

การแตกตัวด้วยไฮโดรเจนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก/ถ่านกัมมันต์โดยใช้
เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ



นางสาว จินตนา สุมารินทร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

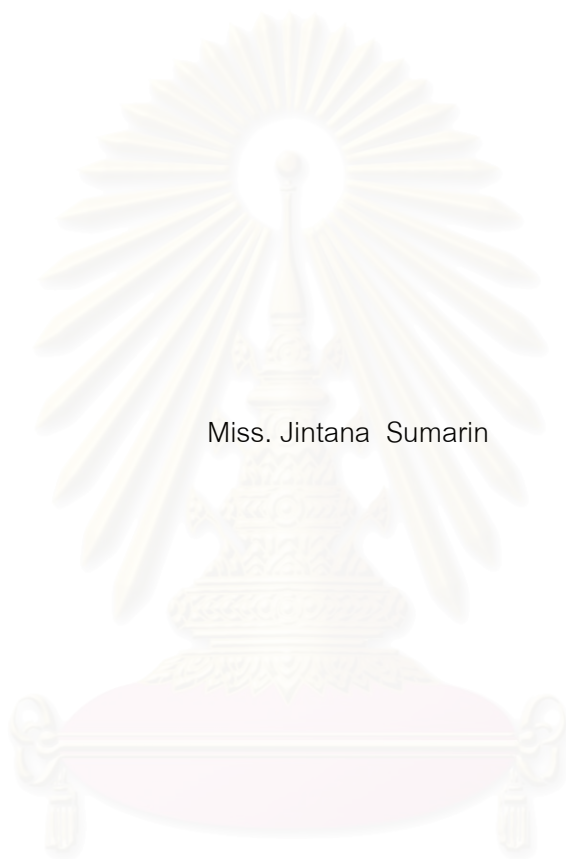
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2577-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HYDROCRACKING OF USED LUBRICATING OIL ON IRON/ACTIVATED CARBON
CATALYST USING A TUBULAR REACTOR



Miss. Jintana Sumarin

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN 974-14-2577-5

Copyright of Chulalongkorn University

จินตนา สุมารินทร์ : การแตกตัวด้วยไฮโดรเจนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก/
 ด้านกัมมันต์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ.(HYDROCRACKING OF USED LUBRICATING
 OIL ON IRON/ACTIVATED CARBON CATALYST USING A TUBULAR REACTOR)
 อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร.ธราพงษ์ วิจิตตานต์, 95 หน้า, ISBN : 974-14-2577-5.

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงกระบวนการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบน
 ด้านกัมมันต์ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อขนาด ยาว 12 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.46 เซนติเมตร
 ปฏิริยาดำเนินไปภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 390-450 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการไหลเข้าของสาร
 ป้อน 0.34 - 3.30 กรัมต่อนาที ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป 3 - 10 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาณ
 ของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนด้านกัมมันต์ร้อยละ 0.1-1.0 โดยน้ำหนัก เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันและ
 องค์ประกอบที่ดีที่สุด

จากผลการทดลองพบว่าสัดส่วนการเปลี่ยนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและการกระจายตัวของ
 ผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อัตราเร็วในการไหลเข้าของสารป้อน และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา โดย
 ภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นดังนี้ อุณหภูมิ 430 - 450
 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 0.34 กรัมต่อนาที ภาวะการทดลองข้างต้นจะได้ผลิต
 ภัณฑ์น้ำมันร้อยละ 46.99-51.09 ผลิตภัณฑ์แก๊สรวมกับของแข็งร้อยละ 48.91-53.01 เมื่อนำผลิต
 ภัณฑ์น้ำมันมาวิเคราะห์หาการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีปริมาณร้อยละผลได้ของเนฟทาร์้อย
 ละ 23.73 -27.08 เคโรซีนร้อยละ 3.83-4.98 แก๊สออยล์เบาร้อยละ 10.15-10.99 แก๊สออยล์หนักร้อยละ
 1.89-1.69 และกากน้ำมันหนักร้อยละ 6.44-7.31 โดยน้ำหนัก

ภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวด้วยด้วยไฮโดรเจนของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วบนตัวเร่ง
 ปฏิริยาเหล็กบนด้านกัมมันต์เป็นดังนี้ อุณหภูมิช่วง 430-450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของ
 สารป้อน 2.77 กรัมต่อนาที ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป 10 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาณตัวเร่ง
 ปฏิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ซึ่งในภาวะการทดลองข้างต้นจะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันร้อยละ 57.21-
 57.36 ผลิตภัณฑ์แก๊สรวมกับของแข็งร้อยละ 42.64-42.79 เมื่อนำผลิตภัณฑ์น้ำมันมาวิเคราะห์หาการ
 กระจายตัวของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีปริมาณร้อยละผลได้ของเนฟทาร์้อยละ 18.81-20.31 เคโรซีนร้อยละ
 3.96-4.01 แก๊สออยล์เบาร้อยละ 11.27-11.87 แก๊สออยล์หนักร้อยละ 2.40-2.64 และกากน้ำมันหนัก
 ร้อยละ 19.22-20.28 โดยน้ำหนัก

ภาควิชา เคมีเทคนิค
 สาขาวิชา เคมีเทคนิค
 ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิสิต.....จินตนา.....สีมวาทย์
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4772240923: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: LUBRICATING OIL / Fe/ACTIVATED CARBON / HYDROCRACKING

JINTANA SUMARIN : HYDROCRACKING OF USED LUBRICATING OIL ON IRON/ACTIVATED CARBON CATALYST USING A TUBULAR REACTOR. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. THARAPONG VITIDSANT, Ph.D. 95 pp. ISBN : 974-14-2577-5.

The purpose of this research was to study the hydrocracking of used lubricating oil on iron/activated carbon catalyst in a tubular reactor of 12 meters long and 0.46 cm. inside diameter. The hydrocracking process was performed at the temperature in the range of 390-450 °C and the flow rate in the range of 0.34-3.30 g./min, the volumetric flow rate of hydrogen in the range of 3-10 ml./min and the amount of Fe/Activated Carbon 0.1 to 1.0 % by weight to determine the optimum product and components.

Experimental results showed that the conversion of the used lubricating oil and the composition oil product depended on the temperature, the feed flow rate and the amount of the catalyst. The optimum conditions of thermal cracking of used lubricating oil were obtained at temperature of 430 to 450 °C, the feed rate at 0.34 g. per minute The cracked product was 46.99-51.09 % by weight of oil yield, 48.91-53.01 % by weight of gas and solid yield. The product distribution of the oil yield were consisted of 23.73 –27.08 % of Naphtha, 3.83-4.98 % of Kerosene, 10.15-10.99 % of Light Gas Oil, 1.89-1.69 % of Heavy Gas Oil and 6.44-7.31 % by weight of Long Residue.

The optimum conditions of hydrocracking of used lubricating oil on Fe/Activated Carbon catalyst were obtained at temperature of 430-450 °C, the feed rate at 2.77 g. per minute, the volume flow rate of hydrogen at 10 ml per minute with the amount Fe/Activated catalyst at 1 % . The cracked product was present in 57.21-57.36 %by weight of oil yield, 42.64-42.79 % by weight of gas and solid yield. The product distribution of the oil yield were consisted of 18.81-20.31 % of Naphtha, 3.96-4.01 % of Kerosene, 11.27-11.87 % of Light Gas Oil, 2.40-2.64 % of Heavy Gas Oil and 19.22-20.28 % by weight of Long Residue.

Department : Chemical Technology

Field of Study : Chemical Technology

Academic Year : 2006

Student's Signature :.....*จันทนา สุมาริน*.....

Advisor's Signature :.....*T. V. Vitidsant*.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำตลอดจนให้ความคิดเห็นเพื่อปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิค

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.ภัทรพรหม ประศาสน์สารกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. สุชญา นิติวัดมนานนท์ และ ผศ.ดร. สงบทิพย์ พงศ์สถาปดี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ และการใช้ห้องปฏิบัติการ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้านเงินทุนจากศูนย์ปิโตรเลียมและเทคโนโลยีปิโตรเคมี ซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้อยู่เบื้องหลังที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 น้ำมันหล่อลื่น	3
2.1.1 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน	4
2.1.2 สารที่เพิ่มคุณภาพ	5
2.1.3 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำมันหล่อลื่น.....	5
2.1.4 หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่น.....	7
2.1.5 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น	8
2.1.6 การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	9
2.1.7 จัดการเกี่ยวกับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	12
2.2 ปฏิกริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกริยา.....	13
2.3 ตัวเร่งปฏิกริยา	13
2.3.1 สมบัติของตัวเร่งปฏิกริยา	13
2.3.2 ประเภทของตัวเร่งปฏิกริยา.....	14
2.3.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกริยา	15
2.4 ตัวรองรับ	19
2.4.1 การเลือกใช้ตัวรองรับ	20
2.4.2 ตัวรองรับถ่านกัมมันต์.....	21
2.5 ถ่านกัมมันต์.....	22
2.5.1 วัสดุคิปที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์	22
2.5.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์	22

บทที่	หน้า
2.5.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์.....	24
2.5.4 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์	28
2.5.5 โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์	29
2.6 การแตกโมเลกุลด้วยความร้อน (Thermal cracking)	31
2.7 การแตกตัวโดยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking)	32
2.8 การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking)	34
2.9 การเกิดโค้ก.....	35
2.10 การวิเคราะห์หาคุณภาพของน้ำมัน	35
2.11 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	36
3. เครื่องมือและอุปกรณ์.....	41
3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี.....	41
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	41
3.3 การดำเนินงานวิจัย.....	44
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	44
3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบและสารตั้งต้น.....	44
3.4.2 ขั้นตอนการทำการทดลอง	45
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	48
4.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของสาร	48
4.1.1 องค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	48
4.1.2 สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์	49
4.2. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน	50
4.3. อิทธิพลของอัตราการไหลเข้าของสารป้อน (น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน	54
4.4. อิทธิพลของปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน	62
4.5. อิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน	71
4.6. เปรียบเทียบงานวิจัยที่ใกล้เคียง	80
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	82
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	82
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยระดับต่อไป	84

บทที่	หน้า
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	88
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลอง	88
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ.....	92
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์การกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์ น้ำมันตามคาบจุดเดือด.....	94
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	95



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1	พื้นที่ผิวของคาร์บอนบางชนิดที่นำมาทำเป็นตัวรองรับ 21
4.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 48
4.2	ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 49
4.3	ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา..... 49
4.4	เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน 81
ก1	แสดงผลศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของ น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 1.23 กรัมต่อนาที.....88
ก2	แสดงผลศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของสารป้อนในปฏิกิริยาการ แตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส 89
ก3	แสดงผลศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของสารป้อนในปฏิกิริยาการ แตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส..... 89
ก4	แสดงผลศึกษาอิทธิพลของปริมาณแก๊สไฮโดรเจนในปฏิกิริยาการ แตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส.....90
ก5	แสดงผลศึกษาอิทธิพลของปริมาณแก๊สไฮโดรเจนในปฏิกิริยาการ แตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส.....90
ก6	แสดงผลศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการแตกโมเลกุล ของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส แก๊สไฮโดรเจน 10 ml/min....91
ก7	แสดงผลศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการแตกโมเลกุล ของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส แก๊สไฮโดรเจน 10 ml/min....91

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1	ขั้นตอนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป 3
2.2	กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่น..... 4
2.3	การแบ่งประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา..... 14
2.4	แสดงการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาดังวิธี co-precipitation..... 16
2.5	แสดงการเตรียมตัวเร่งวิธี wet impregnation 17
2.6	บทบาทของตัวรองรับที่มีต่อการกระจายตัวของ active species..... 20
2.7	แสดงตำแหน่งของอิเล็กตรอนของคาร์บอนที่เกิดจาก sp ² Hybridization 26
2.8	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี โดยการเตรียมถ่านจากวัสดุทางการเกษตร..... 26
2.9	การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์ 28
2.10	ตัวอย่างหมู่ฟังก์ชันัลที่เป็นกรดบนผิวถ่านกัมมันต์..... 29
2.11	ตัวอย่างปฏิกิริยาของถ่านกัมมันต์ที่มีผิวเป็นกรด 30
2.12	ตัวอย่างปฏิกิริยาการดูดซับโมเลกุลกรด ด้วยถ่านกัมมันต์ที่มีผิวเป็นต่าง 30
3.1	เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อที่มีลักษณะขดเป็นเกลียว 41
3.2	เตาเผาและเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล 42
3.3	เพอริสแตติก ปั๊ม (Peristaltic pump) 42
3.4	เครื่องวัดและปรับอัตราการไหลของแก๊ส (Mass flow meter and controller)..... 42
3.5	เครื่องแก๊สโครมาโทแบบจำลองการกลั่น 43
3.6	เครื่องหาพื้นที่ผิวรูพรุน (BET surface area) 44
3.7	แผนผังเครื่องปฏิกรณ์เพื่อใช้รีดิวซ์ตัวเร่งปฏิกิริยา 45
3.8	แผนผังเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 46
4.1	ผลการวิเคราะห์ร้อยละของผลิตภัณฑ์น้ำมันและร้อยละของแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับ ของแข็ง ที่อุณหภูมิ 390-450 องศาเซลเซียส 50
4.2	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิระหว่าง 390 – 450 องศาเซลเซียส 52
4.3	ผลการวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา (production rate) ที่อุณหภูมิระหว่าง 390 – 450 องศาเซลเซียส 53

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
4.4 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจาก ปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือที่อุณหภูมิระหว่าง 390– 450 องศาเซลเซียส.....	54
4.5 ผลการวิเคราะห์ร้อยละของผลิตภัณฑ์น้ำมันและร้อยละของแก๊สไฮโดรคาร์บอน รวมกับของแข็ง อัตราการไหลของสารป้อน 0.34, 1.0 และ 3.3 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส.....	55
4.6 ผลการวิเคราะห์ร้อยละของผลิตภัณฑ์น้ำมันและร้อยละของแก๊สไฮโดรคาร์บอน รวมกับของแข็ง อัตราการไหลของสารป้อน 0.34, 1.0 และ 3.3 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส.....	56
4.7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน อัตราการไหล ของสารป้อน 0.34, 1.0 และ 3.3 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส	57
4.8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อัตราการไหล ของสารป้อน 0.34, 1.0 และ 3.3 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส	58
4.9 ผลการวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา (production rate) อัตราการไหลของสารป้อน 0.34, 1.0 และ 3.3 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส.....	59
4.10 ผลการวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา (production rate) อัตราการไหลของสารป้อน 0.34, 1.0 และ 3.3 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส.....	60
4.11 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละ ผลได้ของกากน้ำมัน อัตราการไหลของสารป้อน 0.34, 1.0 และ 3.3 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส.....	61
4.12 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละ ผลได้ของกากน้ำมัน อัตราการไหลของสารป้อน 0.34, 1.0 และ 3.3 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส.....	62

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
4.13 ผลการวิเคราะห์หรือยลະของผลิตภัณฑ์น้ำมันและร้อยละของแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับของแข็ง อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 3,7 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส.....	63
4.14 ผลการวิเคราะห์หรือยลະของผลิตภัณฑ์น้ำมันและร้อยละของแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับของแข็ง อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 3,7 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส.....	64
4.15 ผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 3,7 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส.....	65
4.16 ผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 3,7 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส.....	66
4.17 การวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา (production rate) อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 3,7 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส.....	67
4.18 การวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา (production rate) อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 3,7 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส.....	68
4.19 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมัน อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 3,7 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส.....	69
4.20 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมัน อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 3,7 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส.....	71
4.21 ผลการวิเคราะห์หรือยลະของผลิตภัณฑ์น้ำมันและร้อยละของแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับของแข็ง ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส.....	72

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
4.22 ผลการวิเคราะห์ร้อยละของผลิตภัณฑ์น้ำมันและร้อยละของแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับของแข็ง ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส	73
4.23 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส	74
4.24 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส	75
4.25 ผลการวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา (production rate) ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส	76
4.26 ผลการวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา (production rate) ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส	77
4.27 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมัน ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส	78
4.28 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมัน ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส	79

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากในปัจจุบันมีน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากหลายแหล่งด้วยกันเช่น น้ำมันหล่อลื่นหรือน้ำมันเครื่องที่ใช้ในยานพาหนะต่าง ๆ อาทิเช่น รถยนต์นั่ง รถโดยสาร รถมอเตอร์ไซค์ เรือประมง เรือเดินสมุทร และตามแหล่งโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเครื่องจักรที่ต้องใช้น้ำมันหล่อลื่น โดยปริมาณการใช้น้ำมันหล่อลื่นในปี 2545 อยู่ที่ประมาณ 470 ล้านลิตร [1] ซึ่งมีปริมาณมากพอสมควร และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจัดว่าเป็นของเสียประเภทหนึ่ง หากทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมและไม่มีการจัดการอย่างถูกวิธีอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก วิธีการจัดการเกี่ยวกับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีอยู่หลายวิธีเช่น วิธีการนำกลับไปใช้ใหม่ แต่วิธีการนี้ต้องแน่ใจว่าน้ำมันที่ได้มีคุณภาพดีและไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่ออุปกรณ์ที่จะนำไปใช้งาน แต่เนื่องด้วยบริษัทการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ได้ทำการศึกษาแล้วว่า น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านกระบวนการบำบัดในประเทศขณะนี้ไม่เหมาะแก่การนำไปใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานใหม่ เนื่องจากน้ำมันที่ได้มีการกักตุนอุปกรณ์ประกอบกับต้องมีวิธีการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นจึงไม่คุ้มค่าที่จะดำเนินการ วิธีการจัดการเกี่ยวกับน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยการนำไปเผาทิ้งในเตาเผาขยะต้องใช้เงินลงทุนสูงมากและเป็นการใช้ทรัพยากรที่ไม่คุ้มค่า อีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจคือ นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในอุตสาหกรรมบางประเภท จะให้คุณค่าทางเศรษฐกิจและเป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีอื่น ๆ อีกทั้งเป็นการช่วยลดและกำจัดปริมาณของเสียได้อีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงเป็นมูลเหตุจูงใจให้ศึกษาการแปรรูปน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วซึ่งเป็นน้ำมันหนัก ให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเบาอื่น ๆ ที่มีคุณค่ามากขึ้น

การศึกษาเบื้องต้นมีการแปรรูปน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดยกระบวนการแตกโมเลกุลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบดซ์ โดยเครื่องปฏิกรณ์นี้เหมาะกับการผลิตสารในปริมาณไม่มากและสามารถเปลี่ยนสารตั้งต้นได้หลาย ๆ ครั้ง แต่ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการแตกโมเลกุลน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ โดยทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่มีลักษณะเป็นท่อขดยาว 12 เมตร เพื่อเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ให้มากขึ้นโดยเครื่องปฏิกรณ์นี้สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิและความดันสูงได้ สำหรับตัวแปรที่ต้องการศึกษา คือ อุณหภูมิ อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่น อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน รวมทั้งร้อยละของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีผลต่อเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ได้ และวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่อง Distillation Gas Chromatograph

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการแตกตัวของไฮโดรเจนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก/ถ่านกัมมันต์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ อัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่น อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก/ถ่านกัมมันต์
2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ให้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบที่ดีที่สุด

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันชนิดเบาจากการแตกโมเลกุลด้วยไฮโดรเจนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ
2. เป็นแนวทางในการขยายขนาดเครื่องปฏิกรณ์สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลวในภาคอุตสาหกรรม หรือการผลิตในเชิงพาณิชย์ เพื่อให้ได้มาซึ่งเชื้อเพลิงทดแทนจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

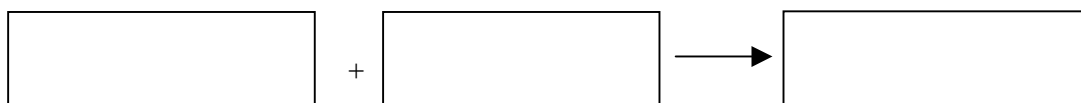
2.1 น้ำมันหล่อลื่น (LUBRICATING OIL) [2,3]

สารหล่อลื่นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่มากมาย ซึ่งถ้าแบ่งตามสถานะจะแบ่งออกได้เป็นสี่ชนิด คือ ก๊าซ ของเหลว สารกึ่งแข็ง (semi solid) และของแข็ง ในจำนวนของสารหล่อลื่นทั้งหมดที่ใช้กัน สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวจะใช้กันมากที่สุด รองลงมาคือ สารกึ่งแข็งซึ่ง ได้แก่ จาระบี การที่สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวนิยมใช้กันแพร่หลายมากนั้นเพราะสามารถแยกผิววัตถุทั้งสองได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถรับแรงที่กระทำได้มาก ของเหลวที่ใช้เป็นสารหล่อลื่นมีดังนี้ สารละลายกับน้ำ (aqueous solution) น้ำมันแร่ (mineral oil) น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ และน้ำมันสังเคราะห์ ในบรรดาสารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวนั้น น้ำจะมีการใช้งานค่อนข้างจำกัด เช่น ใช้ในการหล่อลื่นแบริงไม้ หรือแบริงยางของกังหันวิดน้ำ หรือเครื่องสูบน้ำบางประเภท ส่วนสารละลายกับน้ำจะใช้เฉพาะในการหล่อลื่นชิ้นงานของเครื่องกลึง เครื่องเจียระไน และเครื่องไสเป็นหลัก สำหรับสารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวที่ใช้กันมากที่สุดคือ น้ำมันหล่อลื่นซึ่งจะมีอยู่สองชนิดคือ น้ำมันแร่ และน้ำมันสังเคราะห์ ส่วนน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ไม่เป็นที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากมีราคาแพง

น้ำมันหล่อลื่น เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้รับจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันหล่อลื่นเป็นวัตถุที่มีลักษณะเป็นของเหลว โดยทั่วไปจะนำมาหล่อลื่นชิ้นส่วนของเครื่องยนต์และเครื่องจักรกลที่มีลักษณะปิด เช่น ภายในห้องเพลาช้อเหวี่ยง ห้องเกียร์ และเฟืองท้าย เป็นต้น

การผลิตน้ำมันหล่อลื่นเพื่อให้ได้น้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปที่มีคุณภาพดีและเหมาะสมในการใช้งานสำหรับเครื่องยนต์ และเครื่องจักรกลแต่ละชนิดแสดงดังรูป 2.1 ขั้นตอนการผลิตจะแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน
2. ขั้นตอนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป โดยการเติมสารเพิ่มคุณภาพต่าง ๆ ลงในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

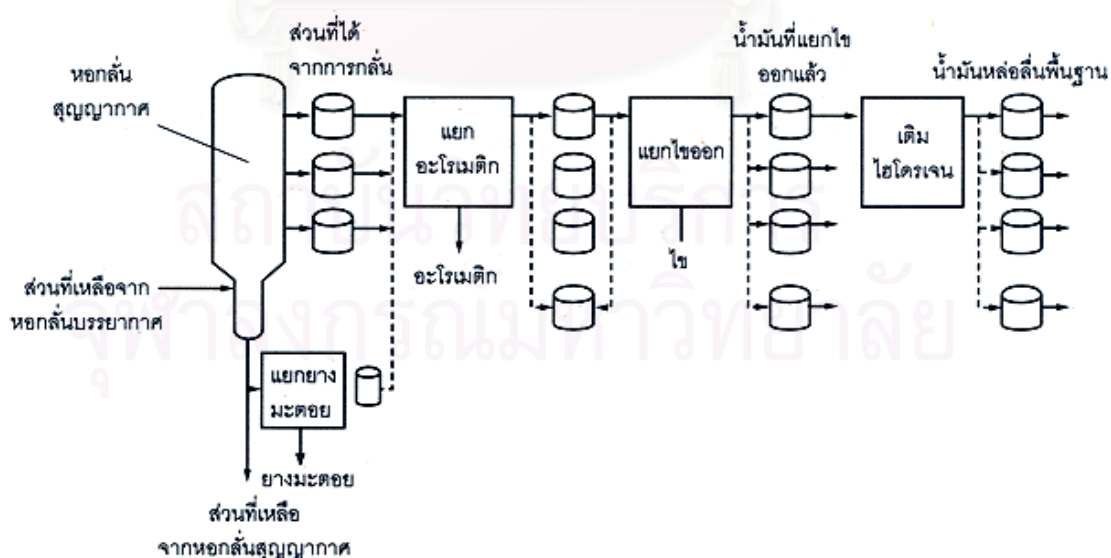


รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป [2,3]

2.1.1 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oil) ที่มีโซ่อยู่แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ น้ำมันจากพืชหรือสัตว์ น้ำมันแร่ และน้ำมันสังเคราะห์ โดยส่วนใหญ่มักจะใช้น้ำมันแร่นำมาผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป

1. น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากพืชหรือสัตว์ (vegetable or animal base oil) มีความคงตัวทางเคมีต่ำ เสื่อมสภาพได้ง่ายในขณะใช้งาน เมื่อนำมาใช้จะต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ ทำให้ราคาแพง จึงไม่นิยมนำมาใช้กันทั่วไป จะใช้แต่เฉพาะงานที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษบางอย่างเท่านั้น ส่วนใหญ่มักจะนำมาใช้ในการเพิ่มคุณภาพให้น้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียมที่ต้องการเพิ่มความข้น และความสามารถในการผสมเข้ากับน้ำได้ เช่น น้ำมันละหุ่ง น้ำมันหมู เป็นต้น

2. น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากปิโตรเลียมหรือน้ำมันแร่ (mineral base oil) เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีคุณภาพดีและราคาถูก น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานชนิดนี้เป็นผลผลิตที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบในหอกลั่น โดยน้ำมันที่ได้จากการเอาส่วนที่ก้นหอกลั่นขึ้นอยู่กับชนิดน้ำมันดิบที่เอามากลั่นภายใต้สุญญากาศ แยกเอาน้ำมันหล่อลื่นชนิดใดและชนิดชั้นออกมา ที่เหลือก็เป็นกากสามารถนำไปผลิตยางมะตอยได้ตามที่แสดงในรูป 2.2 ชนิดและปริมาณของน้ำมันแร่ที่ได้จากการกลั่นขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันดิบที่นำมากลั่น น้ำมันแร่ที่ได้จากการกลั่นภายใต้สุญญากาศนี้ปกติคุณภาพไม่ดีพอต้องนำไปผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น การสกัดด้วยตัวละลายไฮโรฟีนิง การแยกไซออก เพื่อกำจัดสารที่ไม่ต้องการออก และเพื่อให้มีความอยู่ตัวทางเคมีและทางความร้อนที่ดีพอ



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่น [4,5]

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่พบในน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากปิโตรเลียมได้แก่

- Paraffinic compound ที่เป็นทั้ง Straight และ Branched chain
- Naphthenes
- Aromatics ที่เป็น unsaturated structure

3. น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันสังเคราะห์ (synthetic base oil) เป็นน้ำมันสังเคราะห์ที่ได้มาจากกระบวนการทางเคมี วัสดุที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์เริ่มต้นมักนำมาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในงานที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ เช่น สารพวกลิโพลีแอลฟาโอเลฟิน (polyalphaolefin), สารพวกเอสเทอร์ (ester) ไดเอสเทอร์ (diester) สารพวกซิลิโคน (silicone) เป็นต้น

2.1.2 สารที่เพิ่มคุณภาพ (Additive)

คือสารที่เติมลงไปในการหล่อลื่นเพื่อที่จะเสริมให้น้ำมันหล่อลื่นมีคุณภาพดีขึ้นโดยสารเพิ่มคุณภาพจะต้องมีคุณภาพที่สำคัญดังนี้

- ละลายได้ในน้ำมันหล่อลื่น
- ไม่สลายตัวหรือเปลี่ยนแปลงขณะเก็บหรือใช้งาน
- ต้องทำให้คุณสมบัติบางประการของน้ำมันหล่อลื่นดีขึ้น

2.1.3 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำมันหล่อลื่น

1. ความหนืดหรือความเข้มข้นใส (viscosity) หมายถึง ความใสและความเข้มข้นของน้ำมัน เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดในการควบคุมการผลิตและในการเลือกน้ำมันไปใช้งาน ซึ่งอุณหภูมิและความดันมีผลต่อความหนืด โดยอุณหภูมิเพิ่มความหนืดจะลดลง แต่ความดันเพิ่มจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น น้ำมันมีความหนืดต่ำจะไหลง่ายแต่เยื่อหล่อลื่นบางมาก ส่วนความหนืดสูงจะไหลยากแต่เยื่อหล่อลื่นหนากว่า ในการทดสอบจะใช้วิธีการทดสอบตาม ASTM D 4452

2. ดัชนีความหนืดหรือความเข้มข้นใส (viscosity index) ความหนืดจะเปลี่ยนตามอุณหภูมิ ดังนั้นน้ำมันจะใสลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และจะข้นขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง จึงมีการวัดความเปลี่ยนแปลงนี้ออกมาเป็นค่าดัชนีความหนืด (viscosity index, VI) น้ำมันที่ความหนืดเปลี่ยนแปลงน้อยที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมากแสดงถึงมีค่า VI สูง ส่วนน้ำมันที่ความหนืดเปลี่ยนแปลงมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงน้อยแสดงถึงมีค่า VI ต่ำ

3. จุดวาบไฟและจุดติดไฟ (flash and fire points) หมายถึง อุณหภูมิที่น้ำมันระเหยกลายเป็นไอเพียงพอที่ผิว และสามารถลุกไหม้ได้เมื่อโดนเปลวไฟ แต่ที่อุณหภูมินี้การระเหยกลายเป็นไอจะไม่เพียงพอที่จะทำให้การลุกไหม้คงอยู่ต่อไป เปลวไฟจึงดับลงได้เองทันที แต่หากมีการให้

ความร้อนแก่น้ำมันต่อไปอีกอุณหภูมิก็จะสูงขึ้น จนถึงอุณหภูมิที่การระเหยกลายเป็นไอเพียงพอที่จะทำให้เกิดการลุกไหม้ได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วินาที อุณหภูมินี้เรียกว่า จุดติดไฟ จุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นจะแปรผันกับความหนืด โดยน้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนืดสูงก็จะมีจุดวาบไฟสูงด้วย นอกจากนี้ชนิดของน้ำมันดิบที่นำมาใช้ผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก็มีผลต่อจุดวาบไฟด้วย ในการทดสอบจุดวาบไฟและจุดติดไฟจะใช้วิธีในการทดสอบตาม ASTM D 92 ค่าทั้งสองนี้มีความสำคัญ ไม่เฉพาะในแง่อันตรายจากการลุกไหม้ แต่ในแง่ของการระเหยของน้ำมันด้วยน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจะมีค่าจุดวาบไฟสูงขึ้น เนื่องจากการละลายของน้ำมันอื่น หรือน้ำมันเชื้อเพลิงลงไป

4. **จุดไหลเท (pour point)** คือ อุณหภูมิที่ต่ำสุดที่น้ำมันยังคงไหลได้ภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด ซึ่งเทียบเท่ากับแนวโน้มของน้ำมันที่หยุดไหลจากระบบปั๊ม หรือจากภาชนะ จุดไหลเทของน้ำมันที่มีขี้ผึ้งอยู่ จะสามารถทำให้ลดลงได้โดยการเติมสารที่เรียกว่า Pour point depressant ซึ่งป้องกันการเจริญเติบโตของผลึกขี้ผึ้ง ซึ่งจะกลายเป็นผลึกของแข็งต่อไปความสำคัญของจุดไหลเทอยู่ที่การใช้งานของอุณหภูมิที่ต่ำ เช่น น้ำมันหล่อลื่นตู้เย็น หรือน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ในอุณหภูมิหนาวจัด ในการทดสอบจะใช้วิธีการทดสอบตาม ASTM D 97

5. **ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) และ Relative Density & API gravity** ทั้งสองค่าความถ่วงจำเพาะนี้จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมการผลิต และเมื่อใช้กับค่าอื่นสามารถกำหนดที่มาของน้ำมันที่ไม่ทราบแหล่งได้ เนื่องจากมีค่าสัมพันธ์กับองค์ประกอบโดยประมาณทดสอบได้โดยวิธี ASTM D1298 สำหรับการนำค่าความถ่วงจำเพาะไปเปรียบเทียบกับน้ำมันใหม่ที่ยังไม่ได้ใช้งาน ถ้ามากขึ้นหรือน้อยลงอาจเป็นเพราะมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่ ซึ่งอาจเป็นน้ำหรือน้ำมันเชื้อเพลิงก็ได้

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity, Sp.gr.) คือ อัตราส่วนที่แสดงให้เห็นว่าสารนั้นหนักกว่าสารบริสุทธิ์ที่เท่าเมื่อมีปริมาตรเท่ากัน และวัดอุณหภูมิเดียวกัน

Specific Gravity = ความหนาแน่นของสาร / ความหนาแน่นของน้ำ

Relative Density & API Gravity ใช้วัดความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเช่นเดียวกับ Specific Gravity แต่อ่านได้สะดวกกว่า เพราะจะไม่อ่านค่าหลังจุดทศนิยม โดยที่ API Gravity สามารถหาได้จาก Specific Gravity โดยใช้สมการข้างล่างนี้

$$\text{Gravity} = 141.5 / (\text{Sp.gr } 60/60^{\circ}\text{F}) - 131.5$$

6. **ปริมาณกำมะถัน (Sulphur Content)** โดยปกติแล้วกำมะถันจะมีอยู่ในน้ำมันเกือบทุกชนิด ถึงแม้จะนำมากลั่น และกำจัดออกแล้วก็ตาม ก็ยังไม่หมดร้อยเปอร์เซ็นต์ อันตรายจากกำมะถันในน้ำมันคือ จะกัดกร่อนภาชนะ และถ้าน้ำมันเชื้อเพลิงมีกำมะถันอยู่มากแล้ว เมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ก็จะทำให้เกิดออกไซด์ของกำมะถันคือ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และก๊าซ

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งสามารถกัดกร่อนโลหะได้ และมีกลิ่นเหม็น ทดสอบโดยใช้วิธี ASTM D 1226

7. **ค่าพลังงานความร้อน (Heat of Combustion)** การหาค่าพลังงานความร้อน เพื่อเปรียบเทียบพลังงานกับเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ทดสอบโดยใช้วิธี ASTM D 240

8. **เถ้าประเภทซัลเฟต (Sulphated Ash)** น้ำมันบางชนิดจะมีสารประเภทซัลเฟต ดังนั้นในการทดสอบ เพื่อจะทราบว่าเหลือมากน้อยเพียงใดในน้ำมันนั้น สามารถทดสอบแยกออกมาได้เป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เราก็จะทราบว่าปริมาณโลหะที่ผสมในน้ำมันนั้นมากน้อยเพียงใด ทดสอบโดยใช้วิธี ASTM D 874

9. **การทดสอบเพื่อหาประเภทของเถ้า (Nature of Ash)** ทำให้ทราบว่า มีโลหะชนิดใด และประเภทใดบ้างที่มีอยู่ในน้ำมัน และประมาณโดยหยาบ ๆ อยู่ว่ามีปริมาณเท่าใด ทดสอบโดยวิธี ASTM D 482

10. **ความต้านทานการรวมตัวกับออกซิเจน** เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นเป็นส่วนผสมที่ซับซ้อนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เมื่อสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสัมผัสกับออกซิเจน ก็จะทำให้เกิดการทำปฏิกิริยากัน ทำให้เกิดสิ่งไม่พึงประสงค์ เช่น กรด ความเหนียว และยิ่งอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วขึ้นอีก ดังนั้นน้ำมันที่ดีควรรวมตัวกับออกซิเจนได้ยาก

2.1.4 หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่น [2,3]

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิด น้ำมันหล่อลื่นที่นำไปหล่อลื่นเครื่องยนต์และเครื่องจักรกลต่างๆ หน้าที่หลัก และประโยชน์ของการใช้น้ำมันหล่อลื่นมีดังนี้

1. **ช่วยหล่อลื่น (lubricate)** ฟิล์มหรือเยื่อบางๆ ของน้ำมันหล่อลื่นจะทำหน้าที่เคลือบผิวโลหะ หรือชิ้นงานที่มีการเคลื่อนที่ เพื่อไม่ให้มีการเสียดสีโดยตรง หรือเพื่อการลดการสึกหรอของชิ้นงาน น้ำมันหล่อลื่นที่ดีต้องมีคุณสมบัติในการคงความหนาของเยื่อน้ำมัน และฟิล์มน้ำมันให้เกือบคงที่ตลอดเวลา แม้เมื่อมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป คือจะต้องไม่บางเกินไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และไม่หนาเกินไปเมื่ออุณหภูมิลดลง ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้เรียกว่า ดัชนีความเข้มข้นใส (Viscosity index)

2. **ช่วยระบายความร้อน (coolant)** คุณสมบัติข้อนี้เป็นข้อสำคัญข้อหนึ่งของน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ ซึ่งจะต้องลดอุณหภูมิหรือระบายความร้อนออกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในระบบสูบ และระบายความร้อนอันเกิดจากการเสียดสีของชิ้นส่วนต่างๆ จากผิวชิ้นงานได้เป็นอย่างดี

3. **ช่วยรักษาความสะอาด (clean)** ขณะที่ทำหน้าที่หล่อลื่นก็จะต้องเป็นตัวทำความสะอาดชิ้นงานนั้นไปด้วย คือจะต้องสามารถชะล้างขจัดคราบสกปรกต่างๆ จากผิวชิ้นงานได้เป็นอย่างดี

