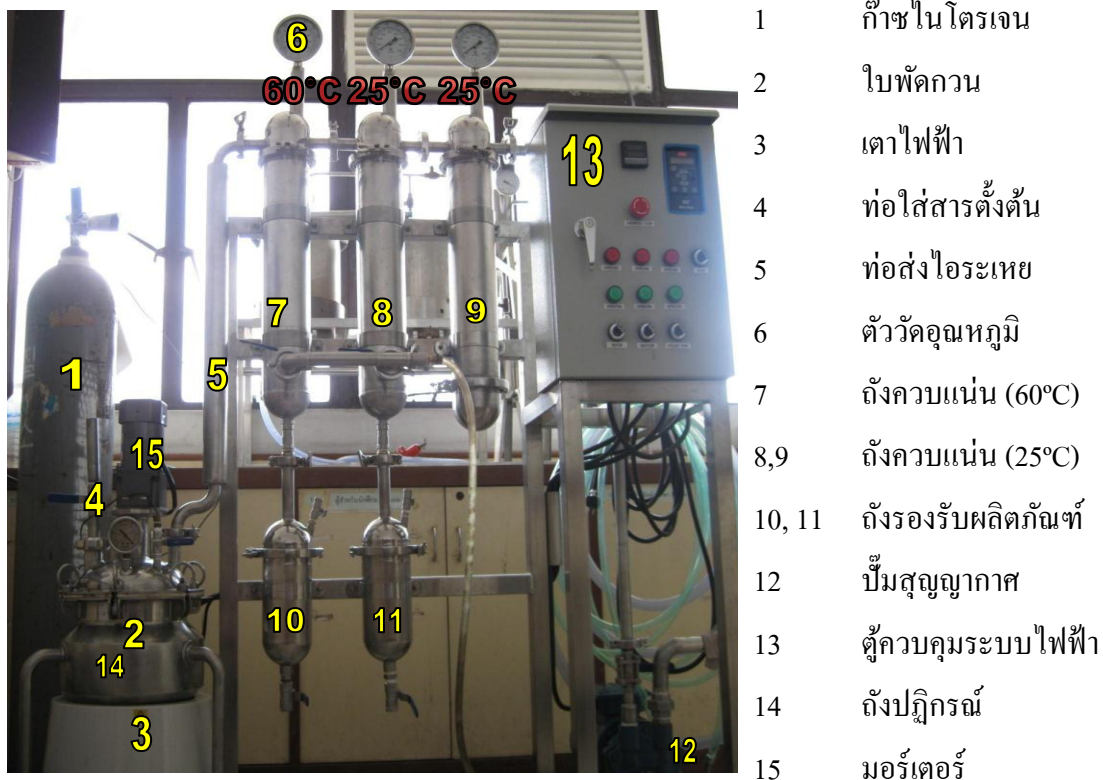


บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ถังปฏิกรณ์ไพโรไลซิส

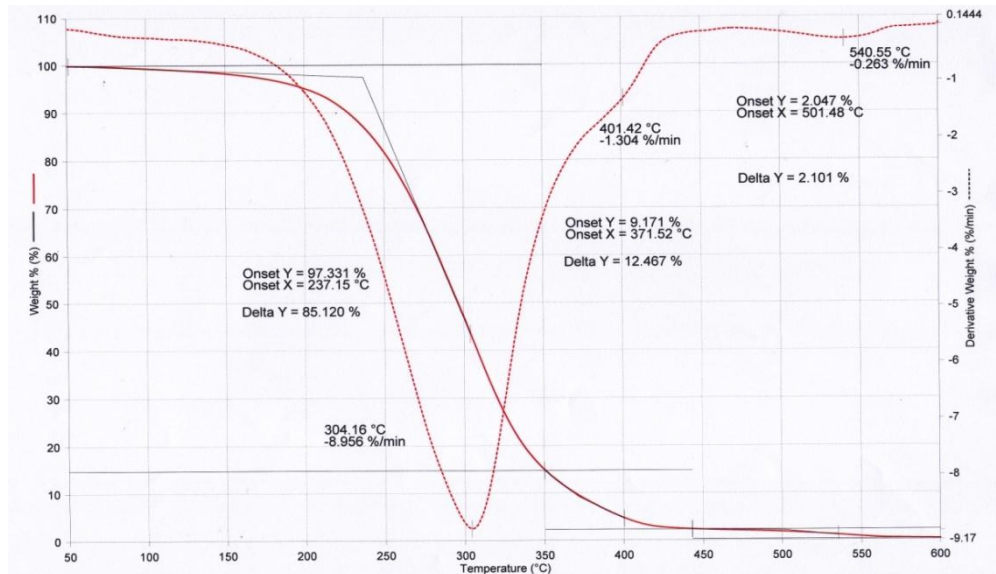


รูปที่ 4.1 ถังปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบถังควบแน่นแบบ

