 ซึ่งกำหนดให้ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของ triglycerides และเมื่อกำหนดค่า $m = 1$ และ $n = 0$ พบว่าจะสามารถสร้างสมการจากสมการที่ (4.3) ได้ดังความสัมพันธ์

$$r = kC_{TG} \quad (4.4)$$

หรือ

$$r = -\frac{dC_{TG}}{dt} = kC_{TG} \quad (4.5)$$

หากทำการอินทิเกรตเพื่อสร้างความสัมพันธ์ใหม่จะได้

$$\ln C_{TG,t} - \ln C_{TG,0} = -kt \quad (4.6)$$

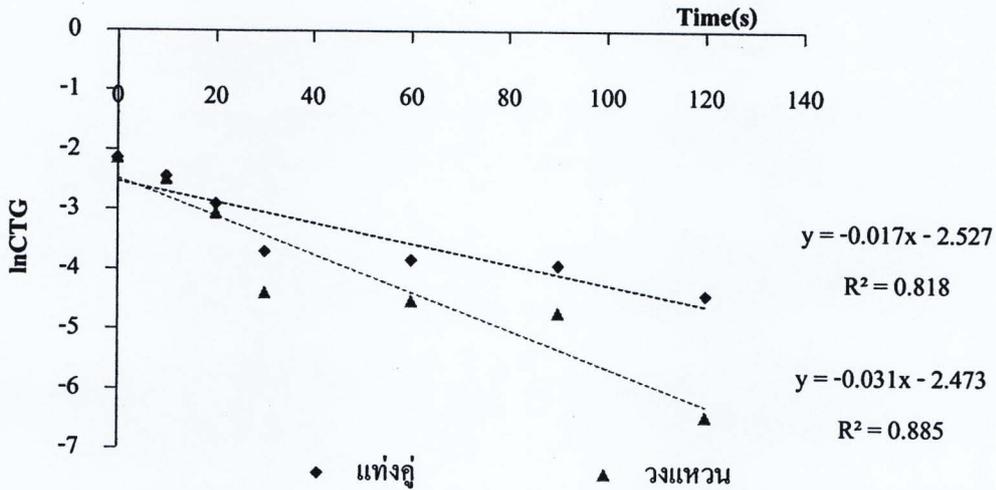
หรือ

$$\ln C_{TG,t} = -kt + \ln C_{TG,0} \quad (4.7)$$

เมื่อ $C_{TG,t}$ และ $C_{TG,0}$ คือความเข้มข้นของ triglycerides ณ เวลาใดๆ (t) และที่เวลาเริ่มต้น ($t = 0$) ตามลำดับ จากสมการที่ (7) หากสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln C_{TG,t}$ กับ เวลา (t) จะสามารถหาค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา (k) ได้จากความชันของกราฟ ดังนั้นหากทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการทดสอบ การผลิต ไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยขดลวดความร้อน กับไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยสนามไฟฟ้าทั้ง