4. **ช่วยป้องกันการเกิดสนิมและการกัดกร่อน (protect)** น้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องไม่มีสารที่เป็นอันตรายในการกัดกร่อนเสียเอง นอกจากนี้เมื่อมีสารจากภายนอกที่อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ เช่น ก๊าซไอเสีย ละอองน้ำ หรือไอน้ำ น้ำมันหล่อลื่นที่ดีต้องมีคุณสมบัติที่ทำให้กรดนั้นเจือจาง และไม่สามารถที่จะกัดกร่อนโลหะของชิ้นงานได้

5. **ช่วยกระจายความสกปรก (dispersancy)** น้ำมันหล่อลื่นที่ดีต้องมีคุณสมบัติในการกระจายสิ่งสกปรกต่างๆ ที่มีปนมาในน้ำมันหล่อลื่น อันเนื่องมาจากการกำจัดสิ่งสกปรกออกจากชิ้นงาน เพื่อไม่ให้สิ่งสกปรกเหล่านั้นรวมตัวกันได้ง่ายขึ้น เพราะหากสิ่งสกปรกในน้ำมันหล่อลื่นเกิดการรวมตัวกันมากขึ้นจะทำให้เกิดเป็นยางเหนียวอุดตันในชิ้นงาน

นอกจากหน้าที่สำคัญเหล่านี้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นต้องมีคุณสมบัติพิเศษอื่นๆ อีกที่ได้จากการเติมสารเพิ่มคุณภาพ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ต้องไม่เกิดเป็นฟองง่าย สามารถรับแรงกดได้สูง ทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เป็นต้น

2.1.5 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น [2,3]

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กันในปัจจุบันเป็นพวกน้ำมันแร่ (Mineral oil) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมันดิบ พวกที่เป็นน้ำมันสังเคราะห์ (Synthetic Oil) ก็มีใช้อยู่บ้างแต่ใช้ในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นชนิดน้ำมันแร่เท่านั้น

น้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดได้ถูกผลิตขึ้นมา เพื่อให้คุณสมบัติและคุณภาพเหมาะสมสำหรับงานหล่อลื่นแต่ละประเภท โดยการนำเอาน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีความหนืดพอเหมาะมาปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมสารเคมีเพิ่มคุณภาพ เพื่อให้มีคุณสมบัติพิเศษตามที่ต้องการ เช่น คุณสมบัติในการชะล้าง ป้องกันฟองสบู หรือแรงกด เป็นต้น เมื่อถูกใช้งาน คุณสมบัติและคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นต้องสูญเสีย หรือเสื่อมลงไปเรื่อย ๆ จนในที่สุดไม่อยู่ในสภาพที่เหมาะสมกับการใช้งานอีกต่อไป ลักษณะการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นสามารถจำแนกออกได้ 3 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

1. **การเสื่อมสภาพของตัวเนื่อน้ำมันที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน**
ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้เร็วถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ผลก็คือน้ำมันจะเปลี่ยนสภาพ และเกิดความเป็นกรดขึ้น ความหนืดของน้ำมันก็จะสูงขึ้นด้วย ถ้าปล่อยให้ความเป็นกรดสูงมาก ๆ จะทำให้เนื่อน้ำมันเสื่อมสภาพเร็วมากขึ้น ผลคือเกิดมีพวยยางเหนียวเกาะอยู่ตามร่องรูทางผ่านของน้ำมันหล่อลื่น และในที่สุดอาจจะเกิดการกัดกร่อนเนื้อโลหะในเครื่องจักรกลได้ ในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ น้ำ

มันไฮดรอลิก น้ำมันเทอร์ไบน์ และน้ำมันเครื่องอัดอากาศกำลังสูง ได้มีการใส่สารเพิ่มคุณภาพเพื่อป้องกันปฏิกิริยานี้อยู่แล้ว หากสารที่เติมนี้ใช้หมดไปหรือเสื่อมสภาพไปน้ำมันก็อาจเกิดปฏิกิริยากับอากาศได้ที่อุณหภูมิสูง ๆ

2. สารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันใช้หมดไป หรือเสื่อมสภาพไป สารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันหล่อลื่นมีมากมายหลายชนิด สารเหล่านี้ช่วยให้ น้ำมันหล่อลื่นมีคุณสมบัติดียิ่งขึ้น และเหมาะสมกับสภาพการใช้งาน แต่สารเหล่านี้อาจใช้หมดไปโดยเปลี่ยนสภาพไปเป็นสารอื่นที่ไม่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติอีกต่อไป ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นไม่ดีต่อไป

3. สารอื่นหรือสิ่งสกปรกจากภายนอกเข้าไปปะปน สารอื่นจากภายนอก เช่น น้ำ ผุ่นผง เชม่า และอื่น ๆ เมื่อเข้าไปปะปนกับน้ำมันหล่อลื่นแล้วอาจทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมคุณภาพได้ เช่น น้ำเมื่อปะปนกับน้ำมัน ทำให้ความหนืดเปลี่ยนไป และไม่เหมาะที่จะใช้งานต่อไป ในน้ำมันเทอร์ไบน์ได้มีการเติมสารเพิ่มคุณภาพเพื่อทำให้น้ำแยกตัวออกมาตกอยู่ในก้นอ่างน้ำมันเพื่อที่จะได้ถ่ายทิ้งได้ ผุ่นผงและเชม่า โดยเฉพาะพวกที่เป็นโลหะถ้าเข้ามาปะปนอยู่กับน้ำมันหล่อลื่นเป็นจำนวนมากแล้ว จะไปขัดสีกับสีโลหะของเครื่องจักรกลทำให้เกิดรอยขีดข่วนและสึกหรอได้ นอกจากนั้นยังทำให้ความหนืดของน้ำมันสูงขึ้นด้วย พวกน้ำมันเชื้อเพลิงถ้าเล็ดลอดไปปะปนในน้ำมันหล่อลื่นจะทำให้น้ำมันหล่อลื่นหนืดลดลงมาก ไม่เหมาะสมกับการใช้งานอีกต่อไป ดังนั้นการระวังมิให้สิ่งอื่นภายนอกเข้าไปปะปนในน้ำมันหล่อลื่นจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ถึงแม้จะเป็นน้ำมันหล่อลื่นต่างชนิดกันก็ไม่ควรจะนำมาผสมกัน เพราะอาจทำให้คุณภาพของน้ำมันเสื่อมลงได้ ตัวอย่างเช่น พวกน้ำมันเครื่องยนต์เล็กน้อยปะปนลงในน้ำมันเทอร์ไบน์ อาจทำให้คุณภาพการป้องกันสนิมของน้ำมันเทอร์ไบน์เสียไป เนื่องจากสารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์อาจทำปฏิกิริยากับสารช่วยป้องกันสนิมในน้ำมันเทอร์ไบน์ทำให้สารช่วยป้องกันสนิมแปรสภาพไป

2.1.6 การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว [2,3]

การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นในลักษณะต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นนั้น จะเกิดขึ้นเร็วหรือช้ามากน้อยขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน และระยะเวลาในการหล่อลื่นเป็นปัจจัยสำคัญ ดังนั้นเพื่อที่จะให้การหล่อลื่นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจึงควรที่จะมีการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันและปริมาณสิ่งสกปรกที่เกิดขึ้นในน้ำมันที่ใช้เป็นระยะ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้ได้ทราบถึงสภาพของน้ำมัน และสามารถกำหนดระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันได้อย่างเหมาะสม การวิเคราะห์ลักษณะการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นในบางครั้งยังสามารถเป็นเครื่องบ่งชี้ให้เห็นถึงความผิดปกติในการทำงานของเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ ตลอดจนสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้

ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว มักจะมีการวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติและสิ่งเจือปนในน้ำมันดังต่อไปนี้

1. **ความหนืด (Viscosity)** ความหนืดเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญที่สุดของน้ำมันหล่อลื่น การที่น้ำมันมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิมจึงใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ได้ทางหนึ่งว่าน้ำมันนั้นมีสภาพเหมาะสมสำหรับการใช้งานต่อไปได้อีกหรือไม่ ความหนืดที่ใช้ในการเปรียบเทียบส่วนใหญ่จะวัดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส หรือ 100 องศาเซลเซียส โดยวิธี ASTM D 445

ปัจจัยที่ทำให้น้ำมันข้นขึ้นได้แก่

1. ตัวเนื่อน้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เสื่อมสภาพไปมาก สาเหตุนี้จะทำให้ค่าความเป็นกรดรวมของน้ำมันสูงขึ้น
2. มีสิ่งสกปรกเช่น ฝุ่นละอองหรือเขม่า (จากการเผาไหม้ - น้ำมันเครื่องยนต์) และเศษโลหะจากการสึกหรอ และสิ่งสกปรกอื่น ๆ สาเหตุนี้จะทำให้ค่าตะกอนในน้ำมันสูงขึ้นด้วย
3. น้ำมันถูกใช้งานสูงมากตลอดเวลา (เช่น ใช้เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายความร้อนในเตาอบ) ทำให้สารชนิดเบาระเหยหายไปบางส่วน
4. มีน้ำมันมาปะปนในปริมาณที่มากพอ และเกิดการผสมเข้าหากันเป็นลักษณะเหมือนน้ำมัน

ปัจจัยที่ทำให้น้ำมันใสลง ได้แก่

1. มีการเจือปนของน้ำมันที่ใสกว่าเช่น พวกลีโพลีเอทิลีน หรือน้ำมันที่ใสกว่าเดิมมาผสม
2. เกิดการเสื่อมสลายตัวของสารเคมีเพิ่มค่าดัชนีความหนืด (ในน้ำมันพวกอัลติเกรด และน้ำมันเกียร์อัตโนมัติบางตัว)

โดยปกติน้ำมันที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป เช่น น้ำมันหล่อลื่นดีบุกตาและแบร์ริง น้ำมันไฮดรอลิก น้ำมันเทอร์ไบน์ น้ำมันเกียร์ น้ำมันเครื่องอัดน้ำยาเครื่องทำความเย็น น้ำมันเครื่องอัดลม ซึ่งมีสิ่งสกปรกจากภายนอกมีโอกาสเล็ดลอดเข้าไปปะปนได้ยาก หากความหนืดเปลี่ยนไปจากของใหม่ร้อยละ + 15 ให้เริ่มสังเกตน้ำมันประเภทเครื่องยนต์นั้น สำหรับเครื่องดีเซลหมุนเร็วที่ใช้ น้ำมันโซล่าเป็นเชื้อเพลิง ถือเป็นร้อยละ 25 เป็นจุดที่ควรระวัง ส่วนพวกดีเซลรอบปานกลางและรอบช้า ซึ่งใช้น้ำมันซีดีหรือน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง เกณฑ์ที่ควรระวังคือร้อยละ +50 และ +25 เช่น น้ำมันประเภทหล่อลื่นเทอร์ไบน์ ควรเริ่มสังเกตที่ปริมาณเกิน 0.3 มิลลิกรัมKOH/กรัม น้ำมัน พวกล้ำมันหล่อลื่นแบร์ริง น้ำมันไฮดรอลิก เครื่องอัดลมและเกียร์ ควรเริ่มสังเกตเมื่อปริมาณเกิน 1.0 มิลลิกรัม

เนื่องจากความเป็นกรดรวมในน้ำมันหล่อลื่นที่หาได้โดยวิธีดังกล่าวข้างต้นเกิดจากปัจจัยหลายอย่าง ดังนั้นเป็นการยากที่จะใช้ค่า TAN (Total Acid Number) บ่งบอกถึงสภาพความเป็นกรดของน้ำมันมาตัดสินใจว่า น้ำมันอยู่ในสภาพที่เสื่อมหรือไม่ วิธีที่ถูกต้องคือ การตรวจสอบค่า TAN เป็นระยะ ๆ เริ่มตั้งแต่ใส่น้ำมันใหม่แล้วดูการเปลี่ยนแปลงค่า TAN เริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

หรือหากเรามีวิธีที่จะสกัดเอาเฉพาะเนื้อน้ำมันที่เสื่อมสภาพมาวัดค่า TAN แล้วตัวเลขข้างบนดังกล่าวก็สามารถใช้เป็นแนวทางได้ เช่น ใช้เมทานอลสกัด

2. จุดวาบไฟ (flash point) ปริมาณจุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นจะอยู่ใน ช่วง 160 ถึง 320 องศาเซลเซียส แล้วแต่ว่าเป็นน้ำมันใสหรือน้ำมันข้น น้ำมันหล่อลื่นใสมักจะมีจุดวาบไฟต่ำกว่าน้ำมันข้น ส่วนเชื้อเพลิงนั้นมีจุดวาบไฟต่ำมาก เช่น น้ำมันเบนซินมีจุดวาบไฟราว -43 องศาเซลเซียส และน้ำมันโซลามีที่จุดวาบไฟราว 86 องศาเซลเซียส หากมีเชื้อเพลิงลงไปปะปนกับน้ำมันหล่อลื่น จุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นจะลดลงมาก และความหนืดก็จะลดลงด้วย การทดสอบนี้ใช้กับน้ำมันเครื่องยนต์เท่านั้น เพราะเชื้อเพลิงมีโอกาสเข้ามาปะปนกับน้ำมันหล่อลื่น โดยเด็ดลอดผ่านแหวนลูกสูบและซีลใน injection pump ในเครื่องดีเซล จุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์วัดโดยวิธี ASTM D 93 (PMCC) ไม่ควรต่ำกว่าของใหม่เกิน 45 องศาเซลเซียส

3. น้ำ (Water) ปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว วัดออกมาโดยหน่วยร้อยละโดยประมาณ วัดโดยวิธี ASTM D 95 ปริมาณที่ยอมให้มีได้ขึ้นอยู่กับชนิดของงานที่หล่อลื่นหากเป็นระบบไฮดรอลิกไม่ควรเกินร้อยละ 0.1 ระบบเบรจเทอโรโบนและเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วไม่เกินร้อยละ 0.2 เครื่องอัดลมไม่ควรเกินร้อยละ 0.5 เกียร์ และเครื่องดีเซลรอบช้าไม่ควรเกินร้อยละ 1.0 ส่วนน้ำมันหม้อแปลงไม่ควรเกินร้อยละ 0.005 หากคุณภาพด้านอื่น ๆ ของน้ำมันดีอยู่ แต่มีน้ำมากเกินไป หากสามารถกำจัดน้ำให้ลดลงได้โดยวิธีถ่ายหม้อเหวี่ยง (centifuge) หรือวิธีอื่นก็สามารถใช้งานต่อไปได้

4. สิ่งสกปรกที่เป็นของแข็ง (Sediment) ปริมาณตะกอนในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว วัดโดยวิธี ASTM D 893 มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก หากใช้ pentane sinv n-heptane เป็นตัวละลาย ค่าที่ได้จะรวมถึงตะกอนยางเหนียวที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับอากาศ หากใช้เบนซินหรือโทลูอินเป็นตัวทำละลาย ค่าที่ได้จะไม่รวมถึงตะกอนยางเหนียวดังกล่าว ดังนั้นผลต่างค่าที่ได้ทั้งสองจึงเป็นปริมาณของน้ำมันที่เสื่อมสภาพไปเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปริมาณตะกอนที่ไม่ละลายในสารละลายพวกเพนเทน หรือนอร์มัล-เฮปเทน สำหรับน้ำมันที่ใช้แล้วยอมให้มีมากขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของงาน เช่น ไฮดรอลิก เทอโรโบน และคอมเพรสเซอร์เครื่องทำความเย็นไม่ควรเกินร้อยละ 0.2 ในเกียร์เพรสเซอร์อัดอากาศและน้ำมันถ่ายโดยความร้อน ไม่ควรเกินร้อยละ 1.0 ในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วปกติไม่ควรเกินร้อยละ 2.0 แต่หากคุณสมบัติอื่น ๆ ยังดีอยู่อาจยอมให้มีมากขึ้นได้ถึงร้อยละ 3.0 เช่นเดียวกับเครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลางและรอบช้า ผลต่างของค่าตะกอนที่ไม่ละลายในเพนเทนและในเบนซินสำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เบนซินและดีเซลไม่ควรเกินร้อยละ 1.0

นอกจากการทดสอบคุณสมบัติและสิ่งเจือปนต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้ว ยังมีการทดสอบอื่น ๆ เช่นคุณสมบัติในด้านการเกิด และการสลายตัวของฟองอากาศในน้ำมัน ชนิด และปริมาณของ

เศษโลหะที่เกิดจากการสึกหรอที่สามารถนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์สภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วได้อีก แต่ทั้งนี้ในการทดสอบคุณสมบัติใดๆ ก็ตาม ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์เป็นสำคัญ

5. สี (Colour) โดยใช้วิธี ASTM C 1500 วัดโดยการเปรียบเทียบแสงที่ส่องทะลุผ่านน้ำมันที่บรรจุอยู่ในหลอดแก้วมาตรฐาน กับแสงที่ส่องทะลุผ่านแก้วที่มาตรฐาน จะใช้คุณสมบัตินี้ในการควบคุมการผลิต

6. สภาพเป็นกลาง (Neutralization Value Base Number) คือการตรวจดูน้ำมันว่ามีสภาพความเป็นกรดเป็นด่างมากน้อยเพียงใด ถ้าตรวจพบว่าเป็นกรดแสดงว่าน้ำมันมีปฏิกิริยากับออกซิเจนมาก หรือสารที่เติมเข้าไปเพื่อทำลายความเป็นกรดใช้หมดไปแล้ว จะทดสอบได้โดยใช้วิธี ASTM D 664

Total Base Number (TBN) ไม่ควรเกิน 5 มิลลิกรัม KOHต่อกรัม

Total Acid Number (TAN) ไม่ควรเกิน 2.5 มิลลิกรัม KOHต่อกรัม

2.1.7 การจัดการเกี่ยวกับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว [1]

การกำจัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีหลายวิธีได้แก่

1. ผสมกับน้ำมันดิบนำเข้ากลั่นในโรงกลั่นน้ำมัน วิธีการนี้จะต้องผ่านกระบวนการทำความสะอาดขั้นต้นเสียก่อน อย่างไรก็ตามพบว่ามีอัตราการกักกรองอนุภาคในโรงกลั่นสูง ประกอบกับต้องมีวิธีการกำจัดกากของเสียที่เกิดขึ้น จึงไม่คุ้มค่าที่จะดำเนินการ วิธีการนี้จึงไม่มีใช้ในเมืองไทย

2. นำไปเข้ากระบวนการกลั่นหรือกรอง วิธีการนี้จะต้องคำนึงว่าโรงกลั่นได้มาตรฐานหรือไม่ คุณภาพของน้ำมันที่ได้เป็นอย่างไรวิธีการกำจัดกากของเสียเป็นที่ยอมรับทางวิชาการหรือไม่ ถ้าการกำจัดไม่สมบูรณ์ (ยังคงมีสารปนเปื้อนอยู่) แต่จะส่งผลให้ผู้ใช้ไม่มั่นใจในคุณภาพของน้ำมันในที่สุด ปัจจุบันในเมืองไทยมีโรงกลั่นและกรองน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วหลายโรง แต่ยังไม่มียังมีโรงใดสามารถกำจัดกากของเสียให้เป็นที่ยอมรับได้

3. ใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในเตาเผา เป็นการใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงในอัตราส่วนประมาณ 2% โดยน้ำหนัก แล้วนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง วิธีการนี้ต้องคำนึงถึงการกำจัดมลพิษทางอากาศและกากของเสียที่เกิดขึ้นด้วย ขณะนี้ในเมืองไทยมีการใช้แต่ มักจะไม่ได้ตรวจสอบและควบคุมมลพิษและของเสียที่เกิดขึ้นอย่างจริงจัง

4. กำจัดโดยการเผาในเตาเผาขยะ ในปัจจุบันกรมโรงงานฯ มีแผนที่จะติดตั้งเตาเผาซึ่งต้องใช้เงินลงทุนสูงมาก ไม่เหมาะกับ สภาพเศรษฐกิจในปัจจุบัน จึงต้องยืดเวลาโครงการออกไปก่อน อย่างไรก็ตามในการกำจัดด้วยวิธีการนี้จะต้องมีการตรวจสอบ มลพิษจากปล่องอุตสาหกรรมอย่างสม่ำเสมอ

5. การกำจัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในเตาเผาซีเมนต์ เตาเผาซีเมนต์เป็นเตาที่มีอุณหภูมิสูงเช่นเดียวกับเตาเผาขยะ ให้ความร้อนสูงถึง 1,450 องศาเซลเซียส มีระยะเวลาการเผาไหม้นานสารอินทรีย์จึงถูกทำลายได้อย่างสมบูรณ์ ไม่มีกากของการเผาไหม้เหลือเป็นเถ้า หากต้องกำจัดอีก เพราะเถ้ากลายเป็นเถ้าปูนได้ และไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของปูนซีเมนต์ด้วย วิธีนี้จึงเป็นการนำพลังงานมาใช้และลดการใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิง ปัจจุบันมีเตาเผาปูนซีเมนต์ที่ใช้งานอยู่แล้วเป็นจำนวนมากกระจายอยู่แทบทุกภาคของประเทศ วิธีการนี้เป็นที่ยอมรับกันแพร่หลาย ทั้งในยุโรป อเมริกา และญี่ปุ่น เพราะไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.2 ปฏิกริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกริยา (Catalyst reaction) [6, 7]

เป็นปฏิกริยาที่นำตัวเร่งปฏิกริยาเข้ามาใช้เพื่อให้ปฏิกริยาสามารถดำเนินไปได้รวดเร็วขึ้น โดยมีกลไกที่ไปลดพลังงานการกระตุ้นของปฏิกริยา ตัวเร่งปฏิกริยาที่นำมาใช้จะทำหน้าที่ลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกริยา โดยที่ไม่ทำปฏิกริยากับสารตั้งต้น หรือไปรบกวนสมดุลของปฏิกริยา จึงมีความหมายโดยสรุปว่า ตัวเร่งปฏิกริยาเป็นตัวเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกริยาเท่านั้น โดยเมื่อพิจารณาถึงค่าคงที่ของสมดุลของปฏิกริยา ก็พบว่าตัวเร่งปฏิกริยาจะต้องไม่ทำให้ค่าคงที่ของสมดุลเปลี่ยนแปลง แต่ทำให้อัตราเร็วของการเกิดปฏิกริยาไปข้างหน้า และอัตราเร็วของการเกิดปฏิกริยาย้อนกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งตามทฤษฎีแล้วเมื่อสิ้นสุดปฏิกริยาจะได้ตัวเร่งปฏิกริยากลับมาเท่ากับปริมาณที่ใช้ตอนเริ่มต้นโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพ แต่ในทางปฏิบัติตัวเร่งปฏิกริยาอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง หรือองค์ประกอบได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของออกซิเจนต่อโลหะในตัวเร่งปฏิกริยาที่เป็นโลหะออกไซด์บางชนิดที่อุณหภูมิสูง หรือการสัมผัสของสารตั้งต้นในระหว่างการทำปฏิกริยา

2.3 ตัวเร่งปฏิกริยา [8]

ตัวเร่งปฏิกริยาเป็นสารที่เติมลงไปในการปฏิกริยาในจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับสารตั้งต้นแล้วทำให้ปฏิกริยาเกิดเร็วขึ้น โดยที่ตัวสารเองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหลังจากปฏิกริยาเสร็จสิ้น โดยสมดุลของปฏิกริยาไม่เปลี่ยน

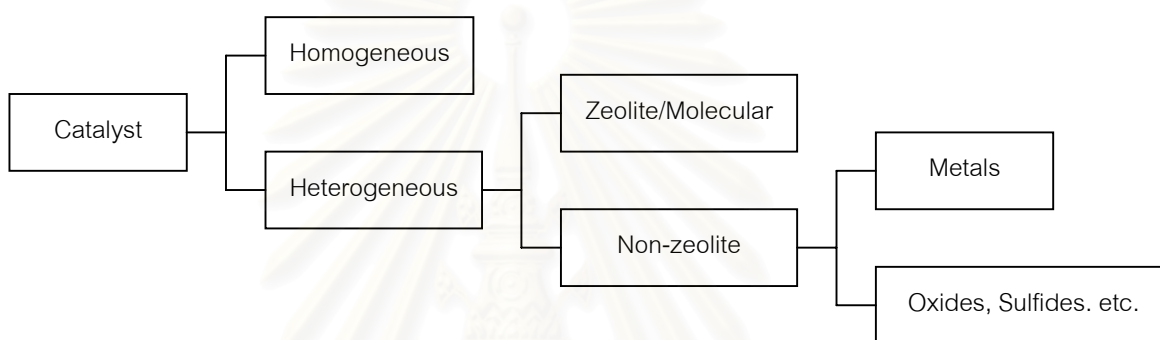
2.3.1 สมบัติของตัวเร่งปฏิกริยา

1. ไม่รบกวนสมดุลของปฏิกริยา
2. ช่วยลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกริยา (Ea)

3. ต้องเป็นสสารเสมอ

2.3.2 ประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา

การแบ่งประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา นิยมทำโดยการพิจารณาว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในวัฏภาค (phase) เดียวกับสารตั้งต้นหรือไม่ การใช้เกณฑ์นี้ทำให้เราสามารถแบ่งตัวเร่งปฏิกิริยาออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ถ้าตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในวัฏภาคเดียวกับสารตั้งต้นจัดว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst) แต่ถ้าตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่คนละวัฏภาคกับสารตั้งต้นจัดว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst) การแบ่งประเภทตัวเร่งปฏิกิริยาได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การแบ่งประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา [8]

ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์คือ ทุกโมเลกุลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เติมเข้าไปในระบบ จะมีลักษณะที่เหมือนกันและอยู่ในสถานะเดียวกับสารตั้งต้น ดังนั้นรูปแบบการทำปฏิกิริยาจึงเหมือนกันด้วย ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ซึ่งส่วนมากเป็นของแข็งนั้น เฉพาะส่วนของโครงสร้างที่อยู่บนผิวเท่านั้นที่มีทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น อะตอม ไอออน หรือหมู่โครงสร้างที่อยู่ตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้างผลึก (เช่นที่มุม ขอบ หรือบริเวณตอนกลาง) จะมีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยาที่ไม่เหมือนกัน จึงทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยานอกเหนือไปจากปฏิกิริยาที่เราต้องการได้ง่าย

ถึงแม้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์จะให้ค่าการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ที่สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ก็ตาม(ทั้งนี้เพราะทุกโมเลกุลของตัวเร่งปฏิกิริยาเหมือนกันหมด) แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มักจะมีเสถียรภาพที่ต่ำกว่า เพราะโครงสร้างอาจเกิดการสลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูง ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงซึ่งเป็นช่วงที่ปฏิกิริยาเกิดได้รวดเร็ว และยังก่อให้เกิดปัญหาในแยกเอาตัวเร่งปฏิกิริยาออกมาจากผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ในบางครั้งยังมีปัญหาในด้านการกัดกร่อนอุปกรณ์ และการเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านความ

สามารถในการละลาย ด้วยเหตุนี้การใช้งานตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ในอุตสาหกรรมเคมี กลั่นน้ำมัน และปิโตรเคมีจึงอยู่ในวงแคบกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์

2.3.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา [8]

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยามีด้วยกันหลายขั้นตอน การทำงานในขั้นตอนใดบ้างจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องการเตรียม ซึ่งพอจะจัดลำดับได้ดังนี้

1. การเตรียมสารตั้งต้นและ active phase
2. การล้าง
3. การอบแห้ง
4. การเผาให้เป็นเถ้า
5. การรีดิวซ์

โดยรายละเอียดแต่ละขั้นตอนจะเป็นดังนี้

1. การเตรียมสารตั้งต้นและ active phase

การเตรียมสารตั้งต้นและ active phase ทำได้ด้วยกันหลายวิธี ที่สำคัญมีอยู่ 2 วิธีคือ วิธีการตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) และการเคลือบฝัง (Impregnation) การเตรียมโดยวิธีการตกตะกอนร่วมนั้น active phase, promoter และ support precursor จะถูกผสมเข้าด้วยกันในรูปแบบสารละลาย จากนั้นจะทำการระเหยเอาตัวทำละลายออกเพื่อให้ของผสมตกตะกอนออกมา ข้อดีของวิธีนี้คือ มีการกระจายตัวของ active phase เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

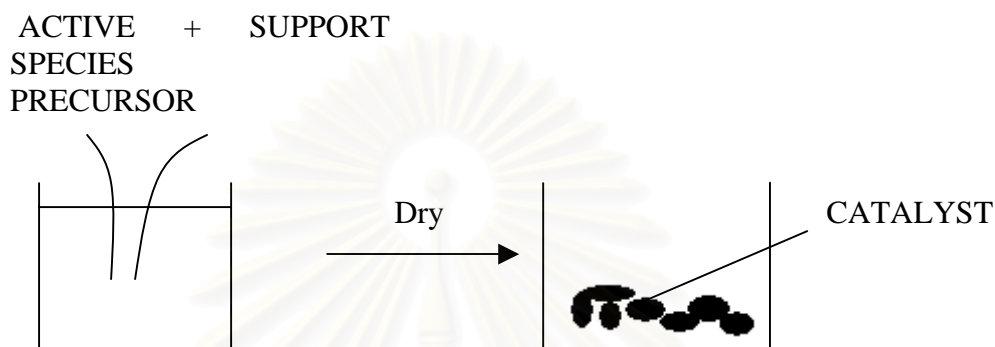
การเตรียมด้วยวิธีการเคลือบฝังจัดว่าเป็นวิธีที่ง่าย ในวิธีการนี้ตัวรองรับจะถูกแช่ลงในสารละลายที่มี active phase ละลายอยู่ หรือ สารละลายที่มี active phase ละลายอยู่ถูกหยดลงไปบนตัวรองรับ จุดเด่นของวิธีการนี้คือ สามารถควบคุมการกระจายของตัว active phase ให้อยู่เพียงแคผิวบนหรือแพร่เข้าไปถึงภายในของตัวรองรับได้

วิธีการตกตะกอนร่วม (Co-precipitation)

วิธีการตกตะกอนร่วม เริ่มต้นจะเกี่ยวกับการผสมสารละลาย 2 ชนิดหรือมากกว่า หรือ สารแขวนลอย ทำให้เกิดการตกตะกอน แล้วตามด้วยการกรอง การล้าง การทำให้แห้ง การจัดรูปร่าง และการให้ความร้อนแสดงดังรูปที่ 2.4 การให้ความร้อนสูงเพื่อทำให้เกิดการเป็นเนื้อเดียวกัน และเกิดเป็นสารประกอบขึ้นโดยการแพร่กระจายของความร้อนและปฏิกิริยาของของแข็ง (solid-state reaction) แต่การใช้อุณหภูมิสูงก็จะทำให้เกิดการรวมตัวเนื่องจากความร้อน และสิ่งที่ตามมาคือการสูญเสียพื้นที่ผิวไป

ในวิธีการนี้ สารละลายเกลือของโลหะในน้ำจะสัมผัสกับสารละลายของอัลคาไลด์, แอมโมเนียไฮดรอกไซด์ หรือแอมโมเนียคาร์บอนเนต เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของเกลือไฮดรอก

ไซต์ หรือเกลือคาร์บอนเนตที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งสามารถทำการเปลี่ยนเกลือไฮดรอกไซด์หรือเกลือคาร์บอนเนตที่ได้ ให้กลายเป็นออกไซด์ได้โดยการเผาให้ร้อน เกลือของโลหะที่นำมาใช้ในการเตรียมสารละลายเริ่มต้น ควรเป็นเกลือที่ละลายน้ำได้ดี ที่ใช้กันมากคือเกลือไนเตรตซึ่งละลายน้ำได้ดีและมีราคาถูก เกลือที่ใช้รองลงไปคือเกลือของกรดอินทรีย์ เช่นเกลือออกซาเลตและเกลือฟอร์มเมต



รูปที่ 2.4 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธี co-precipitation [8]

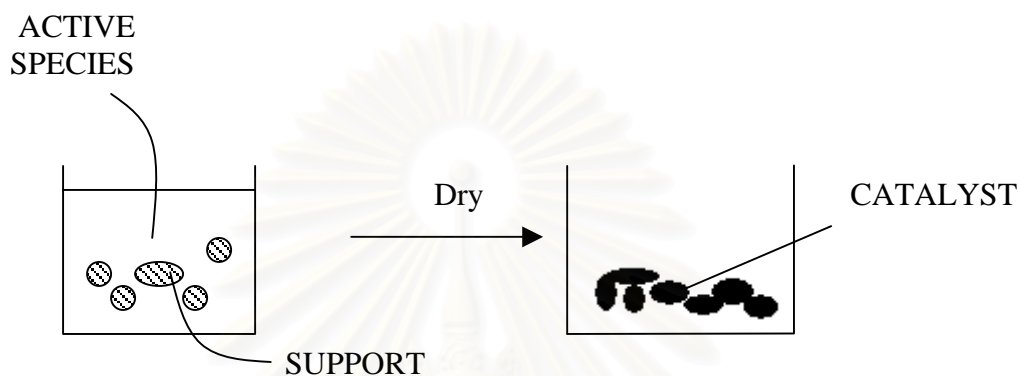
จุดเด่นของวิธีการนี้คือตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ มีการกระจายตัวของ active species อย่างสม่ำเสมอในระดับโมเลกุล แต่จะมี active phase บางส่วนฝังอยู่ภายในเนื้อของตัวเร่งปฏิกิริยา และไม่สามารถร่วมทำปฏิกิริยาได้ซึ่งเป็นการสูญเสียเปล่า วิธีการนี้จึงไม่เหมาะกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สารหรือโลหะที่มีราคาแพง นอกจากนี้ถ้าหากตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย active species ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป สิ่งที่ยังระงังในการเตรียมคือ เกลือของโลหะแต่ละชนิดอาจมีอัตราเร็วในการตกตะกอนที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ การควบคุมการตกตะกอนกระทำได้โดยการเลือกใช้เกลือที่เหมาะสม ปรับ pH และอุณหภูมิของสารละลาย

วิธีการเคลือบฝัง (Impregnation)

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ในวิธีการนี้จะนำเอาตัวรองรับ (carrier) ซึ่งมักเป็นวัสดุที่มีรูพรุนมาสัมผัสกับสารละลายที่มี active species ละลายอยู่ วิธีการนี้ยังแบ่งย่อยลงไปอีก 2 วิธีคือ ชนิดเปียก(wet impregnation) และชนิดแห้ง(dry impregnation)

ในวิธีการเตรียมการเคลือบฝังแบบเปียกนั้น ตัวรองรับจะถูกจุ่มลงในสารละลายที่เหมาะสมที่มี active species ละลายอยู่ ซึ่งโดยทั่วไปมักเป็นสารละลายของน้ำ จากนั้นจะค่อยๆ ทำการระเหยตัวทำละลายออกจนหมด เพื่อให้ active species ตกค้างอยู่บนตัวรองรับแสดงดังรูปที่ 2.5 ในระหว่างการระเหยนี้อาจมีการควบคุมหรือปรับ pH ของสารละลายไปพร้อมกัน ข้อดีของวิธีการนี้คือ ตัวรองรับแต่ละตัวจะได้รับ active species สม่ำเสมอ แต่อาจมีปัญหาเกี่ยวกับการตก

ตะกอนที่ไม่พร้อมกันของเกลือของโลหะตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป อัตราส่วนของเกลือที่ตกตะกอนบน support มักจะแตกต่างกันไปจากสัดส่วนความเข้มข้นในสารละลาย นอกจากนี้อาจเกิดการละลายของ support ขึ้นได้ เช่นซิลิกาเจล (silica gel) จะเกิดการละลายในการละลายที่มีค่า pH สูง อะลูมินา (alumina) ซึ่งมีคุณสมบัติ amphoteric จะละลายในสารละลายที่มีค่า pH สูงหรือต่ำเกินไป การควบคุมการละลายนี้อาจทำได้โดยการใช้สารละลายบัฟเฟอร์



รูปที่ 2.5 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธี wet impregnation [8]

การควบคุมที่ดีกว่าทำได้โดยการใช้วิธีการเคลือบฝังแบบแห้ง (dry impregnation หรือ incipient wetness) ซึ่งในที่นี้จะมีการพ่นสารละลายที่มีความเข้มข้นของ active species ในปริมาณที่เหมาะสมลงไปบนตัวรองรับ ปริมาณของสารละลายที่ใช้จะเท่ากับปริมาตรของรูพรุน หรือน้อยกว่าเล็กน้อย สิ่งที่เราควรระวังในที่นี้คือความสม่ำเสมอที่จะได้ ต้องแน่ใจว่าการผสมกันเป็นไปด้วยดีเพื่อให้ทุกอนุภาคได้สัมผัสกับสารละลาย จากนั้นก็ปล่อยให้แห้งให้สารละลายที่พ่นเข้าไปมีเวลาเพียงพอที่จะซึมซับเข้าไปในรูพรุนของตัวรองรับ ถ้าหากการพ่นเพียงครั้งเดียวไม่เพียงพอ ก็สามารถทำการพ่นซ้ำได้หลายครั้ง

2. การล้าง

ขั้นตอนนี้เป็น การล้างเอาสารเคมีส่วนเกินและอนุภาคขนาดเล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกวน ออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้น การล้างนี้ควรทำด้วยน้ำกลั่นหรือน้ำที่ปราศจากไอออนของโลหะ