จากรูปที่ 4.1 แสดงระบบไพโรไลซิสที่สร้างขึ้นด้วยสแตนเลส เกรด 304 ประกอบด้วยถังปฏิกรณ์ขนาด 10 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20.5 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ภายในประกอบด้วยไบพัดกวาน เทอร์โมมิเตอร์ไฟฟ้า ท่อนำเข้า ถังควบแน่นขนาดความสูง 60 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 9.5 เซนติเมตรจำนวน 3 คอลัมน์ มีเทอร์โมมิเตอร์ติดอยู่, ถังรองรับเชื้อเพลิงเหลวขนาดความสูง 30 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 9.5 เซนติเมตร 2 คอลัมน์ ระบบที่สร้างขึ้นถูกทำให้เป็นระบบสุญญากาศโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ (ความดันสูงสุด 33 มิลลิบาร์และประสิทธิภาพสูงสุด 24 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) ซึ่งระบบนี้ถูกควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า โดยใช้กำลังไฟฟ้า 770 วัตต์ และกระแสไฟฟ้า 220 โวลต์ จากการวัดอุณหภูมิการควบแน่นในถังควบแน่นพบว่าในถังควบแน่นหมายเลข 7 มีค่าอุณหภูมิประมาณ 60 °C, หมายเลข 8 และ 9 มีค่าอุณหภูมิประมาณ 25 °C จากผลการทดลองพบว่า ถังควบแน่นหมายเลข 9 ไม่มีการควบแน่นของเชื้อเพลิงเหลว

4.2 ผลการสลายตัวของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วย TGA

การทดสอบการสลายตัวของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วย TGA ที่สภาวะอุณหภูมิ 40-600 °C ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10.00 °C / min แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วโดยใช้ TGA