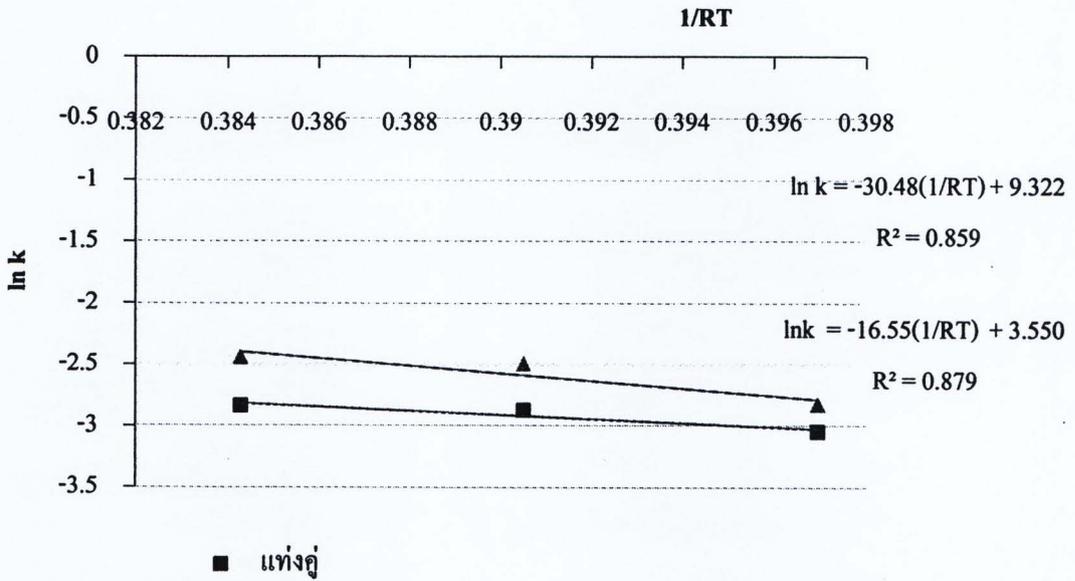
ในรูปแบบของ อิเล็กโทรดแบบแท่งคู่ และแบบต่อกับวงแหวน เพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาตามสมการอัตราอันดับหนึ่งจะสามารถสร้างความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.3 อัตราการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีการต่างๆ

จากรูปจะสามารถเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ยของการผลิตไบโอดีเซลจากทั้ง 3 กระบวนการได้ จากค่าความชันของกราฟ หรือค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งพบว่า หากค่า k มีค่ามาก จะแสดงให้เห็นได้ว่าปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นหากเปรียบเทียบค่าที่ได้ดังรูปพบว่า การผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้าแบบแท่งกับวงแหวน จะสามารถทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่าแบบแท่งคู่ โดยมีค่าความชันเท่ากับ -0.031 และ -0.017 ตามลำดับ

และหากพิจารณาความสัมพันธ์ของการเกิดปฏิกิริยา Tranesterification ของการผลิตไบโอดีเซล ด้วยสนามไฟฟ้า ณ ช่วงอุณหภูมิต่างๆ จะสามารถหาค่าความสัมพันธ์ตามสมการของ Arrhenius โดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln k$ กับ $1/RT$ ทำให้ได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ กับ $1/RT$ ของการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยสนามไฟฟ้าที่ใช้ อิเล็กโทรดแบบแท่งกับวงแหวนและแบบแท่งคู่

จากรูปจะสามารถหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ได้จากค่าความชันของกราฟ และ ค่า pre-exponential factor (k_0) ซึ่งหาได้จากจุดตัดแกน y พบว่า การผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยสนามไฟฟ้าที่ใช้ อิเล็กโทรดแบบวุ้น จะมีค่า E_a และ ค่า k_0 มากกว่า แบบขดลวดแบบคู่ โดยมีค่า E_a เท่ากับ 30.48 kJ/mol และ 16.56 kJ/mol และมีค่า k_0 เท่ากับ $11.18 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ และ 34.81 s^{-1} ตามลำดับ ซึ่งหากทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ดังกล่าวพบว่า การผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยสนามไฟฟ้าโดยใช้อิเล็กโทรดแบบวงแหวนจะต้องใช้พลังงานเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยามากกว่าแบบแท่งคู่ โดยพิจารณาได้จากค่าพลังงานก่อกัมมันต์ ในสมการ Arrhenius ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ให้ทราบถึง ค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่สามารถใช้ในการผลักดันให้เกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้ผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดสอบการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้สนามไฟฟ้าในหัวข้อที่ 4.3 ซึ่งพบว่าค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า ณ แรงดันไฟฟ้าในระดับเดียวกัน ของขั้วอิเล็กโทรดแบบวงแหวนจะให้ค่ามากกว่า แบบแท่งคู่ แสดงให้เห็นได้ว่า ณ แรงดันไฟฟ้าที่เท่ากัน การผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยสนามไฟฟ้าที่ใช้อิเล็กโทรดแบบวงแหวนจะใช้พลังงานเพื่อให้เกิดปฏิกิริยามากกว่าแบบแท่งคู่ แต่อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาผลของ ค่า pre-exponential ซึ่งแสดงให้เห็นถึง อัตราการชนกันของสารตั้งต้นเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาจนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบว่า ค่า k_0 ที่ได้จากปฏิกิริยาการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยสนามไฟฟ้าที่ใช้อิเล็กโทรด