3. การอบแห้ง

การอบแห้งเป็นการระเหยเอาตัวทำละลายที่ใช้ออกจนหมด นอกจากนี้ขั้นตอนการอบแห้งยังอาจใช้ควบคุมการกระจายตัวของ active species ได้ ถ้าหากการอบแห้งเป็นไปอย่างช้า ๆ เกลือของโลหะที่เติมลงไปมีโอกาสที่จะแพร่ออกมายังปากรูพรุน แต่ถ้าต้องการให้ active species

มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ ควรที่จะทำการอบแห้งอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งนี้ไม่สูงมาก เพียงแค่ระเหยเอาตัวทำละลายออกมาเท่านั้น

4. การขึ้นรูป

ในขั้นตอนนี้ อุณหภูมิที่เตรียมขึ้นจะได้รับการขึ้นรูปให้มีรูปร่างและขนาดต่างๆ ตามต้องการ อาจมีการเติมสารบางชนิดลงไปเพื่อช่วยให้อนุภาคยึดเกาะกันและช่วยหล่อลื่นในระหว่างการขึ้นรูป สารที่เติมลงไปเหล่านี้จะได้รับการกำจัดออกในขั้นตอนการเผาให้เป็นเถ้า (calcination) รูปแบบของตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะขึ้นรูปนั้นขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยา, ความยากง่ายในการแพร่ของสารตั้งต้นเข้าไปในตัวเร่งปฏิกิริยา, ความดันลดภายในเบด, การนำความร้อนภายในเบด, การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเครื่องปฏิกรณ์ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อาจประสบกับปัญหาการแพร่ของสารตั้งต้นเข้าไปในบริเวณตอนกลาง ก็อาจขึ้นรูปให้มีลักษณะเป็นวงแหวน, เป็นล้อย่อย หรือเป็นกลีบ

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (fixed-bed reactor) มักจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 1.5-10 มิลลิเมตร โดยมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างประมาณ 1-4 ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่าง อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะมีความต้านทานการแพร่สูงทำให้อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาในตอนกลางของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาขนาดใหญ่จึงมักทำเป็นวงแหวนหรือมีรูพวงขนาดใหญ่หลายรู หรือทำเป็นรูปร่างคล้ายล้อย่อย

5. การเผาไหม้ให้เป็นเถ้า (Calcination)

การเผาไหม้ให้เป็นเถ้าเป็นการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของ active phase ให้อยู่ในรูปของออกไซด์ นอกจากนี้ยังอาจเป็นการเผาสารประกอบบางตัวที่ตกค้างอยู่หลังการอบแห้งให้หมดไปด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้งานในรูปแบบของโลหะมักจะเตรียมขึ้นให้อยู่ในรูปของออกไซด์นี้ก่อน เพราะสภาพออกไซด์มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาต่ำ ในขณะที่สภาพที่เป็นโลหะจะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศสูง ดังนั้นการเผาไหม้ให้เป็นเถ้าจึงทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยา มีความปลอดภัยในการขนย้ายและบรรจุ

ในระหว่างการเผาไหม้จะมีแก๊สหลายชนิดเกิดขึ้นจากการละลายตัวของตัวทำละลายที่ใช้เตรียม เช่น อาจเกิดกรดไฮโดรคลอริก (HCl) จากเกลือที่มีคลอไรด์ หรือ NO_x จากเกลือไนเตรท ซึ่งแก๊สเหล่านี้มีฤทธิ์กัดกร่อน การระบายอากาศและออกแบบระบบปล่อยแก๊สจึงจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้

สิ่งที่ต้องระวังในการละลายตัวของตัวทำละลายกลายเป็นออกไซด์คือ การสลายตัวของอากาศ ความร้อนสูง เช่น ในกรณีของการสลายตัวของเกลือของสารอินทรีย์ ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาต้องประสบกับอุณหภูมิที่สูงเกินไป ในขณะที่เตรียมการเผาไหม้ให้เป็นเถ้ามักทำในช่วงอุณหภูมิ 500-600 องศาเซลเซียส

6. การรีดิวซ์ (Reduction)

การรีดิวซ์เป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ active phase จากออกไซด์ให้เป็นโลหะซึ่งขั้นตอนนี้จะทำเฉพาะตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะเท่านั้น การรีดิวซ์มักจะทำกันในสถานที่ใช้งาน แก๊สที่นิยมใช้รีดิวซ์คือแก๊สไฮโดรเจน อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการรีดิวซ์จะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปกติแล้วเราต้องการให้อุณหภูมิการรีดิวซ์ต่ำสุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อลดการเกิดการหลอมตัว (sintering) และทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้มีพื้นที่ผิวของโลหะมากที่สุด

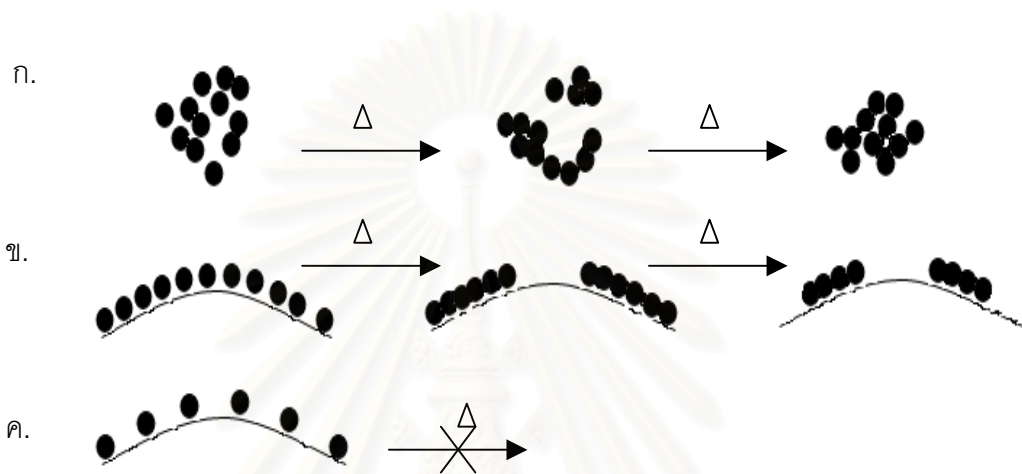
ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะนั้นจะทำขึ้นรูปของออกไซด์ก่อน เมื่อนำไปบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงค่อยทำการรีดิวซ์ให้กลายเป็นโลหะก่อนใช้งาน เหตุผลที่ต้องทำเช่นนี้ก็เพราะความปลอดภัยและการขนส่งและการจัดเก็บ ทั้งนี้เพราะโลหะเกือบทุกชนิดสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศได้ โลหะที่อยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะมีอัตราส่วนที่บริเวณผิวต่อหน่วยน้ำหนัก (หรือหน่วยปริมาตร) ที่สูงมาก เมื่อเทียบกับโลหะที่อยู่ในรูปเป็นแผ่นหรือเป็นเส้นลวด เป็นต้น ดังนั้นถ้าหากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการรีดิวซ์แล้วสัมผัสกับอากาศ โลหะที่อยู่บนตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศและคายความร้อนออกมาสูงมาก ซึ่งเป็นอันตรายต่อการเกิดเพลิงไหม้ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการใช้งานแล้วอาจมีสารอินทรีย์บางชนิดถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิว ซึ่งถ้านำเอาตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากเครื่องปฏิกรณ์โดยไม่เปลี่ยนรูปให้เป็นออกไซด์หรือกำจัดสารอินทรีย์เหล่านั้นก่อน ความร้อนที่เกิดขึ้นอาจทำให้สารอินทรีย์ที่ตกค้างอยู่ถูกติดไฟได้ ในบางกรณีเพื่อเป็นการลดเวลาที่ต้องใช้ในการรีดิวซ์ตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ ตัวเร่งปฏิกิริยาอาจถูกรีดิวซ์มาจากผู้ผลิต และทำการออกซิไดซ์พื้นผิวเอาไว้บางส่วน ทั้งนี้เพื่อลดความว่องไวของพื้นผิวลง

2.4 ตัวรองรับ [7,8]

ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะไม่เพียงแต่จะต้องมี active species เท่านั้น ส่วนมากแล้วเพื่อที่จะทำให้สามารถใช้ประโยชน์จาก active species ให้มากที่สุด จะต้องมีการนำเอา active species ไปเคลือบลงบนวัสดุอื่นที่มีพื้นที่ผิวสูงซึ่งวัสดุเหล่านี้เรียกกันว่าตัวรองรับ (carrier หรือ support) นอกจากนี้เพื่อทำให้ active species ทำงานได้ดีขึ้น อาจต้องมีการเติมสารบางอย่างเข้าไป ซึ่งสารนี้โดยตัวมันเองไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาที่เราต้องการได้ แต่การที่เติมลงไปจะทำให้ active species ทำงานได้ดีขึ้น สารที่เติมลงไปนี้เรียกว่า promoter

เนื่องจากปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีวิวัฒนาการ จะเกิดขึ้นกับอะตอมหรือไอออนที่อยู่บนพื้นผิวของ active species เท่านั้น อะตอมหรือไอออนที่อยู่ลึกลงไปจะไม่มีโอกาสเข้าร่วมทำปฏิกิริยาด้วย ในกรณี active species เป็นสารที่มีราคาแพงเราจึงต้องพยายามเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี

สารเหล่านี้ปรากฏบนพื้นผิวให้มากที่สุด วิธีหนึ่งที่จะช่วยได้คือการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีขนาดเล็กมากๆ แต่วิธีการนี้ก็ไม่สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวได้มากนัก นอกจากนี้เมื่อนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงอนุภาคเล็กๆเหล่านี้ก็มีแนวโน้มที่จะหลอมรวมกัน อีกทางเลือกหนึ่งที่ยินยอมทำกันคือนำเอา active species ไปเคลือบลงบนผิววัสดุอื่นที่มีพื้นที่ผิวสูง (ซึ่งเรียกกันว่าตัวรองรับ support) ซึ่งนอกจากจะทำให้สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวของ active species แล้ว ในบางครั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ active species ด้วย และลดการเกิดการหลอมรวมตัวกันของ active species ด้วย ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 บทบาทของตัวรองรับที่มีต่อการกระจายตัวของ active species [8]

รูป ก. ไม่มีตัวรองรับ active species หลอมรวมตัวกันได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน

รูป ข. active species ความเข้มข้นสูงบนพื้นผิวของตัวรองรับ ยังมีโอกาสที่จะหลอมรวมตัวกันที่อุณหภูมิสูง

รูป ค. active species ความเข้มข้นต่ำบนพื้นผิวของตัวรองรับ โอกาสที่จะหลอมรวมตัวกันมีน้อย

2.4.1 การเลือกใช้ตัวรองรับ ชนิดใดนั้น จะขึ้นอยู่กับเกณฑ์หลายข้อ เช่น

1. เชื่อยต่อปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการ
2. คุณสมบัติทางกลและทางกายภาพตามความต้องการ เช่น ความทนทานต่อการกระแทก, ความทนต่อแรงกดอัด ตัวอย่างเช่น ถ้านำตัวเร่งปฏิกิริยาไปใช้ในฟลูอิดไคซ์เบด ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะต้องทนต่อสภาวะการกระแทกการเสียดสีที่เกิดขึ้นในเบดได้ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่บรรจุในเบดหนึ่งที่อยู่ทางตอนล่างของเบดจะต้องสามารถรับน้ำหนักของเบดและความกดดันที่เกิดขึ้นได้
3. เสถียรภาพภายใต้สภาวะการทำงานและสภาวะการ regenerate ซึ่งอาจเป็นช่วงที่ต้องเผชิญกับอุณหภูมิที่สูงซึ่งตัวรองรับนั้นควรจะต่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง
4. พื้นที่ผิว ซึ่งโดยทั่วไปมักต้องมีพื้นที่ผิวสูง แต่ก็ไม่จำเป็นต้องเป็นเสมอไป

5. ความเป็นรูปพรุน ขนาดของรูปพรุน และการแจกแจงขนาดของรูปพรุน ซึ่งข้อนี้จะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการแพร่ของสารตั้งต้นเข้าไปในตัวเร่งปฏิกิริยา

6. ราคาถูก

ตัวรองรับที่ใช้กันในงานอุตสาหกรรมนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ที่ใช้กันมากมีอยู่ไม่เพียงไม่กี่ชนิดด้วยกันคือ อะลูมินา ซิลิกา ถ่านกัมมันต์ และไททาเนียม

1.4.2 ตัวรองรับถ่านกัมมันต์ [7]

ถ่านกัมมันต์เตรียมขึ้นได้จากการเผาสารประกอบคาร์บอนต่างๆ เช่นถ่านหิน, ไม้ และ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เป็นต้น ในที่ที่ไม่มีอากาศ ในขณะที่เผาสารต่างๆ จะระเหยออกไปเหลือไว้แต่โครงสร้างของคาร์บอนที่เต็มไปด้วยรูปพรุน ซึ่งอาจมีไฮโดรเจนปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อย โครงสร้างคาร์บอนที่ได้นี้จะต้องผ่านการกระตุ้น (activate) โดยการควบคุมการออกซิเดชันด้วยไอน้ำหรือคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อให้รูปพรุนต่างๆ เปิดออกและเพิ่มพื้นที่ผิว วัสดุที่มีโครงสร้างส่วนที่เป็น ลิกนินสูง (เช่นกะลามะพร้าว) เมื่อนำมาเผาจะได้ถ่านกัมมันต์สูงกว่าวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นเซลลูโลส ถ่านกัมมันต์อาจมีออกซิเจนรวมอยู่ถึงร้อยละ 10 ชนิดและปริมาณของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้และกรรมวิธีการกระตุ้น พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์อาจสูงกว่า 1000 ตารางเมตรต่อกรัม แต่ส่วนที่เป็นรูปพรุนจะถูกอุดตันได้ง่าย ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบพื้นที่ผิวของถ่านคาร์บอนแบบต่าง ๆ

ตารางที่ 1 พื้นที่ผิวของคาร์บอนบางชนิดที่นำมาทำเป็นตัวรองรับ [8]

ชนิดของคาร์บอน	พื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)
กราไฟต์ ตามธรรมชาติ	0.1 – 2.0
กราไฟต์ที่ได้จากการสังเคราะห์	0.3 – 25
กราไฟต์ (carbon blacks)	20 – 100
Carbon blacks	70 - 250
ชนิดของถ่านกัมมันต์	
ถ่านไม้	300 – 900
ถ่านหิน (peat)	350 – 1000
ถ่านหิน (coal)	300 – 1000
ถ่านจากกะลามะพร้าว	700 – 1500

ถ่านกัมมันต์สามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในสภาวะที่ตัวรองรับเองไม่ถูกทำลาย (เช่น ในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน) ถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับทำเป็นตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาควรที่จะปราศจากเกลือของโลหะต่างๆ และมีพื้นที่ผิวสูง ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากถ่านหิน หรือ ลิกไนต์ นั้นอาจอ่อนเกินไปและมีสิ่งเจือปนอยู่สูง ส่วนถ่านกัมมันต์ที่ได้มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมจะมีความแข็งแรงกว่า แต่อาจมีกำมะถันเจือปนซึ่งทำให้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นตัวรองรับ ถ่านกัมมันต์ที่มีความบริสุทธิ์สูงสำหรับทำเป็นตัวรองรับ (พื้นที่ผิวประมาณ 500 ตารางเมตรต่อกรัม) สามารถเตรียมได้จาก carbon black

2.5 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) [9]

หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอาวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างเป็นรูพรุนและพื้นที่ผิวสูง มีคุณสมบัติดูดซับสูง

2.5.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ [10]

วัสดุที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ ควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- เป็นของเหลือทิ้ง หรือมีราคาถูก
- มีปริมาณคาร์บอนสูง
- มีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ
- มีความสะดวกในการนำมาใช้งาน เช่น ไม่สลายตัวเมื่อเก็บ
- สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพสูงได้

2.5.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์ สามารถแบ่งออกได้โดยใช้หลักต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้ใช้ ตัวอย่างการแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์ [11] ได้แก่

1. แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น

ก. กระตุ้นทางเคมี (chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน มักเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ตัวกระตุ้นที่ใช้ได้แก่ สารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$)

ข. กระตุ้นทางกายภาพ (Physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการออกซิไดซ์ เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็ก นิยมใช้ในการดูดก๊าซ และ ไอระเหย

2. แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

ก. ขนาดเล็ก (Micropore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 1.5 นาโนเมตร มักใช้ในการดูดซับก๊าซ หรือ ไอระเหย

ข. ขนาดกลาง (Transitional pore หรือ Mesopore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 1.5 ถึง 100 นาโนเมตร มักนำไปใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic reaction) ดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่นการ ฟอกสี

ค. ขนาดใหญ่ (Macropore) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 100 นาโนเมตร โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ แต่ช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูพรุนเล็กได้ง่ายขึ้น มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสี

3. แบ่งตามลักษณะของรูปร่าง

ก. ประเภทเป็นผง (Powder) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีลักษณะผง ใช้สำหรับฟอกสีในของเหลว ดูดกลิ่นสารละลายได้หลายชนิด

ข. ประเภทเป็นเม็ด (Pellet) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัด หรืออาจทำเป็นเกล็ด ใช้สำหรับทำก๊าซบริสุทธิ์ หรือการทำตัวทำละลายที่ใช้แล้วให้มีความบริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในกระบวนการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซ และใช้ทำหน้าที่ปกป้องกันก๊าซและไอพิษต่างๆ

4. แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

ก. ความหนาแน่นต่ำ มักใช้ประโยชน์ในสถานะที่เป็นสารละลาย เช่น ฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือทำน้ำให้บริสุทธิ์

ข. ความหนาแน่นสูง ใช้ในการดูดซับก๊าซ หรือ ไอระเหย

5. แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

ก. Gas adsorbents หมายถึง ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับก๊าซพิษ กลิ่น และ ไอของสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านประเภท Hard artificial ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้ และถ่านไม้ที่เผาที่ความดันสูง

ข. Colour adsorbents หมายถึง ถ่านกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวฟอกสี ส่วนมากเป็นการเผาถ่านประเภท Soft artificial char ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากถ่านไม้ ถ่านชานอ้อย ถ่านจากแกลบ ถ่านจากหินน้ำมัน และถ่านจากกากน้ำตาล

ค. Metal adsorbents หมายถึง ถ่านกัมมันต์ที่เป็นตัวแยกพวกโลหะต่างๆ เช่น ถ่านที่ใช้ในการแยกทอง, เงิน หรือแพลตินัมจากแร่

นอกจากนี้ ยังแบ่งได้ตามสภาวะที่ใช้ เช่น Liquid - Phase Carbon ; Gas - Phase Carbon

2.5.3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ [12]

กรรมวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์มีมากมายหลายวิธี ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ และคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปประกอบด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอนดังนี้ คือ การเตรียมวัตถุดิบ การคาร์บอนไนซ์ และการกระตุ้น

1. การเตรียมวัตถุดิบ ถ่านกัมมันต์ผลิตได้จากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ชี้อ่อน กะลามะพร้าว แกลบ เปลือกถั่ว ยางรถยนต์เก่า ถ่านหิน พีท เป็นต้น ซึ่งการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถเริ่มจากวัตถุดิบโดยตรง หรือเริ่มจากวัตถุดิบที่เป็นถ่านแล้วก็ได้ ขึ้นอยู่กับการผลิต แต่โดยทั่วไปมักนำวัตถุดิบมาบดและคัดขนาดก่อนที่จะนำมาคาร์บอนไนซ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคาร์บอนไนซ์ แล้วจึงนำมาบดและคัดขนาดก็ได้

2. การคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization)

การคาร์บอนไนเซชันเป็นกระบวนการไพโรไลซิสรูปแบบหนึ่งที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของชาร์ (Char) ที่เป็นของแข็งมากกว่าน้ำมันทาร์ (Tar) และก๊าซ หรืออาจกล่าวได้ว่าการคาร์บอนไนซ์เป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนให้สูงขึ้น โดยการเผาในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 200 – 500 องศาเซลเซียส

ปฏิกิริยาไพโรไลซิสต้องการความร้อนทั้งทางตรง และทางอ้อมที่ได้จากการออกซิเดชันเพียงบางส่วน หรือจากปฏิกิริยาอื่นๆ ที่เกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการสลายตัวทางความร้อนในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อย หรือที่มีการถ่ายเทความร้อนให้เกิดไพโรไลซิสโดยตรงจากการเผาไหม้บางส่วนของชาร์และก๊าซ เรียกว่าเป็น “กระบวนการไพโรไลซิส” การคาร์บอนไนซ์ เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ เพราะเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของโครงสร้างที่เป็นรูพรุน โดยการทำให้เกิดทำให้เกิดการแตกตัวทางเคมีที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน และไฮโดรเจน ออกมาในรูปของก๊าซ คาร์บอนอิสระที่มีอยู่จะรวมตัวกันในรูปของชาร์ ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ควรมีลักษณะดังนี้ [13]

- มีสีดำตลอด (Uniformly black)
- เมื่อหักดู ส่วนที่หักจะมีผิวมันเงา
- ปลายที่หักจะแหลมคม (Sharp)
- ปราศจากผงฝุ่นและซี้ไถ้

ถ่านชาร์ที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ มีความสามารถในการดูดซับต่ำทั้งนี้เพราะว่าการทำถ่านชาร์ใช้อุณหภูมิประมาณ 400 – 500 องศาเซลเซียส ยังคงมีน้ำมันทาร์ตกค้างอยู่ภายในช่องว่าง (Pore) หรือเกาะอยู่ตามผิวจึงจำเป็นต้องนำถ่านนี้ไปผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ ดังนั้นการกระตุ้นเป็นเพียงการพัฒนาโครงสร้างให้เป็นไปทางเดียวกับคาร์บอนไนซ์เท่านั้น โดยทั่วไปวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยการกระตุ้นด้วยไอน้ำควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- สารระเหยต่ำ
- ปริมาณคาร์บอนสูง
- มีความพรุนสูง
- มีความแข็งแรงเพียงพอต่อการขัดสี

3. การกระตุ้น (Activation)

การกระตุ้น หมายถึงการทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิว และการทำให้ผิวถ่านมีความว่องไวมากขึ้น โดยได้พิจารณาความหมายของการกระตุ้นไว้ 3 ลักษณะ [13]

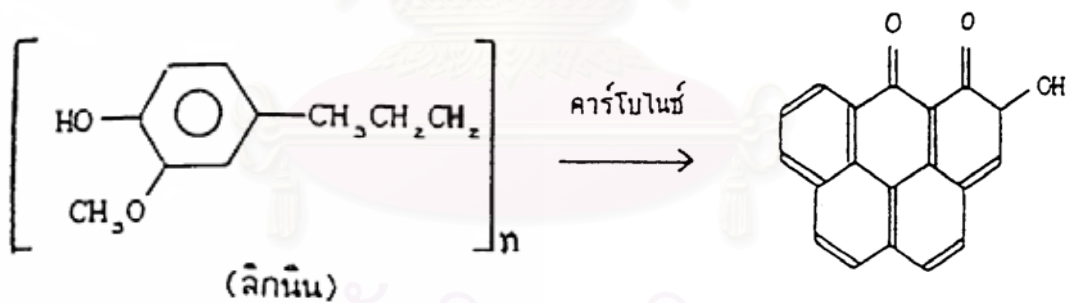
- เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวว่องไว (Active surface area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน
- เป็นการเพิ่มความว่องไวการดูดซับให้กับผิวที่มีอยู่แล้วซึ่งหมายถึง การทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้น โดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่เพื่อให้ความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น
- เป็นการกำจัดสารอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุต่างๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (Active center)

วัสดุที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่เป็นวัสดุทางการเกษตรคือเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทั้งที่เป็นโซ่ยาวและเป็นวง เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นต้น เมื่อนำมาคาร์บอนไนซ์จะเกิดการสร้างวงแหวนโรมาติกโดยอะตอมคาร์บอนซึ่งเดิมสร้างพันธะโดยใช้อิเล็กตรอนจากชั้น 2s จำนวน 1 ตัว และชั้น 2p จำนวน 3 ตัว จะเปลี่ยนมาใช้อิเล็กตรอนจากชั้น 2s จำนวน 1 ตัว และชั้น 2p จำนวน 2 ตัว และมีอิเล็กตรอนอิสระจากชั้น 2p อีก 1 ตัว (sp^2 Hybridization) จึงเกิดพันธะแบบซิกมา (Sigma bond) กับคาร์บอนอะตอมที่อยู่ข้างเคียง 3 ตัวเรียงกันเป็นรูปสามเหลี่ยมในระนาบ

เดียวกัน และอิเล็กตรอนอิสระที่เหลือจะโคจรอยู่บนและล่างระนาบ พร้อมทั้งเกิดพันธะแบบไพ (Pi bond) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ในที่สุดจะเกิดเป็นวงแหวนเหลี่ยมที่มีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ (Resonance) ได้ทั่วโครงสร้างซึ่งเรียกว่าวงเบนซิน หรือวงแอมโรมาติก วงเบนซินแต่ละวงจะเชื่อมติดกันจนมีลักษณะเป็นแผ่น สำหรับโครงสร้างถ่านจะมีแผ่นของวงเบนซินนี้อยู่หลายแผ่นเรียงตัวกันเป็นชั้น ๆ อย่างไม่มีระเบียบ ซึ่งการเรียงตัวในลักษณะนี้จะเกิดแรงผลักระหว่างชั้น จากไพอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ที่อยู่บนและล่างของแต่ละชั้น ถ่านจะสร้างเสถียรภาพด้วยการใช้ไพอิเล็กตรอนสร้างพันธะโดยการดึงอะตอมแปลกปลอมอื่นเข้าสู่โครงสร้าง เช่น ไนโตรเจนและออกซิเจน หรือ ฟอสฟอรัส เป็นต้น แต่การดึงอะตอมออกซิเจนจากบรรยากาศจะง่ายที่สุด ดังนั้นจึงมักพบออกซิเจนในโครงสร้างถ่านเสมอ ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 แสดงตำแหน่งของอิเล็กตรอนของคาร์บอนที่เกิดจาก sp^2 Hybridization [13]



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี โดยการเตรียมถ่านจากวัสดุทางการเกษตร [13]

จากรูป 2.8 เป็นการเกิดวงเบนซินจากลิกนิน ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีโซ่ยาวมาก และมักพบในวัสดุทางการเกษตรที่มีความแข็งและเหนียว การผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยซิงค์คลอไรด์ จะป้องกันไม่ให้อาณัติที่เพิ่งเตรียมได้เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน โดยการห่อหุ้มโครงสร้างของวัสดุด้วยซิงค์คลอไรด์ตั้งแต่ก่อนที่จะนำไปคาร์โบไนซ์ ซึ่งจะไม่เกิดน้ำมันหรือสารจากปฏิกิริยาคาร์โบไนซ์ขึ้น แต่จะเกิดหมู่ฟังก์ชันนัลที่เป็นกรด จึงทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถดูดซับสูง อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่ทราบกลไกที่แน่นอนของการเกิดปฏิกิริยา

วิธีการกระตุ้นเพื่อผลิตถ่านกัมมันต์ ในปี ค.ศ. 1983 Berl ได้แบ่งวิธีการกระตุ้นในการผลิตถ่านกัมมันต์ ได้ดังนี้

i. วิธีการกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation)

เป็นวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์โดย ให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารเคมีที่นิยมใช้ ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) นอกจากนี้ยังมีสารเคมีตัวอื่นๆ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$), กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ข้อดีของการกระตุ้นด้วยวิธีนี้คือ ใช้อุณหภูมิสูงมาก (400 – 600 องศาเซลเซียส) แต่มีข้อเสียคือมีสารตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมีออก อีกทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ก็ต้องเป็นชนิดพิเศษที่สามารถทนทานต่อการกัดกร่อนได้

ii. วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation)

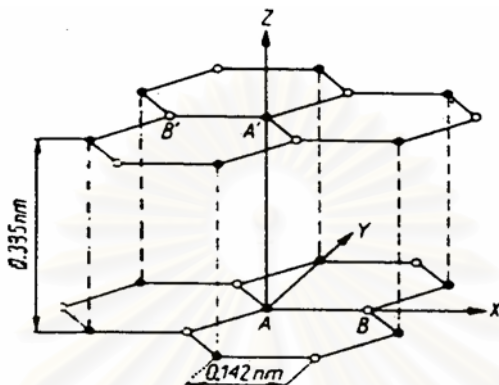
เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยที่ผิวของคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การจัดเรียงตัวใหม่ซึ่งทำให้ถ่านเพิ่มความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น ก๊าซที่นิยมใช้ในการออกซิไดซ์ ได้แก่ ไอน้ำ อิมิตัวยั้งยวด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน โดยใช้ร่วมกับความร้อน ปฏิกิริยาการกระตุ้นเกิดจากการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงมากถึง 1,200 องศาเซลเซียส แต่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดซ์ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดซ์ คือ

- คุณสมบัติทางเคมีและความเข้มข้นของก๊าซออกซิไดซ์ที่ใช้
- อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา
- ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา
- ชนิดและปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้

การกระตุ้น คาร์บอนจะทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ แพร่ออกจากผิวของคาร์บอน เกิดแก๊สฟิเคชั่นบางส่วนของเม็ดถ่านเป็นรูพรุนในโครงสร้างของถ่าน ถ่านจากการคาร์บอนไนซ์จะประกอบด้วยรูพรุนเล็กๆ จำนวนมาก ซึ่งเกิดจากช่องว่างระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอม รูพรุนนี้จะถูกอุดตันไว้ด้วยทาร์ที่เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อน และถูกขัดขวางด้วยคาร์บอนอสัณฐาน ดังนั้นการกระตุ้นจึงเป็นการเปิดรูพรุนที่ถูกปิด และสร้างรูพรุนขึ้นมาใหม่ด้วย

2.5.4 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ (Structure of active carbon) [12]

ในการกระตุ้นจะทำให้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์มีความพรุนมากขึ้นเนื่องจากการสูญเสียสารประกอบคาร์บอนระหว่างช่องว่างผลึกคาร์บอนรูพรุน ทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ การกระตุ้นที่เหมาะสมคือ การทำให้มีความพรุนไม่ใช้การกระตุ้นให้ขนาดของรูใหญ่ จะทำให้โครงสร้างแข็งแรงยิ่งขึ้นแสดงดังรูป 2.9



รูปที่ 2.9 การจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมในผลึกของแกรไฟต์ [12]

โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับสภาพการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อน นอกจากนี้ยังขึ้นกับชนิดและความบริสุทธิ์ของวัตถุดิบที่ใช้ ผลึกของแกรไฟต์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 – 10 นาโนเมตร โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,000 ตารางเมตรต่อกรัม และบางครั้งมีมากถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างของรูปร่าง และขนาดของรูพรุน จึงทำให้มีผลต่อกลไกการดูดซับ ดังนั้นจึงได้จำแนกชนิดของรูพรุนตามขนาดรัศมีรูพรุนออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

- แมคโครพอร์ (Macropores) มีรัศมีมากกว่าหรือเท่ากับ 500 อังสตรอม มีปริมาตรของแมคโครพอร์ อยู่ระหว่าง 0.2-0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีพื้นที่ผิวจำเพาะไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับรูพรุนประเภทอื่นแล้วแมคโครพอร์จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยมาก ดังนั้นรูพรุนประเภทนี้จึงไม่มีความสำคัญต่อการดูดซับ เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูที่เล็กกว่า

- มีโซพอร์ (Mesopores) หรือที่เรียกกันว่า Transitional pores มีรัศมีรูพรุนอยู่ในช่วงระหว่าง 20 ถึง 500 อังสตรอม โดยเฉลี่ยถ่านกัมมันต์มีปริมาตรของมีโซพอร์ประมาณ 0.1-0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีพื้นที่ผิวจำเพาะระหว่าง 20-100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ตัวอย่างสารดูดซับที่มีรูพรุนเป็นมีโซพอร์ ได้แก่ ซิลิกาเจล (Silica gel) อะลูมินาเจล (Alumina gel) และตัวเร่งปฏิกิริยาอะมิโนซิลิเกต (Aminosilicate catalyst)

- ไมโครพอร์ (Micropores) ปกติมีขนาดรัศมีรูพรุนน้อยกว่า 20 อังตรอมโดยเฉลี่ยถ่านกัมมันต์มีปริมาตรของไมโครพอร์อยู่ระหว่าง 0.2-0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พลังงานในการดูดซับในไมโครพอร์มีมากกว่าในเมโซพอร์หรือพื้นผิวอื่นๆ ที่ไม่มีรูพรุน ดังนั้นไมโครพอร์จึงมีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ เนื่องจากมีพื้นที่การดูดซับ และพลังงานดูดซับ (Absorption energy) มากที่สุด ทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้นมากที่ความดันต่ำๆ รูพรุนขนาดเล็กจึงมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ เชื่อกันว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาดหรือที่เรียกกันว่าการกระจายขนาดของรูพรุน (Pore size distribution) จะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ และวิธีการกระตุ้น

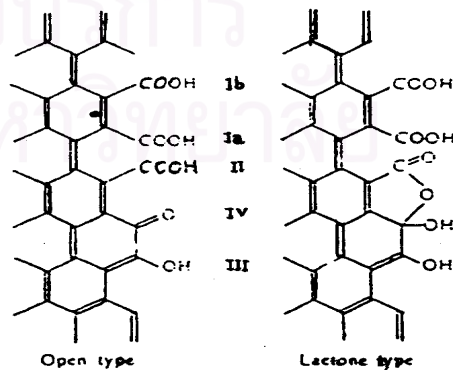
2.5.5 โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์ [14]

โดยทั่วไปผิวของถ่านกัมมันต์เกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆ ซึ่งเกิดจากอะตอมของคาร์บอนและออกซิเจน ที่เรียกกันว่า ผิวออกไซด์ มีอยู่ 2 ชนิด คือ

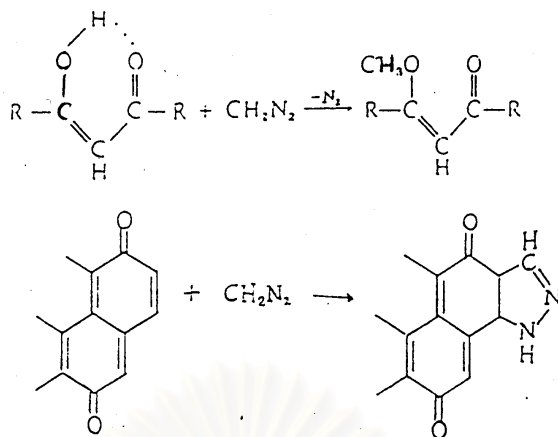
1. ชนิดที่เป็นกรด มักเกิดในถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก คือ ประมาณ 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส หมู่ฟังก์ชันที่เกาะอยู่บนผิวถ่านกัมมันต์จะมีคุณสมบัติคล้ายกรด ได้แก่ คาร์บอนิล (Carbonyls), ฟีนอล (Phenols), แลคโตน (Lactons), แอลดีไฮด์ (Aldehyde), คีโตน (Ketones), ควิโนน (Quinones), ไฮโดรควิโนน (Hydroquinone), แอนไฮไดรด์ (Anhydride) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์แบบนี้ค่อนข้างเสถียร แม้จะอยู่ในสภาวะอากาศ โดยทั่วไปจะเสถียรที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้เล็กน้อย จะสลายตัวเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ และถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้มากๆ จะเกิดการสลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน

2. ชนิดที่เป็นด่าง เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 ถึง 900 องศาเซลเซียส หมู่ฟังก์ชันที่เกาะอยู่บนผิวของถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับโมเลกุลของกรดได้ดี ได้แก่ ไฮดรอกไซด์ (Hydroxide), คาร์บอเนต (Carbonate) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.12

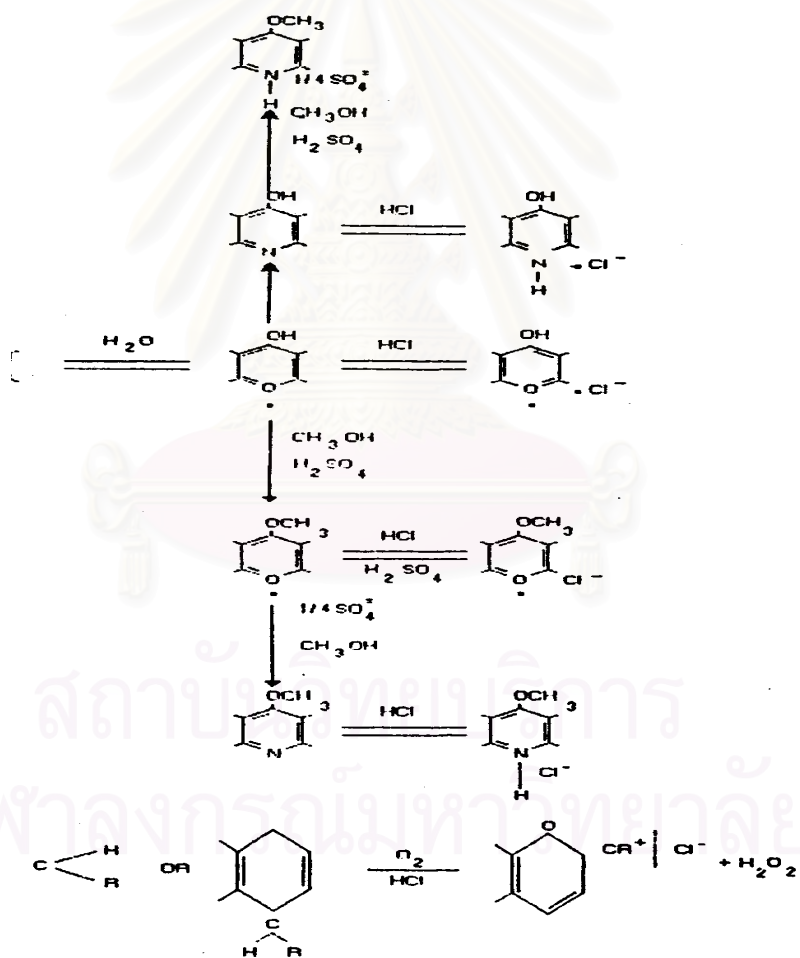
- I: Carboxyl group,
 - a: Removed by 200°C
 - b: Removed above 325°C
- II: Carboxyl group which Exists as lactol group
- III: Phenolic hydroxyl group
- IV: Carboxyl group