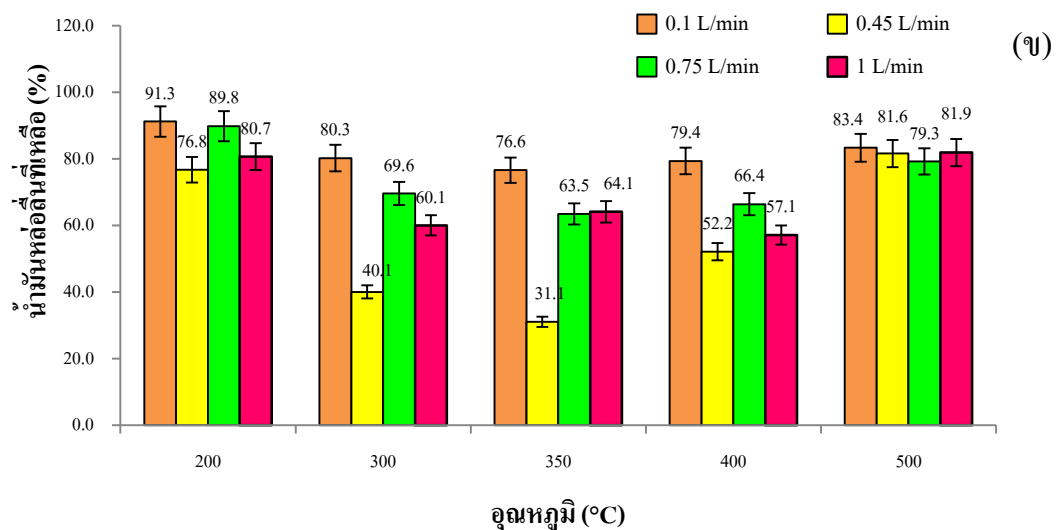
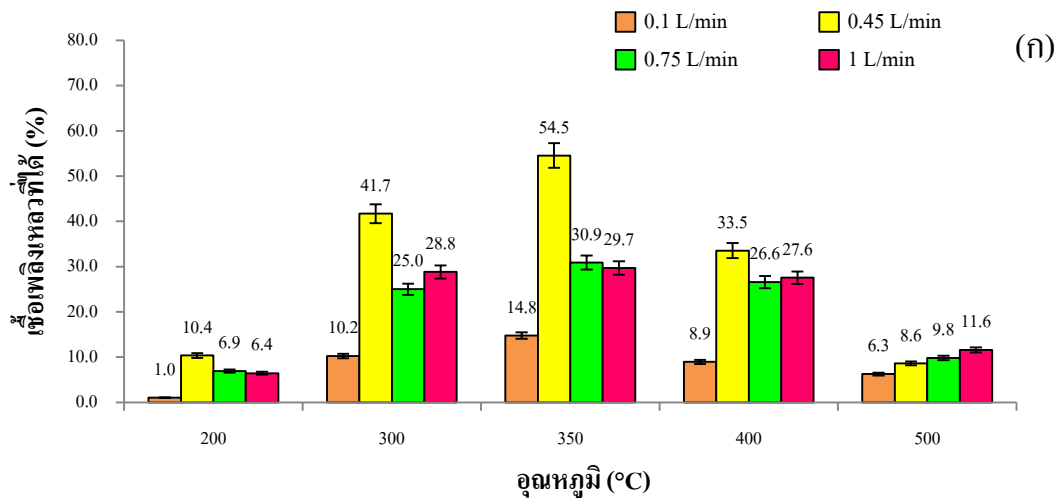
จากรูปที่ 4.2 พบว่าการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเกิดขึ้น 2 ช่วง คือจะเกิดพิกขนาดใหญ่ระหว่างช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 420 °C มีการแตกตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 304.16 °C และพิกขนาดเล็กระหว่างช่วงอุณหภูมิ 480-560 °C มีการแตกตัวที่อุณหภูมิ 540.55 °C ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gómez-Rico และคณะ (2003) พบว่าอุณหภูมิในการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นอยู่ระหว่าง 227-477 °C โดยมีอุณหภูมิ 2 ช่วงคือ ช่วงแรกที่อุณหภูมิ 227-352 °C และช่วงที่สองที่อุณหภูมิ 477 °C ตามหลักการแตกตัวที่แตกต่างกันของสาร การแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วในอุณหภูมิแรกอาจเกิดจากการระเหย (evaporation) ของสารไฮโดรคาร์บอนในองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ส่วนการแตกตัวในช่วงอุณหภูมิที่สอง อาจเกิดจากการแตกตัวโดยความร้อน (decomposition) ของสารประกอบในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ได้ผลิตภัณฑ์ก๊าซ (Gómez-Rico *et al.*, 2003)

4.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

4.3.1 ผลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่อปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ได้

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซิสใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วปริมาณ 1 ลิตร โดยแปรค่าอุณหภูมิที่ 200, 300, 350, 400 และ 500 °C และอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่

0.1, 0.45, 0.75 และ 1.0 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ก-1.1–1.4 และตารางที่ ก-1.6-1.9 ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.3 ปริมาตรของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ (ก) และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่เหลือ (ข) จากการไพโรไลซิส แปรค่าอุณหภูมิที่ 200, 300, 350, 400 และ 500 °C และอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ 0.1, 0.45, 0.75, 1.0 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