แบบวงแหวนจะมี มากกว่า อิเล็กโทรดแบบแท่งคู่ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้าที่ใช้อิเล็กโทรดแบบวงแหวนจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าแบบแท่งคู่

นอกจากนั้นหากทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบกับผลการศึกษาด้านจลนศาสตร์เคมีของการผลิตไบโอดีเซลในการศึกษาอื่นๆ โดยพิจารณาเฉพาะการศึกษาที่เลือกใช้แบบจำลองของปฏิกิริยาอันดับ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.11

จากตารางจะเห็นได้ว่าการผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้า ทั้งสองแบบ จะใช้พลังงานเพื่อป้อนให้เกิดปฏิกิริยาค่ากว่าการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีการอื่นๆ โดยพิจารณาได้จากค่าพลังงานก่อกัมมันต์ นอกจากนี้หากพิจารณาความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาจากค่า pre-exponential พบว่า การผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้าโดยใช้อิเล็กโทรดแบบวงแหวนจะให้ค่า pre-exponential factor สูงกว่าการผลิตไบโอดีเซลจากการศึกษาก่อนหน้านี้ ขณะที่ การผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้าโดยใช้อิเล็กโทรดแบบแท่งคู่ จะให้ค่า k_0 สูงกว่าการผลิตจากการศึกษาอื่นๆ ยกเว้น ในการศึกษาของ He *et al.* (2007) และ Kusdiana and Saka (2001) ซึ่งเป็นการผลิตไบโอดีเซลด้วยอาศัยอุณหภูมิ และความดันค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงเกิดปฏิกิริยาได้ดี แต่ในขณะที่เดียวกันก็ใช้พลังงานในการเกิดปฏิกิริยามากเช่นกัน ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่า E_a ดังที่กล่าวไปแล้วนั่นเอง

ตารางที่ 4.12 ผลการศึกษาค่าจากความสัมพันธ์ทางด้านจลนศาสตร์เคมีของการผลิตไบโอดีเซล

การศึกษาวิจัย	Kinetics model: $r = k_0 C_{TG}^1 C_{MeOH} e^{-E_a/RT}$			
	m	n	k_0 (s ⁻¹)	E_a (kJ/mol)
Present Study (2011) ¹	1	0	34.81	16.56
Present Study (2011) ²	1	0	1.12×10^4	30.48
Joelianingsih <i>et al.</i> (2008)	1	0	4.21	30.8
He <i>et al.</i> (2007)	1	0	170	56.0

¹ การผลิต ไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้าโดยใช้อิเล็กโทรดแบบแท่งคู่
² การผลิตไบโอดีเซลด้วยสนามไฟฟ้าโดยใช้อิเล็กโทรดแบบแท่งกับวงแหวน

ดังนั้นจากผลการศึกษาด้านจลศาสตร์เคมีที่เกี่ยวข้องในการศึกษานี้จึงสามารถสร้างสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาของการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สนามไฟฟ้า ที่มีการใช้อิเล็กโทรดแบบวงแหวน และแบบแท่งคู่ ได้ในรูปแบบความสัมพันธ์

$$r = 1.12 \times 10^4 C_{TG} e^{-30.48/RT}$$

และ

$$r = 34.81 C_{TG} e^{-16.56/RT}$$