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดบนผิวถ่านกัมมันต์ [15]
(Surface oxides on carbon surface)



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างปฏิกิริยาของถ่านกัมมันต์ที่มีผิวเป็นกรด [15]



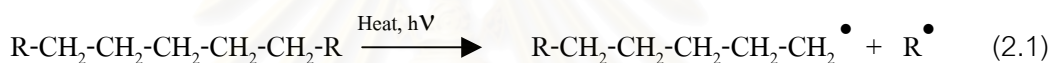
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างปฏิกิริยาการดูดซับโมเลกุลกรด ด้วยถ่านกัมมันต์ที่มีผิวเป็นด่าง [15]

2.6 การแตกโมเลกุลด้วยความร้อน (Thermal cracking) [7,16,17,18]

เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลงโดยใช้อุณหภูมิสูง หากควบคุมให้การแตกตัวเป็นไปได้อย่างพอดีจะมีการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมและได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ เนื่องจากการให้ความร้อนจนเกินพอดีจะทำให้การแตกตัวโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนมีขนาดเล็กเกินไปจนอยู่ในรูปแก๊ส $C_1 - C_4$ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการและไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนจะมีความว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยเฉพาะส่วนที่มีแขนโอเลฟินและไดโอเลฟิน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากันเองต่อไป

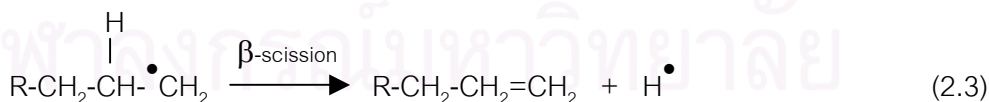
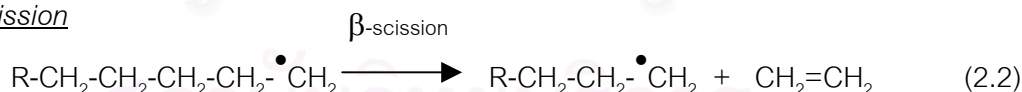
กระบวนการแตกตัวโมเลกุลด้วยความร้อนเป็นปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free Radical) แบบห่วงโซ่ ประกอบด้วยปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นเริ่มต้น (Initiation) คือ เป็นการเกิดอนุมูลอิสระ เกิดจากพันธะคาร์บอนแตกออกจากกัน เกิดเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยาในขั้นต่อไปดังสมการที่ 2.1

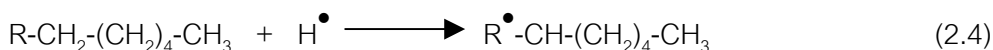


2. ขั้นการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องแบบลูกโซ่ (Propagation step) เกิดจากอนุมูลอิสระในขั้นเริ่มต้นทำปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง การแตกตัวจะเริ่มจากอนุมูลอิสระเข้าไปยังพันธะคาร์บอนที่ตำแหน่งบีต้า (β) เกิดอนุมูลอิสระใหม่ขึ้น (β -scission) ดังสมการที่ 2.2 และ 2.3 ซึ่งทำให้ภายในสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนเกิดความไม่เสถียร ส่งผลให้เกิดขั้นตอนการถ่ายทอดไฮโดรเจน (chain transfer) เพื่อทำให้โมเลกุลเกิดความเสถียร จึงเกิดเป็นสารต่างๆ ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงจากพอลิเมอร์เดิม พร้อมกับเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้นต่อ เพื่อเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ดังสมการ 2.4

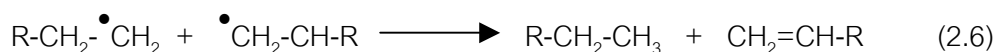
β -scission



Chain transfer



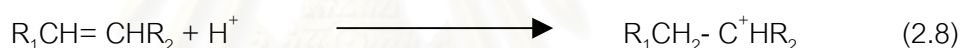
3. ขั้นหยุดปฏิกิริยา (Termination) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะหยุดปฏิกิริยาต่อเนื่อง โดยจะทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ใหญ่ขึ้น โดยอาจเกิดเป็นโมเลกุลใหม่โมเลกุลเดี่ยว หรือ เกิดเป็น 2 โมเลกุล ดังสมการที่ 2.5 และ 2.6



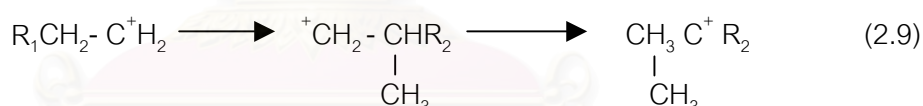
2.7 การแตกตัวโดยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking) [8,17,18]

เป็นกระบวนการที่ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามามีบทบาทในการช่วยแตกย่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ได้โครงสร้างที่เหมาะสม มีคุณภาพพอเหมาะที่จะนำไปใช้ประโยชน์ตามความต้องการได้ กลไกของการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย

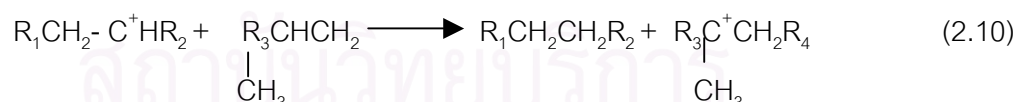
1. การเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชั่น และปฏิกิริยาการเกิดคาร์โบเนียมไอออน ซึ่งเกิดจากการที่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสูญเสียไฮโดรตไอออนที่มีประจุไฟฟ้าลบให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรด ทำให้คาร์โบเนียมไอออนมีสภาพเป็นบวกทางไฟฟ้า ดังสมการที่ 2.7 และ 2.8 โดยคาร์โบเนียมไอออนที่เกิดขึ้นมีเสถียรภาพแตกต่างกันตามโครงสร้างของไอออน โดย tertiary ion จะมีเสถียรภาพมากกว่า secondary ion และ primary ion



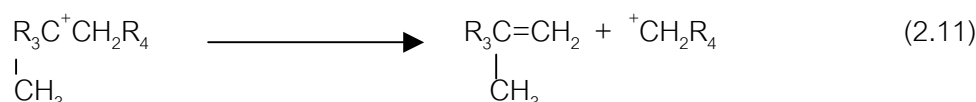
2. การเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่เมทิลของคาร์โบเนียมไอออนซึ่งเกิดจากการที่โครงสร้างของคาร์โบเนียมไอออนมีเสถียรภาพแตกต่างกัน ดังสมการที่ 2.9



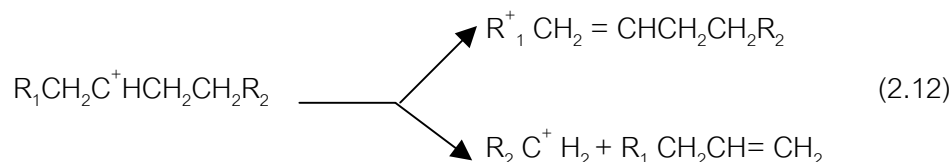
และเกิดการเคลื่อนย้ายไฮไดรด์ (hydride transfer) โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์โบเนียมไอออนกับโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ดังสมการที่ 2.10



สำหรับคาร์โบเนียมไอออนที่มีขนาดใหญ่สามารถเกิดปฏิกิริยา β -scission หรือการแตกตัวที่ตำแหน่งบีต้า (β) ที่นำจากจุดที่มีประจุบวก ซึ่งจะให้สารประกอบโอเลฟินและคาร์โบเนียมไอออนที่มีขนาดเล็กลง โดยมักจะเป็น Primary carbonium ion ดังสมการ 2.11



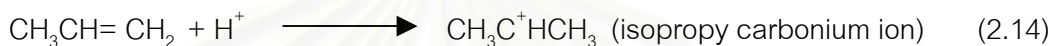
ในบางกรณีคาร์โบเนียมไอออนสามารถเกิดการแตกตัวได้มากกว่า 1 รูปแบบ เช่น ในตัวอย่างของ Secondary carbonium ion ดังสมการที่ 2.12



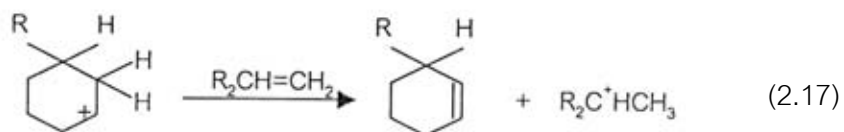
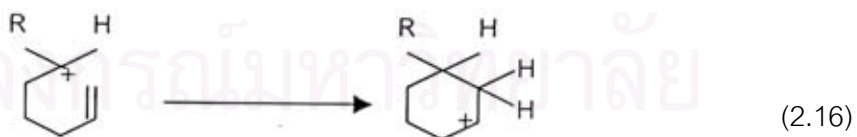
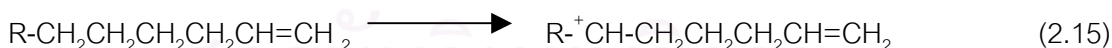
ถ้า $R_1=H$ การเกิด β -scission จะสามารถเกิดผลิตภัณฑ์ได้เพียงตัวเดียว ดังสมการ 2.13

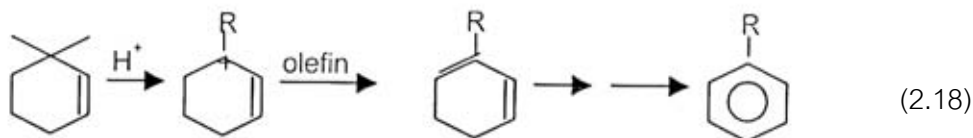


โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้คือโพรพีนจะเกิดปฏิกิริยาการเติมโปรตอนและอยู่ในรูปคาร์โบเนียมไอออนซึ่งจะไม่สามารถเกิด β -scission ต่อไปได้



Isopropyl carbonium ion จะเกิดปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายไฮโดรด์กับโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรเพน หรืออาจเกิดการสูญเสียโปรตอน ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรพีน ในการเกิดวงแหวนแโรแมติกจากปฏิกิริยา dehydrocyclization โดยโอเลฟินเกิดเป็นคาร์โบเนียมไอออนแล้วเกิดปฏิกิริยา β -scission ได้สารประกอบ olefinic carbonium ion ที่มีลักษณะเป็นวงแหวน จากนั้นเกิดปฏิกิริยากับโอเลฟินและเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนที่ย้ายไฮโดรด์ ไอออนจากบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะได้ allylic carbonium ion ที่มีเสถียรภาพ และเกิดการรับโปรตอนจาก cyclohexadiene ซึ่งในขั้นสุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบแโรแมติก ดังสมการที่ 2.15 - 2.18

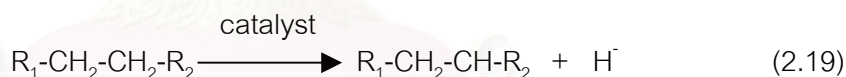




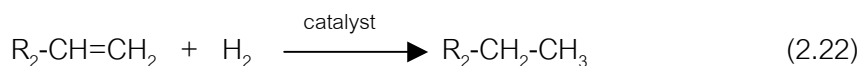
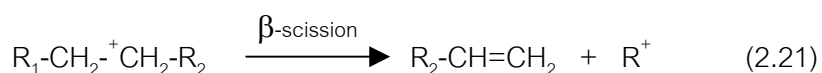
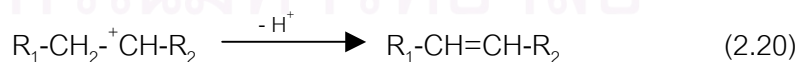
ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะประกอบด้วยแก๊สที่มีโอเลฟินสูง สารที่มีองค์ประกอบของเบนซินที่มีค่าออกเทนสูง เนื่องจากมีสารจำพวกแอมโรแมติก และโอเลฟินมาก องค์ประกอบของน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนต่ำ กากน้ำมันชนิดใส และโค้กที่จะเกาะติดอยู่บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ทำให้ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงจนเกิดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.8 การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking) [16, 18, 19, 20, 21]

เป็นกระบวนการที่รวมระหว่างการแตกโมเลกุลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาและการเติมไฮโดรเจนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีแขนแตกแขนงจำนวนมาก เกิดเป็นพาราฟินและแนฟทีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นประเภทสองหน้า คือ ช่วยในการแตกพันธะคาร์บอน-คาร์บอนของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน และช่วยเติมไฮโดรเจน จึงมักประกอบด้วยสารจำพวกซิลิกา-อะลูมินาที่สามารถช่วยในการแตกพันธะคาร์บอน-คาร์บอนได้พร้อม ๆ กับการเติมไฮโดรเจน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเริ่มต้นจากการเกิดโอเลฟินขึ้นที่บริเวณที่เป็นโลหะของตัวเร่งปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.19



คาร์โบเนียมไอออนอาจมีการจัดเรียงตัวใหม่ โดยการกำจัดโปรตอนออกจากโอเลฟินหรือเกิดการแตกตัวที่ตำแหน่งเบต้า (β -scission) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโอเลฟินและคาร์โบเนียมไอออนตัวใหม่ จากนั้นเกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนและการตั้งไฮโดรเจน โอเลฟินที่ผ่านการเติมไฮโดรเจนจะกลายเป็นสารประกอบประเภทพาราฟิน ดังสมการที่ 2.20 - 2.22



โดยโอเลฟินไปทำให้เกิดคาร์บอนเนียมไฮดรอนตรงบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาจากนั้นจะเกิดการแตกตัว และที่บริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นเองก็จะเกิดปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีตัวในที่สุด นอกจากนี้ก็เกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะช่วยทำความสะอาดให้กับผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาไปพร้อมๆ กันด้วย เนื่องจากการเติมไฮโดรเจนจะช่วยกำจัดโค้กที่เกิดขึ้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาออกไป

กระบวนการแตกโมเลกุลด้วยการใช้ไฮโดรเจนร่วมนี้ เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ทำให้เกิดการเพิ่มของอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นอย่างดี เพราะหากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดโค้ก และทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสูญเสียความร้อนไป หรือทำให้เครื่องปฏิกรณ์ได้รับความเสียหายรวมทั้งไม่ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการด้วย

2.9 การเกิดโค้ก (Coking) [7,18]

โค้ก (coke) เป็นสารประกอบระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน โดยมีอัตราส่วนอะตอมไฮโดรเจนต่ออะตอมคาร์บอนน้อยกว่า 1 โค้กที่เกิดขึ้นในช่วงแรกจะมีปริมาณโครงสร้างสูง แต่เมื่อทำปฏิกิริยายาวนานขึ้นปริมาณของไฮโดรเจนจะลดลง การเกิดโค้กพบได้ในปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับไฮโดรคาร์บอนทุกปฏิกิริยา เช่น dehydrogenation, isomerization, reforming, catalytic cracking หรือแม้ว่าจะเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์เป็นต้น สารประกอบในกลุ่มสารประกอบแอโรแมติกที่มีวงแหวนหลายวง (polynuclear aromatics) โอเลฟิน (olefins) และพอลีโอเลฟิน (polyolefins) จะก่อให้เกิดโค้กมากกว่าสารประกอบในกลุ่มแนฟทีน (naphthenes) และพาราฟิน (parafins) นอกจากนี้เมื่อทำการป้อนสารต่างๆ เหล่านี้ผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาจะพบว่าโครงสร้างสุดท้ายของโค้กที่ได้จะมีลักษณะคล้ายๆ กัน คือจะเหมือนกับแกรไฟต์มากขึ้น อย่างไรก็ตามกลไกการเกิดโค้กไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่เป็นที่ยอมรับกันว่าเริ่มจากการตั้งไฮโดรเจนออกจากสารตั้งต้น (dehydrogenation) กลายเป็นสารไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว ตามด้วยการสร้างสารประกอบโพลีแอโรมาติกขึ้นมาจากการรวมตัวของสารไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวที่เกิดขึ้น เช่นอาจเกิดจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันของโอเลฟินต่างๆ ที่มีอยู่บนพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา

2.10 การวิเคราะห์หาคุณภาพของน้ำมัน Crude oil evaluation [18, 22]

เป็นวิธีการวิเคราะห์หาคุณค่าของน้ำมันดิบอย่างละเอียด เพื่อหาองค์ประกอบและสมบัติของส่วนต่างๆ ในน้ำมันดิบเริ่มต้น เพื่อหาปริมาณและองค์ประกอบของแก๊สที่มีอยู่โดยวิธี Gas chromatography แล้วนำน้ำมันมากลั่นแยกเป็นส่วนตามคาบจุดเดือด (Boiling range) อย่าง

ละเอียด โดยแบ่งเป็นส่วนแคบ ๆ ชนิดคาบจุดเดือดเพียง 5- 10 องศาเซลเซียสแต่มีค่าใช้จ่ายที่แพงมากและใช้เวลานานจึงไม่นิยมทำกัน ปัจจุบันจึงใช้วิธีแยกน้ำมันดิบออกตามคาบจุดเดือดกว้าง ๆ ให้พอดีกับที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำมันสำเร็จรูปกล่าวอย่างหยาบสามารถแบ่งได้เป็น

1. พวกที่มีคาบจุดเดือดตั้งแต่ IBP (Initial boiling point) จนถึง 200 องศาเซลเซียส เรียกว่าส่วนของแนฟทา (Naphtha fraction) มักใช้ในการผลิตน้ำมันเบนซิน
2. พวกที่มีคาบจุดเดือดระหว่าง 200-250 องศาเซลเซียส เรียกว่าส่วนน้ำมันก๊าด (Kerosene fraction) มักใช้ในน้ำมันก๊าดที่ให้แสงสว่าง ถ้าจุดเกิดควันไม่ต่ำจนเกินไปน้ำมันก๊าดที่มีคุณภาพที่ดี และมีจุดเยือกแข็งต่ำจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงอากาศยานไอพ่นได้ซึ่งต้องขึ้นกับสมบัติอื่น ๆ ด้วย
3. พวกที่มีคาบจุดเดือดระหว่าง 250 – 350 องศาเซลเซียส เรียกว่าส่วนของ แก๊ส ออยล์ชนิดเบา (Light gas oil fraction) เหมาะในการนำมาใช้เป็นน้ำมันเครื่องยนต์
4. พวกที่มีคาบจุดเดือดระหว่าง 350 – 370 องศาเซลเซียส เรียกว่าส่วนของแก๊สออยล์หนัก (Heavy gas oil fraction) เหมาะในการนำมาใช้เป็นน้ำมันเครื่องยนต์ดีเซล
5. พวกที่มีคาบจุดเดือดเหนือกว่า 370 องศาเซลเซียส เรียกว่า กากน้ำมัน (Residue) อาจนำไปใช้ได้หลายอย่างแล้วแต่สมบัติของกากน้ำมัน เช่น นำมาใช้เป็นน้ำมันเตา หรือนำไปผลิตเป็นยางมะตอย หรือผลิตเป็นน้ำมันเครื่องหรือ นำมาเป็นสารป้อน (Feed stock)

2.11 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Serrano, D.P. และคณะ [23] ศึกษาทั้งกระบวนการแตกตัวแบบใช้ความร้อน และ ตัวเร่งปฏิกิริยาของส่วนผลระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และน้ำมันหล่อลื่น (lubricating oil base) ในเครื่องปฏิกรณ์ต่อเนื่องเตาเผาแบบหมุน โดยมีบริเวณที่ทำปฏิกิริยาของช่วงการทำงานในอุณหภูมิที่ต่างกัน (T_1 / T_2) และการนำน้ำมันหล่อลื่นผสมลงในพลาสติกจะลดความหนืดของน้ำมันได้ เป็นผลดีต่อส่วนผลที่ไหลผ่านเครื่องปฏิกรณ์ กระบวนการแตกย่อยแบบใช้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 450/500 องศาเซลเซียส ของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำและน้ำมันหล่อลื่นที่มีส่วนประกอบตั้งแต่ 40/60 – 70/30 ร้อยละโดยน้ำหนัก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวประมาณร้อยละ 90 โดยมีผลิตภัณฑ์ส่วนน้อยเป็น $C_1 - C_4$ การแตกย่อยโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 70/30 ร้อยละโดยน้ำหนัก พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำผสมกับน้ำมันหล่อลื่นและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบรูพรุนขนาดกลาง (mesoporous) Al-MCM-41 ที่ 400/450 องศาเซลเซียส จะมีความสามารถในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาที่ต่ำกว่าการแตกย่อยโดยใช้พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเพียงอย่างเดียว ส่วนการเป็นพิษของตัวเร่งปฏิกิริยาตรงบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา โดยซัลเฟอร์

และไนโตรเจนจะรวมกันเป็นสารประกอบและปรากฏอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น แต่ทั้งนี้ในอุณหภูมิที่สูงกว่า 450/500 องศาเซลเซียส จะเกิดการแตกย่อยได้ดีที่ส่วนผสมนั้น ส่วนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Al-MCM-41 และ nanocrystalline HZSM-5 (n-HZSM -5) , Al-MCM-41 ส่วนมากจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น C₅ - C₁₂ ประมาณร้อยละ 65 แต่ n-HZSM -5 จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สจำนวนมากกว่า และได้ผลิตภัณฑ์ C₅ - C₁₂ ประมาณร้อยละ 63 ผลิตภัณฑ์นี้ได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องปฏิกรณ์เตาเผาแบบหมุนเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสำหรับกระบวนการแบบต่อเนื่องของของผสมระหว่างพลาสติกและน้ำมันหล่อลื่น โดยการบำบัดพลาสติกและน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเหล่านี้ได้ด้วยวิธีการแตกย่อยแบบความร้อนและแบบตัวเร่งปฏิกิริยา

Nakamura, I. และ Fujimoto, K. [24] ศึกษาการแตกตัวเป็นของเหลวของพอลิพรอพิลีน ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอน โดยศึกษาผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาถ่านคาร์บอน (Yallourn-coal-base) ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก-คาร์บอน และปฏิกิริยาที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่าระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดการเปลี่ยนของพอลิพรอพิลีนไปเป็นของเหลวได้ดีกว่าการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีร้อยละของการเปลี่ยนแปลงถึงร้อยละ 92 โดยพอลิพรอพิลีนมีกลไกของปฏิกิริยาเป็นแบบการเกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) อุณหภูมิที่สูงขึ้นโดยความร้อนที่สูงขึ้นจะช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนด้วยความร้อนให้เป็นอนุมูลอิสระและเกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่แบบต่อเนื่องจนได้สายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่เล็กลง และอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวในระบบที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา หรือ การแตกตัวด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียว (Thermal cracking) พบว่าการเติมไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) สามารถทำให้พอลิพรอพิลีนแตกตัวเป็นของเหลวได้ดีกว่าการใช้คาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) เนื่องจากสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาในการเปิดโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนและเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนได้ดีกว่าตัวเร่งเหล็กบน SiO₂ - Al₂O₃ เปรียบเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอน พบว่าผลของปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบน SiO₂ - Al₂O₃ ยังมีกากของแข็งที่เหลือจากปฏิกิริยาสูงกว่าปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอนประมาณ 3 ใน 4 เท่า

Hakki, M. I. และคณะ [25] ศึกษาการเปลี่ยนของสารพอลิเอทิลีน (HDPE, LDPE และ PP) ให้กลายเป็นสารเนฟทาที่เป็นสารป้อนเข้าเริ่มต้น ได้ถูกศึกษาโดยกระบวนการทำให้เป็นของเหลวโดยใช้ไฮโดรเจน โดยการทดลองนี้ทำภายใต้แก๊สไฮโดรเจนเย็น ที่ความดัน 5 เมกะพาสคาล และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 375 - 450 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอยู่ตามท้องตลาด มีอยู่ 2 ชนิด คือตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการแตกโมเลกุลโดยใช้ไฮโดรเจนช่วย (DHC-8) และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยาการเติมด้วยไฮโดรเจน (HYDROBON) ผลของอุณหภูมิและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละผล

ได้ของผลิตภัณฑ์ และองค์ประกอบของแก๊สและผลิตภัณฑ์ของเหลวได้ถูกศึกษาไว้โดยอุณหภูมิเป็นตัวส่งผลหลักในกระบวนการทำให้เป็นของเหลวโดยใช้ไฮโดรเจน ตัวเร่งปฏิกิริยา DHC-8 แสดงถึงการมีความว่องไวในการเกิดการแตกโมเลกุล แต่จะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวที่มีปริมาณของโอเลฟินสูงเหมือนกับการทำด้วยการใช้ความร้อน ถึงแม้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยา HYDROBORN จะผลิตปริมาณของของเหลวได้น้อย (สารแนฟทา) ที่อุณหภูมิสูงกว่า แต่ให้สารที่มีปริมาณของโอเลฟินต่ำ การกลั่นแนฟทาจากสารพอลิโอเลฟินโดยการแตกโมเลกุลด้วยไฮโดรเจนที่ภาวะที่เหมาะสมได้ถูกวิเคราะห์โดยเครื่อง PIONA เพื่อที่จะหาหมู่ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เครื่องวิเคราะห์ PIONA แสดงให้เห็นว่าสารแนฟทาได้มาจากการทำให้เป็นของเหลวด้วยไฮโดรเจนบนตัวเร่งปฏิกิริยา HYDROBORN สามารถนำไปใช้เป็นสารป้อนเริ่มต้น ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี อย่างไรก็ตาม แนฟทาที่ได้มาจากตัวเร่งปฏิกิริยา DHC-8 ซึ่งถูกใช้เป็นสารป้อนเริ่มต้นกลายเป็นสารที่จำเป็นมากขึ้นในกระบวนการเติมด้วยไฮโดรเจน

Moliner, R. และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่มาจากเครื่องจักรกลและอุตสาหกรรม ภายใต้อุณหภูมิและความดันที่แตกต่างกัน ผลการทดลองจากกระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว จากอุณหภูมิ 600- 700 องศาเซลเซียส และความดันที่ 0.1 – 1 เมกะพาสคาล การไพโรไลซิสของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วมีความสำคัญต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีมูลค่า เช่น อัลเคน $C_1 - C_3$, โอเลฟิน $C_2 - C_4$, และ BTX ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วสามารถทำสำเร็จได้ ณ สภาวะการไพโรไลซิสที่ต่ำมาก การกระจายของร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการไพโรไลซิสและ การเลือกสภาวะการไพโรไลซิสขึ้นอยู่กับการใช้งานตอนสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ สำหรับสารป้อนในทางปิโตรเคมี อุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งาน คือ อุณหภูมิระหว่าง 650 – 700 องศาเซลเซียส และความดันที่ 0.1 เมกะพาสคาล ในสภาวะดังกล่าวนี้ ไฮโดรเจนส่วนมากที่ประกอบอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจะถูกเปลี่ยนไปเป็นโอเลฟิน $C_2 - C_4$, และ BTX และอุณหภูมิที่ 700 องศาเซลเซียส ความดัน 0.5-1 เมกะพาสคาล เป็นอุณหภูมิและความดันที่ควรใช้ในกระบวนการผสมในการผลิต ก๊าซเชื้อเพลิงและสารป้อนที่เป็นของเหลว

Walendziewski, J. และ Steininger, M. [27] ได้ศึกษาถึงการนำของเสียจำพวกพอลิเอทิลีนและพอลิสไตรีนมาผ่านกระบวนการแตกย่อยด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยความร้อนและด้วยไฮโดรเจนในเครื่องปฏิกรณ์ที่เป็นอโต้เคลฟระบบปิด ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์จะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวและดีเซลช่วงจุดเดือดที่ไม่ต้องการ และเมื่อมีการเติมไฮโดรเจนเข้าไปโดยในการทดลองใช้แพลททินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยภาวะที่เหมาะสมในการแตกย่อยด้วยความร้อนของพอลิเอทิลีนและพอลิสไตรีนคือที่ อุณหภูมิ 410 – 430 องศาเซลเซียส ในภาวะที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ไฮโดรเจนจะสามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า คือ 390 องศาเซลเซียสและ

เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 1 ชั่วโมง 30 นาที โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะได้เป็นแก๊สและของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 360 องศาเซลเซียส และมีการเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ถึงร้อยละ 90

Walendziewski, J. [28] ศึกษาการแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้ว โดยการทดลองของการแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วต่างๆ ทำในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง ได้เป็นผลสำเร็จ องค์ประกอบหลักของหน่วยปฏิกรณ์นี้คือตัวขับที่มีลักษณะเกลียวอย่างเช่น เครื่องป้อนเม็ดพลาสติกใช้แล้วและเครื่องปฏิกรณ์ที่มีการติดตั้งเครื่องผสมที่มีลักษณะเกลียวไว้ภายใน กระบวนการการแตกตัวสามารถเกิดขึ้นได้ที่ช่วงอุณหภูมิ ระหว่าง 420-480 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อนวัตถุดิบอยู่ที่ 0.3-2.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากกระบวนการประกอบด้วย สัดส่วนที่เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนและของเหลว ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวในการกลั่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังไม่มีความเสถียรเนื่องจากมีปริมาณของโอเลฟินสูง (โดยเฉพาะจากการแตกตัวของพอลิสไตรีน) องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบในการป้อนเข้าของสารป้อน ได้แก่ การรวมระหว่างพอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน และพอลิสไตรีน จากการทำคุณมวลสารในการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์หลักที่เป็นของเหลวและของแข็งประกอบด้วย ส่วนที่เป็นแก๊สโซลีนร้อยละ 20-40 และ ส่วนที่เป็นน้ำมันเบาร้อยละ 60-80 ส่วนที่เป็นของแข็งจะมีลักษณะคล้ายกับถ่านโค้กซึ่งมีส่วนประกอบของแร่ธาตุอยู่ประมาณร้อยละ 50 ค่าที่ความร้อนที่ได้ 20 เมกะจูลต่อกิโลกรัมและเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นของแข็งมีความคล้ายคลึงกับคุณสมบัติของถ่านหินสีน้ำตาล

Kim, S.S. และ Kim, S.H.[29] ได้ทำการศึกษาถึงกระบวนการไพโรไลซิสของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ซึ่งมีทั้งการทดลองและรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยได้ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กรูปทรงกระบอก โดยได้ศึกษาหาร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สและของแข็งที่เป็นโค้ก การทดลองทำในช่วงอุณหภูมิ 420 ถึง 440 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดปฏิกิริยาจาก 5 ถึง 50 นาที ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลววิเคราะห์คุณสมบัติได้โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ร้อยละผลได้ของน้ำมันเหลวเมื่อใช้ช่วงเวลาในการทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิต่างๆ กันอยู่ในช่วงร้อยละ 95-98 โดยน้ำหนัก และการเกิดแก๊สและของแข็งที่เป็นโค้กที่มีความสัมพันธ์กันอย่างไม่เป็นนัยสำคัญ การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ของเหลวส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย C_5-C_{11} และ $C_{12}-C_{25}$ รูปแบบของปฏิกิริยาเป็นแบบขนานกันสำหรับการเกิดผลิตภัณฑ์น้ำมันในกระบวนการไพโรไลซิส ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงเมื่อนำไปศึกษาจลนพลศาสตร์เป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งสำหรับ C_5-C_{11} และ $C_{12}-C_{25}$

ประชากรตันน์ แต่กักดี [30] ศึกษาถึงกระบวนการแตกตัวพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีนและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ขนาด 70 มิลลิลิตร โดยศึกษาถึง เปอร์เซนต์ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ อัตราส่วนพอลิ

พอลิฟินต่อพอลิสไตรีน อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นต่อพลาสติค อุณหภูมิ 390-450 องศาเซลเซียส เวลาทำปฏิกิริยา 45-105 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-10 บาร์ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.1-1.5 กรัม ปริมาณสารตั้งต้นจำนวน 15 กรัม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน และองค์ประกอบที่ดีที่สุด โดยภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวพอลิพอลิฟิน พอลิสไตรีนและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ดังนี้ ร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ คือร้อยละ 5 อัตราส่วนพอลิพอลิฟินต่อพอลิสไตรีน คือ 70:30 อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นต่อพลาสติค คือ 60:40 อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลาทำปฏิกิริยา 75 นาที ความดันไฮโดรเจน เริ่มต้น 1 บาร์ และตัวเร่งปฏิกิริยา 0.8 กรัม ซึ่งในภาวะ การทดลองข้างต้นจะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน ร้อยละ 75.65 ผลิตภัณฑ์แก๊สร้อยละ 17.37 และของแข็งที่ไม่ทำปฏิกิริยาร้อยละ 6.98 เมื่อนำผลิตภัณฑ์น้ำมันมาวิเคราะห์หาการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีปริมาณของแก๊สโซลีนอยู่ ร้อยละ 61.25 เคโรซีนร้อยละ 13.25 แก๊สออยล์เบาร้อยละ 15.84 แก๊สออยล์หนักร้อยละ 3.65 และกากน้ำมันหนักร้อยละ 6.01 และพบว่ามีหมู่ฟังก์ชันหลักเป็น แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเมื่อเทียบกับหมู่ฟังก์ชันหลักในน้ำมันเบนซินออกเทน 95 แล้วพบว่ามีหมู่แอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน คล้ายกัน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด Ni - Mo/Al₂O₃ และ HZSM-5 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ให้ผลของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด

อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล [31] ศึกษาการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิง เหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กรูปทรงกระบอก ปฏิกิริยาดำเนินไปภายใต้ความดันเริ่มต้นของแก๊สไฮโดรเจนในช่วง 5 ถึง 10 บาร์ อุณหภูมิระหว่าง 375 ถึง 425 องศาเซลเซียส เวลาของปฏิกิริยาระหว่าง 10 ถึง 90 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เหล็กบนถ่านกัมมันต์อยู่ในช่วงร้อยละ 1 ถึง 5 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองพบว่าสัดส่วนการเปลี่ยน ของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และระยะเวลา โดยภาวะที่ให้ร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีนสูงสุดคือ อุณหภูมิ 425 องศาเซลเซียส ความดันเริ่มต้นของแก๊สไฮโดรเจน 5 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวประกอบไปด้วยพาราฟินสายโซ่ตรงที่มีจำนวนคาร์บอน 7 ถึง 20 อะตอม พาราฟินสายโซ่กิ่งที่มีจำนวนคาร์บอน 8 ถึง 10 อะตอม และสารประกอบอะโรมาติก เช่นโทลูอีน เอธิลเบนซีน และโซลีน การศึกษาทางจลนพลศาสตร์พบว่า ปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง พลังงานก่อกัมมันต์มีค่าอยู่ในช่วง 77.19 ถึง 118.22 กิโลจูลต่อโมล

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

- 3.1.1 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากศูนย์เปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องรถยนต์จังหวัดราชบุรี
- 3.1.2 แก๊สไฮโดรเจนความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 จากบริษัท TIG Trading จำกัด
- 3.1.3 เหล็ก (III) ไนเตรท ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) จากบริษัท S.R.Lab.
- 3.1.4 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)
- 3.1.5 คาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2) จากบริษัท Y.C.C. จำกัด

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อแสดงดังรูป 3.1 รูปทรงเป็นลักษณะท่อขด ความยาวของท่อก่อนขด 1,200 เซนติเมตร เมื่อขดเป็นเกลียวแล้วจะยาว 75 เซนติเมตร โดยท่อที่ใช้ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 0.63 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.46 เซนติเมตร สามารถทำการทดลองได้ภาวะที่ทนความร้อนได้สูงถึง 700 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อที่มีลักษณะขดเป็นเกลียว

3.2.2 เตาเผา (Tubular furnace) และเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล (Temperature controller) แสดงดังรูป 3.2 โดยเตาเผาจะเป็นลักษณะท่อกลวง เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร ความยาวของเตา 75 เซนติเมตร มีขดลวดให้ความร้อน แรงดัน 220-240

โวลต์ กำลัง 3000 วัตต์ ส่วนเครื่องควบคุมอุณหภูมิจะทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังขดลวดความร้อนและตัวจ่ายกระแสเมื่อได้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 3.2 เตาเผาและเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล

3.2.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ เป็นแบบชนิดเค (K-type) มี 2 ตำแหน่ง คือ ด้านบน และตรงกลางเตา

3.2.4 เพอริสแตติกปั๊ม (peristaltic pump) แสดงดังรูป 3.3 เพื่อใช้สำหรับป้อนสารให้ไหลเข้าระบบ และปรับอัตราการไหลของสารป้อน



รูปที่ 3.3 เพอริสแตติกปั๊ม
(Peristaltic pump)