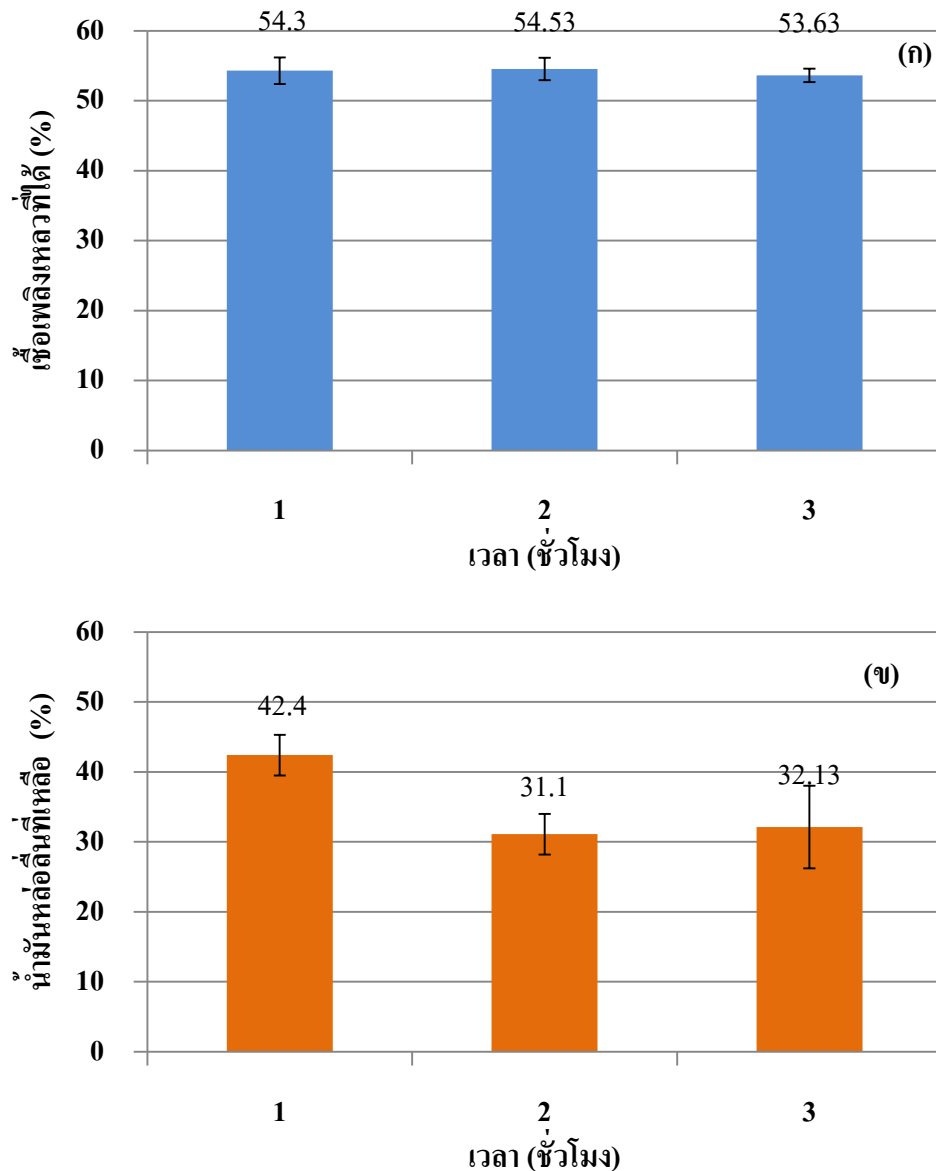
จากรูปที่ 4.3 ก พบว่าปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิในการไพโรไลซิส อย่างไรก็ตาม ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 400 °C ขึ้นไป ปริมาตรของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการระเหยของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวน้อย อุณหภูมิในช่วง 300 °C ถึง

400 °C เป็นช่วงที่มีการระเหยของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวสูง ส่วนที่อุณหภูมิ 500 °C สารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นส่วนใหญ่ถูกแตกตัวไปเป็นผลิตภัณฑ์ก๊าซ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวน้อย ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองการสลายตัวของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วย TGA ที่พบว่าอุณหภูมิในการระเหยเป็นของเหลวของน้ำมันหล่อลื่นอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 200 ถึง 420 °C และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วมีการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 304.16 °C และสอดคล้องกับผลการทดลองปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่เหลือหลังจากการไพโรไลซิส (รูปที่ 4.3 ข) ในขณะที่อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่เหมาะสมคือที่ 0.45 ลิตรต่อนาที อย่างไรก็ตาม ที่อัตราการไหลต่ำหรือสูงกว่า 0.45 ลิตรต่อนาที ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ได้จะมีแนวโน้มลดลง ทั้งเนื่องจากที่อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนต่ำกว่า 0.45 ลิตรต่อนาที อาจไม่เพียงพอต่อการพาไอของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ออกจากถังปฏิกรณ์ ในขณะที่อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนสูงกว่า 0.45 ลิตรต่อนาที อาจทำให้เวลาที่ใช้ในการควบแน่นไอระเหยให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวน้อยเกินไป ไอระเหยจึงถูกพาออกจากระบบในรูปของก๊าซ จากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Multiple Comparison ด้วยวิธี Tukey's Test พบว่าที่อุณหภูมิ 350 °C และอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 0.45 ลิตรต่อนาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวโดยกระบวนการไพโรไลซิสสามารถผลิตเชื้อเพลิงเหลวได้ 545.33 ± 15.95 มิลลิลิตร ซึ่งผลที่ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับที่สภาวะอุณหภูมิและอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนอื่นๆ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข 1 ภาคผนวก ข)