รูป 3.4 เครื่องวัดและปรับอัตราการไหล
ของแก๊ส (Mass flow meter and controller)

3.2.5 สายยางที่ใช้กับ เพอริสแตติก ปั๊ม ยี่ห้อ Masterflex เป็นสายยางเฉพาะที่ใช้กับเพอริสแตติกปั๊ม จะมีความยืดหยุ่นได้สูง เนื่องจากต้องมีการรีดสายตลอดในขณะที่ทำการทดลอง

3.2.6 เครื่องวัดและปรับอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน (Mass flow meter and mass flow controller) แสดงดังรูป 3.4

3.2.7 ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (Cooler) เป็นท่อทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.95 เซนติเมตร ขดอยู่ในกระบะเปาะ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและแก๊สที่ได้จากการแตกโมเลกุลควบแน่นและเป็นตัวลง

3.2.8 เครื่องอัดอากาศ (compressor air)

3.2.9 เครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกกากตะกอนที่เป็นของแข็งออกจากผลิตภัณฑ์ของเหลว

3.2.10 เครื่องชั่งน้ำหนัก ชั่งได้ละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.2.11 นาฬิกาจับเวลา

3.2.12 ตู้อบ

3.2.13 ตู้ดูดความชื้น (Desicator)

3.2.14 ปีกเกอร์สำหรับใส่สารป้อนและขวดเก็บสาร

3.2.15 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) และซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น (Simulated Distillation) Varian CP-3800 พร้อมเครื่องตรวจวิเคราะห์แบบ FID และคอลัมน์ CP-SIL 5 CP สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันตามจุดเดือด ตามมาตรฐาน ASTM D2887 แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องแก๊สโครมาโทแบบจำลองการกลั่น
(Simulated Distillation Gas Chromatography)

3.2.16 เครื่อง BET surface area เพื่อหาพื้นที่ผิวรูพรุนของถ่านกัมมันต์และตัวเร่งปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องหาพื้นที่ผิวรูพรุน (BET surface area)

3.3 การดำเนินงานวิจัย

3.3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วก่อนการทดลอง

3.3.2 เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา เหล็กบนถ่านกัมมันต์

3.3.3 ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา เหล็กบนถ่านกัมมันต์ โดยตัวแปรที่ศึกษามีดังนี้

- อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา ดังนี้ 390, 410, 430 และ 450 องศาเซลเซียส

- อัตราการไหลเข้าของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ดังนี้ 0.34, 1.0 และ 3.30 กรัมต่อนาที

- ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมในระบบ ดังนี้ 3, 7, 10 มิลลิลิตรต่อนาที

- ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่เติมลงไปร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนักของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบและสารตั้งต้น

น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว นำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography

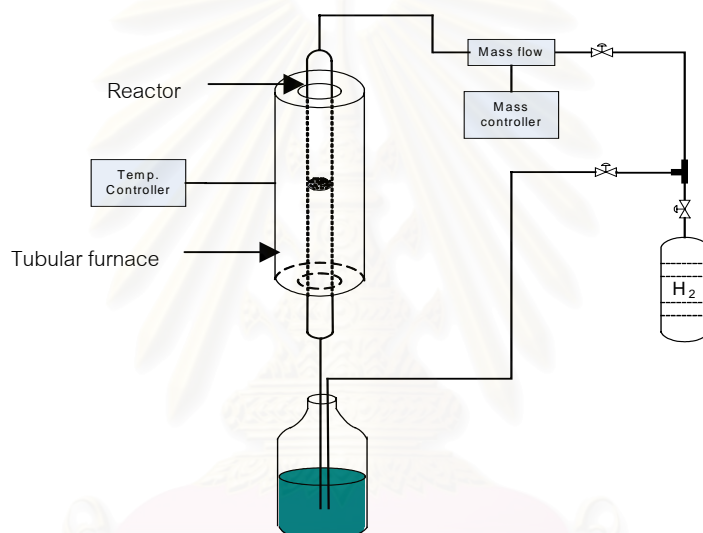
ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์เตรียมวิธีการเคลือบฝัง (impregnated) ได้ดังนี้

1. ชั่งถ่านกัมมันต์มา 50 กรัม และสารเหล็ก(III)ไนเตรต ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) 15.63 กรัม

2. ละลายสาร เหล็ก(III)ไนเตรต ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ที่ชั่งน้ำหนักเตรียมไว้ ในน้ำกลั่น

ปริมาตรพอประมาณจนละลายหมดให้มีปริมาตรใกล้เคียงกับปริมาตรถ่านที่เตรียมไว้

3. ค่อย ๆ เติมสารละลายเหล็ก(III)ไนเตรต ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ที่เตรียมไว้ลงบนถ่านกัมมันต์ กวนโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจนกว่าถ่านจะแห้ง
4. นำของผสมถ่านกัมมันต์และเหล็ก (III) ไนเตรต ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ที่แห้งแล้วไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน
5. นำถ่านที่อบแล้วไปแบ่งใส่ถ้วยเผา (crusible) เเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
6. ก่อนนำไปใช้งาน นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการเคลือบฝัง (impregnate) แล้ว ไปรีดิวซ์ด้วยแก๊สไฮโดรเจน ด้วยอัตรา 120 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยต่อแผนผังการรีดิวซ์ดังรูป 3.7



รูป 3.7 แผนผังเครื่องปฏิกรณ์เพื่อใช้รีดิวซ์ตัวเร่งปฏิกิริยา

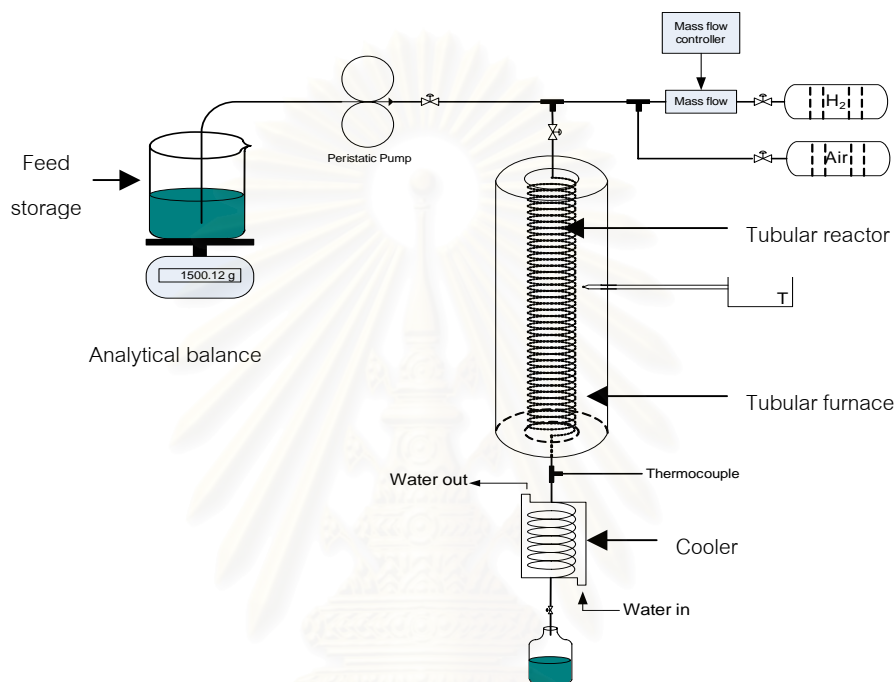
7. วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวรูพรุนโดยใช้เครื่อง BET surface area
8. วิเคราะห์หาองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเทคนิค XRF

3.4.2 ขั้นตอนการทำการทดลอง

3.4.2.1 การทดลองสถานะที่ไม่มีการเติมแก๊สไฮโดรเจนและตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ชั่งน้ำหนักน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ด้วยเครื่องชั่งแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง และวางไว้บนตาชั่งตลอดเวลา
2. นำสารตั้งต้นต่อเข้ากับเพอร์ริสแตติกปั๊ม โดยผ่านทางสายยางเพอร์ริสแตติก ทำการปรับและวัดอัตราการไหลเข้าเริ่มต้น

3. ต่อเครื่องปฏิกรณ์ใส่เข้าไปในเตาเผาด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ให้ต่อกับตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (cooler) นำสายยางด้านหนึ่งของเพอริสแตติก ต่อเข้ากับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.46 เซนติเมตรที่ต่ออยู่กับเครื่องปฏิกรณ์ ส่วนอีกด้านหนึ่งให้ต่อสายผ่านเพอริสแตติกปั๊ม และจุ่มสายอีกด้านลงในบีกเกอร์ที่ใส่น้ำมันหล่อลื่นไว้แล้ว และต่อเครื่องให้มีลักษณะดังรูป 3.8



รูปที่ 3.8 แผนผังเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

4. เปิดเครื่องให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อถึงอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เปิดปั๊มเพื่อให้ น้ำมันไหลเข้าเครื่องปฏิกรณ์และทำการจับเวลาที่สารอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์

5. เมื่อเครื่องปฏิกรณ์ได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้ว จดบันทึกน้ำหนักสารตั้งต้น จดบันทึกน้ำหนักผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ออกมา จากนั้นปล่อยน้ำมันเดิมที่ค้างท่อทิ้ง หลังจากนั้นให้ปรับอัตราการไหลเข้าของสารป้อนให้เท่ากับที่ต้องการและเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อเก็บตัวอย่างต่อไป

6. เมื่อเสร็จการทดลองแล้วเปิดอากาศผ่านเข้าเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อเผาไค้ที่ติดอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ โดยในการเผาไค้ต้องทำที่อุณหภูมิสูงประมาณ 700 องศาเซลเซียส กรณีที่ตัวแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดไค้ให้นำไปเผาบนเตาแก๊สพร้อมอัดอากาศ เพื่อเผาไล่ไค้

7. นำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เก็บได้ มาแกว่งด้วยเครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนออก เตรียมสารละลายผลิตภัณฑ์น้ำมันต่อตัวทำละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) ด้วยอัตราส่วน 1:100

8. นำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ที่ผสมสารคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) แล้ว ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography เพื่อวิเคราะห์หาค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงคาบจุดเดือดที่อุณหภูมิต่าง ๆ และวิเคราะห์องค์ประกอบสารเคมีที่เกิดขึ้น

9. คำนวณร้อยละการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้น

3.4.2.2 การทดลองสถานะที่มีการเติมแก๊สไฮโดรเจนและตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ชั่งน้ำหนักน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและตัวเร่งปฏิกิริยา(ถ้ามี) ด้วยเครื่องชั่งแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง และวางไว้บนตาชั่งตลอดเวลา

2. นำสารตั้งต้นต่อเข้ากับเพอริสแตติกปั๊ม โดยผ่านทางสายยางเพอริสแตติก ทำการปรับและวัดอัตราการไหลเข้าเริ่มต้น

3. ต่อเครื่องปฏิกรณ์ใส่เข้าไปในเตาเผาด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ให้ต่อกับตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (cooler) นำสายยางด้านหนึ่งของเพอริสแตติกปั๊ม ต่อเข้ากับท่อขนาด 0.63 เซนติเมตร ที่ต่ออยู่กับเครื่องปฏิกรณ์ ส่วนอีกด้านหนึ่งให้ต่อสายผ่าน เพอริสแตติก ปั๊ม และจุ่มสายอีกด้านลงในบีกเกอร์ที่ใส่น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และต่อเครื่องให้มีลักษณะดังรูป 3.8

1. เปิดเครื่องให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อถึงอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เปิดปั๊มเพื่อให้ น้ำมันไหลเข้าเครื่องปฏิกรณ์เปิดแก๊สไฮโดรเจนปรับอัตราการไหลเข้าของแก๊สไฮโดรเจนให้ได้ตามที่ต้องการและทำการวัดเวลาที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์

5. เมื่อเครื่องปฏิกรณ์ได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการต้องการแล้วจดบันทึกน้ำหนักสารตั้งต้น จดบันทึกน้ำหนักผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ออกมา จากนั้นปล่อยน้ำมันเดิมที่ค้างท่อทิ้ง หลังจากนั้นให้ปรับอัตราการไหลเข้าของสารป้อนให้เท่ากับที่ต้องการและเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อเก็บตัวอย่างต่อไป

6. เมื่อเสร็จการทดลองแล้วต้องรอให้อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ลดลงต่ำกว่า 250 องศาเซลเซียส แล้วจึงเปิดอากาศไล่น้ำมันเพื่อป้องกันการแตกของท่อและเผาไค้ที่ติดอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์

7. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ ทำตามการทดลองที่ไม่มีแก๊สไฮโดรเจน ข้อ 7-9 ข้างต้น

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ โดยศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา อัตราการไหลเข้าของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นที่ใส่ลงไป และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เติมลงไป ว่าตัวแปรดังกล่าวมีผลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้อย่างไร

4.1 การวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของสาร

4.1.1 องค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

องค์ประกอบ	คาบจุดเดือด (องศาเซลเซียส)	ร้อยละค่าการเลือกเกิด (% selectivity)
แนฟทา (Naphtha)	IBP-200	1.43
เคโรซีน (Kerosene)	200-250	0.71
แก๊สออยล์เบา (Light gas oil)	250-350	2.14
แก๊สออยล์หนัก (Heavy gas oil)	350-370	1.43
กากน้ำมัน (Long residue)	370-FBP	94.29

จากตารางที่ 4.1 แสดงการวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ประกอบด้วย กากน้ำมันหนัก ซึ่งมีมากถึงร้อยละ 94.24 ถือว่าเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา และมีแนฟทาอยู่เพียงร้อยละ 1.43 ซึ่งมาจากการแตกโมเลกุลในเครื่องยนต์เบื้องต้น

4.1.2 สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

- พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface area) ของตัวเร่งปฏิกิริยา ตรวจสอบด้วยเครื่อง BET surface area แสดงในตารางที่ 4.2

- ปริมาณธาตุองค์ประกอบในตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ซึ่งเตรียมโดยวิธีเคลือบฝัง (impregnated) ตรวจสอบด้วยเทคนิค XRF แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

ตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (S_{BET}) ตารางเมตรต่อกรัม
ถ่านกัมมันต์	840
ร้อยละ 5 ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์	654

จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมดของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อเติมเหล็กร้อยละ 5 ลงไปบนถ่านกัมมันต์ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวรูพรุนลดลง เนื่องจากปริมาณโลหะที่เติมลงไปมากขึ้นจะแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนของถ่านกัมมันต์มากขึ้นจึงทำให้พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง แต่ในการกระตุ้นทางเคมีจะมีส่วนช่วยในการเพิ่มพื้นที่ผิวของโลหะให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ผิว (active site) ในการเกิดปฏิกิริยาแตกโมเลกุลได้มากขึ้น

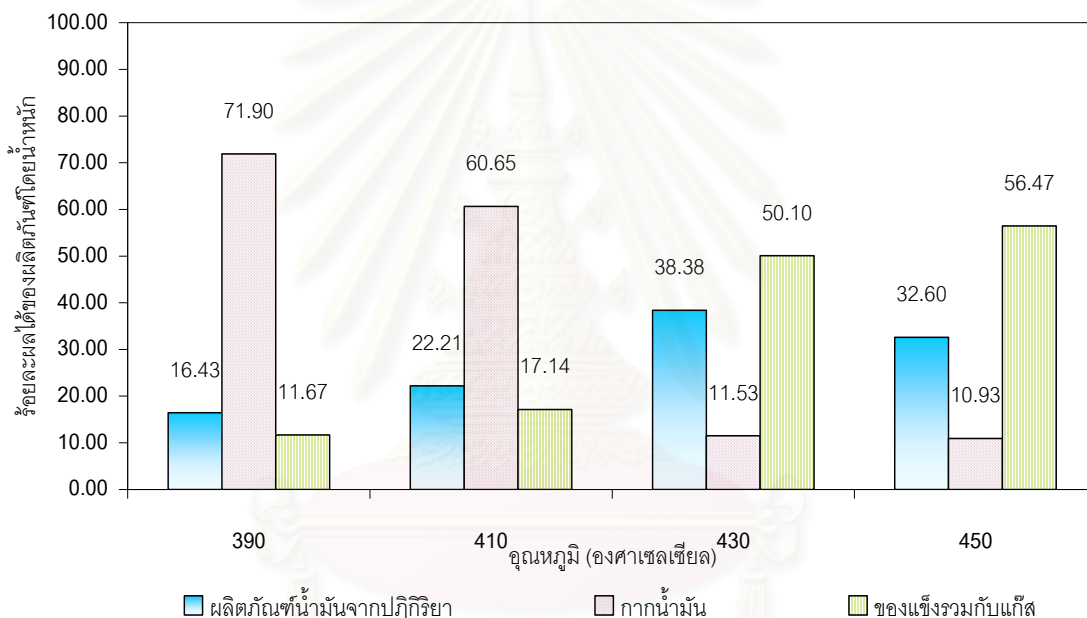
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา

ธาตุองค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
Al	0.015
Si	0.062
S	0.059
K	0.946
Ca	0.099
Zn	0.092
Fe	4.627
C	94.1

จากตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมมีธาตุองค์ประกอบหลายชนิด ปริมาณของธาตุหลักที่พบมีอยู่ร้อยละ 4.627 ซึ่งต่ำกว่าค่าที่คำนวณไว้ในตอนเริ่มต้นการเตรียม

4.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน

การศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อกระบวนการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ในเบื้องต้นยังไม่มี การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและแก๊สไฮโดรเจน โดยปรับอัตราการป้อนเข้าของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็น 1.23 กรัมต่อนาที และทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้ 390, 410, 430 และ 450 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1



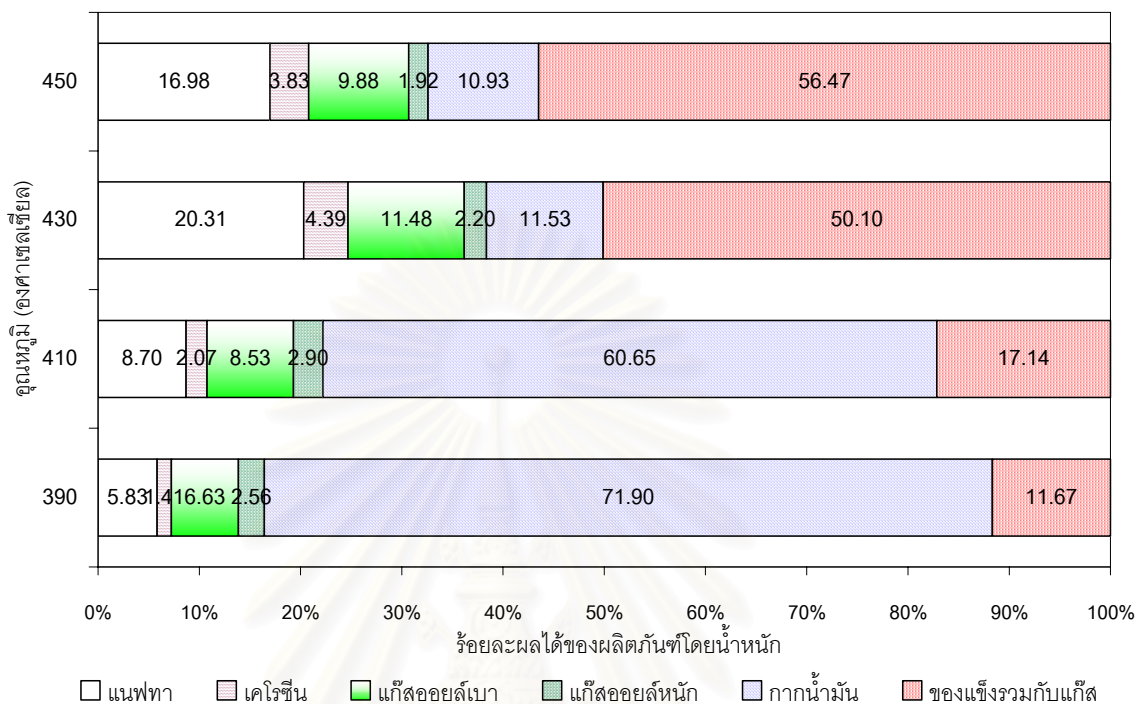
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันและร้อยละผลได้ของแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับของแข็ง ที่อุณหภูมิ 390 – 450 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลเข้าของสารป้อน 1.23 กรัมต่อนาที

จากผลการทดลองรูป 4.1 พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิ 390 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนเข้าของน้ำมันหล่อลื่น 1.23 กรัมต่อนาที ให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นน้ำมันข้นเหนียว คิดเป็นร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันเท่ากับ 88.33 ซึ่งร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันประกอบด้วย ร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของสารตั้งต้นคือกากน้ำมัน รวมกับร้อยละผลได้ของกากน้ำมันซึ่งเป็นสารโมเลกุลใหญ่ โดยร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยามีค่า 16.43 และร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาคิด

เป็น 71.90 ส่วนร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับผลิตภัณฑ์ของแข็งคิดเป็น 11.67 แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของระบบเป็น 410 และ 430 องศาเซลเซียส ภายใต้การทดลองสภาวะเดียวกัน จะให้น้ำมันที่มีความหนืดลดลงและมีปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันและปริมาณกากน้ำมันลดลง ส่วนร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลและปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับปริมาณของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลมาจากการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยมีการแตกเป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิมากขึ้น และแตกตัวได้ดีที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของระบบเป็น 450 องศาเซลเซียสภายใต้ภาวะการทดลองเดียวกันพบว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จริงจากการทำปฏิกิริยาลดลงแต่ไม่ชัดเจนนักดังนี้ คือ ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จริงจากการทำปฏิกิริยาร้อยละ 38.38 และที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จริงจากการทำปฏิกิริยาร้อยละ 32.60 โดยพบว่าปริมาณของแก๊สรวมกับปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นในปริมาณใกล้เคียงกันจากร้อยละ 50.10 เป็นร้อยละ 56.47 เนื่องมาจากอิทธิพลของการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดการแตกโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอนรุนแรงขึ้นโดยมีการแตกโมเลกุลจากขนาดใหญ่ไปเป็นขนาดกลางและแตกโมเลกุลต่อไปจนเป็นขนาดเล็กเกินไปจนอยู่ในรูปของแก๊สไฮโดรคาร์บอน $C_1 - C_4$ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแก๊สรวมกับของแข็งในปริมาณที่มากขึ้นที่อุณหภูมิ 430 และ 450 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงแต่ลดลงในปริมาณที่ไม่มากนัก

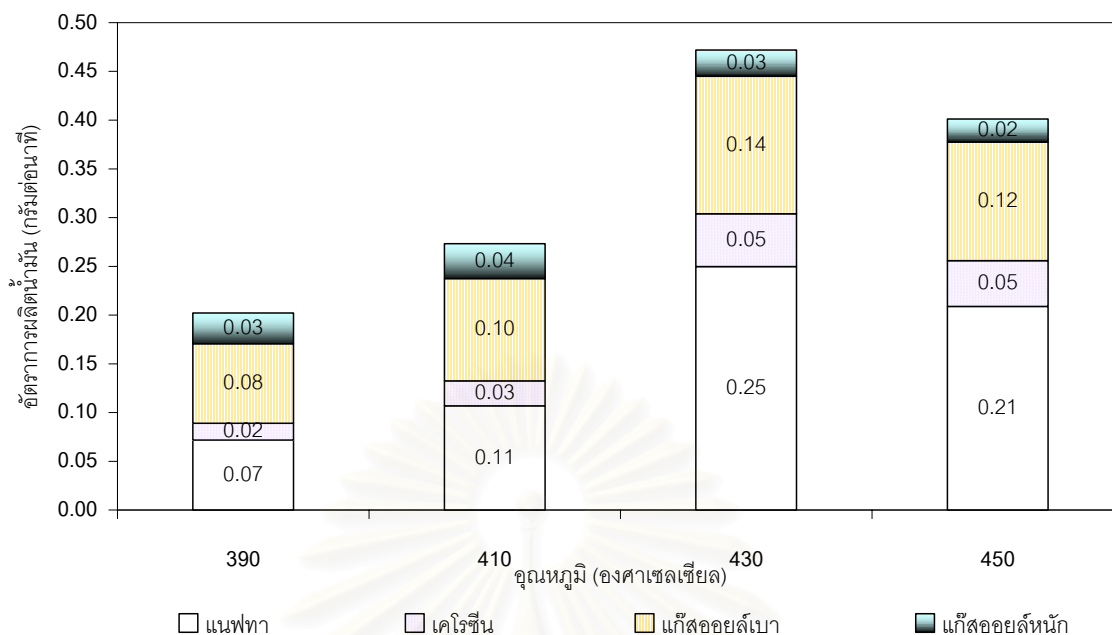
เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันเพื่อหาค่าการกระจายตัวของตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูป 4.2 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณเนฟทาจะเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลมาจากการที่น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วสามารถเกิดการแตกโมเลกุลได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการแตกโมเลกุลจากโมเลกุลใหญ่คือกากน้ำมันไปเป็นโมเลกุลขนาดกลางและขนาดเล็กจำพวกเนฟทา โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งเสริมให้เกิดการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนทำให้เกิดการแตกโมเลกุลอย่างรุนแรงขึ้นจนได้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแก๊สไฮโดรคาร์บอนจากรูป 4.2 สังเกตที่อุณหภูมิ 390 และ 410 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณของเนฟทาน้อยคือร้อยละ 5.83 และร้อยละ 8.70 ตามลำดับ แต่จะให้ปริมาณของเนฟทาที่แตกต่างกันมากตั้งแต่ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส คือร้อยละ 20.31 และจะให้ปริมาณของเนฟทาลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อใช้อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส คือให้ร้อยละของเนฟทา 16.98 ดังนั้นการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียว สามารถแตกโมเลกุลได้ดีที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป และเมื่ออุณหภูมิสูงมากขึ้นจะมีการแตกโมเลกุลที่รุนแรงมากขึ้นจึงทำให้ได้ปริมาณเนฟทาที่ลดลงจนกลายเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับ

ของแข็งมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับกับปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ กากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาด้วย



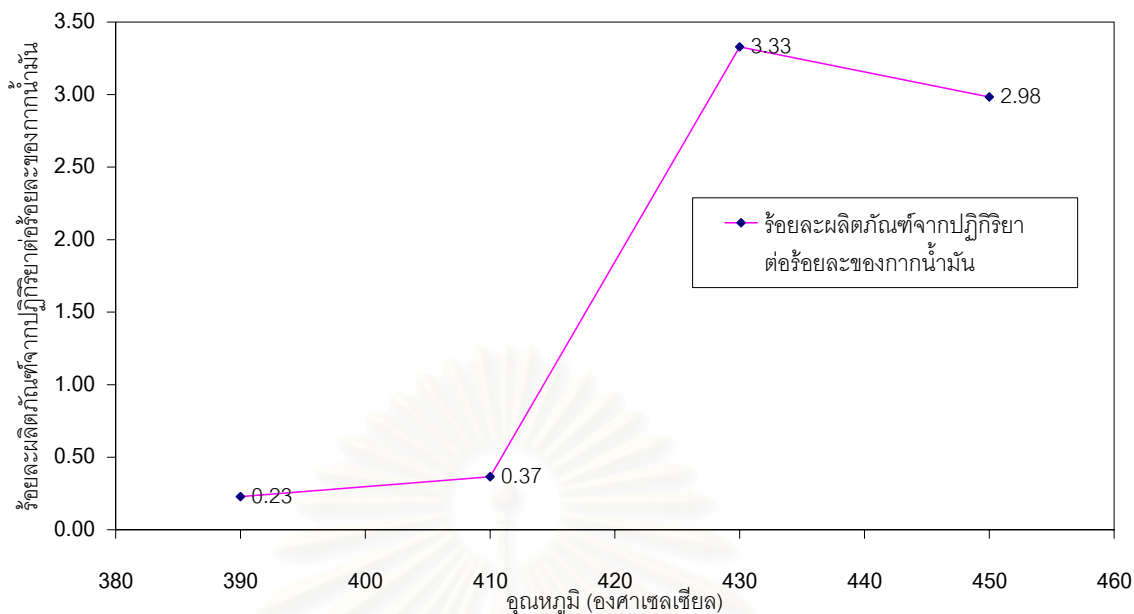
รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ที่อุณหภูมิระหว่าง 390 – 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 1.23 กรัมต่อนาที

เมื่อวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันโดยต่อหนึ่งหน่วยเวลานี้เนื่องจากเป็นระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง (continuous) เพื่อดูกำลังการผลิตที่ได้ต่อนาที ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูป 4.3 ที่อัตราการป้อนเข้าของน้ำมันหล่อลื่นเท่ากันคือ 1.23 กรัมต่อนาทีพบว่า อัตราการผลิตน้ำมันที่สามารถนำไปใช้ได้มีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เป็นผลมาจากการที่น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วสามารถเกิดการแตกโมเลกุลได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโดยเกิดการแตกโมเลกุลจากโมเลกุลใหญ่คือกากน้ำมันไปเป็นโมเลกุลขนาดกลางและขนาดเล็กจำพวกแนฟทา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งเสริมให้เกิดการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนทำให้เกิดการแตกโมเลกุลอย่างรุนแรงขึ้นจนได้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแก๊สไฮโดรคาร์บอน จากรูป 4.3 ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าถ้าป้อนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเข้าไปด้วยอัตรา 1.23 กรัมต่อนาทีจะสามารถผลิตแนฟทา เคโรซีน แก๊สออยล์เบา และแก๊สออยล์หนักได้สูงกว่าที่อุณหภูมิอื่นด้วยอัตรา 0.25, 0.05, 0.14 และ 0.03 กรัมต่อนาที และที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จะให้อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงมีค่าใกล้เคียงกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา ที่อุณหภูมิระหว่าง 390 – 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 1.23 กรัมต่อนาที

และเมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) ถ้าอัตราส่วนที่ได้มีค่ามากแสดงถึงว่าได้ปริมาณของน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงปริมาณมาก มีปริมาณของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยามีค่าน้อย จะมีผลดีคือจะเสียพลังงานในการกลั่นแยกกากน้ำมันออกจากน้ำมันที่ได้จริงด้วยพลังงานที่น้อย จากรูปที่ 4.4 พบว่าอัตราส่วนระหว่างร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงสารตั้งต้นคือกากน้ำมันสามารถแตกโมเลกุลเป็นโมเลกุลของน้ำมันขนาดเล็กจำพวกแนนนพทา เคโรซีน แก๊สออยล์เบา และแก๊สออยล์หนักได้ดี และดีที่สุดที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส คือได้อัตราส่วนระหว่างร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) เท่ากับ 3.33 แสดงถึงการผลิตน้ำมันที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ดีที่สุดคือ จะเสียพลังงานน้อยในการกลั่นแยกสารตั้งต้นคือกากน้ำมันออกจากน้ำมันที่สามารถนำไปใช้ได้จริง ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีอัตราส่วนของร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) ลดลงเล็กน้อยซึ่งใกล้เคียงกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมากขึ้นจะมีการแตกเป็นโมเลกุลเล็กได้มากขึ้น



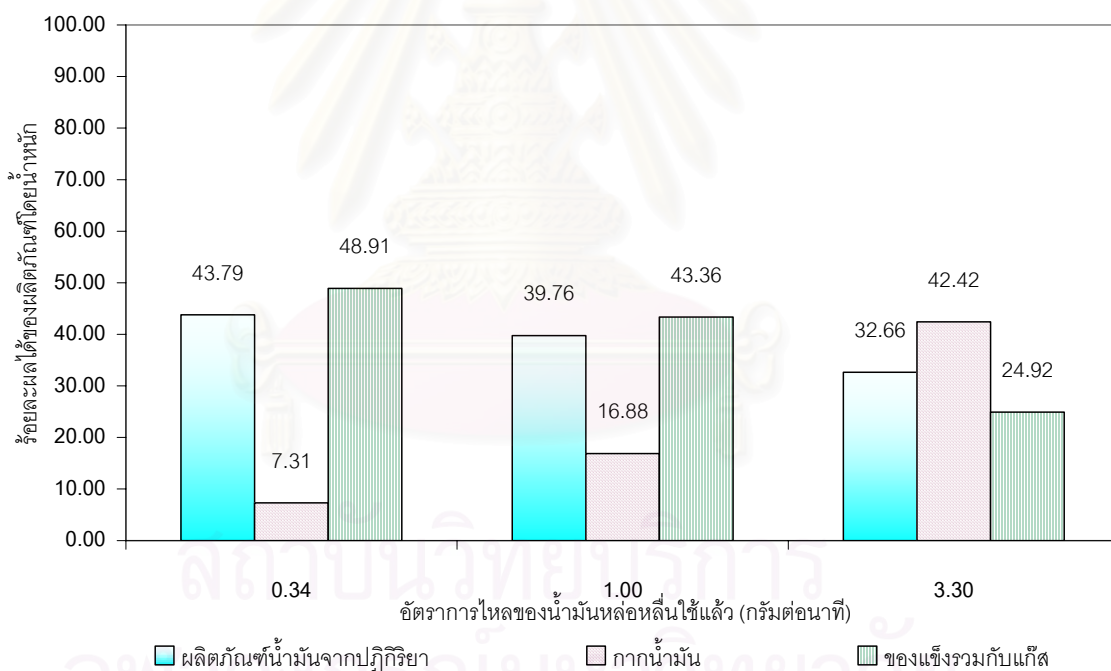
รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) ที่อุณหภูมิระหว่าง 390– 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 1.23 กรัมต่อนาที

4.3 อิทธิพลของอัตราการไหลเข้าของสารป้อน (น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของอัตราเร็วในการไหลเข้าของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ในเบื้องต้นยังไม่มี การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาและแก๊สไฮโดรเจน อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 430 และ 450 องศาเซลเซียส เนื่องจากในการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันในตอนต้นพบว่า ทั้ง 2 อุณหภูมินี้ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงมีค่าสูงและทั้งสองอุณหภูมินี้ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันมีค่าใกล้เคียงกัน โดยทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลเข้าของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วดังนี้ 0.34, 1.00 และ 3.30 กรัมต่อนาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

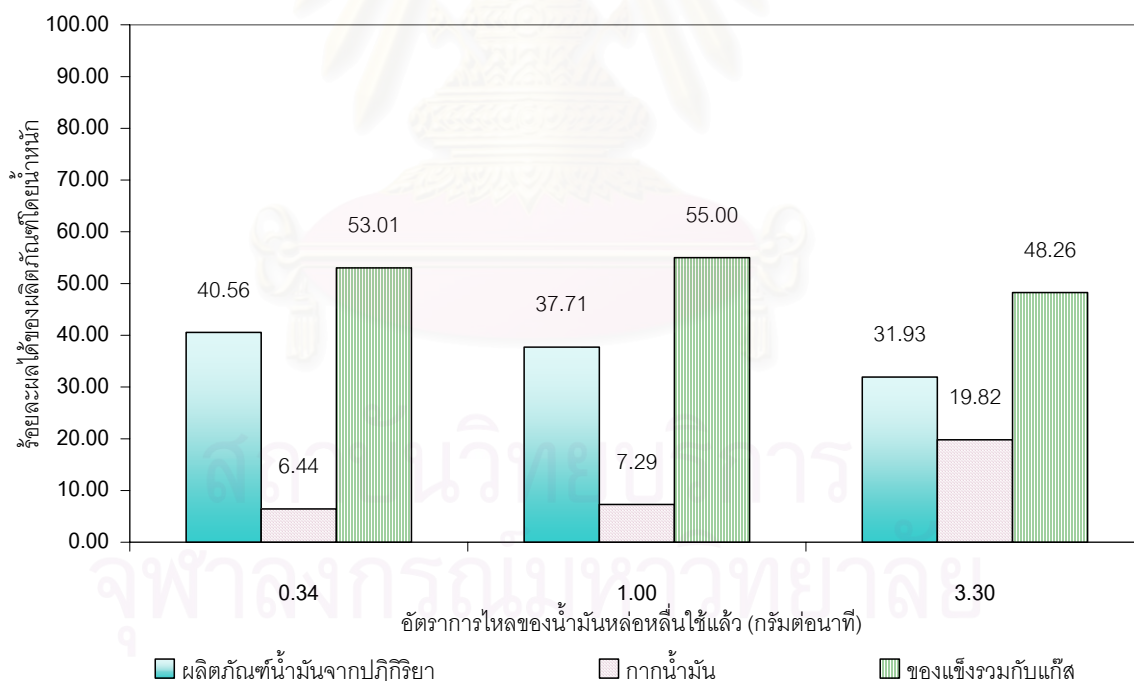
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อปรับอัตราการไหลเข้าของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 3.30 กรัมต่อนาที ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีค่าสูงเท่ากับร้อยละ 75.08 ประกอบด้วยร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของสารตั้งต้น (reaction yield) ร้อยละ 32.66 รวมกับร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Long residue yield) ร้อยละ 42.42 ส่วนร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับผลิตภัณฑ์ของแข็งมีค่า 24.82 และเมื่อลดอัตราการเร็วในการไหลเข้าของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 1.00 และ 0.34 กรัม

ต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส จะให้น้ำมันที่มีความหนืดลดลงและมีปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมัน และปริมาณกากน้ำมันลดลงอย่างเห็นได้ชัดคือ ที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 3.30 กรัมต่อนาที จะเหลือปริมาณกากน้ำมันที่ไม่เกิดปฏิกิริยาร้อยละ 42.42 และเมื่อลดอัตราการไหลเข้าของสารป้อนเป็น 0.34 กรัมต่อนาที จะเหลือปริมาณกากน้ำมันที่ไม่เกิดปฏิกิริยา อยู่เพียงร้อยละ 7.31 ส่วนร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลด้วยความร้อน และปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับปริมาณของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และพบว่าที่อัตราการไหลเข้า 0.34 กรัมต่อนาที มีปริมาณกากน้ำมันเหลือน้อยที่สุด และได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยามีปริมาณมากกว่าที่อัตราการไหลของสารป้อนอื่น ๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยมีการแตกเป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้มากขึ้นเนื่องจากใช้เวลาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ได้นานและสามารถสัมผัสความร้อนได้นานขึ้นเมื่ออัตราการไหลเข้าของสารป้อนมีค่าลดลงทำให้มีการแตกโมเลกุลได้ดียิ่งขึ้นเมื่อลดอัตราการไหลเข้าของสารป้อนให้ลดลง



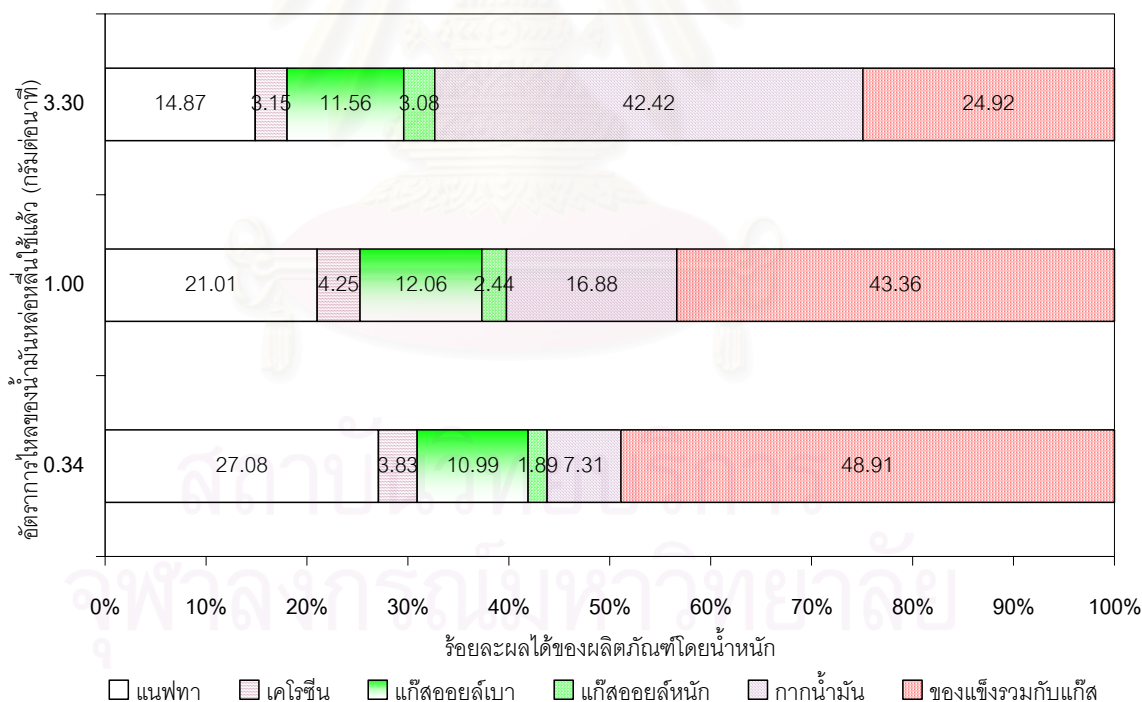
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันและร้อยละผลได้ของแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับของแข็ง ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 0.34, 1.00 และ 0.34 กรัมต่อนาที

เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 0.34, 1.00 และ 3.30 กรัมต่อนาที แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.6 พบว่าให้แนวโน้มเดียวกันกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส คือน้ำมันที่ได้มีความหนืดลดลงและมีปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันและปริมาณกากน้ำมันลดลงอย่างเห็นได้ชัดคือที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 3.30 กรัมต่อนาที จะเหลือปริมาณกากน้ำมันที่ไม่เกิดปฏิกิริยาร้อยละ 19.82 และเมื่อลดอัตราการไหลเข้าของสารป้อนเป็น 0.34 กรัมต่อนาที จะเหลือปริมาณกากน้ำมันที่ไม่เกิดปฏิกิริยาอยู่ร้อยละ 6.44 ส่วนร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนและปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับปริมาณของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นในปริมาณที่ใกล้เคียงกันและพบว่าที่อัตราการไหลเข้า 0.34 กรัมต่อนาที มีปริมาณกากน้ำมันเหลือน้อยที่สุด และได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยามีปริมาณมากกว่าที่อัตราการไหลของสารป้อนอื่น ๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยมีการแตกเป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้มากขึ้นเนื่องจากใช้เวลาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ได้นานและสามารถสัมผัสความร้อนได้นานขึ้นเมื่ออัตราการไหลเข้าของสารป้อนมีค่าลดลงทำให้มีการแตกโมเลกุลได้ดียิ่งขึ้นเมื่อลดอัตราการไหลเข้าของสารป้อนให้น้อยลง โดยกลไกที่เกิดขึ้นเกิดผ่านกลไกการแตกโมเลกุลด้วยความร้อน (Thermal Cracking)



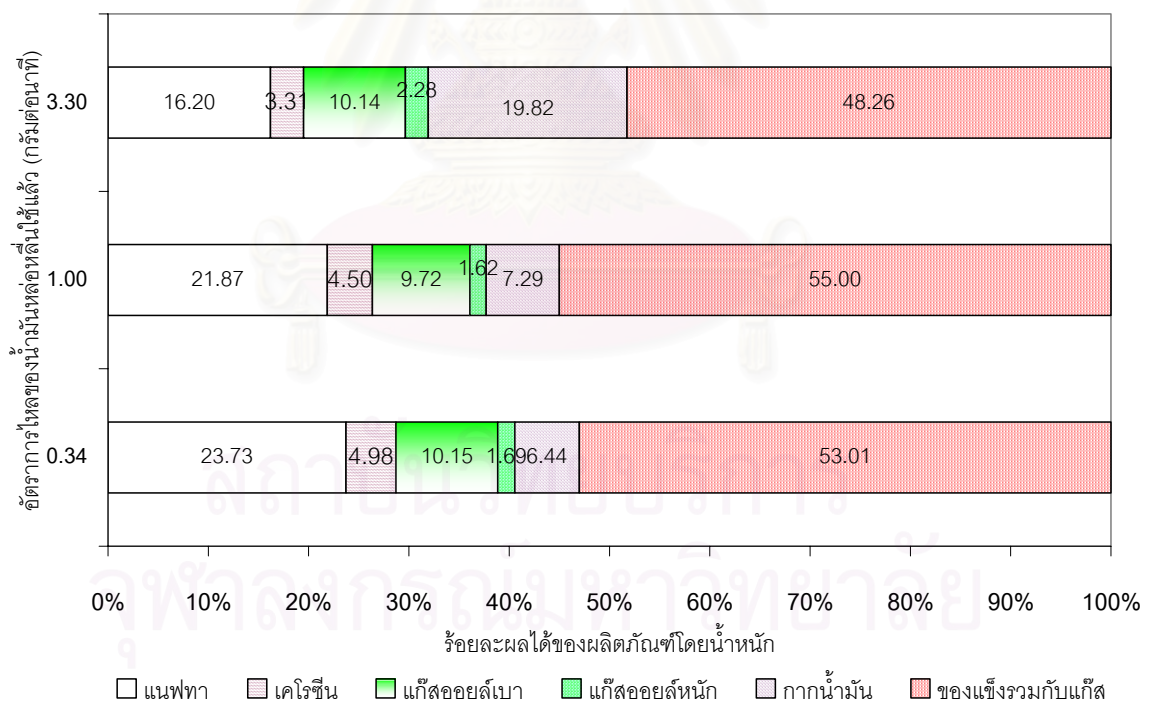
รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันและร้อยละผลได้ของแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับของแข็งที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 0.34, 1.00 และ 3.30 กรัมต่อนาที

เมื่อนำผลิตภัณฑ์น้ำมันมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าการกระจายตัวของตามคาบจุดเดือด โดยใช้เครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูป 4.7 ที่ อัตราการไหลเข้าของสารป้อนต่าง ๆ กันพบว่าเมื่ออัตราการไหลเข้าของสารป้อนลดลงปริมาณ แนฟทาจะเพิ่มสูงขึ้น โดยเมื่อลดอัตราการไหลเข้าของสารป้อนจาก 3.30 เป็น 1.0 และ 0.34 กรัม ต่อนาที ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าปริมาณแนฟทามีค่าเพิ่มขึ้นจาก ร้อยละ 14.87 เป็นร้อยละ 21.01 และร้อยละ 27.08 ตามลำดับ ส่วนปริมาณกากน้ำมันมีค่าลดลงเมื่อลดอัตราการไหลเข้าของสารป้อนโดยปริมาณกากน้ำมันมีค่าลดลงดังนี้คือร้อยละ 48.91, 43.36 และ 24.92 ตามลำดับ ส่วนปริมาณของแก๊สรวมกับของแข็ง จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อ ลดอัตราการไหลเข้าของสารป้อนลง เป็นผลมาจากการที่น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วสามารถเกิดการ แยกโมเลกุลได้ดีเมื่อใช้เวลาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ได้มาก ทำให้มีเวลาในการทำปฏิกิริยาได้นานขึ้น จะเกิดการแตกโมเลกุลจากโมเลกุลใหญ่คือกากน้ำมัน ไปเป็นโมเลกุลขนาดกลาง และขนาดเล็ก จำพวกแนฟทาและแก๊สได้มากขึ้น โดยเมื่ออัตราการไหลเข้าของสารป้อนลดลงจะทำให้ใช้เวลาใน การเกิดปฏิกิริยาได้มากยิ่งขึ้นโดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นการแตกโมเลกุลด้วยความร้อน



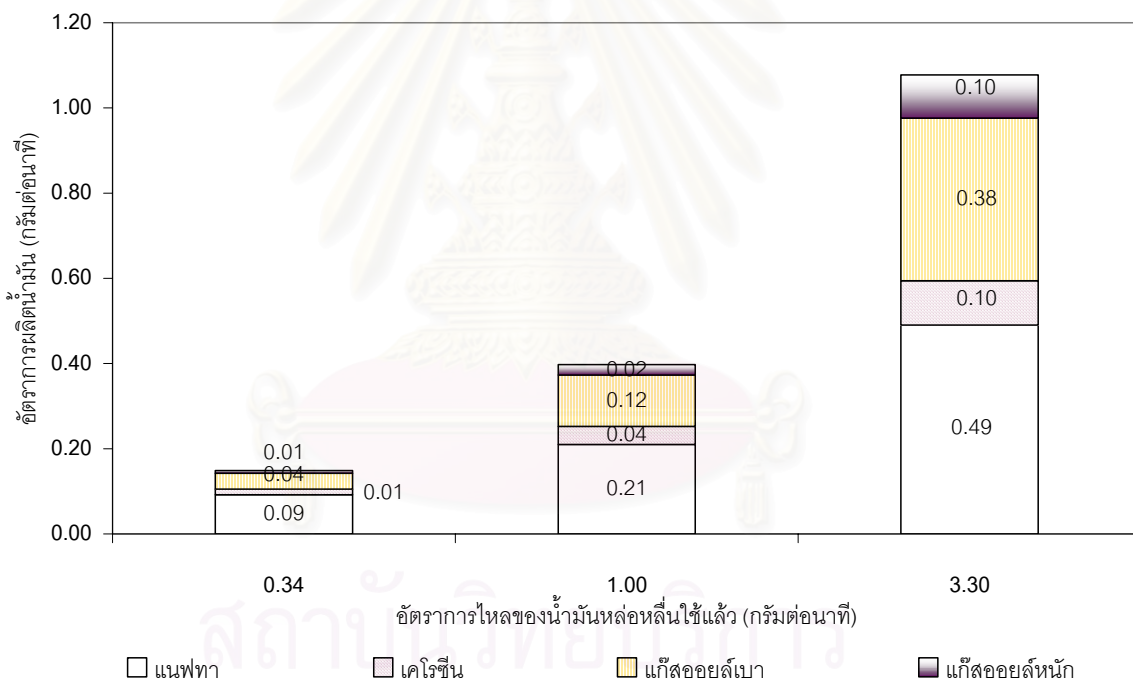
รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน อัตราการป้อนเข้าของน้ำมันหล่อลื่น ใช้แล้วเท่ากับ 0.34, 1.0 และ 3.30 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ที่สภาวะการทดลองอัตราการไหลเข้าของสารป้อนเดียวกันกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส แสดงผลดังรูปที่ 4.8 พบว่ามีแนวโน้มเดียวกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อนต่ำ ๆ มีปริมาณกากน้ำมันน้อยกว่าที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อนสูง ๆ คือที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 3.30 กรัมต่อนาที จะให้ร้อยละผลได้ของแอฟทาร์ร้อยละ 16.2 มีปริมาณกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาร้อยละ 19.82 และเมื่อลดอัตราการไหลของสารป้อนเป็น 0.34 กรัมต่อนาที จะให้ร้อยละผลได้ของแอฟทาเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 23.73 ปริมาณกากน้ำมันที่ไม่เกิดปฏิกิริยาลดลงเหลือร้อยละ 6.44 ส่วนปริมาณร้อยละผลได้ของแก๊สรวมกับของแข็งก็มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อลดอัตราการไหลเข้าของสารป้อนลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลเข้าของสารป้อนต่ำ ๆ จะทำให้ใช้เวลาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ได้นาน ทำให้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีการแตกโมเลกุลจากโมเลกุลขนาดใหญ่จำพวกกากน้ำมันไปเป็นโมเลกุลขนาดกลาง และเมื่อใช้เวลาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์นานขึ้นก็จะมีมีการแตกโมเลกุลจากขนาดกลางกลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก จำพวกแก๊ส (C_1-C_4) ได้มากขึ้น โดยกลไกที่เกิดขึ้นเกิดผ่านกลไกการแตกโมเลกุลด้วยความร้อน (Thermal Cracking)



รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนเข้าของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเท่ากับ 0.34, 1.0 และ 3.30 กรัมต่อนาที

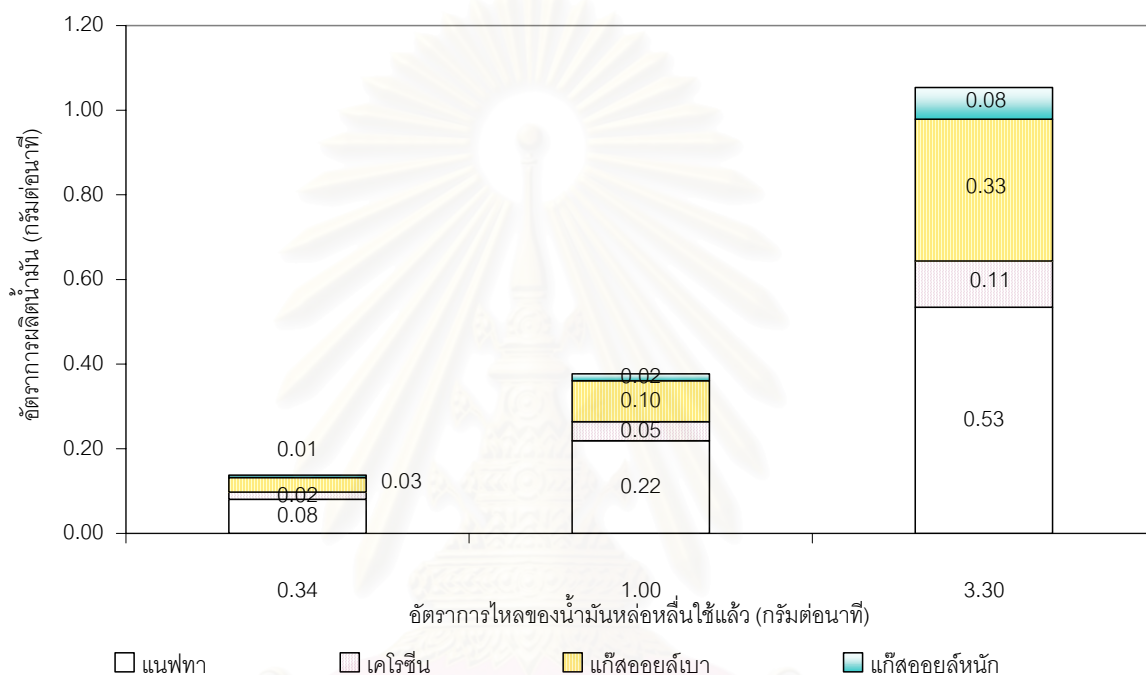
เมื่อวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันโดยต่อหนึ่งหน่วยเวลาเนื่องจากเป็นระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง (continuous) เพื่อดูกำลังการผลิตที่ได้ต่อหน้าที่ ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูป 4.9 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราการผลิตน้ำมันที่สามารถนำไปใช้ได้มีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการป้อนเข้าของสารป้อนสูงขึ้น เป็นผลมาจากการที่ป้อนสารตั้งต้นเข้าไปในปริมาณที่มาก ทำให้อัตราการผลิตต่อหนึ่งหน่วยเวลาเพิ่มสูงขึ้นตาม โดยกำลังการผลิตต่อหนึ่งหน่วยเวลานั้นขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเข้าของสารป้อน จากรูป 4.9 จะเห็นว่าถ้าป้อนน้ำมันหล่อลื่นให้แล้วเข้าไปด้วยอัตราการไหลที่สูงคือ 3.30 กรัมต่อหน้าที่จะสามารถผลิตเนฟทา เคโรซีน แก๊สออยล์เบา และแก๊สออยล์หนักได้ด้วยอัตรา 0.49, 0.10, 0.38 และ 0.10 กรัมต่อหน้าที่ตามลำดับ ซึ่งอัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงมีค่าสูงกว่าที่อัตราการป้อนเข้าของสารป้อนเป็น 1.0 และ 0.34 กรัมต่อหน้าที่ แต่ที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อนสูง ๆ คือ 3.30 กรัมต่อหน้าที่ ก็จะทำให้ปริมาณกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาสูงตามไปด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา (production rate) ที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อน ต่าง ๆ กัน ดังนี้ 0.34, 1.0, 3.30 กรัมต่อหน้าที่ อุณหภูมิที่ทำการทดลอง 430 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส สภาวะการทดลองอัตราการไหลเข้าของสารป้อนเดียวกันกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส แสดงผลดังรูปที่ 4.10 พบว่าที่อุณหภูมิ 450 จะให้แนวโน้มเดียวกันกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียสคือ เมื่ออัตราการไหลเข้าของสารป้อนมีค่ามาก

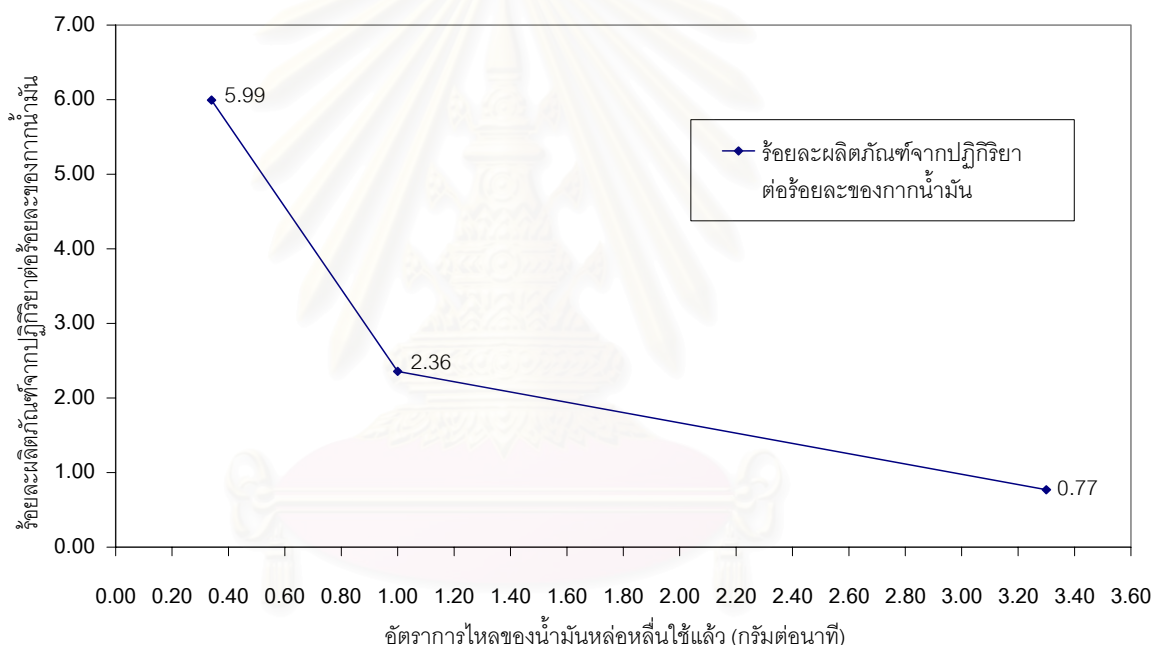
อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา ก็มีค่ามากตามไปด้วย และที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเมื่อป้อนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเข้าไปด้วยอัตราการไหล 3.30 กรัมต่อนาที จะสามารถผลิตแอฟทา เคโรซีน แก๊สออยล์เบา และแก๊สออยล์หนัก ได้ด้วยอัตรา 0.53, 0.11, 0.33 และ 0.08 กรัมต่อนาทีตามลำดับ ซึ่งสามารถผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงสูงกว่าที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อนต่ำ ๆ แต่ที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อนสูง ๆ คือ 3.30 กรัมต่อนาที ก็จะทำให้ปริมาณกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาสูงตามไปด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา (production rate) ที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อน (น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว) ต่าง ๆ กัน ดังนี้ 0.34, 1.0, 3.30 กรัมต่อนาที อุณหภูมิที่ทำการทดลอง 450 องศาเซลเซียส

และเมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield / Long residue yield) ถ้าอัตราส่วนที่ได้มีค่ามากแสดงถึงว่าได้ปริมาณของน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงปริมาณมาก มีปริมาณของกากน้ำมันที่เหลือมีค่าน้อย มีผลดีคือจะเสียพลังงานในการกลั่นแยกกากน้ำมันออกจากน้ำมันที่ให้ได้จริงด้วยพลังงานที่น้อย จากรูปที่ 4.11 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส จะพบว่าอัตราส่วนระหว่างร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield / Long residue yield) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการป้อนเข้าของสารป้อนมีค่าลดลง เนื่องจากที่อัตราการป้อนเข้าของสารป้อนมีค่าน้อยจะส่งผลให้น้ำมันหล่อลื่นใช้

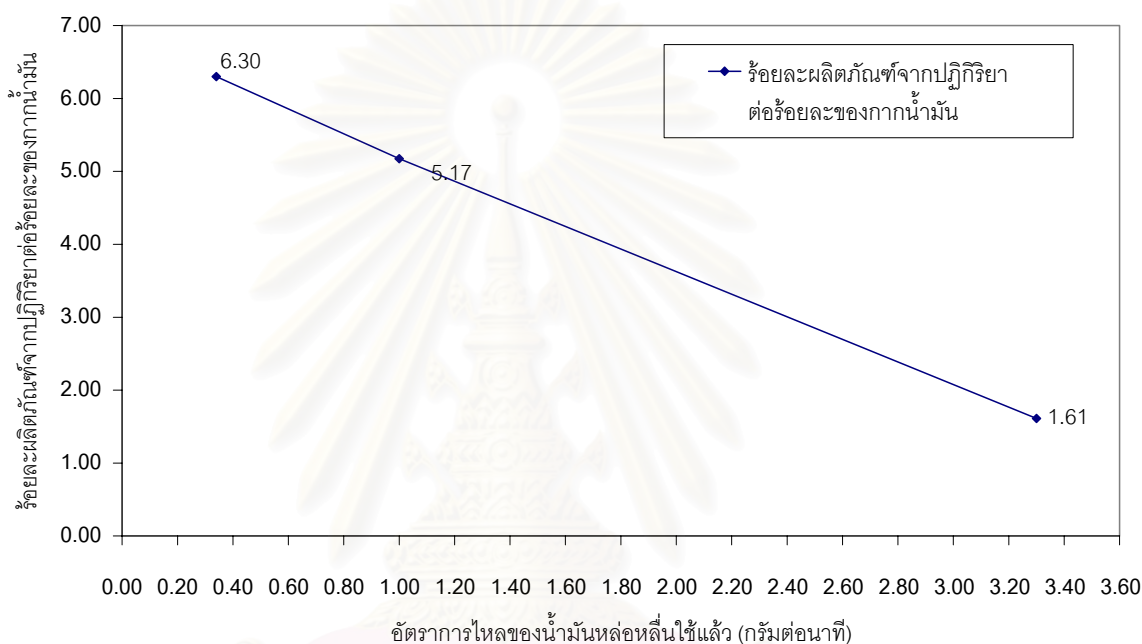
แล้วสามารถเกิดการแตกโมเลกุลได้ดีเนื่องจากใช้เวลาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ได้มาก ทำให้มีเวลาในการทำปฏิกิริยาได้นานขึ้น จะเกิดการแตกโมเลกุลจากโมเลกุลใหญ่คือกากน้ำมันไปเป็นโมเลกุลขนาดกลางและขนาดเล็กจำพวกแอฟทา เครโซลีน แก๊สออยล์เบา และแก๊สออยล์หนัก รวมถึงผลิตภัณฑ์แก๊สรวมกับของแข็งได้มากขึ้น เมื่อพิจารณาอัตราการไหลเข้าของสารป้อนทั้ง 3 ค่า คือที่ 0.34, 1.0 และ 3.3 กรัมต่อนาที พบว่าที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อนน้อย ๆ คือที่ 0.34 กรัมต่อนาที จะให้อัตราส่วนระหว่างร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) เท่ากับ 5.99 เป็นค่าที่มากที่สุด แสดงถึงการผลิตน้ำมันที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 0.34 กรัมต่อนาที ดีที่สุดคือ จะเสียพลังงานน้อยในการกลั่นแยกสารตั้งต้นคือกากน้ำมันออกจากน้ำมันที่สามารถนำไปใช้ได้จริง



รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (reaction yield /Long residue yield) อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 0.34, 1.0, 3.30 กรัมต่อนาที ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ณ สภาวะการทดลองอัตราการไหลเข้าของสารป้อนเดียวกันกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส 4.12 พบว่าที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสจะให้แนวโน้มเดียวกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส คือ เมื่ออัตราการไหลเข้าของสารป้อนมีค่าน้อยลง อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) ก็จะมีค่ามากขึ้น เมื่อพิจารณาอัตราการ

ไหลเข้าของสารป้อนทั้ง 3 ค่า คือที่ 0.34, 1.0 และ 3.30 กรัมต่อนาที พบว่าที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อนน้อย ๆ คือที่ 0.34 กรัมต่อนาที จะให้ อัตราส่วนระหว่างร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) เท่ากับ 6.30 เป็นค่าที่มากที่สุด แสดงถึงการผลิตน้ำมันที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 0.34 กรัมต่อนาที ดีที่สุดคือ จะเสียพลังงานน้อยที่สุดในการกลั่นแยกสารตั้งต้นคือกากน้ำมันออกจากน้ำมันที่สามารถนำไปใช้ได้จริง

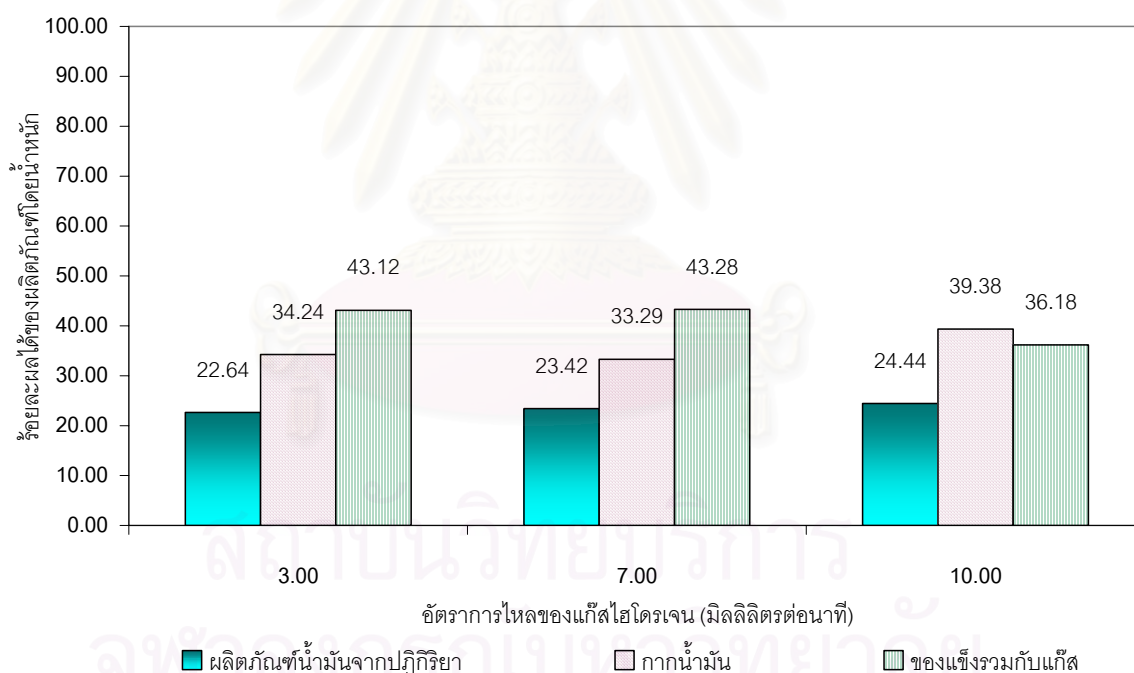


รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 0.34, 1.0, 3.30 กรัมต่อนาที ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

4.4 อิทธิพลของปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน

การศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปที่มีผลต่อการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดยปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปดังนี้ 3, 7 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 430 และ 450 องศาเซลเซียส เนื่องจากในการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันในตอนต้นพบว่า ทั้ง 2 อุณหภูมินี้ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงมีค่าสูงขึ้นและทั้งสองอุณหภูมินี้ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันมีค่าใกล้เคียงกัน จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.13 และ 4.14

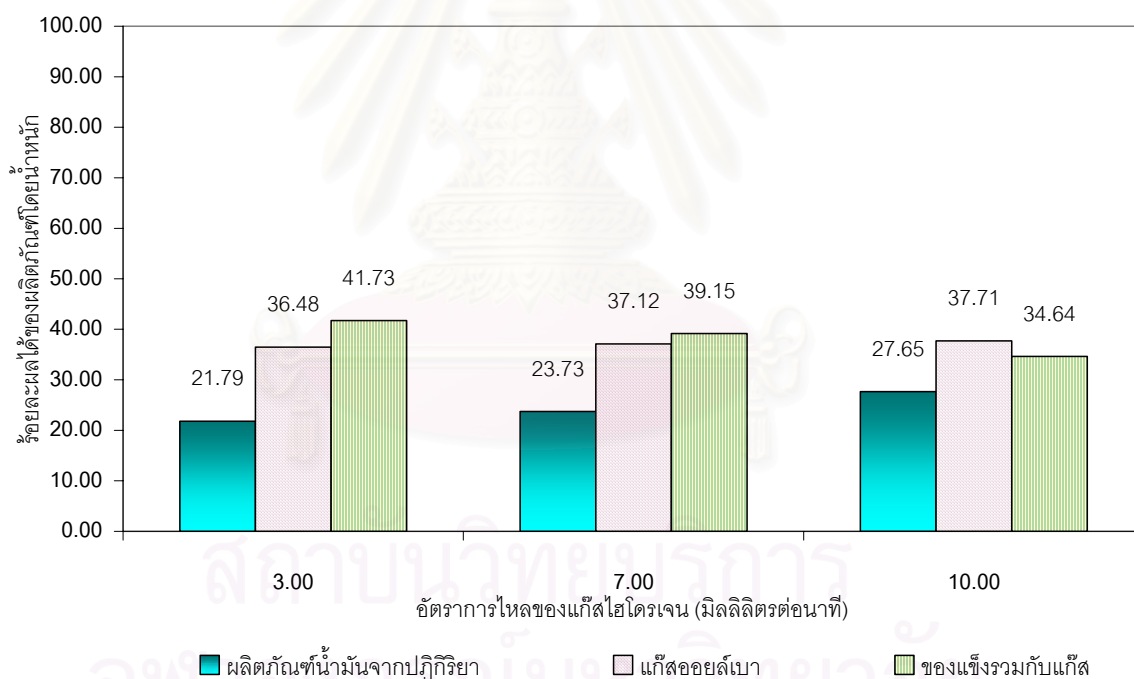
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่อปรับอัตราการใช้ของแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปมากขึ้น จาก 3, 7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที พบว่าร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของสารตั้งต้น (Reaction yield) มีค่าใกล้เคียงกัน ปริมาณร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Long residue yield) ก็มีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของสารตั้งต้น (Reaction yield) ทั้งนี้เนื่องมาจากแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปนั้นไม่ได้มีส่วนช่วยให้เกิดการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วอย่างมีนัยสำคัญ เพราะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นเพียงการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนเท่านั้นแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปจะไปช่วยชะลอการเกิดโค้กเท่านั้น ส่วนร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับผลิตภัณฑ์ของแข็งมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เมื่อเติมปริมาณแก๊สไฮโดรเจนลงไปมากขึ้นแก๊สไฮโดรเจนจะไปช่วยลดการเกิดโค้กซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งที่เกิดขึ้นมาได้ โดยแก๊สไฮโดรเจนจะไปช่วยเติมไฮโดรเจนในบริเวณของไฮโดรคาร์บอนที่ขาดไฮโดรเจนจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้มีค่าลดลง



รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันและร้อยละผลได้ของแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับของแข็ง ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 3, 7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.15 กรัมต่ออนาที

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอิทธิพลของปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสแสดงผลดังรูปที่ 4.14 ที่สภาวะ

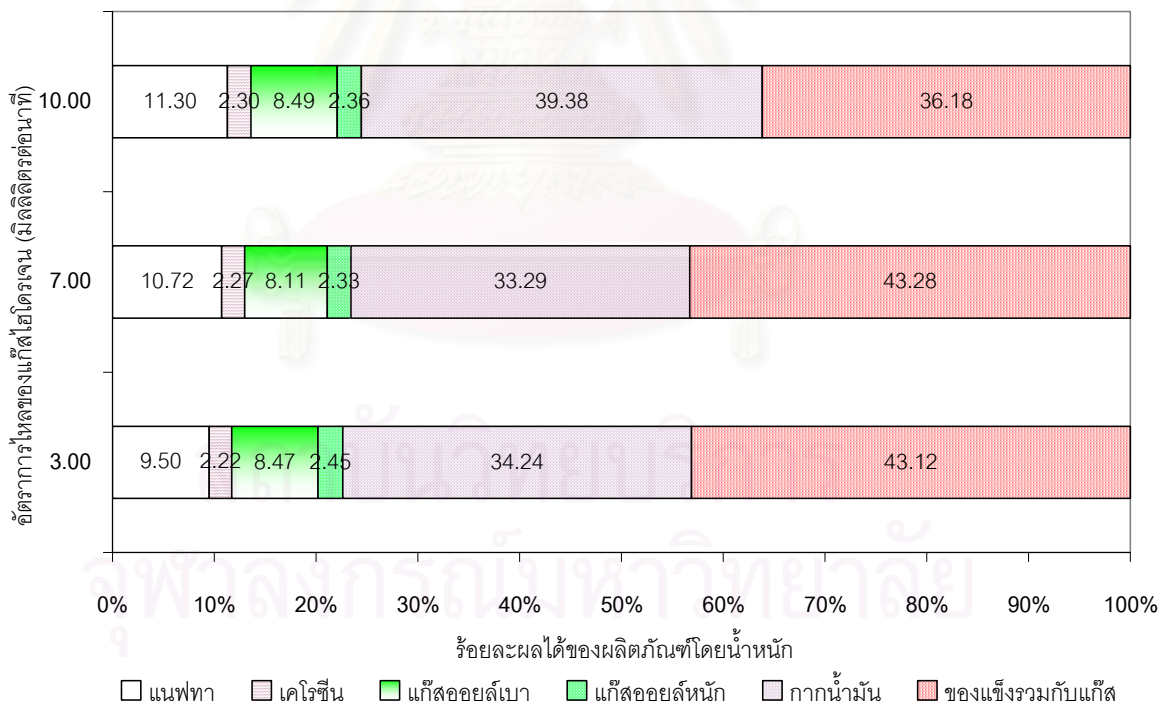
การทดลองเดียวกันกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส คือ ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปเป็น 3,7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที อัตราการไหลเข้าของสารป้อนเป็น 2.16 กรัมต่ออนาที พบว่าแนวโน้มที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน คือเมื่อปรับอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปมากขึ้นจาก 3, 7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที พบว่าร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของสารตั้งต้น (Reaction yield) มีค่าใกล้เคียงกันทุกอัตราการไหลเข้าของแก๊สไฮโดรเจน ส่วนปริมาณร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Long residue yield) ก็มีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของสารตั้งต้น (Reaction yield) ทุกอัตราการไหลเข้าของแก๊สไฮโดรเจน ทั้งนี้เนื่องมาจากแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปนั้นไม่ได้มีส่วนช่วยให้เกิดการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วอย่างมีนัยสำคัญ เพียงแต่การเติมแก๊สไฮโดรเจนลงไปจะไปช่วยชะลอการเกิดโค้กที่มีลักษณะเป็นของแข็งได้ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 ปริมาณร้อยละผลได้ของของแข็งรวมกับแก๊สมีปริมาณลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปมากขึ้น เช่นกันกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันและร้อยละผลได้ของแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับของแข็ง ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 3, 7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.16 กรัมต่ออนาที