4.3.2 ผลของเวลาในการไพโรไลซิสต่อปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ได้

จากการนำสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิไพโรไลซิสที่ 350 °C และอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ 0.45 ลิตรต่อนาที แปลค่าเวลาในการไพโรไลซิสที่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4 (รายละเอียดในตารางที่ ก-1.5 และตารางที่ ก-1.10 ภาคผนวก ก)

จากผลการทดลองพบว่า ที่เวลาในการไพโรไลซิส 1, 2 และ 3 ชั่วโมงได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวเท่ากับ 54.3% (543 ± 19.08 มิลลิลิตร), 54.53% (545.33 ± 15.95 มิลลิลิตร) และ 53.63% (536.33 ± 9.71 มิลลิลิตร) ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ก จากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าที่เวลาในการไพโรไลซิส 1, 2 และ 3 ชั่วโมงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2 ภาคผนวก ข) อย่างไรก็ตาม จากปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่เหลือ (รูปที่ 4.4ข) ที่ไพโรไลซิสที่เวลา 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-3 ภาคผนวก ข) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิในถังควบแน่นยังไม่เพียงพอในการควบแน่นไอระเหย ซึ่งในการทดลองนี้ได้เลือกเวลาที่ 2 ชั่วโมง



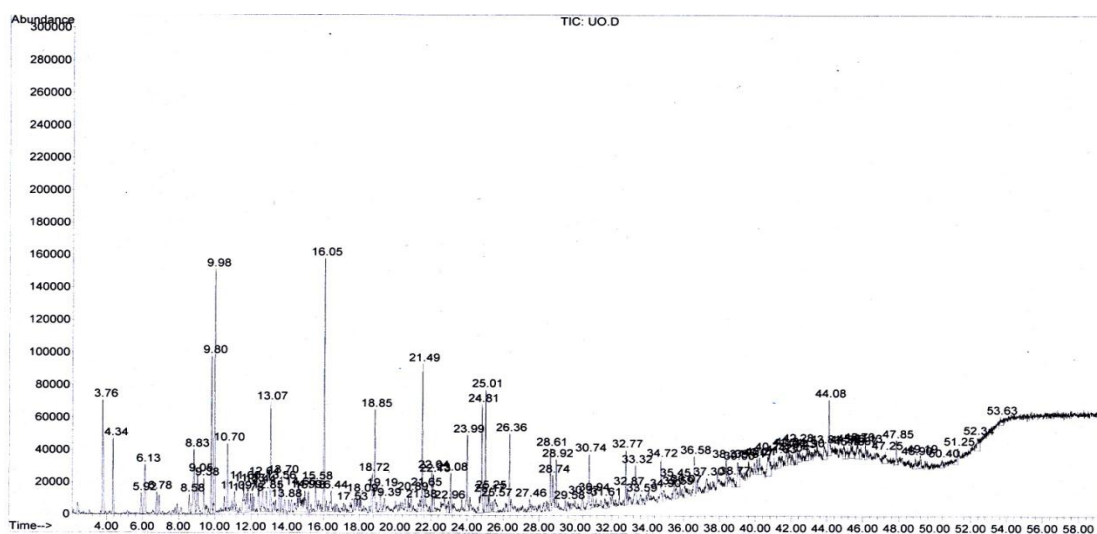
รูปที่ 4.4 ปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ (ก) และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่เหลือ (ข) จากการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 350 °C และอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 0.45 ลิตรต่อนาที แปลค่าเวลาในการไพโรไลซิสที่ 1, 2, 3 ชั่วโมง

4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้

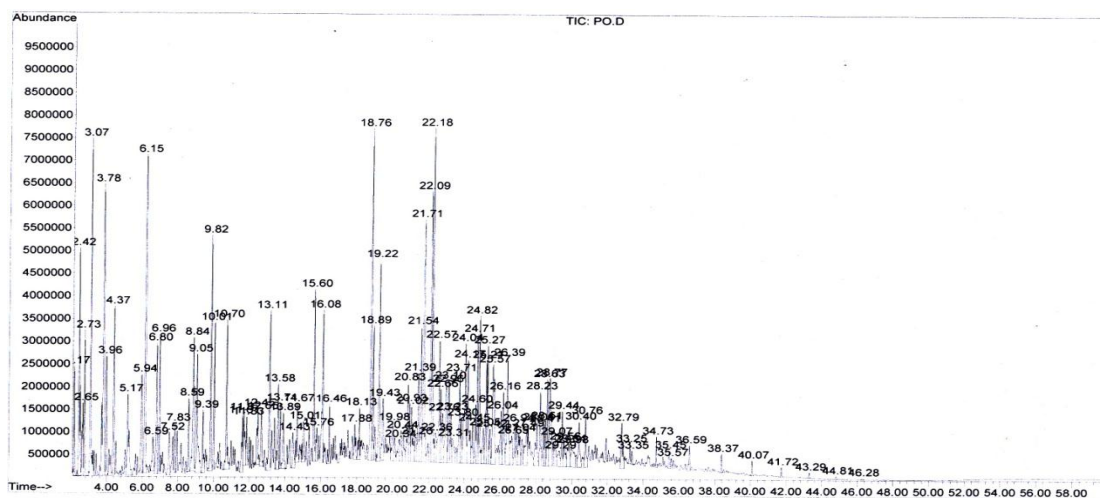
4.4.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว และผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 350 °C อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ 0.45 ลิตรต่อ

นาที่ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ GC-MS วิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วย NIST library ได้ผลการทดลอง
 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.1 และ 4.2 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก 2.1-2.2)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.5 โครมาโตแกรมของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (ก) และผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ (ข)
 จากกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 350 °C และอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน
 0.45 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

Retention time (min)	สารประกอบ	% Corr. Area
6.13	p-Xylene	2.07
9.8	Benzene, 1, 2, 3 - trimethyl -	3.87
9.98	Decane	6.10
13.07	Undecane	2.61
15.58	Naphthalene	0.97
16.05	Dodecane	6.00
18.85	Tridecane	2.99
21.49	Tetradecane	3.45
23.99	Pentadecane	2.3
26.36	Hexadecane	2.05
28.61	Heptadecane	2.89
30.74	Octadecane	1.97
32.77	Nonadecane	1.43
34.72	Eicosane	1.79
36.58	Heneicosane	1.94

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส

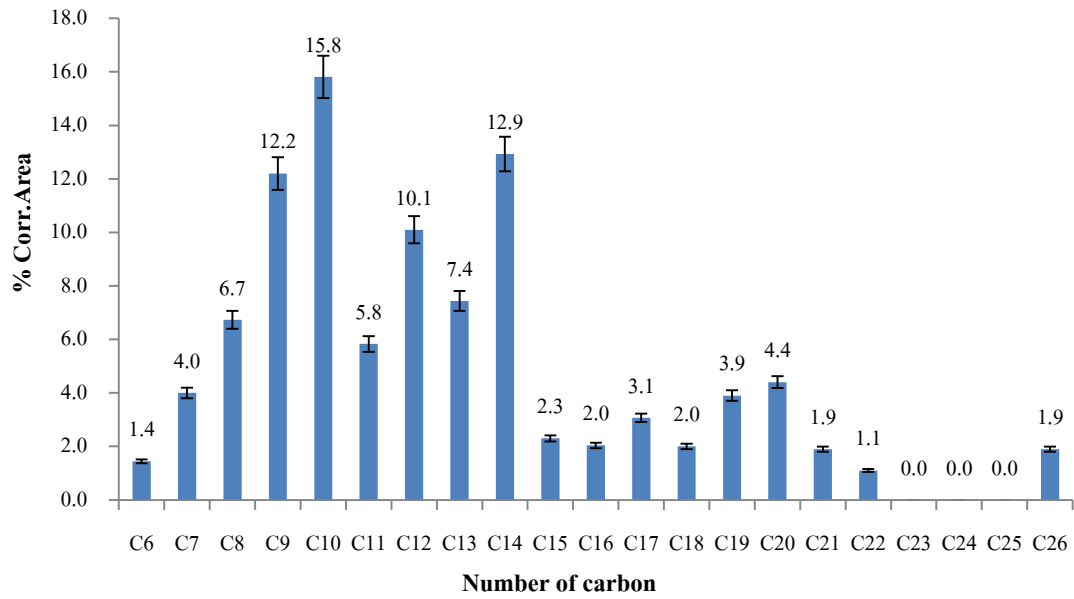
Retention time (min)	สารประกอบ	% Corr. Area
2.73	Heptane	0.97
4.37	Octane	1.52
6.8	p-Xylene	1.34
6.96	Nonane	1.19
9.82	Benzene, 1, 2, 3 - trimethyl -	1.96
10.01	Decane	1.20
13.11	Undecane	1.78
15.6	Naphthalene	1.60
16.08	Dodecane	1.66
18.89	Tridecane	1.15
21.54	Tetradecane	1.55
24.04	Pentadecane	2.12

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส

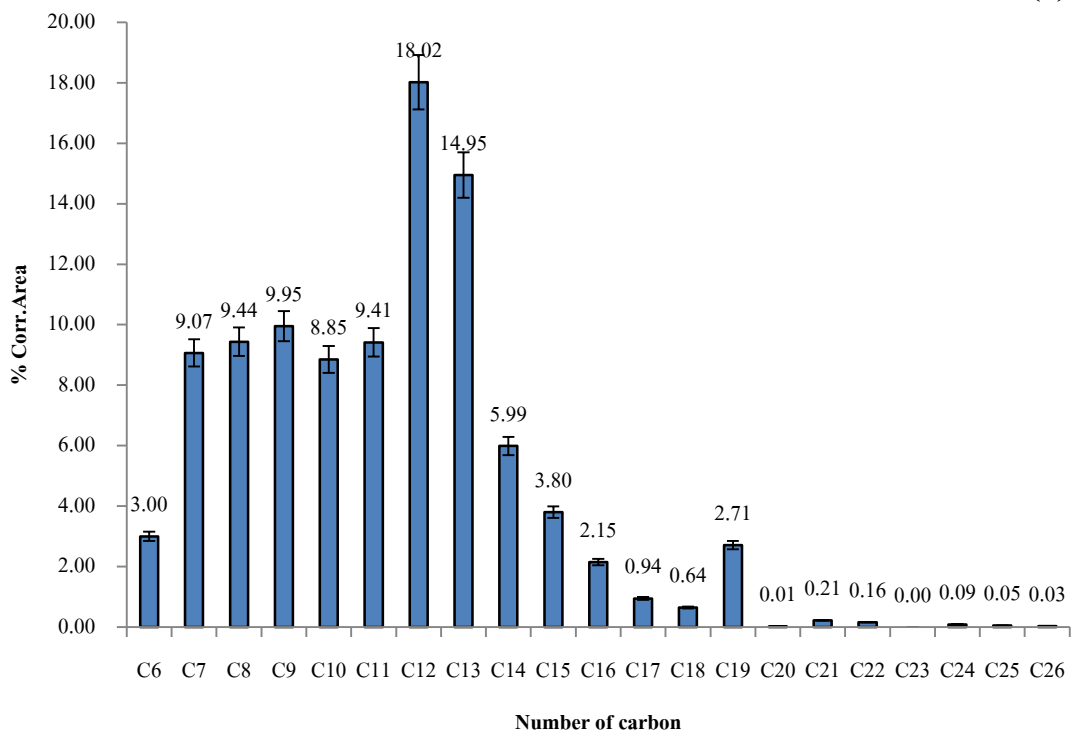
Retention time (min)	สารประกอบ	% Corr. Area
26.39	Hexadecane	1.75
28.63	Heptadecane	0.94
30.76	Octadecane	0.64
32.79	Nonadecane	0.85
36.59	Heneicosane	0.21
38.37	Docosane	0.16
41.71	Tetracosane	0.09
43.29	Pentacosane	0.05
44.81	Hexacosane	0.03

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสเมื่อนำมาจัดกลุ่มตามจำนวนคาร์บอน ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่าการแพร่กระจายขององค์ประกอบในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (รูปที่ 4.6ก) มีความแตกต่างกับในเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส (รูปที่ 4.6ข) โดยองค์ประกอบของคาร์บอนในเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสมีปริมาณโมเลกุลคาร์บอนสายสั้น (short chain carbons) มากกว่าในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลคาร์บอนสายยาว (long chain carbons) ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วถูกแตกพันธะด้วยความร้อนทำให้กลายเป็นโมเลกุลคาร์บอนสายสั้น

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง % ของพื้นที่ที่ได้กราฟกับจำนวนของคาร์บอนในองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (ก) และ เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ (ข) จากกระบวนการไพโรไลซิส

4.4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว และเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วก่อนและหลังการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 350 °C อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ 0.45 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสที่สภาวะดังกล่าว ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วก่อนและหลังจากการไพโรไลซิส และผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิส ตามวิธีมาตรฐาน ASTM

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วก่อนไพโรไลซิส	น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วหลังไพโรไลซิส	เชื้อเพลิงเหลวที่ได้	มาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ^a
ความถ่วงจำเพาะ 15.6/15.6 °C	0.88	0.86	0.81	0.81–0.87
จุดวาบไฟ (°C)	<40	<40	<20	>52
ค่าความร้อน (Cal/g)	10,741	10,728	11,067	-
ค่าความหนืดที่ 50 °C (mm ² /s)	46.74	18.08	6.2	1.8–4.1
ปริมาณคลอไรด์ (mg/kg)	63	63	-	-
ปริมาณซัลเฟอร์ (% wt)	0.438	0.438	0.02	<0.005
ปริมาณน้ำและตะกอน (% vol)	1.20	1.20	<0.001	<0.05
ปริมาณเถ้า (% wt)	0.7	0.574	0.13	<0.01

^a ข้อมูลจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1267–2537 น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์หมุนเร็ว กระบวนการอุตสาหกรรม

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีพบว่า เชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านการบำบัดโดยกระบวนการไพโรไลซิส มีค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความร้อนใกล้เคียงกับค่าของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วก่อนและหลังการไพโรไลซิส แต่มีจุดวาบไฟ ความหนืด ปริมาณซัลเฟอร์ ปริมาณน้ำและตะกอน และปริมาณเถ้า น้อยกว่าค่าของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วก่อนและหลังการไพโรไลซิส ซึ่งจากค่าความร้อนสูง ค่าความหนืดลดลง และมีปริมาณซัลเฟอร์ ปริมาณน้ำและตะกอน และปริมาณเถ้าต่ำ ดังนั้นคุณสมบัติเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปปรับปรุงคุณภาพไปเป็นน้ำมันดีเซลหมุนเร็วเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม การที่มีจุดวาบไฟต่ำ อาจทำให้เกิดอันตรายในการใช้งาน จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัตินี้ให้เหมาะสม สำหรับ

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่เหลือหลังการไพโรไลซิสมีค่าความหนืดและปริมาณต่ำกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วก่อนการไพโรไลซิส จากค่าความร้อนที่สูงของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่เหลือหลังจากการไพโรไลซิส ทำให้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรม

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว และผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส ที่วิเคราะห์ด้วย GC-MS

องค์ประกอบทางเคมี	น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (%)	เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ (%)
Alkanes	39.01	18.23
<i>Carbon Compounds</i>		
Light Hydrocarbons (C ₆ - C ₁₂)	56.31	67.74
Heavy Hydrocarbons (C ₁₃ - C ₂₆)	43.69	32.26
Aromatics	46.66	66.91
PAHs	0.73	0.87

หมายเหตุ : คำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่าง % ของพื้นที่ใต้กราฟ (relative percent)

จากตารางที่ 4.4 แสดงคุณภาพเชิงปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว และเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส โดยการวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วย GC-MS พบว่ามีกลุ่มของสารอินทรีย์ต่างๆประกอบอยู่ ได้แก่ อัลเคน, ไฮโดรคาร์บอนชนิดเบา (light hydrocarbons), ไฮโดรคาร์บอนชนิดหนัก (heavy hydrocarbons), อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และ PAHs จากการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงเหลวที่ได้มีอัลเคน และไฮโดรคาร์บอนชนิดหนักลดลง และมีไฮโดรคาร์บอนชนิดเบา, อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และ PAHs เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lam *et al.*, (2012) และสอดคล้องกับหลักการแตกตัวของโมเลกุลคาร์บอนสายยาวเมื่อได้รับความร้อนทำให้เกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลคาร์บอนสายสั้น ซึ่งจากผลการทดลองผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้มีปริมาณของโมเลกุลคาร์บอนสายสั้นเพิ่มขึ้น