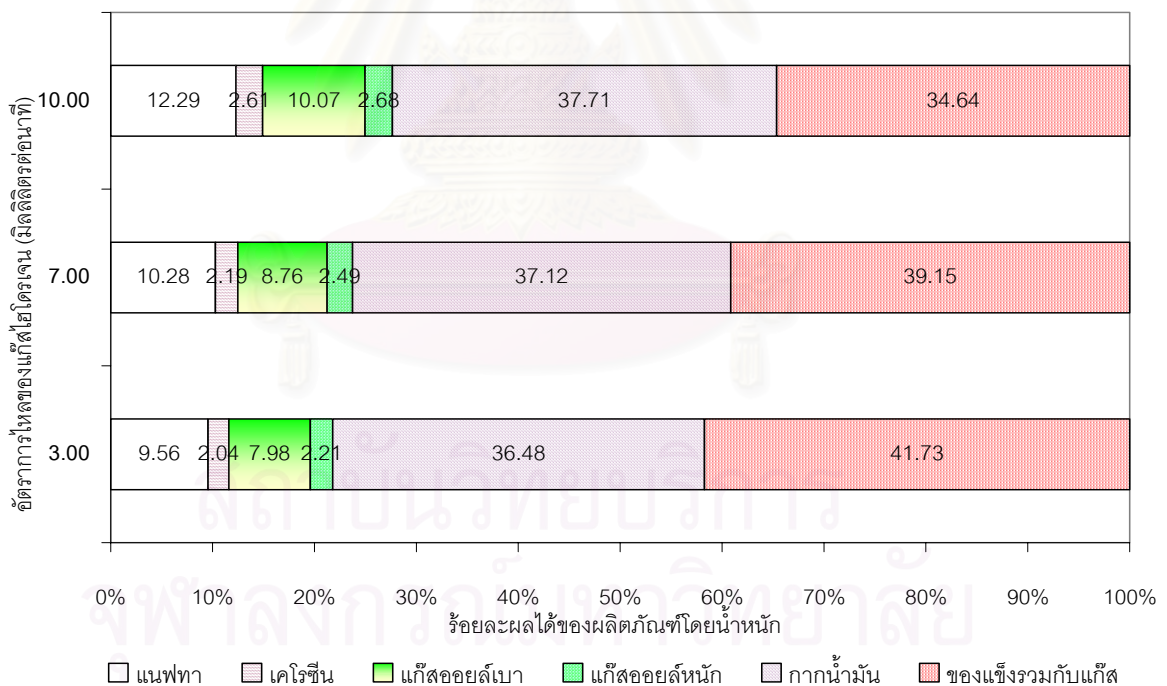
เมื่อนำผลิตภัณฑ์น้ำมันมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าการกระจายตัวตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูป 4.15 โดย

ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปปริมาณต่าง ๆ กัน ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราไหลเข้าของสารป้อน 2.15 กรัมต่ออนาที พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปปริมาณมากขึ้น ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันซึ่งประกอบด้วยแนฟทา เครอซีน ก๊าซออยล์เบา และ ก๊าซออยล์หนัก รวมถึงปริมาณกากน้ำมันที่ไม่เกิดปฏิกิริยา มีค่าใกล้เคียงกัน โดยเมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปเป็น 3, 7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที ปริมาณแนฟทามีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงร้อยละ 9.5-11.3 ปริมาณเครอซีนอยู่ในช่วง ร้อยละ 2.22-2.30 ปริมาณแก๊สออยล์เบาอยู่ในช่วงร้อยละ 8.11-8.49 ปริมาณแก๊สออยล์หนักอยู่ในช่วง ร้อยละ 2.36-2.45 และปริมาณกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วงร้อยละ 33.29-39.38 เมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปในระบบมากขึ้นแล้วพบว่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก เนื่องมาจากการที่เพิ่มปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ใส่ลงไปมีปริมาณมากขึ้นนั้น ไม่มีผลทำให้เกิดการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญนัก สังเกตได้จากปริมาณของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยามีค่าใกล้เคียงกัน โดยกลไกที่เกิดขึ้นมีเพียงการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนเท่านั้น



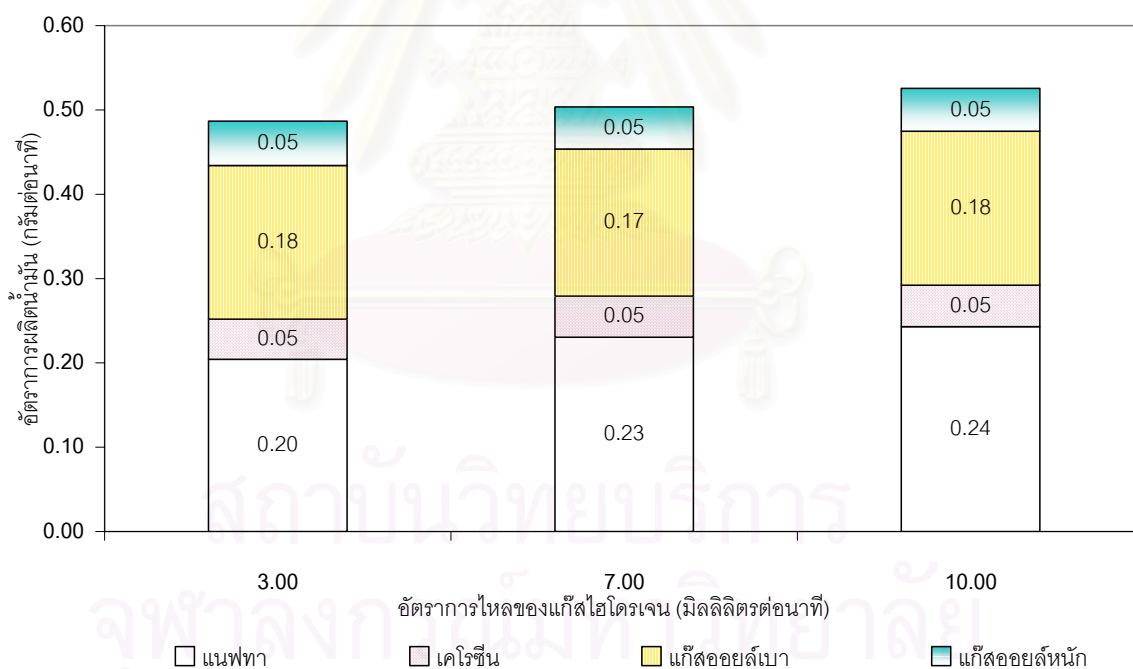
รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.15 กรัมต่ออนาที อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 3, 7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปที่มีผลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.16 กรัมต่ออนาที และปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป 3, 7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที แสดงผลดังรูปที่ 4.16 พบว่าที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ให้แนวโน้มเดียวกันกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส คือที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีค่าใกล้เคียงกันทุกอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน อาจกล่าวได้ว่าปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปไม่ได้มีผลอย่างมีนัยสำคัญในการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดยกลไกที่เกิดขึ้นมีเพียงกลไกการแตกโมเลกุลด้วยความร้อน (Thermal Cracking) เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันทั้งสองอุณหภูมิที่มีการเติมแก๊สไฮโดรเจนปริมาณต่าง ๆ กัน จะเห็นว่า ที่ปริมาณการเติมแก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่ออนาที ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ของแนฟทา เคโรซีน มากกว่าที่ปริมาณการเติมแก๊สไฮโดรเจน 3 และ 7 มิลลิลิตรต่ออนาที เพียงเล็กน้อย จึงสรุปได้ว่าปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป 10 มิลลิลิตรต่ออนาที เป็นค่าที่เหมาะสมในการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิง



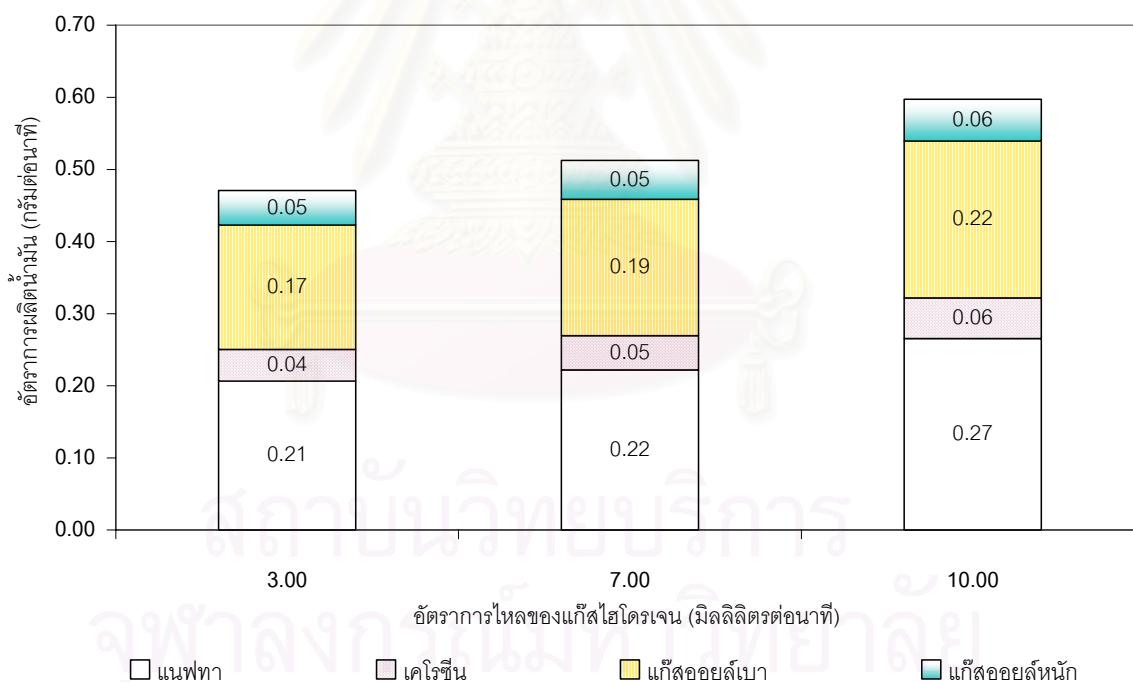
รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.15 กรัมต่ออนาที อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 3, 7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที

เมื่อวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันโดยต่อหนึ่งหน่วยเวลาเนื่องจากเป็นระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง (continuous) เพื่อดูกำลังการผลิตที่ได้ต่อนาที ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูป 4.17 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราการผลิตน้ำมันที่สามารถนำไปใช้ได้มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปจาก 3 มิลลิลิตรต่อนาทีเป็น 7 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที ส่วนปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเติมแก๊สไฮโดรเจนปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้อัตราการผลิตน้ำมันต่อหนึ่งหน่วยเวลามีค่าสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจสรุปได้ว่าปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปเพิ่มขึ้นนั้นไม่ได้ส่งผลให้มีการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และไม่ได้ส่งผลต่ออัตราการผลิตน้ำมันนำไปใช้ได้จริงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน จากรูป 4.17 พบว่าเมื่อเติมแก๊สไฮโดรเจนลงไปด้วยปริมาณ 10 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราไหลเข้าของสารป้อน 2.15 กรัมต่อนาที จะให้อัตราการผลิตแวนฟาที่สูงที่สุด คือ จะผลิตแวนฟาได้ด้วยอัตรา 0.24 กรัมต่อนาที จึงสรุปได้ว่า ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป 10 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นค่าที่เหมาะสมในการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิง



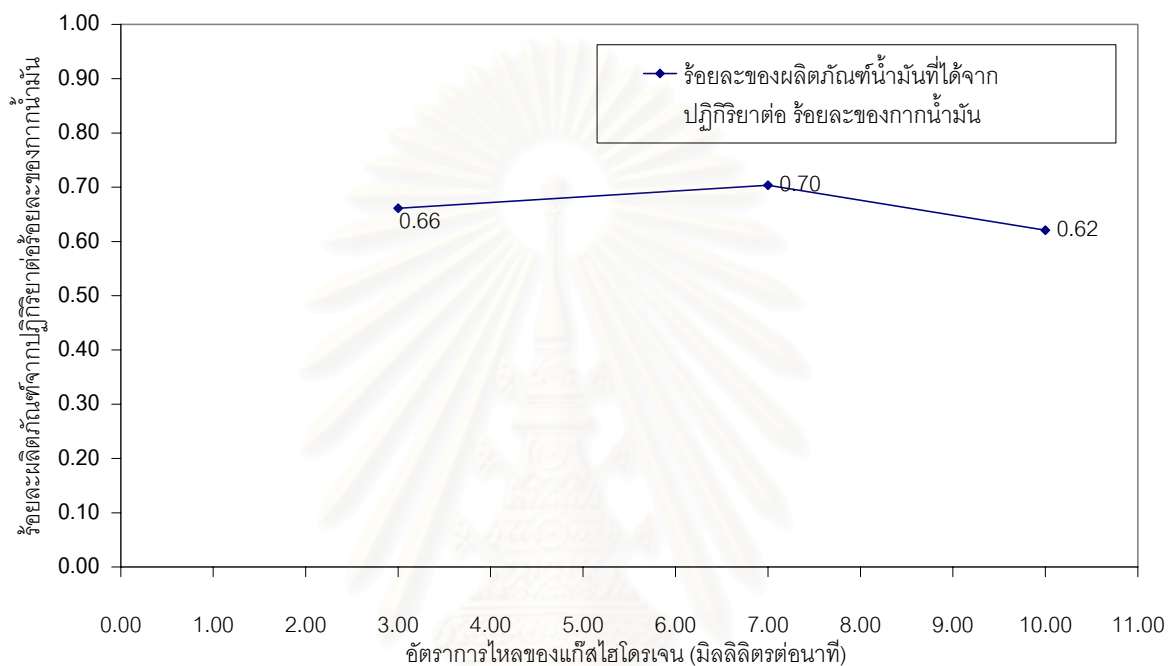
รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา (production rate) ที่อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 3, 7 และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.15 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.16 กรัม ต่ออนาที และปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป 3, 7, 10 มิลลิลิตรต่ออนาที แสดงผลดังรูปที่ 4.18 พบว่า ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ให้แนวโน้มเดียวกันกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส คือ อัตราการผลิตน้ำมันที่สามารถนำไปใช้ได้มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติม ลงไปจาก 3 มิลลิลิตรต่ออนาทีเป็น 7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที ซึ่งอัตราการผลิตน้ำมันที่สามารถนำ ไปใช้ได้ถือว่าใกล้เคียงกัน อาจกล่าวได้ว่าปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปไม่ได้มีผลอย่างมี นัยสำคัญในการโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดยกลไกที่เกิดขึ้นมีเพียงกลไกการแตกโมเลกุล ด้วยความร้อน (Thermal Cracking) เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตต่อหนึ่งหน่วย เวลาของผลิตภัณฑ์น้ำมันทั้งสองอุณหภูมิที่การเติมแก๊สไฮโดรเจนปริมาณต่าง ๆ กัน จะเห็นว่า ที่ ปริมาณการเติมแก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่ออนาที จะให้อัตราการผลิตน้ำมันที่สามารถนำไปใช้ ได้จริงมีค่ามากกว่าที่ปริมาณการเติมแก๊สไฮโดรเจน 3 และ 7 มิลลิลิตรต่ออนาที เพียงเล็กน้อย จึง สรุปได้ว่า ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป 10 มิลลิลิตรต่ออนาที เป็นค่าที่เหมาะสมในการเปลี่ยน น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา (production rate) ที่อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 3, 7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.15 กรัมต่ออนาที อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

และเมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.19 ถ้าอัตราส่วนที่ได้มีค่ามากแสดงถึงว่าได้ปริมาณของน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงปริมาณมาก มีปริมาณของกากน้ำมันที่เหลือมีค่าน้อย มีผลดีคือจะเสียพลังงานในการกลั่นแยกกากน้ำมันออกจากน้ำมันที่ได้จริงด้วยพลังงานที่น้อย



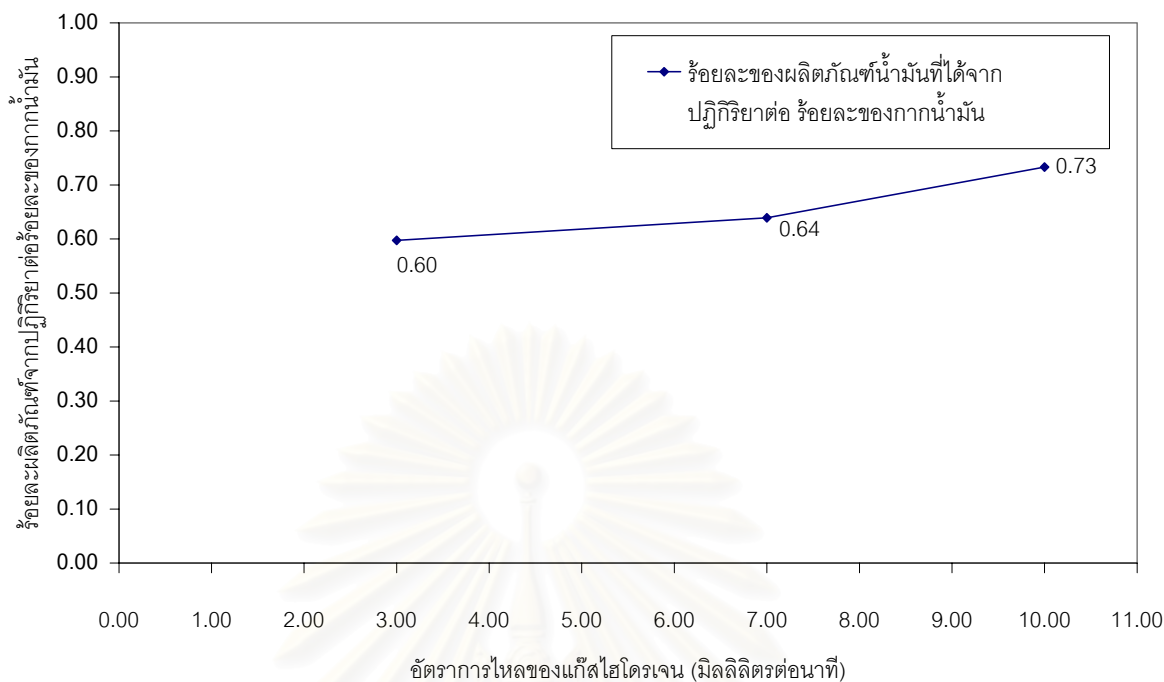
รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction oil yield /Long residue yield) อัตราการใช้ของสารป้อน 2.15 กรัมต่ออนาที อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการใช้ของแก๊สไฮโดรเจน 3, 7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที

จากรูปที่ 4.19 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส จะพบว่าอัตราส่วนระหว่างร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อมีการเติมแก๊สไฮโดรเจนในปริมาณที่มากขึ้น เนื่องจากปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมเข้าไปเพิ่มขึ้นนั้น ไม่ได้ส่งผลให้ช่วยในการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยอัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) ที่ได้ อยู่ในช่วง 0.62-0.70 นั้นแสดงให้เห็นว่า ปริมาณกากน้ำมันที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยา ยังคงมีค่าที่มากอยู่เมื่อเทียบกับปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จริงจาก

ปฏิกิริยา ซึ่งหมายถึงต้องเสียพลังงานในการกลั่นแยกกากน้ำมันออกจากผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ ต้องการสูง และเมื่อพิจารณาจากปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป 3 ค่าคือ 3, 7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาทีพบว่าที่ปริมาณการเติมแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 7 มิลลิลิตรต่ออนาที อุณหภูมิที่ทำการทดลอง 430 องศาเซลเซียส จะให้อัตราร้อยละของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) เท่ากับ 0.70 ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุด ซึ่งถือว่าใช้พลังงานในการกลั่นแยกสารตั้งต้นคือกากน้ำมันออกจากน้ำมันที่สามารถนำไปใช้ได้จริงน้อยที่สุด แต่ก็ยังถือว่ามีความใกล้เคียงกับที่ปริมาณการเติมแก๊สไฮโดรเจนเท่ากับ 3 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที

เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ที่ปริมาณการเติมแก๊สไฮโดรเจนค่าเดียวกันกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส แสดงผลดังรูปที่ 4.20 พบว่าที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส จะให้แนวโน้มเดียวกันกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียสคือ เมื่อปริมาณการเติมแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) ก็จะมีค่าใกล้เคียงกัน และที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาปริมาณการเติมแก๊สไฮโดรเจนทั้ง 3 ค่า คือที่ 3, 7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที พบว่าที่ปริมาณการเติมแก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่ออนาที จะให้อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) เท่ากับ 0.73 ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุด แต่ก็ยังถือว่าใกล้เคียงกับที่ปริมาณการเติมแก๊สไฮโดรเจน 3 และ 7 มิลลิลิตรต่ออนาที เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียสด้วยเช่นกัน แสดงถึงปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมเข้าไปเพิ่มขึ้นนั้น ไม่ได้ส่งผลให้ช่วยในการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลไกที่เกิดขึ้นมีเพียงกลไกการแตกโมเลกุลด้วยความร้อน (Thermal Cracking) เท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



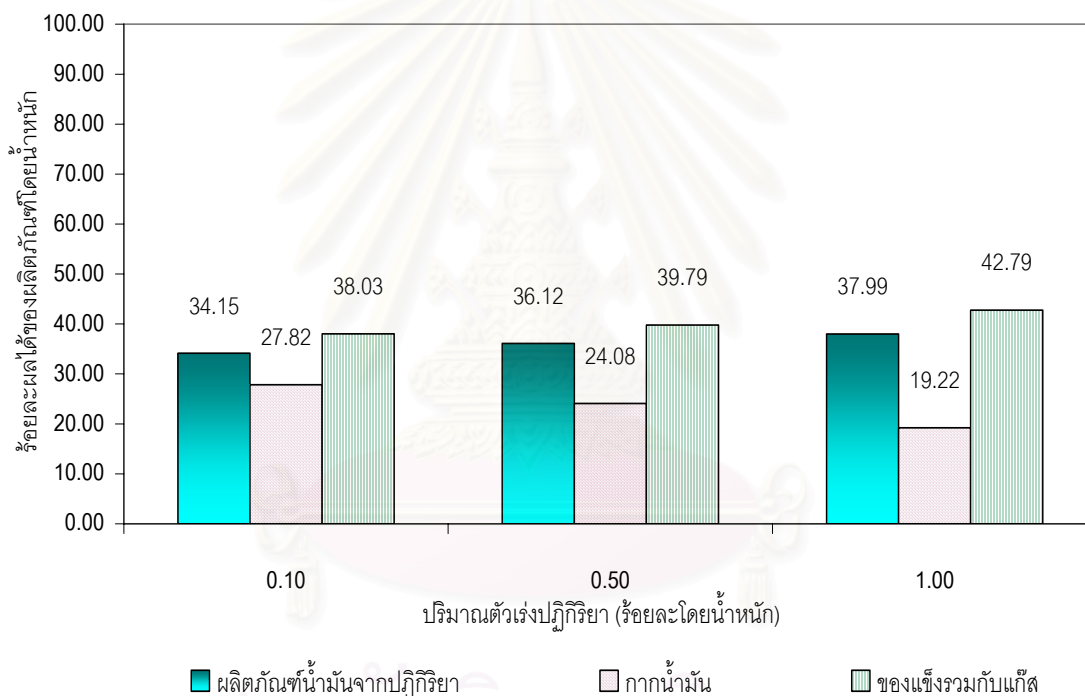
รูปที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction oil yield /Long residue yield) อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.16 กรัมต่ออนาท อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 3 , 7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาท

4.5 อิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน

การศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมัน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ โดยปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ กัน ดังนี้ ร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 และ 450 องศาเซลเซียส ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไปเท่ากับ 10 มิลลิลิตรต่ออนาท อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.77 กรัมต่ออนาทที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส และ อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.79 กรัมต่ออนาทที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสตามลำดับ ในการทดลองนี้ไม่ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียวโดยไม่เติมแก๊สไฮโดรเจน เนื่องจากการไม่เติมแก๊สไฮโดรเจนทำให้เครื่องปฏิกรณ์เกิดการอุดตันได้ ผลการทดลองของอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียสแสดงดังรูปที่ 4.21

จากรูป 4.21 เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากร้อยละ 0.1 เป็นร้อยละ 0.5 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก และใส่แก๊สไฮโดรเจนลงไปด้วยอัตรา 10 มิลลิลิตรต่ออนาท พบว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีค่าลดลงจากร้อยละ 61.97 เป็น 60.21 และ 57.21 ตามลำดับ ส่วนร้อยละผลได้ของ

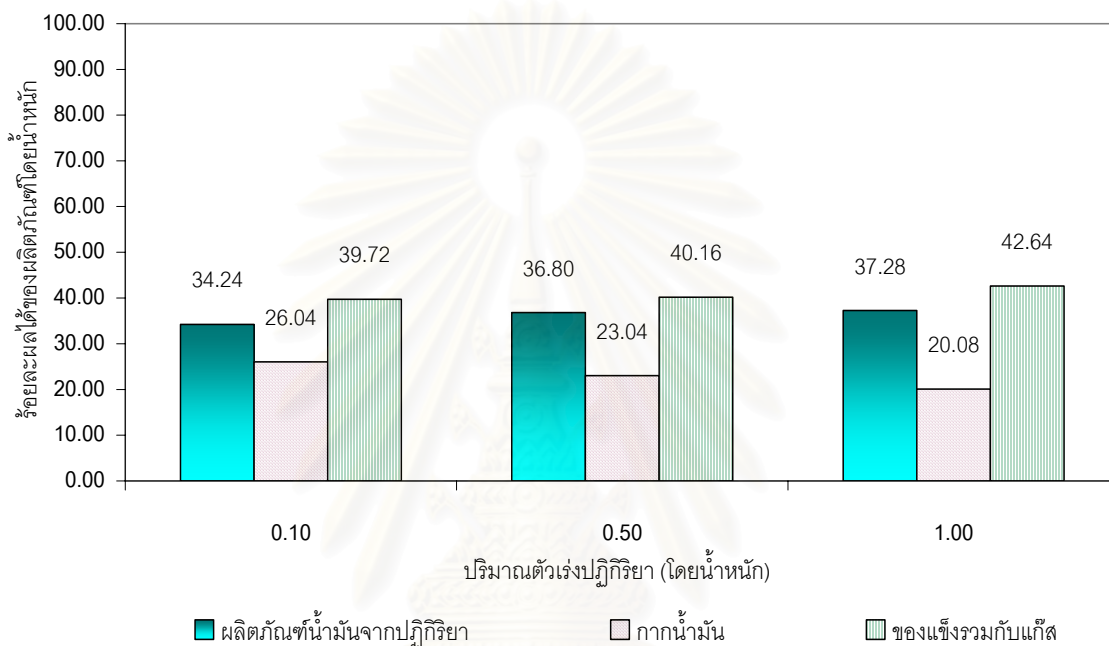
กากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สรวมกับของแข็งก็มีค่าลดลงด้วยเช่นกัน แต่ร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของสารตั้งต้น (Reaction oil yield) มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการที่ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใส่ลงไปมากขึ้นจะทำให้เกิดการแตกโมเลกุลของสารตั้งต้นได้ดี ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเข้าไปมีบทบาทในการแตกโมเลกุลของสารตั้งต้นคือกากน้ำมันให้เป็นสารผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นจึงทำให้สารตั้งต้นนั้นแตกโมเลกุลจากโมเลกุลใหญ่กลายเป็นโมเลกุลขนาดกลางและโมเลกุลขนาดเล็กลงจนอาจจะเล็กลงเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นการแตกโมเลกุลโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมและที่บริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาก็คงเกิดการเติมไฮโดรเจนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่อิ่มตัว



รูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันและร้อยละผลได้ของแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับของแข็ง ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.77 กรัมต่อนาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก

เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส สภาวะที่ทำการทดลองเช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส และ อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.79 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.22 พบว่าที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ให้แนวโน้ม

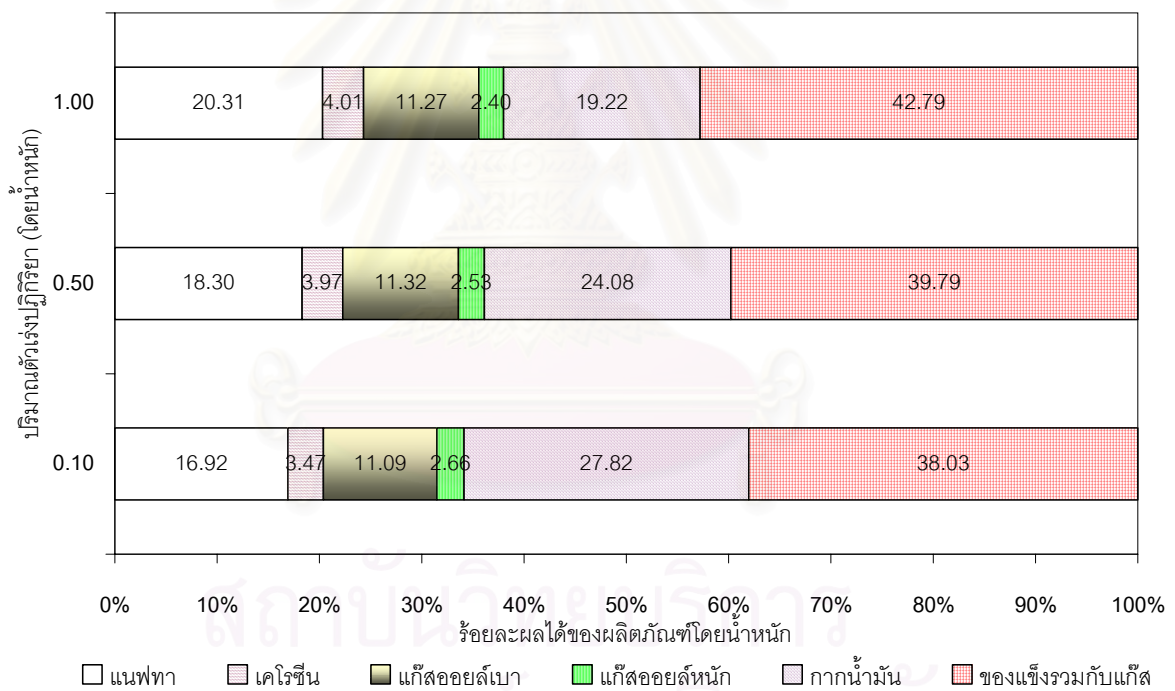
เดียวกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส คือ เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีค่าลดลงจากร้อยละ 60.28 เป็น 69.84 และ 57.36 ตามลำดับ ส่วนร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สรวมกับของแข็งก็มีค่าลดลงด้วย แต่ร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของสารตั้งต้น (Reaction oil yield) มีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันและร้อยละผลได้ของแก๊สไฮโดรคาร์บอนรวมกับของแข็ง ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.79 กรัมต่อนาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก

เมื่อนำผลิตภัณฑ์น้ำมันมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าการกระจายตัวตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่องมือ Simulated Distillation Gas Chromatography ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียสปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป 10 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการป้อนเข้าของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 2.77 กรัมต่อนาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก แสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.23 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้นจะได้ร้อยละผลได้ของแนฟทา เคโรซีน มีค่าเพิ่มขึ้น ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สรวมกับของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยามีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่ง

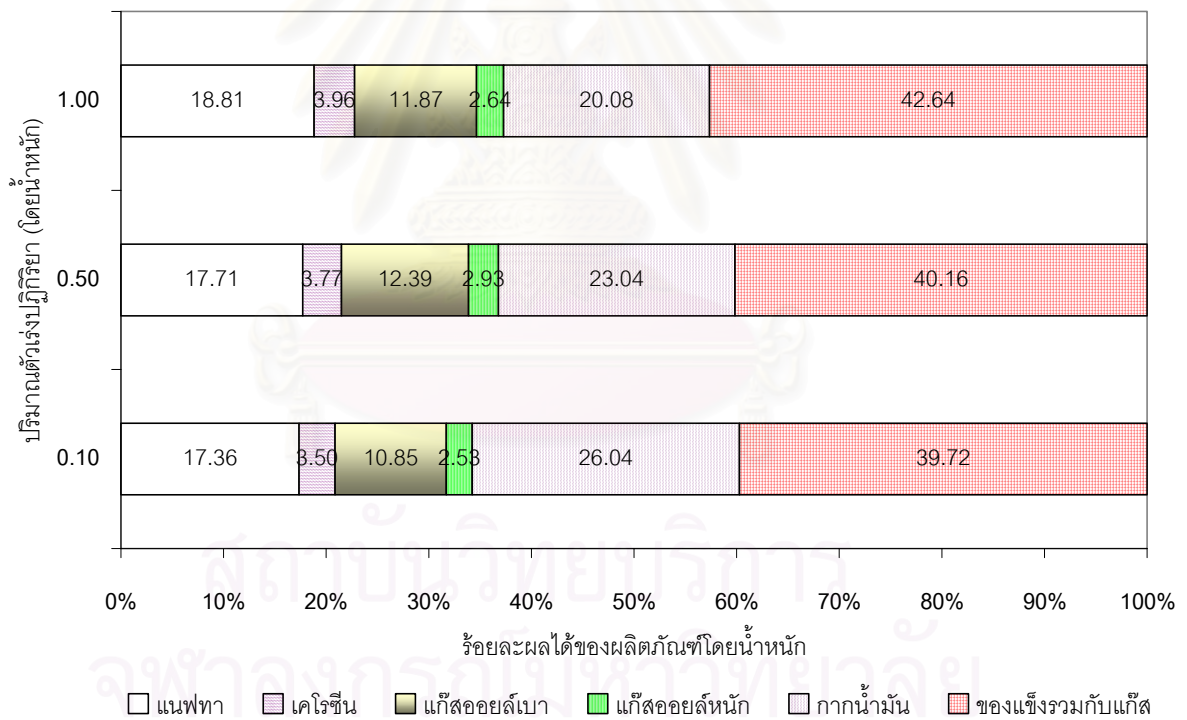
ปฏิกิริยามากขึ้น จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวหรือ active site สำหรับการแตกโมเลกุลของสารโมเลกุลใหญ่ เช่น กากน้ำมันให้มีโมเลกุลลดลงเช่นพวก แนฟทา เคโรซีน เมื่อทำการเปรียบเทียบการแตกโมเลกุลเมื่อมีการเติมและไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีการใส่แก๊สไฮโดรเจนลงไปด้วย พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยามีส่วนช่วยในการแตกโมเลกุลของสารเป็นอย่างมาก เนื่องจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและเติมแก๊สไฮโดรเจนลงไปในระบบนั้นจะส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking) โดยปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม จะเป็นการรวมระหว่างการแตกโมเลกุลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาและ ปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) เพื่อให้เกิดการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ขนาดสั้นลงและยังมีความร้อนที่ช่วยในการแตกโมเลกุลของสารตั้งต้น ในขณะที่เมื่อไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีเพียงความร้อนเท่านั้น ซึ่งอาจต้องใช้เวลาเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นถึงจะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ



รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.77 กรัมต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก

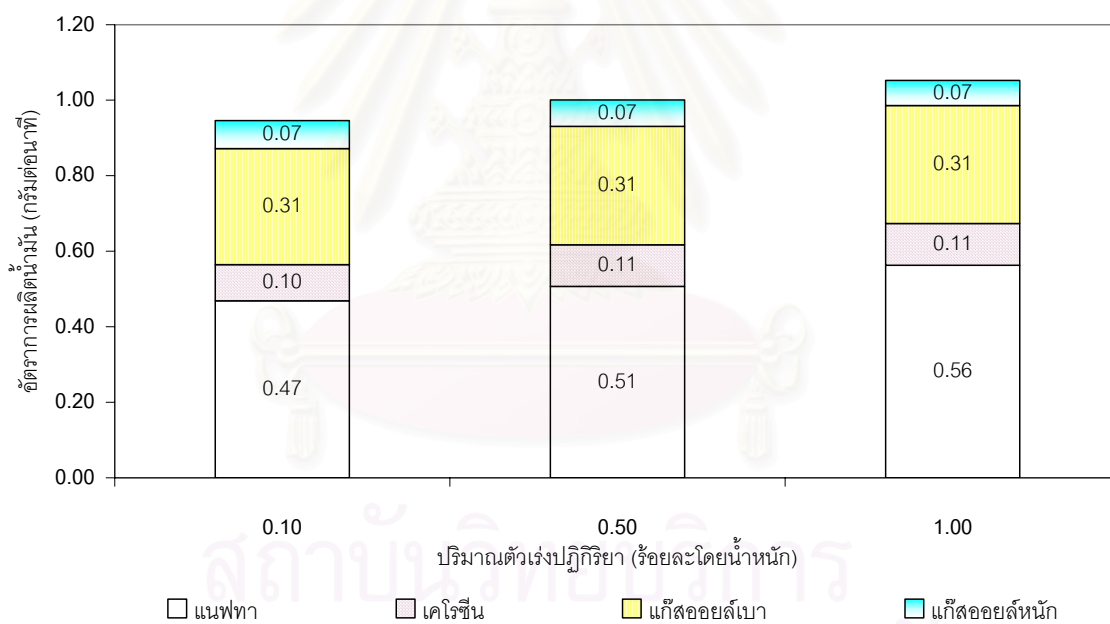
เมื่อทำการเปรียบเทียบการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก อัตราการป้อนเข้าของสาร

ป้อนเท่ากับ 2.79 กรัมต่ออนาที ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป 10 มิลลิลิตรต่ออนาที แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 2.24 พบว่าที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเดียวกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียสคือ เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นปริมาณของแนฟทาและเคโรซีนก็เพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นในปริมาณเพียงเล็กน้อย ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สและของแข็งก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ส่วนปริมาณกากน้ำมันซึ่งเป็นสารตั้งต้นมีค่าลดลงด้วยคือ เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจากร้อยละ 0.1 เป็น 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก ปริมาณแก๊สและของแข็งเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 39.72 เป็น 40.16 และ 42.64 ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและเติมแก๊สไฮโดรเจนลงไปในระบบนั้น จะส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking) โดยปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม จะเป็นการรวมระหว่างการแตกโมเลกุลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาและปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) เพื่อให้เกิดการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ขนาดสั้นลง จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แก๊สรวมกับของแข็งมากขึ้น



รูปที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.79 กรัมต่ออนาที อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่ออนาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก

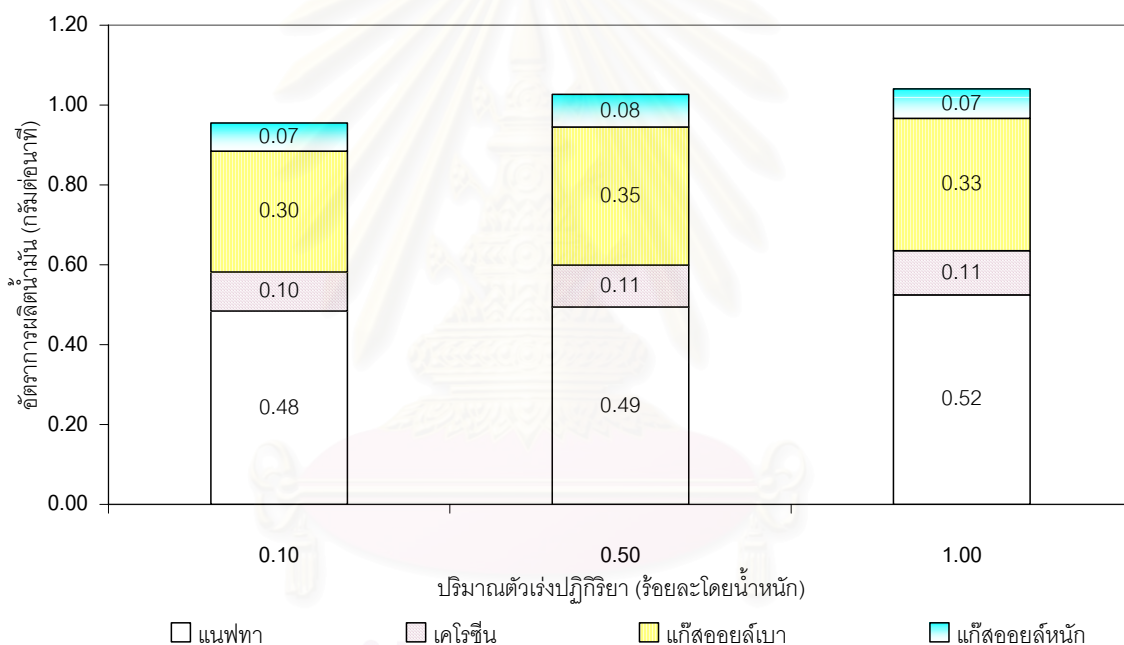
เมื่อวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันโดยต่อหนึ่งหน่วยเวลาเนื่องจากเป็นระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง (continuous) เพื่อดูกำลังการผลิตที่ได้ต่อนาที ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูป 4.25 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนเข้าของสารป้อน 2.77 กรัมต่อนาที พบว่าปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เต็มลงไป 10 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการผลิตน้ำมันที่สามารถนำไปใช้ได้มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เต็มลงไป ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เต็มลงไปเพิ่มขึ้นนั้นสามารถช่วยในการแตกโมเลกุลของสารโมเลกุลใหญ่คือกากน้ำมันให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันขนาดกลางและเล็กที่สามารถนำไปใช้ได้จริงเพิ่มขึ้นโดยพบว่าเมื่อเติมปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก และอัตราการป้อนเข้าของสารป้อนเป็น 2.77 กรัมต่อนาที จะสามารถผลิตแวนทาได้ปริมาณมากที่สุดคือ 0.56 กรัมต่อนาที จึงสรุปได้ว่า ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เต็มลงไปร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว



รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา (production rate) อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.77 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เต็มลงไปร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก

เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลาของอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก อัตราการป้อน

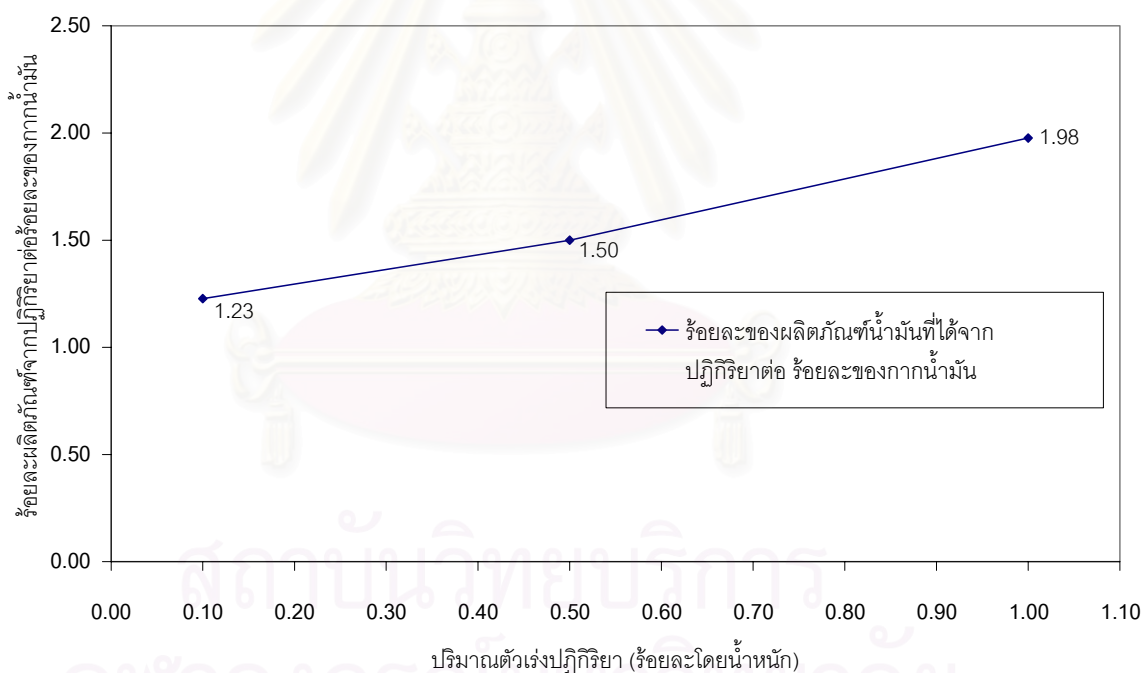
เข้าของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเท่ากับ 2.79 กรัมต่อนาที อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่อนาที แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 2.26 พบว่าที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเดียวกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียสคือ เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นปริมาณของ แนฟทาและเคโรซีนก็เพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นในปริมาณเพียงเล็กน้อยดังนี้คือ ที่ปริมาณการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.77 กรัมต่อนาที จะสามารถผลิต แนฟทา เคโรซีน แก๊สออยล์เบา และแก๊สออยล์หนักด้วยอัตราการผลิต 0.48, 0.10, 0.30 ,และ0.07 กรัมต่อนาทีตามลำดับซึ่งเป็นอัตราการผลิตที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับที่การเติมปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1 และ 0.5 โดยน้ำหนัก และปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สและของแข็งก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ส่วนปริมาณกากน้ำมันซึ่งเป็นสารตั้งต้นมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็นการเพิ่มตำแหน่งของการเกิดปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลได้มากขึ้น



รูปที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงต่อหนึ่งหน่วยเวลา (production rate) อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 2.79 กรัมต่อนาที อุณหภูมิที่ทำการทดลอง 450 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เติมลงไปร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0โดยน้ำหนัก

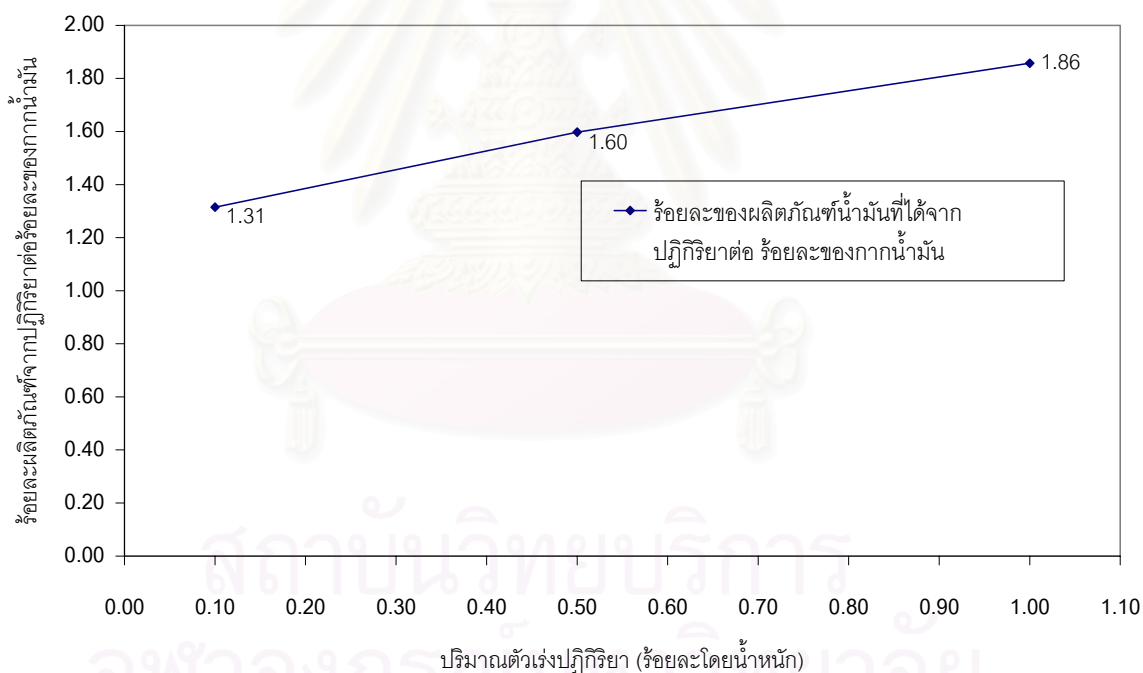
และเมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction oil yield /Long residue yield) ถ้าอัตราส่วนที่ได้มีค่ามากแสดงถึงว่าได้ปริมาณของน้ำมันที่นำไปใช้ได้จริงปริมาณมาก มีปริมาณของกากน้ำมันที่เหลือมีค่าน้อย มีผลดีคือจะเสียพลังงานในการกลั่นแยกกากน้ำมันออกจากน้ำมันที่ใช้ได้

จริงด้วยพลังงานที่น้อย จากรูปที่ 4.27 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส จะพบว่า อัตราส่วนระหว่างร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่มากขึ้น เนื่องจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เติมเข้าไปเพิ่มขึ้นนั้นเป็นการเพิ่ม active site ในการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากโมเลกุลใหญ่คือกากน้ำมันให้กลายเป็นโมเลกุลขนาดกลางและขนาดเล็กได้มากขึ้น และเมื่อพิจารณาจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เติมลงไป 3 ค่าคือร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนักพบว่าที่ปริมาณการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก จะให้อัตราส่วนระหว่างร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) เท่ากับ 1.98 ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุด ซึ่งถือว่าใช้พลังงานในการกลั่นแยกสารตั้งต้นคือกากน้ำมันออกจากน้ำมันที่เราสามารถนำไปใช้ได้จริงน้อยที่สุด จึงสรุปว่าที่ปริมาณการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณเหมาะสมที่สุดต่อการแตกโมเลกุลน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว



รูปที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction oil yield /Long residue yield) อัตราการป้อนเข้าของสารป้อน 2.77 กรัมต่อนาที อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก

และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction oil yield /Long residue yield) ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสแสดงผลดังรูป 4.28 พบว่าที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเดียวกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียสคือ เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction oil yield /Long residue yield) ก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และที่ปริมาณการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก จะให้อัตราส่วนระหว่างร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction yield /Long residue yield) เท่ากับ 1.86 ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุด ซึ่งถือว่าใช้พลังงานในการกลั่นแยกสารตั้งต้นคือกากน้ำมันออกจากน้ำมันที่เราสามารถนำไปใช้ได้จริงน้อยที่สุด จึงสรุปว่าที่ปริมาณการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก เป็นปริมาณเหมาะสมที่สุดต่อการแตกโมเลกุลน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเช่นกันกับที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของกากน้ำมันที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (Reaction oil yield /Long residue yield) อัตราการป้อนเข้าของสารป้อน 2.79 กรัมต่ออนาที อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่ออนาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1, 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก

4.6 เปรียบเทียบงานวิจัยที่ใกล้เคียง

อำนาจ (2547) ได้ศึกษากระบวนการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กรูปทรงกระบอก พบว่าภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 425 องศาเซลเซียส ความดันเริ่มต้นของแก๊สไฮโดรเจน 5 บาร์ ระยะเวลา 60 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

ส่วนงานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่ออย่างต่อเนื่อง พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการเกิดการแตกโมเลกุลคือ อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 0.34 กรัมต่อนาที ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป 10 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.0 % โดยน้ำหนัก

จากผลการวิจัยและงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน สามารถเปรียบเทียบภาวะที่ใช้ในการทดลองและผลการทดลองในตาราง 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

การทดลอง	อำนาจ (2547)	งานวิจัยนี้
สารตั้งต้น	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว
เครื่องปฏิกรณ์	แบบกะ	แบบต่อเนื่อง
ตัวเร่งปฏิกิริยา	ร้อยละ 5 ของเหล็กบน ถ่านกัมมันต์	ร้อยละ 5 ของเหล็กบนถ่าน กัมมันต์
อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง	375-425 องศาเซลเซียส	390-450 องศาเซลเซียส
เวลาที่ใช้ในการทดลอง	10-90 นาที	-
ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น	5-10 บาร์	ความดันบรรยากาศ
อัตราการไหลของแก๊ส ไฮโดรเจน	-	3,7 และ 10 มิลลิลิตรต่ออนาที
อัตราการไหลเข้าของสารป้อน	-	0.34-3.30 กรัมต่ออนาที
ร้อยละของตัวเร่งปฏิกิริยา	ร้อยละ 1-5 โดยน้ำหนัก	ร้อยละ 0.1-1.0 โดยน้ำหนัก
สภาวะที่เหมาะสมของการเกิด ปฏิกิริยา	อุณหภูมิ 425 องศาเซลเซียส, เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที, ความดันแก๊สไฮโดรเจน 5 บาร์, ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก	อุณหภูมิ 430-450 องศา- เซลเซียส, อัตราการไหลของ สารป้อน 2.77 กรัมต่ออนาที, อัตราการไหลของแก๊ส ไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตรต่อ อนาที, ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ น้ำมัน แก๊ส ของแข็ง	ร้อยละ 58.32 ร้อยละ 39.14 ร้อยละ 2.54	ร้อยละ 57.21-57.36 } ร้อยละ 42.64-42.79
องค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน		
- แนฟทา	ร้อยละ 23.74	ร้อยละ 18.81 - 20.31
- เคนโซลิน	ร้อยละ 9.87	ร้อยละ 3.96 - 4.01
- แก๊สออยล์ชนิดเบา	ร้อยละ 14.57	ร้อยละ 11.27 - 11.87
- แก๊สออยล์ชนิดหนัก	ร้อยละ 2.86	ร้อยละ 2.40 - 2.64
- กากน้ำมัน	ร้อยละ 4.30	ร้อยละ 19.22 - 20.28

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่ออย่างต่อเนื่อง โดยการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวจำเป็นต้องทำในสภาวะที่อุณหภูมิสูง ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแตกโมเลกุลน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง โดยตัวแปรที่ศึกษานั้นประกอบไปด้วย อุณหภูมิ อัตราการไหลของสารป้อนเข้า ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป และผลของการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสามารถนำไปวิเคราะห์ในเชิงปริมาณเพื่อหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลว และทำการวิเคราะห์ของเหลวในเชิงคุณภาพโดยวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ในช่วงจุดเดือดต่างๆ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Simulated Distillation Gas Chromatography) ผลการทดลองสามารถสรุปถึงสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วดังนี้

1. ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันอย่างมีนัยสำคัญต่อการแตกโมเลกุลน้ำมันหล่อลื่นโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ อุณหภูมิ และอัตราการไหลเข้าของสารป้อน
2. ภาวะที่เหมาะสมในการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยไม่เติมแก๊สไฮโดรเจน ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่ออย่างต่อเนื่องที่ให้แนวโน้มของค่าการกระจายตัวผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ดีที่สุด คือ

อุณหภูมิ	430 - 450	องศาเซลเซียส
อัตราการไหล	0.34	กรัมต่อนาที

โดยภาวะการทดลองข้างต้นได้ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน 46.99-51.09 โดยเป็นร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยา (Reaction oil yield) 40.56-43.79 ร้อยละผลได้ของแข็งและแก๊ส 48.91-53.01 โดยน้ำหนัก และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวมาวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography พบว่ามีผลิตภัณฑ์ดังนี้

ร้อยละผลได้ของแนฟทา	ร้อยละ	23.73 - 27.08
ร้อยละผลได้ของเคโรซีน	ร้อยละ	3.83 - 4.98
ร้อยละผลได้ของแก๊สออยล์ชนิดเบา	ร้อยละ	10.15 - 10.99
ร้อยละผลได้ของแก๊สออยล์ชนิดหนัก	ร้อยละ	1.69 - 1.89
ร้อยละผลได้ของกากน้ำมัน	ร้อยละ	6.44 - 7.31

3. การเติมแก๊สไฮโดรเจนลงไปไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีเพียงกลไกการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนเท่านั้น

4. ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันอย่างมีนัยสำคัญต่อการแตกโมเลกุลน้ำมันหล่อลื่นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ และเติมแก๊สไฮโดรเจนลงไป ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราการไหลเข้าของสารป้อน และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

5. ภาวะที่เหมาะสมในการแตกโมเลกุลโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดยมีการเติมแก๊สไฮโดรเจนและตัวเร่งปฏิกิริยา ในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่ออย่างต่อเนื่องที่ให้แนวโน้มของค่าการกระจายตัวผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ดีที่สุด คือ

อุณหภูมิ	430-450	องศาเซลเซียส
อัตราการไหล	2.77	กรัมต่อนาที
ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่เติมลงไป	10	มิลลิลิตรต่อนาที
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ	1	โดยน้ำหนัก

โดยภาวะการทดลองข้างต้นได้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน 57.21 - 57.36 โดยเป็นร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จริงจากปฏิกิริยา (Reaction oil yield) 37.28 - 37.99 ร้อยละผลได้ของแข็งและแก๊ส 42.64 - 42.79 โดยน้ำหนัก และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวมาวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography พบว่ามีผลิตภัณฑ์ดังนี้

ร้อยละผลได้ของแนฟทา	ร้อยละ	18.81- 20.31
ร้อยละผลได้ของเคโรซีน	ร้อยละ	3.96 - 4.01
ร้อยละผลได้ของแก๊สออยล์ชนิดเบา	ร้อยละ	11.27 -11.87
ร้อยละผลได้ของแก๊สออยล์ชนิดหนัก	ร้อยละ	2.40 - 2.64
ร้อยละผลได้ของกากน้ำมัน	ร้อยละ	19.2 - 20.08

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยระดับต่อไป

1. พัฒนาเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อขยายกำลังการผลิตในระดับที่ใหญ่ขึ้น
2. ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น ๆ ที่เหมาะสมโดยเฉพาะตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถสังเคราะห์ได้เอง และราคาไม่แพง รวมถึงการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่
3. ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตเชื้อเพลิงหรือสารเคมีที่ได้จากการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Available from : <http://www.ptit.org/oilbusiness/knowledge/knowledge09.html>
[2005, January 30]
2. อัญรัตน์ อภิบาลศรี และหทัยรัตน์ แปลงแดง. การนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
3. พล สาเกทอง และวีระชัย เปรมโยธิน. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. Available from : <http://library.kmitnb.ac.th/fulltext/tech41/16005.html>
[2005, February 1]
5. Chaiprasert, P. One-Step Catalytic Hydrotreatment of Used Automotive Lubricating Oil. Master Thesis, Program of Petrochemistry and Polymer Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, 1999.
6. Casumano, J. A. Catalysis in Coal. New York : Academic Press, 1978.
7. Satterfield, C.N. Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice. New York : McGraw-Hill, 1991.
8. วิทยา เรื่องพรวิสุทธิ. คະຕະໄດ໊ຊີສແບບເສທເທອໂຣຊີເນີຍສ : ຫຼັກທຸກຊື່ແລະການປະຍຸກຕໍ່.
กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
9. พิณพิมล สิงขรวงศ์. การผลิตถ่านกัมมันต์จากขาน้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537.
10. บุญชัย ตระกูลมหชัย. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนดในฟลูอิดไคส์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
11. เกศรา นุตาลัย และคณะ. การผลิตถ่านกัมมันต์จากดินพรุในห้องปฏิบัติการ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วารสารการวิจัยและพัฒนา. ปีที่ 4 ฉบับที่ 3, 2532.
12. ภัทรา ปัญญวัฒน์นกิจ. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน : กระตุ้นด้วยไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล, 2540.

13. Hassler, J. W. Purification with Activated Carbon. London : Leonard Hill, 1987
14. Bansel, R.C. Active Carbon. New York : Marcel Dekker, 1988.
15. Matson, J. S. and Mark V.B. Active carbon surface chemistry and adsorption from solution. New York : Marcel Dekker, 1971.
16. Schobert, H. H. The Chemistry of Hydrocarbon fuel. New York : 1991.
17. Raseev, S. Thermal and Catalytic Processes in Petroleum Refining. New York: Marcel Dekker, 2003.
18. ปราโมทย์ ไชยเวช. ปิโตรเลียมเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : สุนทรออฟเซท. 2537.
19. Gary, J.H. and Handwerk, G.H. Petroleum of Refining:Technology and Economics. Vol.5 New York: Marcel Dekker, 1975.
20. Gary, J.H. and Handwerk G.H. Catalytic Hydrocracking and Hydroprocessing. New York: Marcel Dekker, 1984 : 144-147.
21. Hagen, J. Industrial Catalysis. New York: Wiley-VCH, 1999.
22. วีระชัย เปรมโยธิน. เชื้อเพลิงและปิโตรเคมี. ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2534.
23. Serrano, D.P., Aguado, J., Escola, J.M. and Garagorri, E. Performance of a continuous screw kiln reactor for the thermal and catalytic conversion of polyethylene-lubricating oil base mixtures. Journal of Applied Catalysis B 4 (2003) : 95 – 105.
24. Nakamura, I. and Fujimoto, K. Development of new disposable catalyst for waste plastics treatment for high quality transportation fuel. Journal of Catalysis 27 (1996) : 175-179.
25. Hakki, M. I., Ahmet, R.O., Rahim, I., Jale Y., Mehmet, S. and Mithat, Y., Naphtha derived from polyolefins. Fuel 84 (2005) : 619-628.
26. Moliner, R., Lazaro, M. and Suelves, I. Valorization of lube oil waste by pyrolysis. Energy Fuels 11 (1997) : 1165 – 1170.
27. Walendziewski, J. and Steininger, M. Thermal and catalytic conversion of waste polyolefins. Journal of Catalysis 65 (2001) : 323 – 330.
28. Walendziewski, J. Continuous flow cracking of waste plastics. Fuel processing Technology 86 (2005) : 1265-1278.
29. Kim, S.S. and Kim, S.H. Pyrolysis kinetics of waste automobile lubricating oil. Fuel 79 (2000) : 1943-1949.

30. ประชาวัฒน์ แต่ภักดี. การแตกตัวของพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว
ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชา
เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
31. อำนวย เพิ่มทรัพย์สกุล. การเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่ง
ปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ โคบอลต์และโมลิบดีนัมบนอะลูมินา และ HZSM-5.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลง
กรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก1 แสดงผลศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อัตราการไหลเข้าของสารป้อน 1.23 กรัมต่อนาที

Temp (oC)	% oil yield	reaction yield	flow rate (g/min)	% naphtha	Yield Naphtha	Production rate	% kerosene	Yield Kerosene	Production rate	% light gas oil	Yield Light gas oil	Production rate	% heavy gas oil	Yield Heavy gas	Production rate	%long residue	Yield Long	Yield Solid+Gas	reaction yield/yield long residue
390	88.33	16.43	1.23	6.60	5.83	0.07	1.60	1.41	0.02	7.50	6.63	0.08	2.90	2.56	0.03	81.40	71.90	11.67	0.23
410	82.86	22.21	1.23	10.50	8.70	0.11	2.50	2.07	0.03	10.30	8.53	0.10	3.50	2.90	0.04	73.20	60.65	17.14	0.37
430	49.90	38.38	1.23	40.70	20.31	0.25	8.80	4.39	0.05	23.00	11.48	0.14	4.40	2.20	0.03	23.10	11.53	50.10	3.33
450	43.53	32.60	1.23	39.00	16.98	0.21	8.80	3.83	0.05	22.70	9.88	0.12	4.40	1.92	0.02	25.10	10.93	56.47	2.98

ตารางที่ ก2 แสดงผลศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของสารป้อนในปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส

feed flow rate (g/min)	% oil yield	reaction yield	flow rate(g/min)	% naphtha	Yield Naphtha	production rate Naptha	% kerosene	Yield Kerosene	production rate kerosene	% light gas oil	Yield Light gas oil	production rate light gas oil	%heavy gas oil	YieldHeavy gas oil	production rate heavy gas oil	%long residue	Yield Long residue	Yield Solid+Gas	reaction yield/yield long residue
3.30	75.08	32.66	3.30	19.80	14.87	0.49	4.20	3.15	0.10	15.40	11.56	0.38	4.10	3.08	0.10	56.50	42.42	24.92	0.77
1.00	56.64	39.76	1.00	37.10	21.01	0.21	7.50	4.25	0.04	21.30	12.06	0.12	4.30	2.44	0.02	29.80	16.88	43.36	2.36
0.34	51.09	43.79	0.34	53.00	27.08	0.09	7.50	3.83	0.01	21.50	10.99	0.04	3.70	1.89	0.01	14.30	7.31	48.91	5.99

ตารางที่ ก3 แสดงผลศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของสารป้อนในปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส

feed flow rate (g/min)	% oil yield	reaction yield	flow rate(g/min)	% naphtha	Yield Naphtha	production rate Naptha	% kerosene	Yield Kerosene	production rate kerosene	% light gas oil	Yield Light gas oil	production rate light gas oil	%heavy gas oil	YieldHeavy gas oil	production rate heavy gas oil	%long residue	Yield Long residue	Yield Solid+Gas	reaction yield/yield long residue
3.3	51.74	31.93	3.3	31.3	16.2	0.5344	6.4	3.31	0.109	19.6	10.14	0.335	4.4	2.28	0.08	38.3	19.82	48.26	1.61
1.00	45.00	37.71	1.00	48.60	21.87	0.22	10.00	4.50	0.05	21.60	9.72	0.10	3.60	1.62	0.02	16.20	7.29	55.00	5.17
0.34	46.99	40.56	0.34	50.50	23.73	0.08	10.60	4.98	0.02	21.60	10.15	0.03	3.60	1.69	0.01	13.70	6.44	53.01	6.30

ตารางที่ ก4 แสดงผลศึกษาอิทธิพลของปริมาณแก๊สไฮโดรเจนในปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส

H ₂ flow rate (ml/min)	% oil yield	reaction yield	flow rate(g/min)	% naphtha	Yield Naphtha	production rate Naphtha	% kerosene	Yield Kerosene	production rate kerosene	% light gas oil	Yield Light gas oil	production rate light gas oil	%heavy gas oil	YieldHeavy gas oil	production rate heavy gas oil	%long residue	Yield Long residue	Yield Solid+Gas	reaction yield/yield long residue
3.00	56.88	22.64	2.15	16.70	9.50	0.20	3.90	2.22	0.05	14.90	8.47	0.18	4.30	2.45	0.05	60.20	34.24	43.12	0.66
7.00	56.72	23.42	2.15	18.90	10.72	0.23	4.00	2.27	0.05	14.30	8.11	0.17	4.10	2.33	0.05	58.70	33.29	43.28	0.70
10.00	63.82	24.44	2.15	17.70	11.30	0.24	3.60	2.30	0.05	13.30	8.49	0.18	3.70	2.36	0.05	61.70	39.38	36.18	0.62

ตารางที่ ก5 แสดงผลศึกษาอิทธิพลของปริมาณแก๊สไฮโดรเจนในปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส

H ₂ flow rate (ml/min)	% oil yield	reaction yield	flow rate(g/min)	% naphtha	Yield Naphtha	production rate Naphtha	% kerosene	Yield Kerosene	production rate kerosene	% light gas oil	Yield Light gas oil	production rate light gas oil	%heavy gas oil	YieldHeavy gas oil	production rate heavy gas oil	%long residue	Yield Long residue	Yield Solid+Gas	reaction yield/yield long residue
3.00	58.27	21.79	2.16	16.40	9.56	0.21	3.50	2.04	0.04	13.70	7.98	0.17	3.80	2.21	0.05	62.60	36.48	41.73	0.60
7.00	60.85	23.73	2.16	16.90	10.28	0.22	3.60	2.19	0.05	14.40	8.76	0.19	4.10	2.49	0.05	61.00	37.12	39.15	0.64
10.00	65.36	27.65	2.16	18.80	12.29	0.27	4.00	2.61	0.06	15.40	10.07	0.22	4.10	2.68	0.06	57.70	37.71	34.64	0.73

ตารางที่ ก6 แสดงผลศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส แก๊สไฮโดรเจน 10 ml/min

Amount of catalyst (%wt)	% oil yield	reaction yield	flow rate(g/min)	% naphtha	Yield Naphtha	production rate Naphtha	% kerosene	Yield Kerosene	production rate kerosene	% light gas oil	Yield Light gas oil	production rate light gas oil	%heavy gas oil	YieldHeavy gas oil	production rate heavy gas oil	%long residue	Yield Long residue	Yield Solid+Gas	reaction yield/yield long residue
0.10	61.97	34.15	2.77	27.30	16.92	0.47	5.60	3.47	0.10	17.90	11.09	0.31	4.30	2.66	0.07	44.90	27.82	38.03	1.23
0.50	60.21	36.12	2.77	30.40	18.30	0.51	6.60	3.97	0.11	18.80	11.32	0.31	4.20	2.53	0.07	40.00	24.08	39.79	1.50
1.00	57.21	37.99	2.77	35.50	20.31	0.56	7.00	4.01	0.11	19.70	11.27	0.31	4.20	2.40	0.07	33.60	19.22	42.79	1.98

ตารางที่ ก7 แสดงผลศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการแตกโมเลกุลของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส แก๊สไฮโดรเจน 10 ml/min

Amount of catalyst (%wt)	% oil yield	reaction yield	flow rate(g/min)	% naphtha	Yield Naphtha	production rate Naphtha	% kerosene	Yield Kerosene	production rate kerosene	% light gas oil	Yield Light gas oil	production rate light gas oil	%heavy gas oil	YieldHeavy gas oil	production rate heavy gas oil	%long residue	Yield Long residue	Yield Solid+Gas	yield/yield long
0.10	60.28	34.24	2.79	28.80	17.36	0.48	5.80	3.50	0.10	18.00	10.85	0.30	4.20	2.53	0.07	43.20	26.04	39.72	1.31
0.50	59.84	36.80	2.79	29.60	17.71	0.49	6.30	3.77	0.11	20.70	12.39	0.35	4.90	2.93	0.08	38.50	23.04	40.16	1.60
1.00	57.36	37.28	2.79	32.80	18.81	0.52	6.90	3.96	0.11	20.70	11.87	0.33	4.60	2.64	0.07	35.00	20.08	42.64	1.86

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณปริมาณ เหล็กเมื่อใช้สำหรับการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีการเคลือบฝัง (Impregnated) บนตัวรองรับถ่านกัมมันต์

$$\text{มวลโมเลกุลของ } \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O} = 341.84$$

$$\text{มวลโมเลกุลของเหล็ก} = 55.84$$

ต้องการเตรียม 50.0 กรัมโดยโหลดเหล็ก 5% บนตัวรองรับถ่านกัมมันต์ 50 กรัม

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของ } \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O} &= \frac{\text{มวลโมเลกุลของ } \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O} \times \text{ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา}}{\text{มวลโมเลกุลของเหล็ก}} \\ &= \frac{341.84 \text{ กรัม/โมล} \times 2.5 \text{ กรัม}}{55.84 \text{ กรัม/โมล}} \\ &= 15.31 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้นต้องใช้ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 15.31 กรัมละลายในน้ำที่มากเกินไปก่อนที่จะทำการฝังตัวบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์ 50 กรัม โดยวิธีการเคลือบฝังแบบเปียก

2. การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ และ ร้อยละผลของผลิตภัณฑ์องค์ประกอบ

$$\text{ร้อยละผลของผลิตภัณฑ์น้ำมัน} = \frac{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้} \times 100}{\text{น้ำหนักสารตั้งต้น}}$$

ร้อยละผลของผลิตภัณฑ์แก๊สรวมกับของแข็ง = 100 - ร้อยละผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

$$\text{ร้อยละผลได้ของแฉฟทา} = \frac{\% \text{แฉฟทาจาก DGC} \times \text{ร้อยละของผลิตภัณฑ์น้ำมัน}}{100}$$

$$\text{ร้อยละผลได้เคโรซีน} = \frac{\% \text{เคโรซีนจาก DGC} \times \text{ร้อยละของผลิตภัณฑ์น้ำมัน}}{100}$$

$$\text{ร้อยละผลได้แก๊สออกยล์เบา} = \frac{\% \text{แก๊สออกยล์เบาจาก DGC} \times \text{ร้อยละของผลิตภัณฑ์น้ำมัน}}{100}$$

$$\text{ร้อยละผลได้แก๊สออกยล์หนัก} = \frac{\% \text{แก๊สออกยล์หนักจาก DGC} \times \text{ร้อยละของผลิตภัณฑ์น้ำมัน}}{100}$$

$$\text{ร้อยละผลได้กากน้ำมัน} = \frac{\% \text{กากน้ำมันจาก DGC} \times \text{ร้อยละของผลิตภัณฑ์น้ำมัน}}{100}$$

3. การคำนวณกำลังการผลิตต่อหนึ่งหน่วยเวลา

กำลังการผลิตแอฟทาต่อหนึ่งนาที่ =

$$\frac{\text{อัตราการไหลเข้าของสารป้อน} \times \% \text{แอฟทาจาก DGC} \times \text{ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์}}{100 \times 100}$$

4. ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยา = ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน - ร้อย
 ละผลได้ของกาน้ำมันที่เหลือจากปฏิกิริยา



สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์การกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือด (Boiling Distribution)

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography จะวิเคราะห์ตามจุดเดือดของแต่ละสารดังต่อไปนี้

IBP – 200 °C	=	Gasoline
200°C – 250 °C	=	Kerosene
250°C – 350 °C	=	Light Gas Oil
350°C – 370 °C	=	Gas Oil
370°C – FBP	=	Long residue

การวิเคราะห์จะเริ่มจากการเตรียมสารตัวอย่าง โดยนำผลิตภัณฑ์น้ำมันไปละลายในสารละลายคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) ในอัตรา 1 ส่วนใน 100 ส่วนโดยปริมาตร จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ Varian รุ่น CP-3800 สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำมันตามจุดเดือด ตามมาตรฐาน ASTM D2887 พร้อมทั้งดีเทคเตอร์แบบ FID ใช้ซอฟต์แวร์ Simulated Distillation คอลัมน์ที่ใช้เป็น Capillary column มี stationary phase คือ CP-SIL 5CB ยาว 15 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร และความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมครอน ภาวะที่ใช้คือ อุณหภูมิหัวฉีด 298 องศาเซลเซียส อุณหภูมิคอลัมน์ 30-320 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ ดีเทคเตอร์ 320 องศาเซลเซียส โดยมี carrier gas เป็น helium gas ที่อัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อ นาที ด้วย split ratio 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวจินตนา สุมารินทร์ เกิดเมื่อวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ จ. นครปฐม เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรีเมื่อ ปี พ.ศ. 2543 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค สาขาเคมีวิศวกรรม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2547



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย