



ภาวะการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของแก๊สออกไซด์จากโรงกลั่นฝาง
Catalytic Cracking Condition of Fang Gas Oil

กาญจนา เพชรประสิทธิ์
Kanjana Patprasit

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
Master of Engineering Thesis in Chemical Engineering
Prince of Songkla University
2544

๗

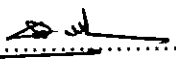
เลขหมู่	QD281.C3	ท62	2544	ค.2
Bib Key	211861			
	1.1.ค.ค. 2544			

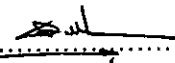


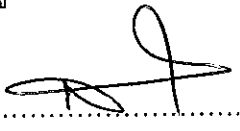
ชื่อวิทยานิพนธ์ ภาวะการแตกตัวเชิงแรงปฏิกิริยาของแก๊สออกไซด์จากโรงกลั่นฝาง
ผู้เขียน นางสาวกาญจนา เพชรประสิทธิ์
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

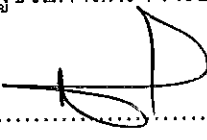
คณะกรรมการที่ปรึกษา

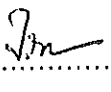
คณะกรรมการสอบ

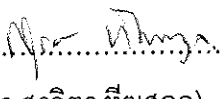

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)



.....กรรมการ
(ดร.สุธรรม สุขมณี)


.....กรรมการ
(ดร.สุธรรม สุขมณี)

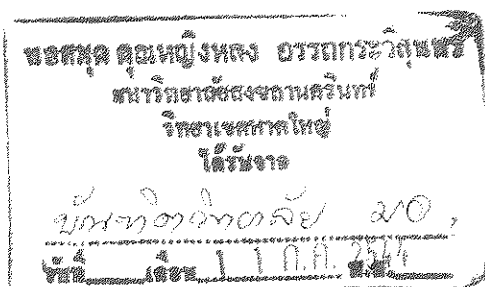

.....กรรมการ
(ดร.จรัญ บุญกาญจน์)


.....กรรมการ
(ดร.สุจิตร ทิมสกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี


.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติ ทฤษฎีคุณ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



ชื่อวิทยานิพนธ์ ภาวะการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของแก๊สออกไซด์จากโรงกลั่นฝาง
ผู้เขียน นางสาวกาญจนา เพชรประสิทธิ์
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

จากการศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของแก๊สออกไซด์จากโรงกลั่นฝาง (ช่วงจุดเดือด 260-340 องศาเซลเซียส) ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาจากโรงกลั่นไทยออกไซด์ 5 ชนิด ด้วยเครื่องทดสอบจุลแกมมันตภาพ (microactivity test unit : MAT) โดยพิจารณาแนวโน้มของร้อยละการเปลี่ยน (conversion) ของแก๊สออกไซด์ ผลได้ (yield) และสภาพการเลือก (selectivity) ผลผลิตที่สนใจ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาวะของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ในช่วง 2.40-4.80 อุณหภูมิ 440-480 องศาเซลเซียส และความเร็วปฏิกิริยา 11.28-22.56 ชั่วโมง⁻¹ พบว่าเมื่ออัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าร้อยละการเปลี่ยน ผลได้และสภาพการเลือกได้เพิ่มขึ้น และอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ 3.00-3.43 ให้ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีนสูงสุด (41.01-45.75 และ 0.602-0.722 ตามลำดับ) ในขณะที่ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สจะแสดงผลตรงข้ามกับผลได้แก๊สโซลีน ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่สูงขึ้น จะทำให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่ผลได้และสภาพการเลือกได้ก็มีแนวโน้มลดลง โดยที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส เกิดผลได้ได้น้อยสุด และที่อุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส ให้ค่าผลได้แก๊สโซลีนสูงสุด (36.98-45.75) สำหรับผลของความเร็วปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์มีแนวโน้มลดลง ทำให้ผลได้ได้น้อยและแก๊สโซลีน สภาพการเลือกได้และแก๊สโซลีน มีแนวโน้มลดลงด้วย ในขณะที่ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อความเร็วปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยความเร็วปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับการแตกตัวของแก๊สออกไซด์จากโรงกลั่นฝางอาจอยู่ในช่วง 16.11 ชั่วโมง⁻¹

Thesis Title Catalytic Cracking Condition of Fang Gas Oil
Author Miss Kanjana Patprasit
Major Program Chemical Engineering
Academic Year 2000

Abstract

The catalytic cracking of Fang gas oil (BP. 260-340 °C) with Thai Oil catalysts was studied by using Microactivity Test Unit. Determination for trends in terms of conversion, yield and selectivity of product was conducted. The cat/oil ratio range was 2.40 - 4.80, the temperature was 440 - 480 °C and the WHSV was between 11.28 – 22.56 hr⁻¹. From the study, an increase in cat/oil ratio led to an increase in percent conversion, coke yield and coke selectivity. The yield and selectivity of gasoline (41.01-45.75 and 0.60-0.72) was maximum at the cat/oil ratio been 3.00 – 3.43. The yield and selectivity of gas was inversely proportional to the gasoline yield. Increasing temperature led to an increase in percent conversion, yield and selectivity of gas, while the coke yield and coke selectivity were decreased. Minimum coke yield was obtained when temperature was 480 °C, and maximum gasoline yield (36.94-45.75) was obtained at 460 °C. An increase in WHSV led to a decrease in percent conversion, yield and selectivity of coke and gasoline. Gas yield increased slightly when WHSV was increased. For catalytic cracking of Fang gas oil, the optimum WHSV was 16.11 hr⁻¹

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยความกรุณาให้คำปรึกษา เสนอแนวทางในการวิจัยและการตรวจแก้วิทยานิพนธ์ ตลอดจนชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่พบในการทำวิจัยจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ดร.สุธรรม สุขมณี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ขอขอบพระคุณ ดร.จรัญ บุญกาญจน์ กรรมการร่วม และ ดร.สุรจิตร ที่มสกุล กรรมการจากบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทำให้การวิจัยดำเนินไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่จัดสรรเงินทุนการศึกษาเพื่อสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกในครอบครัวด้วยความเคารพรักที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนสำหรับกำลังใจและความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดจนทุกท่านที่มีได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ขึ้นได้

กาญจนา เพชรประสิทธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(12)
คำสำคัญ	(15)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	47
ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	47
2 วิธีการวิจัย	48
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา	48
วัสดุและสารเคมี	48
วิธีดำเนินการและสภาวะที่ใช้ในการทดลอง	49
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	53
ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์	54
ผลของอุณหภูมิ	68
ผลของความเร็วปฏิกิริยา	77
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	84
บทสรุป	84
ข้อเสนอแนะ	85
บรรณานุกรม	86

	หน้า
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก การเตรียมสารป้อนสำหรับทดสอบค่ากัมมันตภาพ	90
ภาคผนวก ข การลดความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง CLY-1 Hydrothermal Aging Unit	94
ภาคผนวก ค เครื่องทดสอบจุลกัมมันตภาพ (microactivity test unit รุ่น WFS-1D)	96
ภาคผนวก ง แก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatograph : GC รุ่น GC-14B) และ integrator รุ่น HP 3295	100
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์หาปริมาณได้ก	103
ภาคผนวก ฉ ผลของการเปลี่ยนแปลงภาวะในการดำเนินการทดสอบ ต่อผลผลิตจากปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของ แก๊สออกซิลโดยตัวเร่งปฏิกิริยา	105
ประวัติผู้เขียน	137

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1 สมบัติของซีไอไลท์สังเคราะห์	11
2 เปรียบเทียบผลได้และคุณภาพของแก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยา REY และ USY	17
3 ปฏิริยาสำคัญที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา	40
4 สมบัติของแก๊สออกยล์	50
5 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา A, C, D และ E	50
6 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุส	52
7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วปฏิกิริยาต่ออัตราส่วนผลได้แก๊สโซลีนต่อผลได้แก๊สของตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ	81
8 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยล์ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส	105
9 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยล์ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส	105
10 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยล์ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส	106
11 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยล์ต่อผลได้แก๊สโซลีนที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส	106
12 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยล์ต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีนที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส	107
13 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยล์ต่อผลได้แก๊สโซลีนที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส	107
14 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยล์ต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีนที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส	108
15 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยล์ต่อผลได้แก๊สโซลีนที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส	108
16 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยล์ต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีนที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส	109

ตาราง	หน้า
61 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกโค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยา E	131
62 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้โค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล	132
63 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกโค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล	132
64 ผลของความเร็วปฏุมิตต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของแก๊สออกยล	133
65 ผลของความเร็วปฏุมิตต่อผลได้แก๊สไซลีน	133
66 ผลของความเร็วปฏุมิตต่อสภาพการเลือกแก๊สไซลีน	134
67 ผลของความเร็วปฏุมิตต่อผลได้แก๊ส	134
68 ผลของความเร็วปฏุมิตต่อสภาพการเลือกแก๊ส	135
69 ผลของความเร็วปฏุมิตต่อผลได้โค้ก	135
70 ผลของความเร็วปฏุมิตต่อสภาพการเลือกโค้ก	136

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 หน่วยการแตกตัวเชิงแรงปฏิกิริยาในสภาพฟลูอิดซ์ (FCC unit)	7
2 โครงสร้างรูปทรงสี่หน้าของซิลิกอนหรืออลูมิเนียม	10
3 รูปทรงเรขาคณิตของ USY และ REY ซีโอไลต์	12
4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนซิลิกอนต่ออลูมิเนียมต่อหนึ่งหน่วยเซลล์	15
5 ความสัมพันธ์ระหว่างหนึ่งหน่วยเซลล์ต่อสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยา	16
6 อิทธิพลของหนึ่งหน่วยเซลล์ต่อผลผลิตได้กและผลผลิตของเหลว	16
7 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงกัมมันตภาพระหว่าง REY และ USY ซีโอไลต์	18
8 อิทธิพลของปริมาณแรร์เอิร์ทต่อผลผลิตแก๊สโซลีนและแก๊สโซลีนออกเทน	19
9 อิทธิพลของโซดาต่อค่าออกเทน	20
10 การกระจายขนาดอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา FCC	23
11 อิทธิพลของแรร์เอิร์ทต่อกัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา	25
12 ความสัมพันธ์ปริมาณโลหะบนตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา	26
13 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส	54
14 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส	54
15 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส	55
16 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้แก๊สโซลีนที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส	57
17 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีนที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส	57
18 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้แก๊สโซลีนที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส	58
19 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีนที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส	58

ภาพประกอบ	หน้า
34 ผลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา A	68
35 ผลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา C	69
36 ผลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D	69
37 ผลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา E	70
38 ผลของอุณหภูมิต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุ	70
39 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้แก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D	71
40 ผลของอุณหภูมิต่อผลสภาพการเลือกแก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D	72
41 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้แก๊ส โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D	74
42 ผลของอุณหภูมิต่อผลสภาพการเลือกแก๊ส โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D	74
43 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ไค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D	76
44 ผลของอุณหภูมิต่อผลสภาพการเลือกไค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D	76
45 ผลของความเร็วปฏิกิริยาต่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์	78
46 ผลของความเร็วปฏิกิริยาต่อผลได้แก๊สโซลีน	78
47 ผลของความเร็วปฏิกิริยาต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีน	79
48 ผลของความเร็วปฏิกิริยาต่อผลได้แก๊ส	79
49 ผลของความเร็วปฏิกิริยาต่อสภาพการเลือกแก๊ส	80
50 ผลของความเร็วปฏิกิริยาต่อผลได้ไค้ก	80
51 ผลของความเร็วปฏิกิริยาต่อสภาพการเลือกไค้ก	81
52 ผลของความเร็วปฏิกิริยาต่ออัตราส่วนผลได้แก๊สโซลีนต่อผลได้แก๊ส	82
53 แสดงเครื่องมือการกลั่นแบบจุดเดือดจริง	93
54 แสดง process diagram ของเครื่องทดสอบจุลก็มันันตภาพ	99
55 กราฟของ standard n-C ₁₂ ด้วยเครื่อง GC	102
56 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ผลผลิตที่เป็นของเหลวด้วยเครื่อง GC	102
57 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง TGA	103

คำสำคัญที่ใช้ในงานวิจัย

กัมมันตภาพ (activity) หมายถึง ระดับความสามารถในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา

ร้อยละการเปลี่ยน (% conversion) หมายถึง ร้อยละของสารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยาไปต่อปริมาณสารตั้งต้นที่ป้อนเข้าไป

สภาพการเลือก (selectivity) หมายถึง อัตราส่วนของน้ำหนักผลผลิตที่สนใจต่อน้ำหนักผลผลิตทั้งหมด

ผลได้ (yield) หมายถึง ปริมาณของสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาเกิดเป็นผลผลิตที่สนใจ

แก๊สโซลีน (gasoline) หมายถึง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอน 5 - 12 อะตอม

แก๊ส (gas) หมายถึง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอน 1 - 4 อะตอม

โค้ก (coke) หมายถึง สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นหลัก จะอยู่ในรูปฟอร์มวงแหวนอะโรแมติกที่หลอมรวมกัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโค้กปกคลุมจะทำให้มีกัมมันตภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาลดลง

อัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ (cat/oil ratio) หมายถึง น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดสอบหารด้วยน้ำหนักของสารป้อนที่ป้อนเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์

ความเร็วปริภูมิ (Weight Hourly Space Velocity : WHSV) หมายถึง อัตราส่วนของสารป้อนในหน่วยมวลต่อเวลา หารด้วยน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาในหน่วยมวล

บทที่ 1

บทนำ

บทนำตนเอง

หน่วยการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาในสภาพฟลูอิด (fluid catalytic cracking : FCC) เป็นกระบวนการหลักและมีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมีในปัจจุบัน โดยมีหน้าที่หลักในการผลิตแก๊สโซลีนจากแก๊สออยล์ ซึ่งหน่วยการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาในสภาพฟลูอิดของแต่ละโรงกลั่นจะมีลักษณะที่ต่างกันอย่างสิ้นเชิงทั้งขนาด รูปร่าง การดำเนินการ และสมบัติของวัสดุป้อน (feed stock) และนอกจากนี้แม้แต่โรงกลั่นแห่งเดียวกันอาจมีการเปลี่ยนแปลงการผลิต เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดเช่น เปลี่ยนจากการดำเนินการเพื่อให้ได้แก๊สโซลีนที่มีค่าออกเทนสูงสุดเป็นการดำเนินการที่ได้ปริมาณแก๊สโซลีนสูงสุด โดยอาจมีการเปลี่ยนสารป้อนจากแก๊สออยล์เบาเป็นแก๊สออยล์ที่หนักขึ้น แต่เนื่องจากโรงกลั่นเหล่านี้ถูกจำกัดในเรื่องตัวแปรดำเนินการ ซึ่งได้แก่ การหมุนเวียนของตัวเร่งปฏิกิริยา การระเหิดของตัวเร่งปฏิกิริยากับอุปกรณ์ สภาพการเลือกได้หรือสภาพการเลือกแก๊ส ดังนั้นจึงไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดใดที่เหมาะสมสำหรับทุกๆกระบวนการผลิต ผู้ผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาจึงได้พัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวขึ้นมาเป็นจำนวนมากเพื่อให้เหมาะสมสำหรับแต่ละกระบวนการผลิต ซึ่งในปัจจุบันมีประมาณมากกว่า 400 ชนิด (Sadeghbeigi, 1995)

แก๊สออยล์จากโรงกลั่นฝาง เป็นผลผลิตที่ได้จากแหล่งน้ำมันดิบไทย ซึ่งเป็นประเภท paraffin base crude oil ซึ่งต่างจากน้ำมันดิบจากโรงกลั่นอื่นๆของไทยซึ่งได้จากการนำเข้า ดังนั้นการศึกษาการแตกตัวของแก๊สออยล์โรงกลั่นฝาง จึงเป็นเอกลักษณ์โดยเฉพาะของแหล่งน้ำมันดิบของไทย ซึ่งเป็นการเตรียมความพร้อมในการใช้ประโยชน์ในอนาคต

การทดสอบและการเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวที่เหมาะสมสำหรับแก๊สออยล์เป็นเรื่องสำคัญ เนื่องจากการเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวที่ไม่เหมาะสมจะทำให้โรงกลั่นต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเป็นจำนวนหลายล้านบาทต่อปี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาในห้องปฏิบัติการ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดสอบต้องมีสมบัติใกล้เคียงกับตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล (equilibrium catalyst) มากที่สุด วิธีเดียวที่จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุลคือ การนำไปใช้ในหน่วยดำเนินการจริงๆ หรือ

ในหน่วยปฏิบัติการจำลองขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการ แต่การกระทำดังกล่าวเสียค่าใช้จ่ายสูง ใช้เวลานานและทำการทดสอบตัวอย่างได้น้อยชนิด ดังนั้นจึงมีการคิดวิธีการ steam pretreatment ซึ่งเป็นการจำลองตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุลง วิธีกรานี้ใช้ไอน้ำและอุณหภูมิที่สูง ถึงแม้จะมีความแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุลงจริงและที่จำลองขึ้น (แบบแรกแต่ละอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกลดกัมมันตภาพ (activity) ไม่เท่ากัน ส่วนแบบหลังแต่ละอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกลดกัมมันตภาพเท่ากัน) แต่ผลผลิตที่ได้จากการจำลองดังกล่าวมีลักษณะที่คล้ายกันมาก (Lentzch et al., 1976) วิธีหลักในการประเมินค่าตัวเร่งปฏิกิริยาในห้องปฏิบัติการคือ การลดกัมมันตภาพตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สด (fresh catalyst) ด้วยไอน้ำอุณหภูมิสูง (hydrothermal deactivation) และการประเมินค่าจุลกัมมันตภาพ (microactivity testing : MAT) ในขณะที่ ASTM ได้กำหนดวิธีการลดกัมมันตภาพด้วยไอน้ำอุณหภูมิสูง และการประเมินค่าจุลกัมมันตภาพไว้ตาม ASTM D-4463 และ ASTM D-3907 ตามลำดับ

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ได้พัฒนาด้านปิโตรเลียมและตัวเร่งปฏิกิริยามาเป็นลำดับ เช่น วิทยานิพนธ์ปริญญาโทเรื่อง การทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาพฟลูอิดซ์ (Angkasuwan, 1998) การศึกษาการเกิดโค้กบนตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาในสภาพฟลูอิดซ์ของนอร์มัลเฮกซะดีเคน (เอกวิทย์ เพ็ชรอรุณรักษ์, 2544) การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแอร์เคอร์ทเวายซีโอไลต์ (Kritsanaphak, 2001) การสังเคราะห์และศึกษาลักษณะเฉพาะของซีโอไลต์อัลตราสเตรเบิลเวาย (Ritthichai, 2001) และภาวะการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของแก๊สออกยล์จากโรงกลั่นฝาง

ตรวจเอกสาร

1. กระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาในสภาพฟลูอิดซ์ (Meyers, 1986 และ 1990 และ John, 1993)

กระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาในสภาพฟลูอิดซ์ (FCC) เป็นกระบวนการสำหรับเปลี่ยนสารที่หนักกว่า หรือโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีโซ่ยาวและมีราคาต่ำไปเป็นตัวที่เบากว่า หรือโมเลกุลที่มีโซ่สั้นลง เพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิตและให้ได้ปริมาณของส่วนแก๊สโซลีนมากขึ้น ซึ่งโดยปกติควรเป็นแก๊สโซลีนที่มีค่าออกเทนสูง โดยกระบวนการนี้ใช้อุณหภูมิสูงและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของไฮโดรคาร์บอน ซึ่งผลผลิตที่ได้จากกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ ก๊าซเบา แก๊สโซลีน กากน้ำมันชนิดใส และโค้ก โดยในหน่วย FCC ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนของการเร่งปฏิกิริยา (เครื่องปฏิกรณ์-เครื่องฟื้นฟูสภาพ) และส่วนของการแยก (ภาพประกอบ 1)

1.1 ส่วนของการเร่งปฏิกิริยา

ในการดำเนินการของหน่วย FCC สารป้อนใหม่สดและสารป้อนรีไซเคิล (ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการดำเนินการ) ถูกป้อนผ่านท่อที่เรียกว่า "riser" และเข้าไปสู่เครื่องปฏิกรณ์ (อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส) พร้อมกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพแล้ว โดยก่อนจะมีการป้อนอาจมีการให้พลังงานแก่สารป้อนโดยการให้ความร้อนก่อนจะเข้าระบบ หรือโดยการแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ฟื้นฟูสภาพที่ร้อนเมื่อมาสัมผัสกับสารป้อนที่เป็นละอองของเหลวจะเกิดการถ่ายโอนความร้อนและทำให้สารป้อนกลายเป็นไอ และไอนี้จะนำตัวเร่งปฏิกิริยาผ่านขึ้นไปสู่ riser โดยการที่ตัวเร่งปฏิกิริยาจะไหลกลับลงมาผสมกันอีกเกิดขึ้นได้ต่ำมาก ที่ส่วนบนของ riser ภาวะในการดำเนินการเหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวได้อย่างบริบูรณ์ และตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกแยกออกจากไอของไฮโดรคาร์บอนอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาขั้นที่สอง โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะแยกตัวลงมาทางด้านล่าง ส่วนไอไฮโดรคาร์บอนก็จะไหลไปสู่หน่วยกลั่นแยกผลิตภัณฑ์ (fractionator) ต่อไป โดยผ่านเครื่องไซโคลอนที่อยู่ด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อเหวี่ยงตัวเร่งปฏิกิริยาที่อาจติดไปด้วยให้กลับลงมาด้านล่าง ในส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการทำปฏิกิริยาแล้ว (spent catalyst) จะถูกส่งผ่านส่วนที่เป็นสตริปเปอร์ (stripper) ซึ่งจะมีไอน้ำพ่นสวนทางเข้ามาเพื่อไล่

ไฮโดรคาร์บอนที่ติดมากับตัวเร่งปฏิกิริยาให้กลับออกไปสู่เครื่องปฏิกรณ์อีก จากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาจะไหลจากด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์เข้าสู่เครื่องฟื้นฟูสภาพ ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส

ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวจะเกิดผลผลิตไฮโดรคาร์บอนของแข็งที่ไม่ต้องการเกาะบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไหลเวียนอยู่ในระบบ ผลผลิตนี้เรียกว่า "โค้ก" ซึ่งโค้กที่เกิดขึ้นจะเกาะติดอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้พื้นผิวที่เร่งปฏิกิริยาสูญเสียสมบัติเร่งปฏิกิริยา จึงต้องกำจัดออกไปโดยการเผาด้วยอากาศเพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยาคืนสู่สภาพเดิม โดยตัวเร่งปฏิกิริยาถูกเผาเพื่อเอาโค้กออกอย่างต่อเนื่องในเครื่องฟื้นฟูสภาพ (regenerator) ซึ่งมีอากาศเป่าเข้ามาเพื่อเผาโค้กที่ตัวเร่งปฏิกิริยา ไอเสียที่เกิดจากการเผาโค้กจะลอยขึ้นสู่ด้านบนออกปล่องสู่บรรยากาศ แต่ต้องผ่านไซโคลนเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาเอาไว้ไม่ให้หลุดออกไปด้วย การเผาทำให้อุณหภูมิของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้น จึงต้องควบคุมไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไปด้วยการปรับปริมาณอากาศที่ใช้ให้พอเหมาะ ปัญหาการเผาโค้กออกได้ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการออกแบบกระบวนการเป็นอย่างมาก ซึ่งจะต้องป้องกันไม่ให้น้ำมันกับอากาศพบกันแล้วยังมีปัญหาการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งจุดประสงค์หลักของเครื่องฟื้นฟูสภาพคือ ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีน้ำมันตกกลับคืนมาอีกครั้ง ดังนั้นเมื่อถูกส่งกลับไปยัง riser ก็จะสามารถช่วยทำให้เกิดการแตกตัวภายใต้ภาวะที่เหมาะสมได้อีกครั้ง อัตราการไหลของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถควบคุมได้ โดยติดตั้งวาล์วเปิด-ปิดไว้ในท่อที่ตัวเร่งปฏิกิริยาไหลลง

ในการที่จะรักษาระดับน้ำมันตกของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และการที่ตัวเร่งปฏิกิริยาหลุดหายออกจากระบบไปกับผลผลิต ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สดต้องถูกเติมลงไปยังระบบหมุนเวียนตัวเร่งปฏิกิริยาจากกรวยเก็บตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนั้นกรวยเก็บตัวเร่งปฏิกิริยาจะจับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้งานแล้วออกจากระบบหมุนเวียน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะรักษาระดับน้ำมันตกในการทำงานให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และรวมทั้งเก็บตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมดเมื่อหน่วย FCC ถูกปิดเครื่องเพื่อการบำรุงรักษาหรือซ่อมแซม

ทั้งเครื่องปฏิกรณ์และเครื่องฟื้นฟูสภาพในหน่วย FCC ทำงานด้วยกันในระบบปิดอย่างต่อเนื่อง เพราะว่าหน่วยนี้เป็นระบบที่ได้ดุลของดุลความร้อน ดุลความดัน และดุลโค้ก

ก) ดุลความร้อน คือ ความร้อนที่เข้าสู่กระบวนการ มาจากความร้อนที่ติดมากับสารป้อนและความร้อนที่ได้จากการเผาโค้ก ซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกตัวเร่งปฏิกิริยาพามาจากหน่วยฟื้นฟูสภาพ และอีกส่วนหนึ่งจะติดไปกับไอเสียที่ออกทางปล่อง ซึ่งจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของไอเสีย นอกจาก

นั้นก็สูญหายไปกับบรรยากาศ ความร้อนที่เข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์จะใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับสารป้อน ระบายสารป้อนให้กลายเป็นไอ และใช้เป็นความร้อนสำหรับปฏิกิริยา ถ้ามีมากเกินไปใช้ ไม่หมด ก็อาจปรับอุณหภูมิของสารป้อนที่เข้ามาให้เย็นลงอีก หรือบางครั้งต้องลดระดับปฏิกิริยา คือลดปริมาณไค้กที่เกิดขึ้น ตรงกันข้ามถ้าความร้อนไม่พอใช้ ก็อาจช่วยโดยการเพิ่มอุณหภูมิของสารป้อน เพิ่มปริมาณไค้ก เป็นต้น

ข) ดุลไค้ก โดยไค้กที่เกาะอยู่บนตัวเร่งปฏิกิริยาจากปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ถูกส่งไปเผาออกในหน่วยฟื้นฟูสภาพ ปริมาณไค้กบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้แล้วต้องมีค่าไม่สูงมากนัก (ไม่ควรถึงร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก) มิฉะนั้น จะเกิดปัญหาในการเผา และเกิดการสะสมของไค้กบนตัวเร่งปฏิกิริยา การควบคุมทำได้ด้วยการปรับอากาศที่เข้ามาในหน่วยฟื้นฟูสภาพ และปรับอัตราการหมุนเวียนของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย ถ้าใช้อากาศน้อยเกินไปจะเกิดการสะสมไค้กขึ้น แต่ถ้าใช้มากเกินไปจะทำให้อุณหภูมิสูงเป็นอันตรายต่อเครื่องปฏิกรณ์ได้

ค) ดุลความดัน ในหน่วย FCC ดุลความดันเป็นแพคเกจหนึ่งที่สำคัญในการทำให้งานดำเนินไปอย่างราบรื่น ผลจากการไม่ได้ดุลของความดันทำให้ไม่เกิดการหมุนเวียนของตัวเร่งปฏิกิริยา นั่นคือ ความร้อนในหน่วยฟื้นฟูสภาพไม่สามารถถ่ายโอนไปยังเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้การระเหยกลายเป็นไอของสารป้อนใน riser หยดลง แรงที่ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคลื่อนไหลเพื่อการได้ดุลทั้งในด้านความร้อนและด้านไค้ก ได้มาจากผลต่างระหว่างค่าความหนาแน่นในส่วนต่างๆ ของ dense bed, standpipe และ riser ซึ่งจะสามารถควบคุมความดันในหน่วยโดยการปรับอัตราการไหลของไอน้ำที่ใช้ยกตัวเร่งปฏิกิริยา ปรับความสูงของ dense bed ความดันในเครื่องปฏิกรณ์ และเครื่องฟื้นฟูสภาพ

กระบวนการเหล่านี้มีความซับซ้อนเพราะว่าขึ้นอยู่กับหลายๆตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน โดยสามารถแบ่งเป็น ตัวแปรอิสระ ซึ่งปกติสามารถควบคุมได้โดยตรงด้วยการควบคุมเครื่องวัด (meter) และตัวแปรตาม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงจะเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระ ตัวอย่างข้างล่างเป็นตัวแปรของตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระหลักๆ (Venato และ Habib, 1979)

ตัวแปรอิสระ

1 อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ : เป็นอุณหภูมิของปฏิกิริยาของสารผสมระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาและน้ำมันในเครื่องปฏิกรณ์

2 อัตราการไหลของสารป้อนใหม่สด : เป็นอัตราการไหลของสารป้อนที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยามาก่อนจะถูกป้อนเข้าไปในระบบ สารป้อนบางชนิดสามารถเกิดการแตกตัว

เชิงความร้อนได้ เช่น coker gas oil เราจะจัดเป็นสารป้อนใหม่สด โดยสารป้อนใหม่สดเป็นเทอมที่ใช้ในหน่วยการแตกตัวและหน่วยหมุนเวียน

3 อัตราการหมุนเวียนกลับมาใช้อีก (recycle) : อัตราการไหลของผลผลิตส่วนหนักในการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะกลับมาสู่เครื่องปฏิกรณ์และเกิดการแตกตัวต่อไปได้อีก โดยผลผลิตที่ใช้หมุนเวียนกลับมาอีกเป็นไฮโดรคาร์บอนที่หนักกว่า light cycle oil แต่บางครั้ง light cycle oil ก็เรียกว่า recycle ด้วย

4 อุณหภูมิในการให้ความร้อนของสารป้อนก่อนจะเข้าระบบ : เป็นอุณหภูมิของสารป้อน (ครอบคลุมถึงสารป้อนที่หมุนเวียน) ในหน่วยการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา

5 ความเร็วปฏิกิริยา : เป็นน้ำหนักต่อชั่วโมงของสารป้อนทั้งหมด (ทั้งสารป้อนใหม่สดและสารป้อนหมุนเวียน) หารด้วยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งสัมผัสกับสารป้อน

6 กัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา : กัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาในการเปลี่ยนสารป้อนไปเป็นผลผลิตที่ต้องการที่ภาวะในการดำเนินการที่เฉพาะเจาะจง วิธีการที่ใช้ในการทดสอบค่ากัมมันตภาพซึ่งนิยมใช้โดยทั่วไปคือ การทดสอบค่าจุลกัมมันตภาพ (microactivity test : MAT)

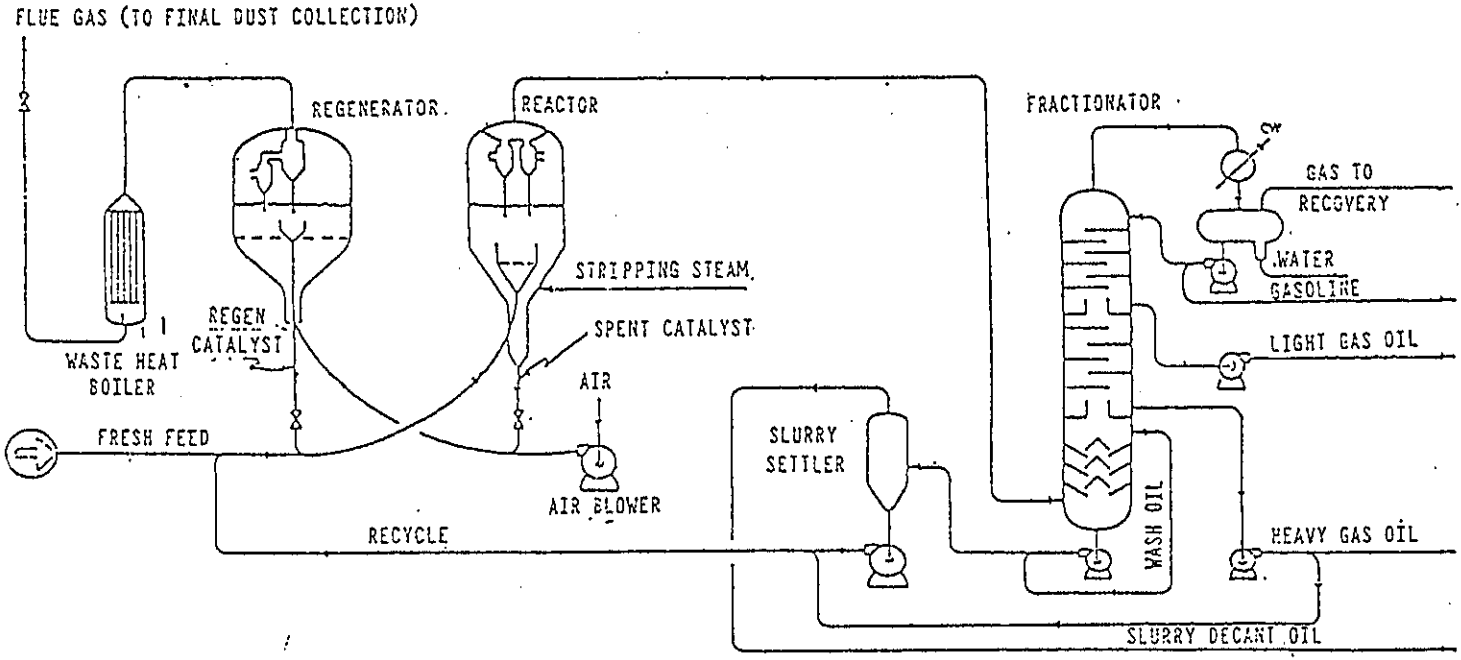
ตัวแปรตาม

1 อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมัน : เป็นอัตราส่วนน้ำหนักของอัตราหมุนเวียนตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราสารป้อน

2 อุณหภูมิของเครื่องฟื้นฟูสภาพ : เป็นอุณหภูมิของตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างที่เผาเอาได้กออกในหน่วยฟื้นฟูสภาพ

3 อัตราการเผาอากาศ : อัตราการไหลของอากาศปกติแสดงไว้ในหน่วย SCFM (standard cubic feet per minute) ต้องการใช้เพื่อช่วยในการเผาไหม้ได้กที่เกาะบนตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการกำจัดได้กออก จึงเป็นการฟื้นฟูสภาพตัวเร่งปฏิกิริยา

4 ค่าการเปลี่ยน : การเปลี่ยน (conversion) เป็นร้อยละโดยน้ำหนักของสารป้อนที่เปลี่ยนเป็นผลผลิต เช่น แก๊สโซลีน ส่วนที่เบากว่า และได้กในกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา โดยกำหนดให้แก๊สโซลีนมีจุดเดือดสุดท้ายเป็น 221 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 1 หน่วยการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาในสภาพฟลูอิดไครต์ (FCC unit)
ที่มา : Speigh, 1991 : 552

1.2 ส่วนของการแยก

ผลผลิตไฮโดรคาร์บอนจากเครื่องปฏิกรณ์ถูกส่งไปยังหน่วยแยก โดยส่วนแก๊สโซลีนและผลผลิตที่มีลักษณะเป็นแก๊สที่มีองค์ประกอบเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะคู่อยู่มาก จะถูกส่งไปทางด้านบนและส่งไปสู่หน่วยที่ทำหน้าที่เพิ่มความเข้มข้นของแก๊ส (gas concentration) สำหรับน้ำมัน light-cycle oil (LCO) จะถูกแยกออกทางด้านข้างของหอกลั่นและส่งไปเก็บต่อไป ในขณะที่คอลัมน์ด้านล่างของหน่วยกลั่นแยกเป็นผลผลิตที่มีลักษณะเป็น slurry ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นคาร์บอนดำ (carbon black) หรือ decant oil หรือนำกลับไปเป็นสารป้อนใหม่ (recycle) เพื่อป้อนเข้าหน่วยการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา (FCC) อีกครั้ง แสดงดังภาพประกอบ 1

2. ตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาในสภาพฟลูอิดซ์ (John, 1993 และ Sadeghbeigi, 1995)

ตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาในสภาพฟลูอิดซ์ คืออนุภาคของแข็งที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกอนและอลูมิเนียม ส่วนธาตุอื่นก็มีอยู่ด้วยเหมือนกันแต่มีอยู่ในปริมาณน้อย โดยอลูมิเนียมมีความเกี่ยวข้องกับตำแหน่งกรดของบรอนสเตดหรือกรดของลิวอิส ซึ่งตำแหน่งกรดจะเป็นตัวริเริ่มและเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของสารไฮโดรคาร์บอน ทำให้โมเลกุลของน้ำมันปิโตรเลียมมีขนาดลดลง ที่ภาวะของเครื่องปฏิกรณ์ FCC เมื่อมีการไหลของไอสารป้อนผ่านอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีสมบัติเหมือนของไหล (fluidize) สมบัตินี้จะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาไหลหมุนเวียนระหว่างเครื่องปฏิกรณ์และหน่วยฟื้นฟูสภาพ ดังนั้นจึงได้ชื่อว่าตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาในสภาพฟลูอิดซ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาในสภาพฟลูอิดซ์ได้ถูกพัฒนามาโดยตลอด พร้อมกับการพัฒนากระบวนการโดยตรง โดยในระยะแรกตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นสารซิลิกา-อลูมินา ที่บดเป็นผงละเอียด ซึ่งอาจนำมาจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ โดยสารเหล่านี้มีกัมมันตภาพต่อปฏิกิริยาต่ำ เสื่อมเร็วและมีสมบัติการเป็นของไหลที่ไม่ดีนัก ในปี 1946 ได้เริ่มผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นซิลิกา-อลูมินาสังเคราะห์ ซึ่งมีอลูมินาร้อยละ 10-13 หลังจากนั้นได้มีการปรับปรุงเรื่อยมา จนตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวซีโอไลต์ได้ถูกใช้ในทางการค้าในประมาณปี 1960 ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มาก่อนหน้านี้ คือ

- มีความต้านทานต่อความเป็นพิษโดยโลหะดีกว่า
- มีความเสถียรกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มาก่อนหน้านี้
- มีความสามารถใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า
- โครงสร้างผลึกมีลักษณะที่เด่นชัด นั่นคือ มีรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาที่ต้องการได้อย่างเหมาะสม (มีสภาพการเลือกของปฏิกิริยาที่ต้องการ)
- มีกัมมันตภาพในการแตกตัวสูงกว่า
- ใช้เวลาสำหรับการแตกตัวน้อยกว่า

2.1 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา

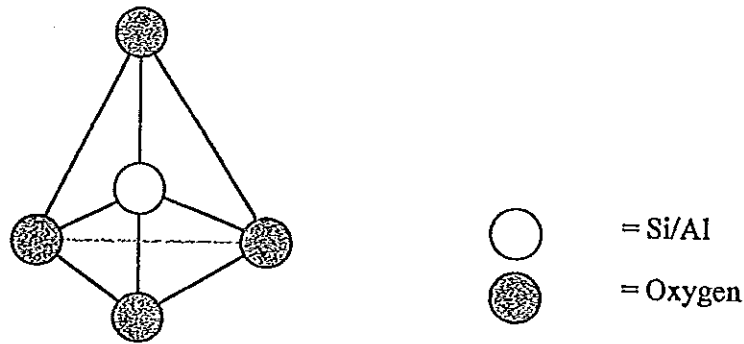
ตัวเร่งปฏิกิริยา FCC ในรูปอนุภาคของแข็งเล็กๆ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75 ไมครอน โดยทั่วไปตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบหลัก คือ ซีโอไลต์ และเมทริกซ์ แต่บางชนิดก็ประกอบด้วย 3 ส่วนประกอบคือ มีสารเติมแต่งเพิ่มเข้ามา และในปัจจุบันตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวมี 4 ส่วนประกอบหลักคือ ซีโอไลต์ เมทริกซ์ ตัวประสาน และสารเติมแต่ง เพื่อที่จะเพิ่มค่าออกเทนของแก๊สโซลีน เพิ่มความต้านทานของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อโลหะ หรือทำให้เกิดกระบวนการออกซิเดชันของคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้ง่ายขึ้น เป็นต้น

2.1.1 ซีโอไลต์

ซีโอไลต์หรือฟูจาไซต์ (faujasite) คือส่วนผสมของส่วนประกอบที่สำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยา FCC โดยมีหน้าที่ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีสภาพการเลือกในการเกิดผลผลิตและมีกัมมันตภาพในการแตกตัวสูง ซีโอไลต์ที่ใช้ในตัวเร่งปฏิกิริยา FCC โดยส่วนใหญ่เป็นซีโอไลต์สังเคราะห์ชนิดฟูจาไซต์ เช่น วายและไฮซิลิกาวายซีโอไลต์ การทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับธรรมชาติและสมบัติของซีโอไลต์ การเข้าใจถึงโครงสร้าง ชนิด กลไกการแตกตัวและสมบัติของซีโอไลต์จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกต้องในกระบวนการผลิตผลผลิตที่ต้องการหรือเหมาะสม

2.1.1.1 โครงสร้างซีโอไลต์

ซีโอไลต์หรือบางครั้งเรียกว่า ตะแกรงเชิงโมเลกุล (molecular sieve) มีโครงสร้างเป็นผลึก (lattice) ที่แน่นอน และมีโครงสร้างพื้นฐานเป็นทรงสี่หน้า (tetrahedron) ของซิลิกอนและอลูมิเนียม แต่ละเตตระฮีดรอลประกอบด้วยอะตอมซิลิกอนหรืออะตอมอลูมิเนียมอยู่ที่ศูนย์กลางของเตตระฮีดรอล โดยมีอะตอมของออกซิเจนอยู่ที่แต่ละมุม จากนั้นแต่ละเตตระฮีดรอลจะเชื่อมต่อกันโดยการใช้ออกซิเจนร่วมกัน (ภาพประกอบ 2)



ภาพประกอบ 2 โครงสร้างรูปทรงสี่หน้าของซิลิกอนหรืออลูมิเนียม

ที่มา : Sadeghbeigi, 1995 : 8

ผลึกซีโอไลต์มีโครงสร้างเป็นพอร์ (pore) ที่เล็กมากๆ เส้นผ่านศูนย์กลางพอร์ของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ใน FCC ในปัจจุบันเกือบจะทั้งหมดมีขนาดประมาณ 8 อังสตรอม รูเปิดเล็กๆเหล่านี้มีพื้นที่ผิวภายในประมาณ 600 ตารางเมตรต่อกรัม โดยไม่ยอมให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่กว่า 8-10 อังสตรอม ผ่านเข้าไปได้

กลุ่มโครงสร้างพื้นฐานของผลึกซีโอไลต์เรียกว่า หน่วยเซลล์ ขนาดของหนึ่งหน่วยเซลล์คือระยะทางระหว่างหน่วยที่ซ้ำกันในโครงสร้างซีโอไลต์ (ภาพประกอบ 3) หนึ่งหน่วยเซลล์ในผลึกทั่วไปของวาย-ซีโอไลต์ใหม่สด (fresh Y-zeolite) ประกอบด้วย 192 อะตอม ของอลูมิเนียมและซิลิกอน ซึ่งแบ่งออกเป็น อลูมิเนียม 55 อะตอม และซิลิกอน 137 อะตอม ซึ่งสอดคล้องกับอัตราส่วนโมลของซิลิกาต่ออลูมินา ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) เท่ากับ 5 และขนาดของหน่วยเซลล์เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการบอกถึงลักษณะโครงสร้างของซีโอไลต์

2.1.1.2 เคมีของซีโอไลต์

โดยทั่วไปซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิกอนและอลูมิเนียม ซึ่งมีลักษณะเป็นเตตระฮีดรอลที่เชื่อมต่อกันด้วย 4 อะตอมของออกซิเจน โดยซิลิกอนมีเลขออกซิเดชัน +4 ดังนั้นเตตระฮีดรอลที่ประกอบด้วยซิลิกอนจะมีประจุเป็นกลางเมื่อเทียบกับอลูมิเนียมที่มีเลขออกซิเดชัน +3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแต่ละเตตระฮีดรอลที่ประกอบด้วยอลูมิเนียมจะมีประจุ -1 ซึ่งจะถูกทำให้ได้ดุลโดยไอออนบวกภายนอกโครงสร้าง โดยทั่วไปสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะถูกใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ โดยโซเดียมทำหน้าที่เป็นไอออนบวกเพื่อดุลประจุลบของอลูมิเนียมเตตระฮีดรอล ซีโอไลต์ชนิดนี้เรียกว่า โซดาวายหรือ NaY ซึ่งจะไม่เสถียรต่อการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ เพราะว่ามีองค์ประกอบของโซเดียมสูง ไอออนแอมโมเนียมมักถูกใช้ในการแทนที่ไอออนโซเดียม ภายใต้การทำให้แห้งของซีโอไลต์แอมโมเนีย (NH₃) จะเกิดการระเหยซึ่งจะมีผลต่อตำแหน่งกรดทั้งชนิดกรดบรอนสเตดและกรดลิวอิส ตำแหน่งกรดบรอนสเตดสามารถแลกเปลี่ยนต่อไปกับพวกแอร์เวิร์ท เช่น ซีเรียมและแลนทานัม เพื่อเสริมความแข็งแรง ซึ่งกัมมันตภาพของซีโอไลต์มาจากตำแหน่งกรดเหล่านี้นั่นเอง

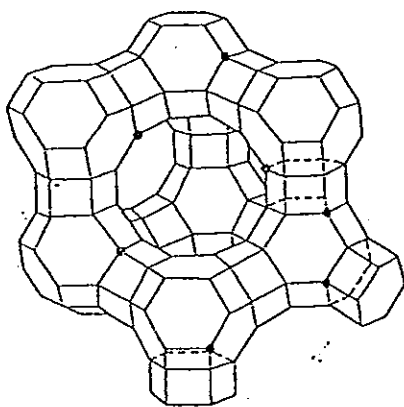
2.1.1.3 ชนิดของซีโอไลต์

ซีโอไลต์ที่ใช้ในหน่วย FCC อยู่ในรูปแบบของซีโอไลต์สังเคราะห์ เรียกว่าฟูจาไซต์ ซึ่งซีโอไลต์ธรรมชาติที่รู้จักมีประมาณ 40 ชนิด และมากกว่า 150 ชนิด เป็นซีโอไลต์สังเคราะห์ แต่ในจำนวนเหล่านี้จะพบในทางการค้าเพียงจำนวนเล็กน้อยเท่านั้น ตาราง 1 แสดงสมบัติของซีโอไลต์สังเคราะห์หลักๆ ตาราง 1 สมบัติของซีโอไลต์สังเคราะห์ (ที่มา : Sadeghbeigi, 1995 : 82)

Zeolite type	Pore size Dimension (^o A)	Silica/Alumina ratio	Process
Zeolite A	4.1	2-5	Detergent manufacturing
Faujasite	7.4	3-6	Catalytic cracking and hydrocracking
ZSM-5	52{ EMBED Equation.3 }5.8	30-200	Xylene isomerization, benzene Alkylation, catalytic cracking
Mordenite	6.7{ EMBED	10-12	Hydro-isomerization, dewaxing

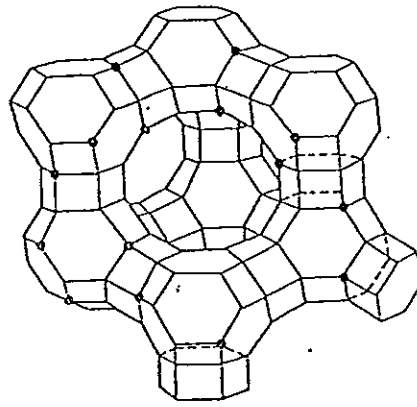
ซีโอไลต์ที่ใช้ในหน่วย FCC เป็นชนิดเอ็กซ์ วาย และแซดเอสเอ็ม-5 (ZSM-5) ทั้งซีโอไลต์เอ็กซ์ และวายมีโครงสร้างผลึกโดยพื้นฐานเหมือนกัน โดยความแตกต่างหลักคือ ซีโอไลต์เอ็กซ์มีอัตราส่วนของซิลิกอนต่ออลูมิเนียมต่ำกว่าซีโอไลต์วาย ในช่วงแรกๆของการใช้ FCC ซีโอไลต์ ตัวเร่งปฏิกิริยาจะประกอบด้วยซีโอไลต์เอ็กซ์ แต่อย่างไรก็ตามซีโอไลต์เอ็กซ์มีเสถียรภาพต่อความร้อนและไอน้ำร้อนน้อยกว่าซีโอไลต์ชนิดวาย จึงมีการใช้ซีโอไลต์วายมากขึ้นหลังจากนั้น

ในประมาณปลายปี 1970 NaY ซีโอไลต์ส่วนใหญ่จะถูกแลกเปลี่ยนไอออนด้วยแอร์เอิร์ทหรือแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เกิดเป็นซีโอไลต์ที่มีการแลกเปลี่ยนอย่างสมบูรณ์ (REY) หรือซีโอไลต์ที่มีการแลกเปลี่ยนบางส่วน (REHY) ส่วนประกอบของแอร์เอิร์ท เช่น แลนทานัมและซีเรียม จะถูกใช้แทนที่โซเดียมในผลึก ธาตุแอร์เอิร์ทเริ่มต้นมีวาเลนซ์เป็น 3 มีรูปแบบอย่างง่ายเป็นสะพานเชื่อมระหว่าง 2 ถึง 3 ตำแหน่งกรด ในโครงร่าง (framework) ซีโอไลต์ สะพานจะทำหน้าที่พื้นฐานในการป้องกันตำแหน่งกรดออกจากโครงร่าง และดังนั้นทำให้โครงร่างซีโอไลต์มีความเสถียร ด้วยเหตุนี้แอร์เอิร์ทที่แลกเปลี่ยนจะเพิ่มกัมมันตภาพของซีโอไลต์ และความเสถียรต่อความร้อนและไอน้ำร้อน



USY Zeolite (~7 Al Atoms/u.c.)

Unit Cell Dimension = 24.25 Å ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 54$)



Equilibrium REY (~23 Al Atoms/u.c.)

Unit Cell Dimension = 24.39 Å ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 15$)

ภาพประกอบ 3 รูปทรงทางเรขาคณิตของ USY และ REY ซีโอไลต์

ที่มา : Sadeghbelgi, 1995 : 83

การลดของสารตะกั่วในน้ำมันของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนในปี 1986 ทำให้เกิดความต้องการแก๊สโซลีน FCC ที่มีออกเทนสูง การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในโรงกลั่นจึงได้รับการตอบสนองโดยการปรับปรุงสูตรของซีโอไลต์ โดยการขับไล่อะตอมอลูมิเนียมออกจากโครงร่างซีโอไลต์ ซึ่งการดึงอลูมิเนียม จะเพิ่มอัตราส่วนซิลิกาต่ออลูมินาเชิงโมล (silicas to alumina molal ratio : SAR) และลดขนาดของหนึ่งหน่วยเซลล์ และมีปริมาณไฮเดียมต่ำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะเพิ่มค่าออกเทนโดยการเพิ่มความเป็นไอเลฟิน เราจะเรียกซีโอไลต์ที่ขาดอลูมิเนียมว่า อัลตราสเตเบิลวาย (USY) เพราะว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าวายซีโอไลต์โดยทั่วไป ดังนั้นการพิจารณาถึงจุดประสงค์หลักในการนำไปใช้งานเราสามารถแบ่งประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 3 ชนิดคือ 1) ตัวเร่งปฏิกิริยา FCC แก๊สโซลีน 2) ตัวเร่งปฏิกิริยา FCC ออกเทน 3) ตัวเร่งปฏิกิริยา FCC resid

2.1.1.4 สมบัติของซีโอไลต์

สมบัติของซีโอไลต์มีบทบาทสำคัญต่อสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยา และการรู้อย่างลึกซึ้งของสมบัติเหล่านี้ จะเพิ่มความสามารถในการทำนายการตอบสนองของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในหน่วยดำเนินการ สมบัติเบื้องต้น คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์จะต้องทนทานและรักษาสมบัติในการเร่งปฏิกิริยาภายใต้ภาวะที่รุนแรงของการทำงานในหน่วย FCC ซึ่งสิ่งแวดล้อมในเครื่องปฏิกรณ์และเครื่องฟื้นฟูสภาพเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญขององค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างซีโอไลต์ ในหน่วยฟื้นฟูสภาพซีโอไลต์จะยังคงรักษาความเป็นผลึกไว้เพื่อดำเนินการสิ่งปนเปื้อนในสารป้อน เช่น วานาเดียมและไฮเดียม

ตัวเร่งปฏิกิริยา FCC ทั้งหมด (ยกเว้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องการความเฉพาะเจาะจงในการใช้งาน) ได้ถูกออกแบบเพื่อให้มีสมบัติในการเร่งปฏิกิริยาดังนี้คือ ค่ากัมมันตภาพ สภาพการเลือกและความเสถียร ซึ่งกัมมันตภาพในการเร่งปฏิกิริยาจะตรวจสอบได้จากชนิดและปริมาณซีโอไลต์ ส่วนสภาพการเลือกของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถตรวจสอบได้จากหลายๆแฟกเตอร์ เช่น ชนิดของซีโอไลต์ ชนิดของตำแหน่งกรด (บรอนสเตดหรือลิวอิส) ความแข็งแรง (strength) ความเข้มข้นและการกระจายของแหล่งกรด (density) การกระจายของพอร์ (pore) เช่น การกระจายของพอร์ทั้งในซีโอไลต์และเมทริกซ์ พื้นที่ผิวเมทริกซ์และกัมมันตภาพ การมีอยู่ของสารเติมแต่งและสิ่งปนเปื้อน นั่นคือ ได้มีการวิเคราะห์กันอย่างมากในการตรวจสอบสมบัติของซีโอไลต์ โดยการทดสอบจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับความแข็งแรง ชนิด จำนวนและการกระจายของตำแหน่งกรด เช่นเดียวกันการทดสอบสามารถให้ข้อมูล

เกี่ยวกับพื้นที่ผิวและการกระจายขนาดของพอร์ด้วยเหมือนกัน โดยมีสามพารามิเตอร์สำคัญที่มีผลต่อพฤติกรรมของซีโอไลต์คือ

- ก) ขนาดของหนึ่งหน่วยเซลล์
- ข) ระดับของแวกซ์เจอร์
- ค) ปริมาณของโซเดียม

ก) ขนาดหน่วยเซลล์ : ขนาดของหน่วยเซลล์คือ การวัดตำแหน่งของอะตอมในเยื่อหรือศักยภาพของความเป็นกรดทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยเซลล์ ประจุลบบนอะตอมอะลูมิเนียมเป็นแหล่งของตำแหน่งกรดในซีโอไลต์ แต่สำหรับอะตอมซิลิกอนจะไม่มีลักษณะของกัมมันตภาพใดๆทั้งสิ้น ขนาดหน่วยเซลล์มีความสัมพันธ์กับจำนวนอะตอมอะลูมิเนียมต่อเซลล์ (N_{Al}) (Sadeghbeigi, 1995)

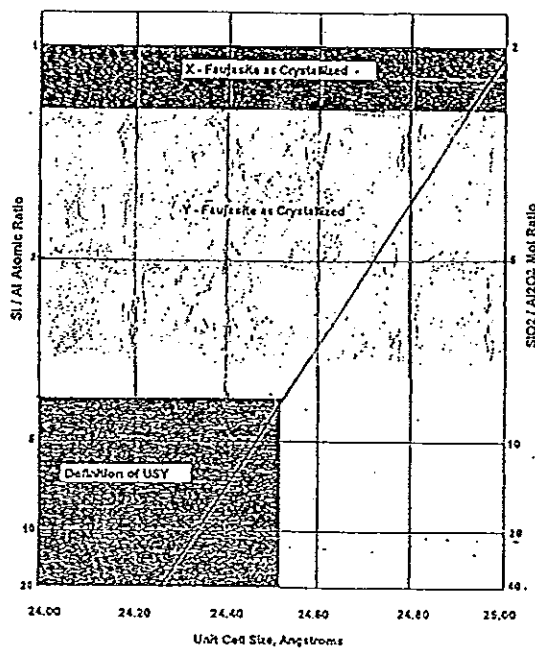
$$N_{Al} = 111 \times (\text{UCS} - 24.215)$$

จำนวนอะตอมซิลิกอนคือ

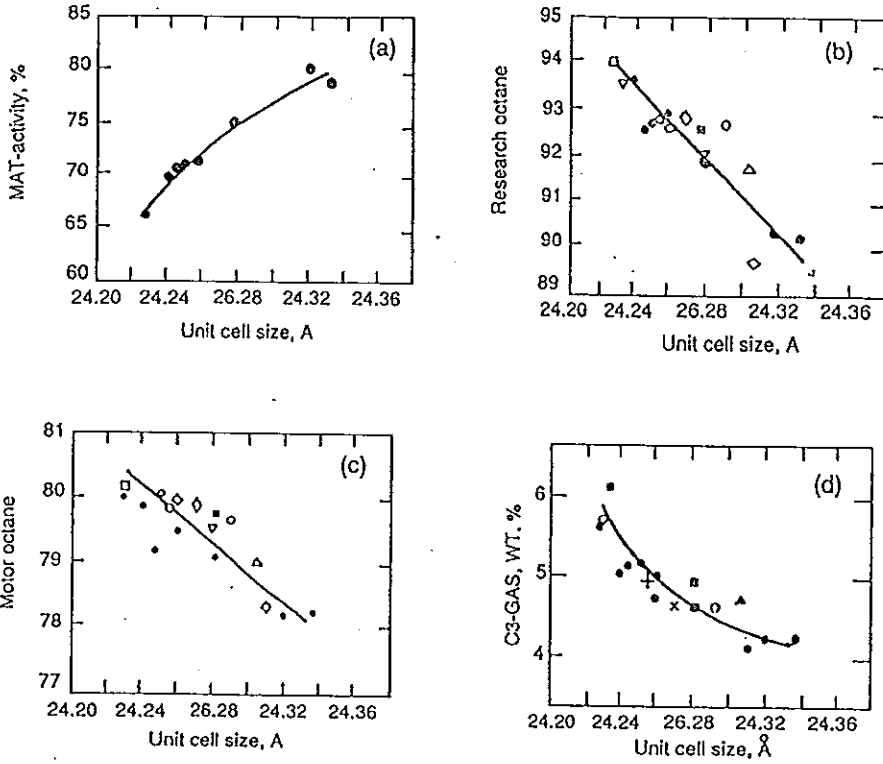
$$N_{Si} = 192 - N_{Al}$$

อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมิเนียมเชิงโมล (SAR) ของซีโอไลต์สามารถตรวจสอบได้จาก 2 สมการข้างบนหรือจากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาพประกอบ 4 การดำเนินการเชิงเร่งปฏิกิริยาของซีโอไลต์ได้รับผลอย่างมากจากอัตราส่วน $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ในโครงร่างซีโอไลต์ ดังนั้นอัตราส่วนนี้เป็นการวัดความเข้มข้น ความแข็งแรง และการกระจายของตำแหน่งกรดในซีโอไลต์ เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ในโครงร่างซีโอไลต์และขนาดของหน่วยเซลล์เป็นดังภาพประกอบ 4 และการวัดขนาดของหน่วยเซลล์ทำได้ง่ายและเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้มากในการทำนายกัมมันตภาพในการเร่งปฏิกิริยาและสภาพการเลือกของซีโอไลต์ ขนาดของหน่วยเซลล์ของ NaY ซีโอไลต์ที่มีคุณภาพดี มีค่าประมาณ 24.65 ± 0.02 อังสตรอม ในขณะที่ REHY ใหม่สด มีขนาดของหน่วยเซลล์อยู่ในช่วง 24.60 - 24.65 อังสตรอม โดยขนาดหน่วยเซลล์เป็นตัวบ่งบอกถึงความเป็นกรดของซีโอไลต์ด้วย นั่นคือในขณะที่ขนาดของหนึ่งหน่วยเซลล์ลดลงตำแหน่งกรดจะลดลงด้วย ความแข็งแรงของตำแหน่งกรดวัดจากระยะห่างของตำแหน่งกรด ความใกล้ชิดของตำแหน่งกรดเป็นสาเหตุให้ลดความเสถียรของโครงร่างซีโอไลต์ การลดในความเป็นกรดทั้งหมดตามการลดลงของขนาดหน่วยเซลล์ทำให้กัมมันตภาพในการเร่งปฏิกิริยาลดลงด้วย (ภาพประกอบ 5a) ดังนั้นอัตราของปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนจะลดลงตามขนาดหน่วยเซลล์ด้วย นั่นคือ เช่น HSY ซีโอไลต์จะเกิดปฏิกิริยาถ่ายโอนไฮโดรเจนได้น้อยกว่า REY หรือ REHY ซีโอไลต์ ดังนั้นการลดลงของขนาดหน่วยเซลล์ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มอัตราส่วนของ

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ในโครงสร้างซีโอไลต์ทำให้เหมาะในการเกิดสารประกอบที่มีค่า RON และ MON ในส่วนของแก๊สโซลีนสูง (ภาพประกอบ 5b และ 5c) แต่อย่างไรก็ตามจะเพิ่มการเกิดแก๊ส (ภาพประกอบ 5d) และความเป็นโอเลฟินของ LPG ด้วยเหมือนกัน ในขณะที่ลดการเกิดโค้ก (ภาพประกอบ 6a) แต่อย่างไรก็ตามการลดของขนาดหน่วยเซลล์จะมีผลทำให้สภาพการเลือกแก๊สโซลีนต่ำลงด้วยเหมือนกัน (ภาพประกอบ 6b) สิ่งนี้เนื่องมาจากสมบัติของปฏิกิริยาทุติยภูมิในการแตกตัวของโอเลฟินในช่วงจุดเดือดแก๊สโซลีน ทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอนของพวก LPG การลดขนาดหน่วยเซลล์มีผลต่อการเพิ่มสภาพการเลือก LCO และลดสภาพการเลือก DO (ภาพประกอบ 6c และ 6d) สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าขนาดหน่วยเซลล์ที่ต่ำกว่าจะช่วยให้แตกตัวผลผลิตด้านล่าง (bottom product) ไปเป็น LCO ได้ง่ายขึ้น นั่นคือค่าการเปลี่ยนที่ดีกว่าของผลผลิตด้านล่างสามารถทำได้โดยการลดขนาดหน่วยเซลล์ เนื่องจากความต้องการความรุนแรงในการดำเนินการมากเพื่อรักษาให้ระดับค่าการเปลี่ยนคงที่เมื่อใช้ซีโอไลต์ที่มีกัมมันตภาพต่ำ ซึ่งข้อสรุปดังกล่าวสนับสนุนโดยข้อมูลทาง MAT ที่แสดงดังตาราง 2 ซึ่งผลผลิตและคุณภาพของแก๊สโซลีนได้รับจากตัวเร่งปฏิกิริยา REY และ USY

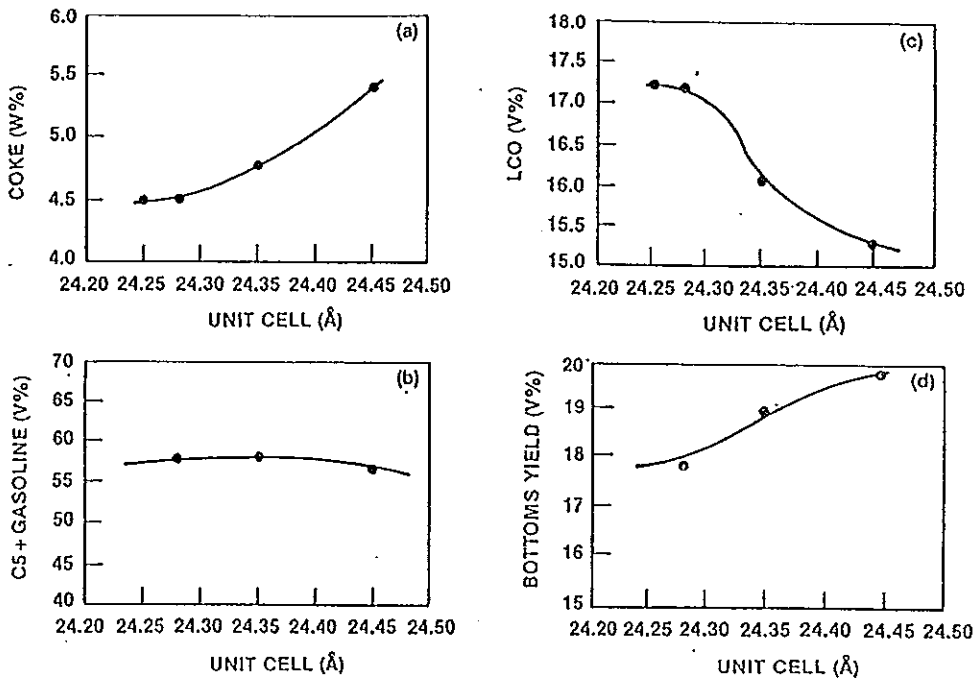


ภาพประกอบ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนซิลิกอนต่ออลูมิเนียมเทียบกับขนาดหนึ่งหน่วยเซลล์
ที่มา : Sadeghbeigi, 1995 : 85



ภาพประกอบ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหน่วยเซลล์กับสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยา

ที่มา : John,1993 :158



ภาพประกอบ 6 อิทธิพลของขนาดหน่วยเซลล์ต่อผลผลิตโค้กและผลผลิตของเหลว

ที่มา : John,1993 :159

ตาราง 2 เปรียบเทียบผลได้และคุณภาพของแก๊สโซลีนโดยตัวเร่งปฏิกิริยา REY และ USY

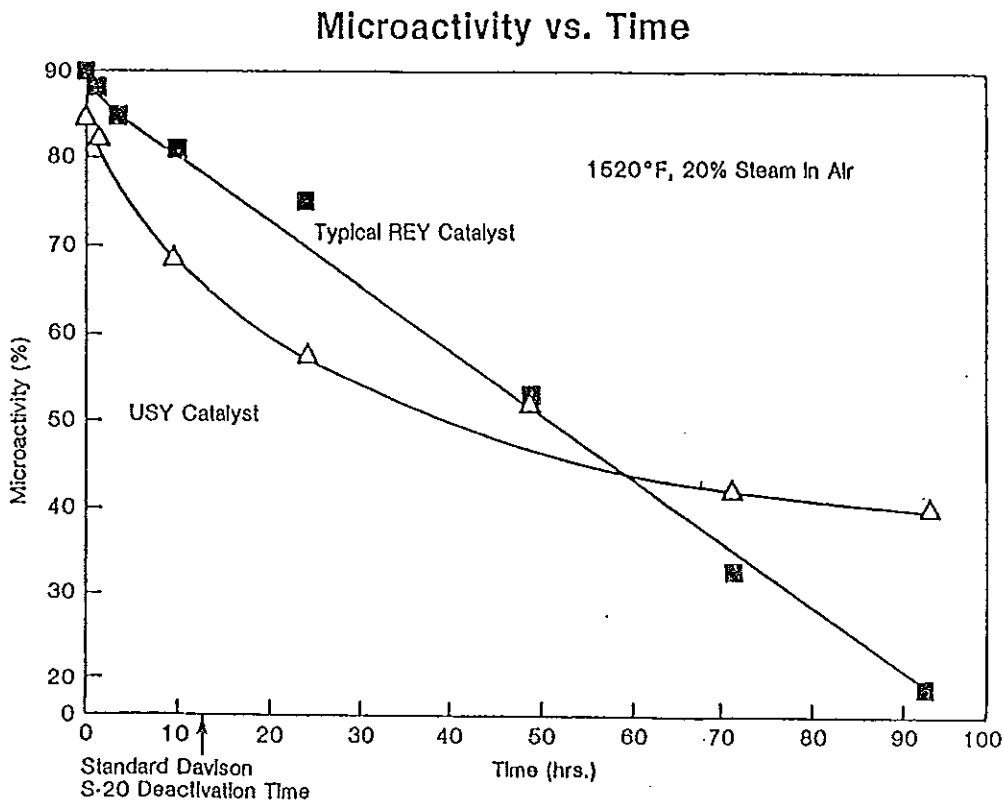
ที่มา : John, 1993 :159

	REY catalyst ^a	USY catalyst ^b
Pilot unit conditions		
40 WHSV, 4 c/o, 510 °C ,MWR feed ^c		
Conversion, vol%	72.5	72.5
Hydrogen, wt%	0.020	0.020
C ₁ +C ₂ ,wt%	1.28	1.13
Total C ₃ 's, vol%	7.9	9.0
C ₃ ⁼ , vol%	6.0	7.6
Total C ₄ 's, vol%	13.6	15.1
C ₄ ⁼ /i-C ₄ Ratio	0.83	0.91
C ₅ ⁺ Gasoline, vol%	59.0	58.0
Octane No.		
RON	86.0	90.4
MON	78.0	80.0
Light cycle oil, vol%	18.1	19.5
338 °C residue	9.4	8.0
Coke, wt%	4.6	4.0

หมายเหตุ : ^a732 °C, 8h, 100% steam, 15 psig. ^b827 °C, 12 h, 20% steam in air. ^cFeedstock : 23.9 °API gravity, 92 °C aniline pt., IBP : 201 °C; FBP : 552 °C

ซีโอไลต์ที่มีขนาดของหน่วยเซลล์ต่ำกว่าในตอนเริ่มต้นจะมีกัมมันตภาพน้อยกว่าซีโอไลต์ที่แลกเปลี่ยนแรร์เอิร์ทโดยทั่วไป (ภาพประกอบ 7) แต่อย่างไรก็ตามซีโอไลต์ที่มีขนาดหนึ่งหน่วยเซลล์ต่ำกว่ามักจะมีแฟรกชันที่มีกัมมันตภาพที่ดีกว่าจำนวนมากภายใต้ความรุนแรงของความร้อนและไอน้ำร้อนดังนั้นจึงเรียกว่า ultrastable Y

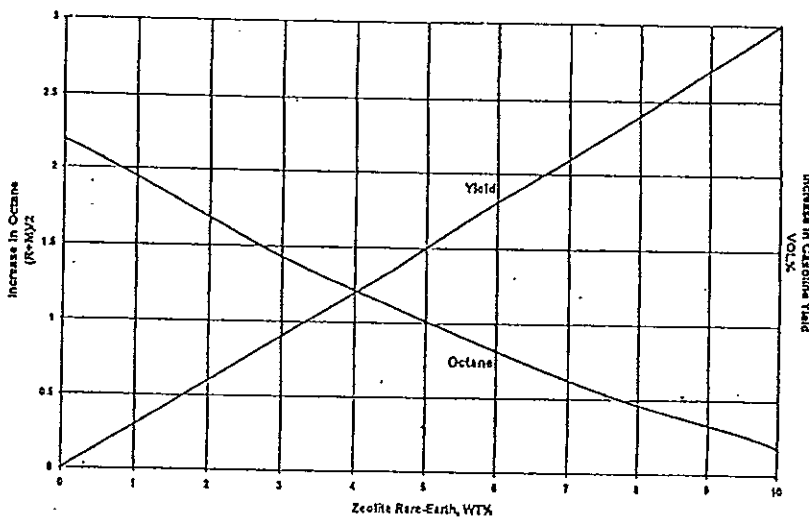
ซีโอไลต์ใหม่สดที่ใช้ในโรงงานจะมีขนาดของหน่วยเซลล์ที่สูงอยู่ในช่วง 24.50-24.75 อังสตรอม สภาพแวดล้อมเชิงความร้อนและไอน้ำร้อนของหน่วยที่ฟื้นฟูสภาพจะดึงอลูมิเนียมออกจากโครงร่างซีโอไลต์ ดังนั้นมันจะลดขนาดของหน่วยเซลล์ด้วย สุดท้ายระดับของขนาดหน่วยเซลล์ขึ้นอยู่กับปริมาณของแรร์เอิร์ทและโซเดียมของซีโอไลต์ การที่มีระดับของแรร์เอิร์ทและโซเดียมที่ต่ำกว่าในซีโอไลต์ใหม่สด มีผลให้ขนาดของหน่วยเซลล์ของตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุค (E-cat) ต่ำลง



ภาพประกอบ 7 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงกัมมันตภาพระหว่าง REY และ USY ซีโอไลต์

ที่มา : Sadeghbeigi, 1995 : 87

ข) ระดับของแรรี่เอิร์ท : ธาตุแรรี่เอิร์ท ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมในการทำให้อะตอมอลูมิเนียมมีความเสถียรในโครงร่างซีโอไลต์ โดยจะมีหน้าที่ป้องกันอะตอมอลูมิเนียมแยกออกจากผลึกซีโอไลต์เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาสัมผัสกับไอน้ำที่อุณหภูมิสูงในเครื่องฟื้นฟูสภาพ ซึ่งซีโอไลต์ที่มีการแลกเปลี่ยนแรรี่เอิร์ทอย่างสมบูรณ์จะเกิดสมดุลที่ค่าของขนาดหน่วยเซลล์สูง ในขณะที่ซีโอไลต์ที่ไม่มีแรรี่เอิร์ทจะเกิดสมดุลที่ขนาดของหน่วยเซลล์ต่ำมากๆ อยู่ในช่วง 24.25 อังสตรอม (Sadeghbeigi, 1995) ระดับปานกลางของแรรี่เอิร์ทจะเพิ่มกัมมันตภาพของซีโอไลต์ แต่สภาพการเลือกแก๊สไฮโดรเจนออกเทนจะลดน้อยลง เนื่องมาจากการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจน ซึ่งการเติมแรรี่เอิร์ททำให้ตำแหน่งกรดมากขึ้นและอยู่ใกล้ชิดกัน ดังนั้นจะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจน และเนื่องจากแรรี่เอิร์ทจะปรับความเสถียรต่อความร้อนและไอน้ำร้อนของซีโอไลต์ ในการปรับปรุงกัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาอันตรัสเตเบลวายซีโอไลต์ จึงมีการเติมแรรี่เอิร์ทอย่างสม่ำเสมอไปยังซีโอไลต์ ซึ่งอัตราส่วนขององค์ประกอบของแรรี่เอิร์ทในซีโอไลต์มีความสำคัญด้วยเช่นกัน โดยส่วนใหญ่แล้วเป็นอัตราส่วนของ La/Ce สำหรับปริมาณของแรรี่เอิร์ทจะพบว่า อัตราส่วนที่สูงกว่าของแลนทานัมต่อซีเรียมจะมีผลสำคัญในการทำให้ซีโอไลต์มีความเสถียรขึ้น (Campagna, 1986)



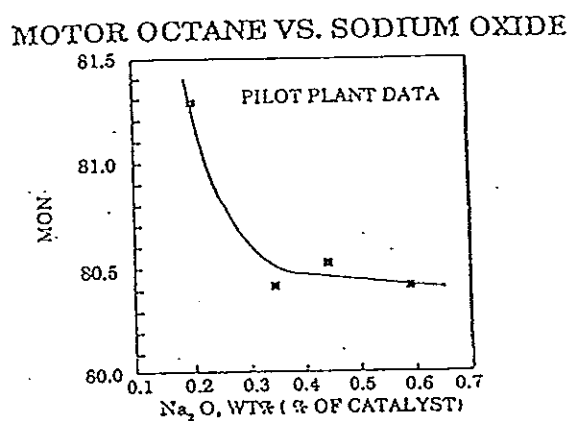
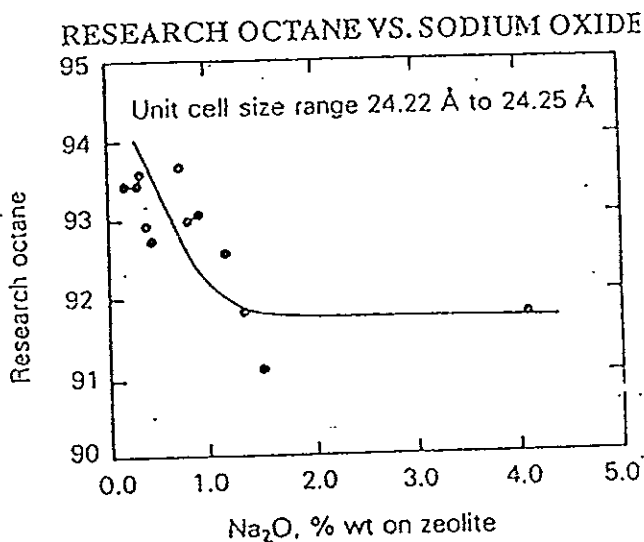
ภาพประกอบ 8 อิทธิพลของปริมาณแรรี่เอิร์ทต่อผลผลิตแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สไฮโดรเจนออกเทน

ที่มา : Sadeghbeigi, 1995 : 89

ค) ปริมาณของโซเดียม : โซเดียมบนตัวเร่งปฏิกิริยามาจากซีโอไลต์ในระหว่างการสังเคราะห์หรือมาจากสารปนเปื้อนก็ได้ ในซีโอไลต์ใหม่สดจะมีความสำคัญมากในการที่จะกำหนดให้ปริมาณของโซเดียมมีค่าต่ำมากๆ ซึ่งโซเดียมจะลดความเสถียรทางความร้อนของซีโอไลต์ โดยโซเดียมจะทำปฏิกิริยากับตำแหน่งกรดของซีโอไลต์ซึ่งจะมีผลต่อการลดลงของกัมมันตภาพ ส่วนในเครื่องฟื้นฟูสภาพโซเดียมจะเคลื่อนที่เร็วมาก ไอออนโซเดียมมีแนวโน้มทำให้ตำแหน่งกรดที่แข็งแรงที่สุดกลายเป็นกลางในซีโอไลต์ที่ลดจำนวนอลูมิเนียม ซึ่งขนาดของหน่วยเซลล์จะต่ำ (24.22 - 24.35 อังสตรอม) โซเดียมสามารถลดแก๊สโซลีนออกเทน (ภาพประกอบ 9) เนื่องจากการลดจำนวนตำแหน่งกรดแข็งแรง

ในปัจจุบันผู้ผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาจากโรงงานที่มีปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของโซเดียมน้อยกว่า 0-2 ซึ่งปริมาณโซเดียมปกติรายงานเป็น ร้อยละโดยน้ำหนักของโซเดียมหรือโซดา (Na_2O) สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา วิธีที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบปริมาณโซเดียม คือ เศษส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมในซีโอไลต์ เพราะว่าตัวเร่งปฏิกิริยา FCC มีปริมาณซีโอไลต์แตกต่างกัน

ขนาดหน่วยเซลล์ ระดับของแอร์ไอร์แลนด์และโซเดียมเป็นสามพารามิเตอร์ที่ใช้ประโยชน์ในการบอกลักษณะของสมบัติของซีโอไลต์ โดยจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของตัวเร่งปฏิกิริยาในการแตกตัวที่ดี



ภาพประกอบ 9 อิทธิพลของโซดาต่อค่าออกเทน

ที่มา : Sadeghbeigi, 1995 : 90

2.1.2 เมทริกซ์

เทอมเมทริกซ์จะมีความหมายแตกต่างกันไปตามแต่บุคคล นั่นคือ เมทริกซ์อาจหมายถึง ส่วนประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นนอกเหนือจากซีโอไลต์ หรือเมทริกซ์อาจหมายถึง องค์ประกอบของ ตัวเร่งปฏิกิริยานอกเหนือจากซีโอไลต์ที่มีกัมมันตภาพในการแตกตัว หรืออีกอย่างหนึ่งเมทริกซ์คือ สาร ยึดเกาะในตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้เมทริกซ์คือ ส่วนประกอบอื่นในตัวเร่งปฏิกิริยา นอกเหนือจากซีโอไลต์ และเทอมเมทริกซ์ว่องไวหมายถึง ส่วนประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยานอกเหนือ จากซีโอไลต์ที่มีกัมมันตภาพในการแตกตัว

อลูมินาเป็นแหล่งของเมทริกซ์ว่องไว โดยส่วนมากเมทริกซ์ว่องไวที่ใช้ในตัวเร่งปฏิกิริยา FCC มีรูปร่างเป็นอสัณฐาน (amorphous) แต่อย่างไรก็ตามอาจมีโครงสร้างเป็นผลึกได้ด้วยเหมือนกัน เมทริกซ์ว่องไวเป็นตัวสำคัญในการสนับสนุนการทำงานทั้งหมดของตัวเร่งปฏิกิริยา FCC เนื่องจากพอร์ (pore) ของซีโอไลต์ไม่เหมาะสมสำหรับการแตกตัวโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ ซึ่งโดยทั่วไปมี จุดเดือดมากกว่า 900 องศาฟาเรนไฮต์ โดยที่พอร์เล็กๆ จะเป็นเส้นทางแพร่ของโมเลกุลขนาดใหญ่ ไปยังตำแหน่งที่มีการแตกตัว นั่นคือเมทริกซ์ที่มีประสิทธิผลจะมีโครงสร้างที่มีพอร์ที่ยอมให้มีการแพร่ ของไฮโดรคาร์บอนเข้าและออกจากตัวเร่งปฏิกิริยา

เมทริกซ์ว่องไวให้ตำแหน่งกรดในการแตกตัวในขั้นปฐมภูมิ ตำแหน่งกรดที่อยู่ในเมทริกซ์ของ ตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่มีสภาพการเลือกเหมือนกับตำแหน่งกรดของซีโอไลต์ แต่สามารถแตกตัวโมเลกุลที่ มีขนาดใหญ่กว่าที่ไม่สามารถเข้าไปยังพอร์ที่มีขนาดเล็กของซีโอไลต์ได้ โดยเมทริกซ์ว่องไวจะแตกตัว โมเลกุลของสารป้อนที่หนักๆ เพื่อลดขนาดของสารไฮโดรคาร์บอนก่อนการแตกตัวในขั้นต่อไป ซึ่งจะ เกิดจากแหล่งกรดภายในซีโอไลต์ ผลที่ได้จากอันตรกิริยาระหว่างเมทริกซ์และซีโอไลต์ ซึ่งกัมมันตภาพ ได้มาจากการรวมผลของทั้งสองส่วนประกอบจะมีค่าสูงกว่าผลรวมที่เกิดจากส่วนประกอบเดี่ยวแล้วนำ มารวมกัน

สารป้อนในหน่วย FCC ที่มีแฟรกชันของจุดเดือดสูงๆ โดยปกติจะประกอบด้วยโลหะ และ ไนโตรเจนซึ่งเป็นพิษต่อซีโอไลต์ เมทริกซ์ว่องไวสามารถทำหน้าที่เป็นตัวดักจับสารวานาเดียมและ ไนโตรเจน และข้อดีอีกอย่างหนึ่งของเมทริกซ์ว่องไวคือ ป้องกันซีโอไลต์ไม่ให้ลดกัมมันตภาพเนื่องจาก สารปนเปื้อนเร็วเกินไป

2.1.3 สารเติมแต่งและสารยึดเกาะ

สารเติมแต่งคือ ดินเหนียวที่เติมลงในตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อทำให้กัมมันตภาพลดลง Kaolin $[Al_2(OH)_2Si_2O_3]$ คือดินเหนียวที่ใช้กันมากในตัวเร่งปฏิกิริยา FCC ในโรงกลั่นบางแห่งตัวเร่งปฏิกิริยา FCC ใช้ kaolin clay เป็นโครงสร้างในการเติบโตของซีโอไลต์

สารยึดเกาะทำหน้าที่เป็นกาวยึดซีโอไลต์ เมทริกซ์ และสารเติมแต่งเข้าด้วยกัน สารยึดเกาะอาจจะมีหรือไม่มีกัมมันตภาพในการแตกตัว โดยความสำคัญของสารยึดเกาะเด่นมากในตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยสัดส่วนของซีโอไลต์สูง

หน้าที่ของสารเติมแต่งและสารยึดเกาะจะให้ความมั่นคงและความแข็งแรงเชิงกายภาพ (ความหนาแน่น ความต้านทาน การขัดสี และการกระจายขนาดของอนุภาค เป็นต้น) รวมทั้งเป็นตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนและเป็นตัวกลางให้เกิดสภาพฟลูอิดส์ และรวมส่วนประกอบที่สำคัญของซีโอไลต์เข้าด้วยกัน

2.2 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สด

ผู้ผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องมีรายงานการตรวจสอบตัวเร่งปฏิกิริยาให้แก่โรงกลั่นพร้อมกับการส่งมอบตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สด รายงานนี้จะต้องมีสมบัติเชิงเคมีและเชิงกายภาพส่งมาด้วย ข้อมูลนี้มีค่าและจะต้องติดตามตรวจสอบอย่างละเอียด เพื่อที่จะรับประกันได้ว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้รับสอดคล้องกับคุณลักษณะเฉพาะที่ได้ตกลงกันไว้ ทางโรงกลั่นต้องสุ่มตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สดมาวิเคราะห์ เพื่อยืนยันสมบัติที่อยู่ในรายงาน นอกจากนี้ต้องรายงานสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สดทุกๆ 3 เดือน เพื่อยืนยันว่าเป้าหมายที่ควบคุมจะยังคงได้รับอยู่เสมอ

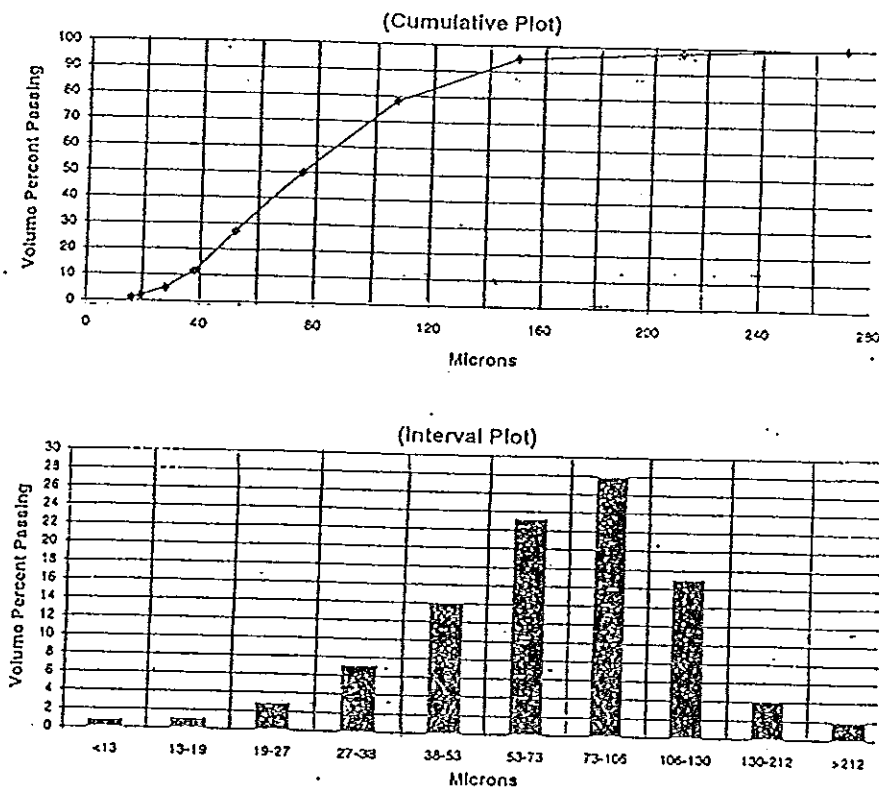
การกระจายขนาดของอนุภาค ปริมาณไฮเดียม ปริมาณแอร์เอิร์ทและพื้นที่ผิว เป็นพารามิเตอร์ในการตรวจสอบ ซึ่งต้องมีความเอาใจใส่อย่างมาก

2.2.1 การกระจายขนาดของอนุภาค

การกระจายขนาดของอนุภาค หาได้โดยการร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐาน เป็นตัวบ่งชี้ถึงสมบัติของสภาพฟลูอิดซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทั่วไปสภาพฟลูอิดซ์จะเพิ่มตามแฟร็กชันของอนุภาคในช่วง 0 - 40 ไมครอน อย่างไรก็ตามถ้าร้อยละแฟร็กชันของอนุภาค 0 - 40 ไมครอน มากเกินไปจะเป็นผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาหลุดหายไปมาก ลักษณะของสภาพฟลูอิดซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยา FCC ขึ้นอยู่กับขนาด

ของระบบ สัดส่วนของปริมาณอนุภาคที่อยู่ในช่วง 0-40 ไมครอน และประสิทธิภาพของไซโคลน ดังนั้น ในระบบที่มีการหมุนเวียนตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างดีเพื่อให้คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต้องมีเฟรกชันของอนุภาคที่น้อยกว่า 40 ไมครอนน้อยที่สุด เพราะหลังจากที่มีการหมุนเวียนตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อย โดยส่วนใหญ่แล้วขนาดอนุภาคในช่วง 0 - 40 ไมครอน จะหลุดออกจากระบบผ่านไซโคลน (เพราะไซโคลนจับไม่อยู่) แต่ถ้ามีอนุภาคขนาดใหญ่มากเกินไปจะทำให้ไหลได้ไม่ดี โดยส่วนใหญ่แล้วร้อยละ 50 - 60 ของตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีอนุภาคในช่วง 40 - 80 ไมครอน

ผู้ผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถควบคุมการกระจายขนาดของอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สดโดยผ่าน spray-drying cycle ดังแสดงในภาพประกอบ 10 ซึ่งขนาดอนุภาคเฉลี่ยของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้ค่ากลาง (median value)



ภาพประกอบ 10 การกระจายขนาดอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา FCC

ที่มา : Sadeghbeigi, 1995 : 96

2.2.2 พื้นที่ผิว (surface area), ตารางเมตรต่อกรัม

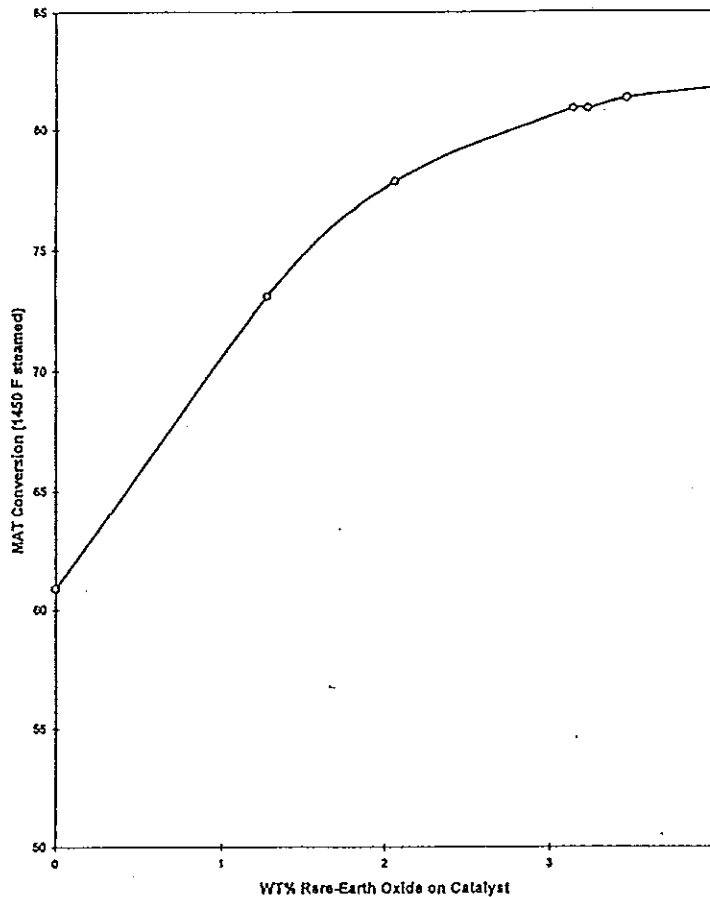
การรายงานพื้นที่ผิว เป็นการรวมพื้นที่ผิวของซีโอไลต์และเมทริกซ์ ในการผลิตซีโอไลต์การวัดพื้นที่ผิวซีโอไลต์เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ป้อนเข้าไป พื้นที่ผิวโดยทั่วไปเป็นการตรวจสอบปริมาณของไนโตรเจนที่ถูกดูดซับโดยตัวเร่งปฏิกิริยา มีหน่วยเป็นตารางเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการใช้งานมาแล้วจะมีพื้นที่ผิวลดลงมาก และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ป้อนเข้าระบบจะสามารถรายงานเป็นพื้นที่ผิวซีโอไลต์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของซีโอไลต์ในตัวเร่งปฏิกิริยา

2.2.3 โซเดียม (sodium), ร้อยละโดยน้ำหนัก

โซเดียม เป็นสารที่มีอยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยาในโรงกลั่น ซึ่งจะมีผลทำให้ลดกัมมันตภาพของซีโอไลต์และลดแก๊สไฮโดรคาร์บอน จึงต้องการให้ปริมาณโซเดียมในตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สดมีน้อยมากที่สุด การตรวจสอบตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของโซเดียมหรือโซดาในตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถใช้ปริมาณโซเดียมในตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวบ่งบอกได้เหมือนกัน

2.2.4 แรร์เอิร์ท (rare earth), ร้อยละโดยน้ำหนัก

แรร์เอิร์ท เป็นชื่อทั่วไปสำหรับธาตุโลหะ 14 ตัว ของอนุกรมแลนทานัม ซึ่งธาตุเหล่านี้จะแสดงสมบัติทางเคมีเหมือนกัน โดยปกติใช้ในรูปของผลสมของออกไซด์ที่สกัดมาจากสินแร่ เช่น bastnaesite หรือ monazite แรร์เอิร์ทจะปรับปรุงกัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา (ภาพประกอบ 11) และความเสถียรต่อไอน้ำอุณหภูมิสูง ตัวเร่งปฏิกิริยามีระดับของแรร์เอิร์ทอยู่ในช่วงกว้าง ซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของโรงกลั่น เช่นเดียวกับปริมาณโซเดียม การตรวจสอบสามารถแสดงในรูปร้อยละโดยน้ำหนักของแรร์เอิร์ทหรือแรร์เอิร์ทออกไซด์ในตัวเร่งปฏิกิริยา และในทำนองเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวเร่งปฏิกิริยา ความเข้มข้นของแรร์เอิร์ทบนซีโอไลต์ก็ใช้ด้วยเหมือนกัน



ภาพประกอบ 11 อิทธิพลของแรร์เอิร์ทต่อกัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

ที่มา : Sadeghbeigi, 1995 : 98

2.3 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล

ในโรงกลั่นมีการทดสอบตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล FCC อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งการทดสอบก่อให้เกิดความเข้าใจข้อมูลได้ดีขึ้น และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในหน่วย FCC ของโรงกลั่นได้ดี การตรวจสอบตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล คือทางหนึ่งของผู้ผลิตตัวเร่งปฏิกิริยากับโรงกลั่นสามารถทำงานด้วยกันเพื่อหาภาวะในการดำเนินการของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม นำไปสู่การดำเนินการหรือการทำงานที่ดีกว่า

โดยส่วนใหญ่แล้วการตรวจสอบตัวเร่งปฏิกิริยาให้เป็นตัวบ่งชี้ถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา ผู้ดูแลหน่วย FCC ต้องเตรียมพร้อมในการหาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลง และถ้าจำเป็นก็ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขการดำเนินการเพื่อให้กลับไปสู่ภาวะปกติมากที่สุด

2.3.1 สมบัติของการเร่งปฏิกิริยา

สมบัติของการเร่งปฏิกิริยา คือการตรวจสอบโดยการทดสอบจุดกัมมันตภาพ โดยนำตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุลงที่ผ่านการเอาไค้กออกแล้วใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ ในการดำเนินงานโดยทั่วไป สารป้อน FCC เคลื่อนที่ผ่านเหนือตัวเร่งปฏิกิริยาที่ภาวะของการแตกตัว และวิเคราะห์ผลผลิต

ก) ความว่องไว

ค่าความว่องไวที่รายงาน คือค่ากัมมันตภาพที่ได้รับจากการทดสอบทาง MAT ในห้องปฏิบัติการ นั่นคือค่ากัมมันตภาพได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเอาไค้กออกที่ภาวะมาตรฐานในการทดสอบ การเปลี่ยนแปลงต่างๆในค่ากัมมันตภาพได้จาก การเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยา การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในกระบวนการ การเปลี่ยนแปลงภาวะในการดำเนินการ การเปลี่ยนคุณภาพของสารป้อน ข้อมูลค่ากัมมันตภาพที่ได้จากเครื่อง MAT ทางโรงกลั่นต้องแยกอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาและอิทธิพลของสารป้อนออกจากกันเมื่อมีการศึกษาหน่วยดำเนินการ การเปลี่ยนแปลงค่ากัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่ากัมมันตภาพในทางการค้า ในขณะที่อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์และคุณภาพของสารป้อนคงที่ หน่วยการเปลี่ยนในทางการค้าจะไม่มีเปลี่ยนแปลงมากเหมือนกับค่าการเปลี่ยนกัมมันตภาพในทาง MAT และการเปลี่ยนแปลงที่คาดไว้ในหน่วยการเปลี่ยนทางการค้าจะอยู่ประมาณร้อยละ 80-90 ของการเปลี่ยนแปลงค่ากัมมันตภาพของ MAT โดยแฟกเตอร์ต่างๆที่มีอิทธิพลต่อค่ากัมมันตภาพใน MAT คือ

- อัตราการป้อนตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สด : สำหรับการดำเนินงานโดยทั่วไป อัตราการป้อนตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สดโดยเฉลี่ยร้อยละ 1 ต่อวัน และถ้าค่าอัตราการป้อนตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สดเพิ่มขึ้นสองเท่าทำให้ค่ากัมมันตภาพที่ได้จากเครื่อง MAT เพิ่มขึ้นร้อยละ 4-6

- การปนเปื้อนของโลหะ : โลหะที่ปนเปื้อนในสารป้อนจะลดกัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณของโลหะที่น้อยกว่า 100 ppm มีผลเพียงเล็กน้อยต่อค่ากัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุลง แต่ค่ากัมมันตภาพจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระดับของโลหะมากกว่า 2000 ppm

- ความเป็นพิษของตัวเร่งปฏิกิริยา : เกิดจากสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ซึ่งโดยปกติโซเดียมเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้กัมมันตภาพลดลงได้ โดยโซเดียมลดจุดหลอมเหลวของโครงร่างตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งอุณหภูมิในหน่วยฟื้นฟูสภาพสูงเพียงพอที่จะหลอมส่วนที่ปนเปื้อนของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้มีการทำลายทั้ง sieve และเมทริกซ์

- การลดกัมมันตภาพเนื่องจากไอน้ำอุณหภูมิสูง เครื่องฟื้นฟูสภาพสามารถลดกัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยผลจากการกระทำของไอน้ำและอุณหภูมิที่สูงซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการลดกัมมันตภาพโดยไอน้ำอุณหภูมิสูง

ข) สภาพการเลือกของตัวเร่งปฏิกิริยา

โดยปกติแล้วสภาพการเลือกของตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงในรูปของโค้กแฟกเตอร์ แก๊สแฟกเตอร์ และอัตราส่วนโมเลกุลไฮโดรเจนต่อมีเทน ทั้งโค้กแฟกเตอร์และแก๊สแฟกเตอร์จะแสดงถึงแนวโน้มการเกิดโค้กและแก๊สของตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านกระบวนการลดกัมมันตภาพด้วยไอน้ำอุณหภูมิสูง ในภาวะมาตรฐานของการดำเนินการที่ระดับค่ากัมมันตภาพเดียวกัน ค่าโค้กแฟกเตอร์และแก๊สแฟกเตอร์ได้รับอิทธิพลจากชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สดและปริมาณของโลหะที่ยึดเกาะบนตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล ทั้งโค้กแฟกเตอร์และแก๊สแฟกเตอร์สามารถแสดงให้เห็นถึงกัมมันตภาพของโลหะในตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการดึงไฮโดรเจนออก ซึ่งมีแนวโน้มที่จะลดสภาพการเลือกในการแตกตัวเพื่อเป็นโค้กและแก๊ส

ค) สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล

- การกระจายขนาดของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยา (particle size distribution)

ขนาดของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาให้ข้อมูลเกี่ยวกับ 1) ลักษณะการหมุนเวียนของตัวเร่งปฏิกิริยา 2) การทำงานของไซโคลน 3) ลักษณะของการกระแทกในระบบ

การหมุนเวียนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีในหน่วย FCC คือการหมุนเวียนตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการกระจายขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงกว้าง และสิ่งที่สำคัญคือ จำนวนตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 40 ไมครอน และจำนวนตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาดอนุภาคมากกว่า 100 ไมครอน ซึ่งถ้าแฟร็กชันเหล่านี้มีจำนวนน้อยจะเกิดปัญหาในระบบหมุนเวียนได้ เนื่องจากในแต่ละหน่วยแต่ละระบบจะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันไป โดยบางหน่วยบางระบบจะสามารถทำงานได้ดีเมื่อมีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 40 ไมครอนอยู่ในช่วงร้อยละ 3-5 หรือบางหน่วยต้องการขนาดอนุภาคเหล่านั้นถึงร้อยละ 10-

15

- พื้นที่ผิว (surface area), ตารางเมตรต่อกรัม

พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุลไม่สามารถวัดได้จากกัมมันตภาพโดยตรง พื้นที่ผิวเป็นผลรวมของพื้นที่ผิวซีโอไลต์และของเมทริกซ์ ภายใต้ภาวะการใช้ไอน้ำอุณหภูมิสูงจะทำลายโครงสร้างซีโอไลต์ ดังนั้นจะลดพื้นที่ผิว รวมทั้งมีผลต่อการดึงออกซิเจนออกจากโครงร่างของซีโอไลต์ด้วย

ซึ่งกระบวนการผ่านไอน้ำอุณหภูมิสูงมีผลต่อพื้นที่ผิวของเมทริกซ์น้อยมาก แต่พื้นที่ผิวของเมทริกซ์จะได้รับผลจากการยุบตัวของพอร์เล็ก ๆ กลายมาเป็นพอร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

- ความหนาแน่นรวมก้อน (apparent bulk density), กรัมต่อมิลลิลิตร

ความหนาแน่นรวมก้อน โดยส่วนใหญ่สามารถใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงปัญหาในการไหลของตัวเร่งปฏิกิริยา หาได้จากการนำตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งก้อนมาชั่งและหาปริมาตร จากนั้นจึงหาออกมาเป็นความหนาแน่นรวม ค่าที่สูงของความหนาแน่นรวมก้อนสามารถใช้เป็นข้อจำกัดในความเป็นฟลูอิดซ์ และในกรณีที่ความหนาแน่นรวมก้อนมีค่าน้อยก็สามารถเป็นผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาหายมากเกินไปได้ ดังนั้นโดยปกติแล้วความหนาแน่นรวมก้อนของตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุลจะมีค่าสูงกว่าของตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สด เนื่องจากความร้อนและไอน้ำอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยา

- ปริมาตรของพอร์ (pore volume), ลูกบาศก์มิลลิลิตรต่อกรัม

ปริมาตรของพอร์ เป็นตัวบ่งชี้ถึงจำนวนพอร์ในอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยา และสามารถใช้เป็นแนวทางในการบอกถึงชนิดของการลดกัมมันตภาพในตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหน่วยการค่าได้ โดยการลดกัมมันตภาพแบบไอน้ำอุณหภูมิสูงมีผลน้อยมากต่อปริมาตรพอร์ ในขณะที่การลดกัมมันตภาพแบบความร้อนจะลดปริมาตรของพอร์

- เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน (pore diameter), อังสตรอม

เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ยของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถคำนวณจากการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุลดังสมการข้างล่าง

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ย (อังสตรอม)} = \frac{\text{ปริมาตรรูพรุน} \times 4 \times 1000}{\text{พื้นที่ผิว}}$$

ง) สมบัติทางเคมี

ธาตุที่เป็นกุญแจสำคัญต่อลักษณะองค์ประกอบทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ อลูมินา ไชเตียม โลหะ และผงถ่านคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ฟื้นฟูสภาพแล้ว

- อลูมินา (Al_2O_3) ปริมาณอลูมินาของตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล เป็นร้อยละโดยน้ำหนักทั้งหมดของอลูมินา (ทั้งที่ว่างไวและไม่ว่างไว) ในตัวเร่งปฏิกิริยา (bulk catalyst) ซึ่งปริมาณอลูมินาในตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุลมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณอลูมินาในตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สด ดังนั้นเมื่อมีการ

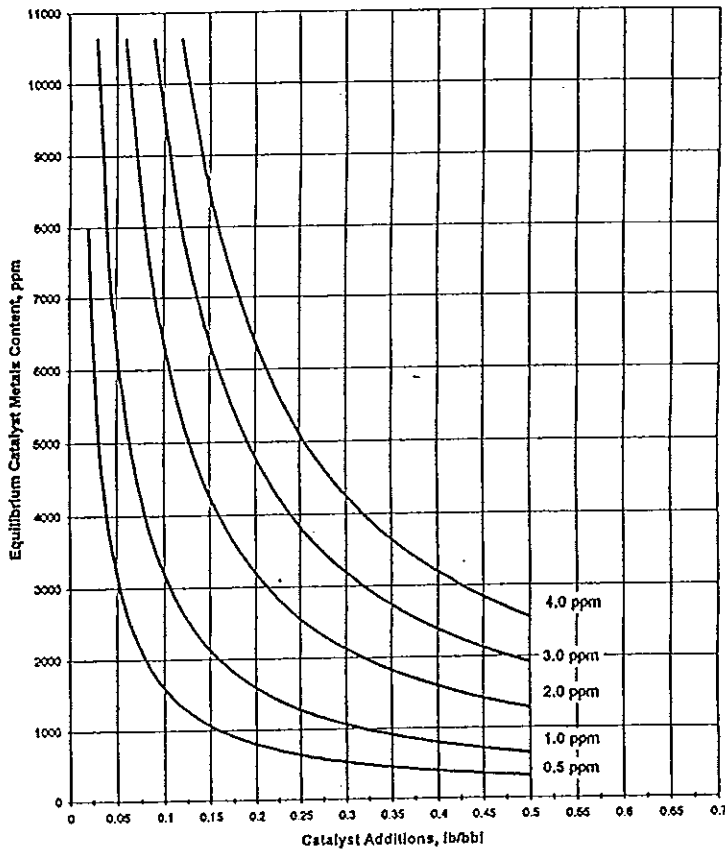
เปลี่ยนแปลงชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา จึงใช้ปริมาณอลูมินาในตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุลในการตรวจสอบร้อยละของตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สดในระบบ

- โซเดียม (Na) ในตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล ปริมาณโซเดียมเป็นผลรวมของปริมาณโซเดียมในสารป้อนที่เติมลงไปและปริมาณโซเดียมในตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สด ปริมาณของโซเดียมในตัวเร่งปฏิกิริยานิยมรายงานเป็นโซดา โดยโซเดียมจะลดกัมมันตภาพของตำแหน่งกรดในตัวเร่งปฏิกิริยาและเป็นสาเหตุให้เกิดการยุบตัวของโครงร่างผลึกซีโอไลต์ โดยปกติโซเดียม (<20%) ที่เกาะบนตัวเร่งปฏิกิริยาและปริมาณโซเดียมในสารป้อน 1 - 2 ppm จะไม่มีปัญหาต่อตัวเร่งปฏิกิริยา

- โลหะ การยึดเกาะของโลหะที่ปนเปื้อนบนตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นสาเหตุให้กัมมันตภาพและสภาพการเลือกของตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุลลดลง ซึ่งทั้งนิกเกิล ทองแดง วานาเดียม และเหล็ก จะมีอยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่แล้ว โลหะเหล่านี้มีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาการดึงไฮโดรเจน และโลหะบางตัวมีกัมมันตภาพในการแตกตัว ซึ่งปฏิกิริยาการแตกตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยโลหะเหล่านี้ เป็นผลต่อการเพิ่มของไฮโดรเจน สารที่มีพันธะคู่ โค้ก และไฮโดรคาร์บอนเบา ซึ่งจะลดผลผลิตแก๊สโซลีน

โลหะที่ปนมากับสารป้อน เช่น นิกเกิล ทองแดง และวานาเดียม มาจากสารประกอบออกาโนเมทัลลิก (organometallic compound) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในสารป้อน มีเพียงเหล็กเท่านั้นที่อยู่ในสารป้อนที่มาจากสารประกอบออกาโนไอรอน (organo-iron) เหล็กเหล่านี้เมื่อเกาะบนตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุลจะมีกัมมันตภาพในการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา และส่วนใหญ่แล้วเหล็กบนตัวเร่งปฏิกิริยามีต้นกำเนิดมาจากโลหะที่เครื่องมือและจากตัวเร่งปฏิกิริยาเอง โดยเหล็กชนิดนี้จะไม่มีการกัมมันตภาพต่อการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา

- คาร์บอน หรือ โค้กที่เกาะบนตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุลในระหว่างการผลิตปฏิกิริยาแตกตัว จะปิดล้อมตำแหน่งที่เร่งปฏิกิริยาทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีกัมมันตภาพลดลง โดยการเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักของคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยาพื้นฟูสภาพ จะมีผลให้ค่ากัมมันตภาพลดลงร้อยละ 3 คาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยาพื้นฟูสภาพ เป็นตัวบ่งชี้ถึงการทำงานของเครื่องพื้นฟูสภาพ ถ้าคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยาพื้นฟูสภาพเพิ่มขึ้น จะแสดงให้เห็นถึงการทำงานที่ผิดปกติของตัวกระจายอากาศกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้งานแล้วของหน่วยพื้นฟูสภาพ และเมื่อมีการใช้ตัวสนับสนุน (promoter) ให้เกิดการเผาไหม้ของคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยาพื้นฟูสภาพโดยทั่วไปอยู่ในช่วงร้อยละ 0.05-0.15 โดยน้ำหนัก และเมื่อไม่ได้ใช้ตัวสนับสนุนค่าคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยาพื้นฟูสภาพโดยปกติอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.25-0.40 โดยน้ำหนัก



ภาพประกอบ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะบนตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา
ที่มา : Sadeghbeigi, 1995 : 107

3. ลักษณะของสารป้อน FCC (Sadeghbeigi, 1995)

โดยทั่วไปสารป้อนที่ใช้ในกระบวนการ FCC คือ แก๊สออยล์สุญญากาศ ซึ่งเป็นน้ำมันหนักที่ได้จากการกลั่นกากน้ำมันภายใต้สุญญากาศ ทั้งนี้เพื่อให้ได้สารป้อนที่สะอาดพอสมควร นั่นคือ จะมีโลหะหนัก และแอสฟัลติก (asphaltic) อยู่ในปริมาณที่น้อยมาก เพราะทั้งสองสิ่งนี้จะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมสภาพได้ง่าย สารป้อนที่สะอาดอื่นๆก็อาจนำมาใช้ในปฏิกิริยาด้วย เช่น แก๊สออยล์ธรรมดา เป็นต้น ทางโรงกลั่นได้เผชิญหน้ากับกระบวนการที่แตกต่างกัน เนื่องจากเงื่อนไขทางตลาดและคุณภาพของน้ำมันดิบไม่แน่นอน ดังนั้นลักษณะของสารป้อนจะเป็นกระบวนการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของสารป้อน โดยสารป้อนสองชนิดที่มีช่วงจุดเดือดเหมือนกันและภายใต้การดำเนินการที่เหมือนกัน การเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวและผลผลิตจะแตกต่างกัน ลักษณะของสาร

ป้อน FCC มีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นการเข้าใจถึงสมบัติของสารป้อน และผลกระทบต่อหน่วยการดำเนินการจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทำในการประกอบการ FCC การเข้าใจถึงผลของสารป้อนต่อผลที่ได้ทำให้ทางโรงกลั่นสามารถซื้อสารป้อนที่ก่อให้เกิดผลกำไรมากที่สุดได้

3.1 การแบ่งประเภทของไฮโดรคาร์บอน

ชนิดของไฮโดรคาร์บอนในสารป้อน FCC มีหลายชนิดเช่น พาราฟิน แนฟทีน และอะโรแมติก

3.1.1 พาราฟิน

พาราฟิน อาจเป็นไฮโดรคาร์บอนแบบเส้นตรงหรือแบบมีกิ่งก้านสาขา ซึ่งมีสูตรทางเคมี คือ C_nH_{2n+2} ชื่อของแต่ละตัวจะลงท้ายด้วยคำว่า -น โดยทั่วไปสารป้อน FCC ส่วนใหญ่เป็นพวกพาราฟิน ซึ่งมีปริมาณอยู่ระหว่างร้อยละ 50-65 โดยน้ำหนักของสารป้อนทั้งหมด ซึ่งพาราฟินในสารป้อนจะแตกตัวได้ง่าย

3.1.2 โอเลฟิน

โอเลฟิน เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว มีสูตรทางเคมีคือ C_nH_{2n} เมื่อเทียบกับพาราฟินแล้วโอเลฟินไม่เสถียรและสามารถทำปฏิกิริยากับตัวมันเองหรือกับสารประกอบอื่นๆ เช่น ออกซิเจน และสารละลายโบรมีน ในหน่วย FCC ต้องการสารป้อนที่มีโอเลฟินน้อย ซึ่งส่วนใหญ่แล้วโอเลฟินจะแตกตัวเกิดเป็นผลผลิตที่ไม่เหมาะสม เช่น slurry และโค้ก โดยทั่วไปแล้วปริมาณของโอเลฟินในสารป้อน FCC น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

3.1.3 แนฟทีน

แนฟทีน (C_nH_{2n}) มีสูตรทางเคมีเหมือนกับโอเลฟินแต่จะมีลักษณะสำคัญที่แตกต่างจากโอเลฟิน คือ เป็นสารประกอบพาราฟินที่อเป็นวงแหวนหรือมีรูปร่างเป็นวงกลม โดยแนฟทีนเหมือนกับพาราฟินตรงที่ทั้งสองเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว แนฟทีนเหมาะสมสำหรับเป็นสารป้อน FCC เพราะว่า แนฟทีนสามารถผลิตแก๊สโซลีนออกเทนสูงได้ ซึ่งแก๊สโซลีนที่ได้จากการแตกตัวของแนฟทีนจะมีปริมาณอะโรแมติก และสารที่หนักกว่าผลผลิตแก๊สโซลีนที่ได้จากการแตกตัวของพาราฟิน

3.1.4 อะโรแมติก

อะโรแมติก (C_nH_{2n-6}) เหมือนกับแนฟทีน แต่จะประกอบด้วยแกนที่เป็นวงแหวนอิ่มตัวที่เสถียร ซึ่งอะโรแมติกเป็นสารประกอบที่อย่างน้อยต้องประกอบด้วยหนึ่งวงแหวนเบนซีน โดยวงแหวน

เบนซิน จะมีความเสถียรมากๆ และไม่แตกตัวออกเป็นสารประกอบที่เล็กกว่าได้อีก ดังนั้นอะโรแมติก ไม่เหมาะที่จะมีในสารป้อน FCC เพราะว่าโดยส่วนใหญ่แล้วโมเลกุลเหล่านี้จะไม่แตกตัว ซึ่งการแตกตัว โดยส่วนใหญ่ของสารอะโรแมติกเกี่ยวกับการแตกของโมเลกุลที่เกาะข้างวงแหวน เป็นผลให้ได้ผลผลิต เป็นแก๊สเชื้อเพลิงมากเกินไป

3.2 สมบัติทางกายภาพของสารป้อน

สมบัติของสารป้อนที่ต้องตรวจสอบคือ สมบัติทางกายภาพและทางเคมี แต่จากวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ผ่านมาไม่นิยมที่จะตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของสารป้อน FCC แต่บ่อยครั้งที่ได้มีการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

3.2.1 ค่าองศา API ($^{\circ}$ API gravity)

ค่าองศา API เป็นการวัดความเบาสุดหรือความหนักสุดของของเหลวไฮโดรคาร์บอน ค่าองศา API ของของเหลวคืออีกเทอมหนึ่งที่ใช้ในการเปลี่ยนหน่วยปริมาตรให้อยู่ในหน่วยน้ำหนัก

$$SG(60^{\circ}F) = \frac{141.5}{131.5 + ^{\circ}API_{gravity}}$$

$$^{\circ}API_{gravity} = \frac{141.5}{SG(at\ 60^{\circ}F)} - 131.5$$

SG (at 60 $^{\circ}$ F)

สมการเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า ค่าองศา API ที่สูงกว่า แสดงถึงตัวอย่างของเหลวที่เบากว่า ในโรงกลั่นปิโตรเลียมใช้การวัดค่าองศา API กับสารป้อนต่างๆหรือผลผลิตที่ได้

3.2.2 การกลั่น

จุดเดือดของการกลั่น ให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพและองค์ประกอบของสารป้อน การทดสอบการกลั่นจะดำเนินการในห้องปฏิบัติการโดยการวัดอุณหภูมิของไอที่กลั่นออกมาที่จุดเดือดเริ่มต้น (initial boiling point) ในรูปเปอร์เซ็นต์แฟรกชันเชิงปริมาตรที่ 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 95 และที่จุดเดือดสุดท้าย (end point) จะถูกเก็บไว้ การกลั่นให้ข้อมูลเกี่ยวกับแฟรกชันที่มีจุดเดือดมากกว่า 482 องศาเซลเซียส และแฟรกชันของสารป้อนซึ่งเดือดที่อุณหภูมิน้อยกว่า 343 องศาเซลเซียส เช่น แก๊สออยล์บรรยากาศ แก๊สออยล์เบาสุญญากาศ และแก๊สออยล์เบาที่มีไค้ก โดยครอบคลุมถึงสารป้อนเบาบริสุทธิ์ที่เป็นแฟรกชันที่มีจุดเดือดน้อยกว่า 343 องศาเซลเซียส ซึ่งสารป้อนที่มี

แฟร็กชันเบาจะให้ผลผลิต LCO มาก และดังนั้นทำให้ค่ากัมมันตภาพต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสารป้อนหนัก โดยค่ากัมมันตภาพของสารป้อนเบาต่ำเพราะว่า

- 1) น้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำกว่าทำให้เกิดการแตกตัวได้น้อย
- 2) ในกระบวนการเก็บของสารป้อนตัวเบาๆ จะมีปริมาณอะโรแมติกมาก
- 3) สารป้อนอะโรแมติกตัวเบาๆ ชอบที่จะเกิดการแตกตัวของโมเลกุลที่เกาะอยู่ด้านข้างวงแหวน

3.2.3 จุดแอนิลีน

แอนิลีนคือ อะโรแมติกเอมีน ($C_6H_5NH_2$) และเมื่อใช้เป็นตัวทำละลายจะมีสภาพการเลือกเฉพาะกับอะโรแมติก นั่นคือแอนิลีน ใช้เป็นตัวตรวจสอบความเป็นอะโรแมติกของสารป้อน FCC ซึ่งสารประกอบอะโรแมติกจะละลายในแอนิลีนได้ดีกว่าพาราฟินและเนฟทีน จุดแอนิลีน เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่ตัวอย่างน้ำมันและแอนิลีนที่มีปริมาตรเท่ากันสามารถผสมได้อย่างสมบูรณ์ โดยจุดแอนิลีนจะเพิ่มขึ้นตามความเป็นพาราฟินและจะลดลงตามความเป็นอะโรแมติก รวมทั้งเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุลของสารป้อนด้วย

3.2.4 ค่าดัชนีหักเห

เหมือนกับค่าจุดแอนิลีน ค่าดัชนีหักเหแสดงถึงสารป้อนที่เป็นอะโรแมติก โดยสารป้อนที่มีค่าดัชนีหักเหสูงกว่าจะสามารถแตกตัวได้น้อยกว่า

3.2.5 ไบรอมีนัมเบอร์และดัชนีไบรอมีน (bromine number and bromine index)

ทั้ง bromine number (ASTM D-1159) และ bromine index (ASTM D-2710) เป็นวิธีเกี่ยวกับการวัดจำนวนตำแหน่งที่ว่องไวของสารป้อน โดยไบรอมีนไม่เพียงแต่ทำปฏิกิริยาเฉพาะกับโอเลฟินเท่านั้น แต่สามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆในสารป้อนที่มีไนโตรเจนและบางอนุพันธ์ของอะโรแมติกซัลไฟด์ แต่อย่างไรก็ตามโอเลฟินเป็นตัวที่นิยมใช้บ่งบอกถึงการมีตำแหน่งว่องไว และ bromine number ใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงความเป็นโอเลฟินของสารป้อน

3.2.6 ความหนืด

การวัดความหนืด ให้ข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของสารป้อน โดยความหนืดของสารป้อนเพิ่มขึ้น แสดงถึงปริมาณของไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นและปริมาณของอะโรแมติกที่ลดลง ความหนืดของน้ำมัน เป็นการวัดความต้านทานการไหลของน้ำมัน ความหนืดสัมบูรณ์มีหน่วยเป็นปัวส์ (poise) ซึ่งวัดค่าได้ยากจึงใช้ความหนืดเชิงจลน์ (kinematic viscosity) แทน ซึ่งตรวจสอบโดยการวัดความดัน

ที่ลดลงเมื่อไหลผ่านท่อยาวเล็กๆที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวเฉพาะ หน่วยของความหนืดเชิงจลน์ คือ สต็อกส์ แต่โดยทั่วไปใช้ เซ็นติสต็อกส์ โดยปัวส์มีความสัมพันธ์กับเซ็นติสต็อกส์ ตามสมการ

$$\text{Centistoke} = \frac{\text{Centipoise}}{\text{Density (g/cm}^3\text{)}}$$

3.2.7 Conradson, Ramsbottom and Heptane insoluble

กากคาร์บอนเป็นสาร carbonaceous resid เกิดขึ้นหลังจากการทำลายโครงสร้างของสารป้อนด้วยความร้อน ในหน่วยการแตกตัวโดยทั่วไปมีข้อจำกัดในความสามารถของการเผาได้กออก ดังนั้นจึงครอบคลุมถึงกากที่ผลิตเป็นโค้กด้วย กากคาร์บอนของสารป้อนแก๊สออยล์โดยทั่วไป น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ในขณะที่สารป้อนที่ประกอบด้วยกากอาจมีค่าสูงถึงร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก

ได้มีการทดสอบ 3 ชนิด ที่ใช้แสดงการวัดกากคาร์บอน หรือสารประกอบคาร์บอนของสารป้อน FCC คือ Conradson, Ramsbottom และ Heptane insoluble โดยแต่ละการทดสอบจะมีทั้งข้อดี และข้อเสีย แต่ทั้งหมดนี้ก็ยังไม่ให้คำจำกัดความที่แน่ชัดของกากคาร์บอน

3.3 สิ่งปนเปื้อน

ในปัจจุบันทางโรงกลั่นต้องการใช้น้ำมันดิบหนักในการดำเนินการ เพราะน้ำมันดิบหนักให้ค่ากำม้นตภาพที่ทำให้โรงกลั่นมีผลกำไร ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสารป้อน FCC ที่ประกอบด้วยสารหนักจะมีปริมาณไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และโลหะสูง โดยสารปนเปื้อนเหล่านี้มีผลทางลบต่อหน่วยดำเนินการ ดังนั้นการเข้าใจถึงธรรมชาติ และผลของสารปนเปื้อนเหล่านี้ จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการเลือกสารป้อน และการเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม

3.3.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนในสารป้อน FCC เป็นสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน ปริมาณของไนโตรเจนในสารป้อน FCC ถูกรายงานเป็นไนโตรเจนทั้งหมด ซึ่งเป็นการรวมแฟร็กชันของไนโตรเจนที่เป็นเบส และที่ไม่เป็นเบส โดยการรายงานในรูปเบส (basic) จะแสดงถึงความสามารถในการทำปฏิกิริยากับกรด เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยา FCC มีตำแหน่งกรดว่างไว้ ซึ่งสารประกอบไนโตรเจนที่เป็นเบสจะทำให้ตำแหน่งกรดเหล่านี้เป็นกลาง ส่งผลให้กำม้นตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ในหน่วยฟื้นฟูสภาพไนโตรเจนจะเปลี่ยนไปเป็นไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ออกจากระบบโดยออกมากับแก๊สเชื้อเพลิง การเผาของไนโตรเจนในหน่วยฟื้นฟูสภาพ ทำให้ความว่างของตัวเร่งปฏิกิริยาคืนสู่สภาพเดิม และอุณหภูมิที่ต่ำกว่าของสารป้อนใน riser จะช่วยลดผลทางลบของไนโตรเจนได้

ไฮโดรเจนในสารป้อน FCC มีผลเสียต่อหน่วยดำเนินการในหลายๆส่วน ประการแรก คือ ใน riser โดยบางส่วนของไฮโดรเจนเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียและไซยาไนด์ (H-CN) โดยไซยาไนด์จะเร่งอัตราการกัดกร่อนของอุปกรณ์ โดยการดึงเอาซัลไฟด์ซึ่งเป็นชั้นป้องกันบนอุปกรณ์ อาจทำให้ไซยาไนด์สัมผัสกับโลหะมีผลให้เกิดการกัดกร่อน ประการที่สองคือ สารประกอบไฮโดรเจน จะมีผลต่อเสถียรภาพของสี โดยทั่วไปน้ำมันดิบที่หนักจะประกอบด้วยไฮโดรเจนมากกว่าน้ำมันดิบที่เบากว่า

3.3.2 กำมะถัน

สารป้อน FCC ประกอบด้วยสารกำมะถันในรูปของสารประกอบอินทรีย์ - กำมะถัน เช่น เมอร์แคปแทน (mercaptan) ซัลไฟด์ (sulfide) และไทโอเฟน (thiophenes)

3.3.3 โลหะ

โลหะเช่น นิกเกิล วานาเดียม และโคบอลต์ จะปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันดิบ โดยโลหะเหล่านี้อยู่ในช่วงจุดเดือดต่างๆ ของกากบรรยากาศ หรือกากสุญญากาศ นอกจากนี้ยังอยู่ในแก๊สออกไซด์ โดยกระบวนการ entrainment โลหะเหล่านี้สามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยตัวมันเองได้ นั่นคือโลหะสามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาที่ไม่เหมาะสมได้ เช่น ปฏิกิริยาการดึงไฮโดรเจนออก (dehydrogenation) และปฏิกิริยาการรวมตัว (condensation) มีผลให้เพิ่มผลผลิตของไฮโดรเจนและโค้ก การลดลงของผลผลิตแก๊สโซลีน

4. การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของสารไฮโดรคาร์บอน (Gray et al., 1994 และ Sadeghgeigi, 1995)

4.1 ความเป็นกรดของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา

กัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดขึ้นจากความเป็นกรดของผลึกซีโอไลต์ และการเกิดคาร์บีเนียมไอออนของไฮโดรคาร์บอน ซึ่งแหล่งของความเป็นกรดคือ ซิลิกา-อลูมินา บนผลึกซีโอไลต์ โดยประจุลบของซีโอไลต์จะถูกทำให้ได้ดุลโดยไอออนบวกที่อยู่ใกล้เคียงเช่น โปรตอน ซึ่งไอออนบวกเกิดขึ้นโดยการแตกตัวของน้ำเกิดเป็นหมู่ไฮดรอกซิลบนอะตอมอลูมิเนียม ซึ่งให้ตำแหน่งกรดบรอนสเตด (Bronsted acid) และถ้าโครงสร้างนี้ถูกให้ความร้อนน้ำจะถูกดึงออกมีผลให้ตำแหน่งกรดของบรอนสเตดเปลี่ยนเป็นตำแหน่งกรดของลิวอิส (Lewis acid)

หมายเหตุ กรดของบรอนสเตด คือ สารที่สามารถให้ไฮโดรเจนไอออนแก่เบส

กรดของลิวอิส คือ สารที่สามารถรับคู่อิเล็กตรอน

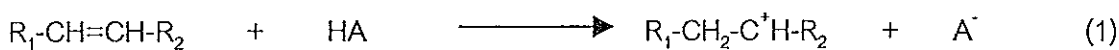
4.2 คาร์บีเนียมไอออน

คาร์บีเนียมไอออน คือ สปีชีส์ (species) ที่มีประจุบวกของสารอินทรีย์ ซึ่งก่อให้เกิดตัวกลาง (intermediate) ในรูปต่างๆของปฏิกิริยา

ไฮโดรคาร์บอน \longrightarrow ถูกดูดซับทางกายภาพบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา \longrightarrow อันตรกิริยา (interaction) กับตำแหน่งกรดว่องไว (chemisorption : Brønsted acid site และ electron hole : Lewis acid site) \longrightarrow คาร์บีเนียมไอออน \longrightarrow ปฏิกิริยาที่เปลี่ยนไป

4.3 ปฏิกิริยาการแตกตัวของไฮโดรคาร์บอน

การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา เริ่มจากการเกิดคาร์บีเนียมไอออน ($R-CH_2^+$) ซึ่งเกิดจากการเติมโปรตอน (H^+) ให้กับโอเลฟิน หรือเกิดจากการดึง hydride ion (H^-) จากพาราฟิน ซึ่งไอออนเหล่านี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่ตำแหน่งกรดบนตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในสมการ (1) และสมการ (2) ตามลำดับ

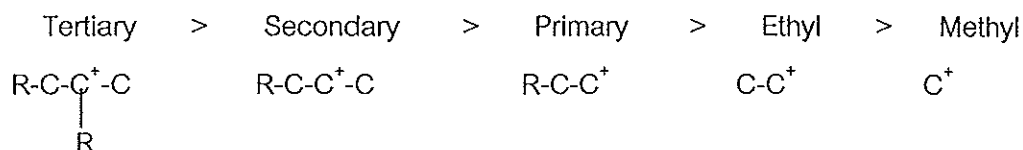


Olefin Brønsted acid site Carbenium ion



Paraffin Lewis acid site Carbenium ion

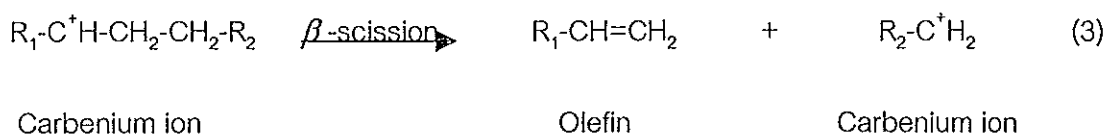
คาร์บีเนียมไอออนเหล่านี้ สามารถเกิดการจัดเรียงตัวอยู่ในรูปไอออนปฐมภูมิ (primary ion) ไอออนทุติยภูมิ (secondary ion) และไอออนตติยภูมิ (tertiary ion) โดยมีความเสถียรเรียงตามลำดับดังนี้



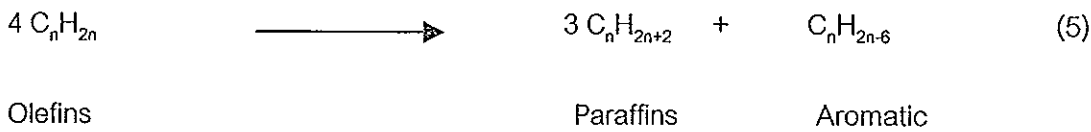
โครงสร้างที่เป็นไอออนตติยภูมิ จะเป็นโครงสร้างที่เสถียรที่สุด ดังนั้นในกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา คาร์บีนเนียมไอออนที่เกิดจะมีแนวโน้มที่จะมีการจัดเรียงโมเลกุลเป็นแบบไอออนตติยภูมิ ทำให้เกิดผลผลิตเป็นโมเลกุลที่มีกิ่งก้านมาก ปฏิกิริยาที่เกิดผ่านคาร์บีนเนียมไอออนมีได้หลายรูปแบบ แต่มีปฏิกิริยาหลักๆ อยู่ 3 ปฏิกิริยา คือ

4.3.1 ปฏิกิริยาการแตกตัว (cracking reaction)

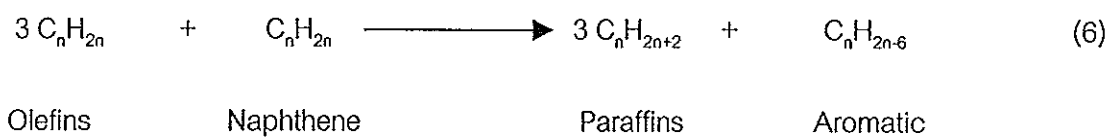
การแตกตัวหรือการตัดที่ตำแหน่งเบต้า (beta-scission) เป็นหัวใจสำคัญของปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา โดยการตัดที่ตำแหน่งเบต้า เป็นการแตกพันธะคาร์บอน - คาร์บอน ที่ตำแหน่งห่างจากคาร์บอนอะตอมที่มีประจุบวกสองพันธะ เนื่องจากพลังงานที่ใช้สำหรับการแตกพันธะคาร์บอน - คาร์บอน ตรงตำแหน่งนี้ต่ำกว่าพลังงานพันธะที่ใช้เพื่อแตกพันธะคาร์บอน - คาร์บอน ตรงตำแหน่งใกล้เคียง นอกจากนี้ไฮโดรคาร์บอนที่มีโซ่ยาว จะมีกัมมันตภาพในการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวมากกว่าไฮโดรคาร์บอนที่มีโซ่สั้น ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวจะลดลงตามความยาวของโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่สั้นลง จนกระทั่งถึงจุดที่ไม่สามารถเกิดเป็นคาร์บีนเนียมไอออนที่เสถียรได้ ผลผลิตเริ่มต้นจากการแตกตัวที่ตำแหน่งเบต้า คือ โอลิฟิน และคาร์บีนเนียมไอออนตัวใหม่ที่มีขนาดเล็กกว่า ดังสมการ (3)



คาร์บีนเนียมไอออนที่เกิดขึ้นใหม่ จะเกิดปฏิกิริยาแตกตัวต่อไปอย่างต่อเนื่องผ่านปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) สำหรับคาร์บีนเนียมไอออนขนาดเล็กที่เกิดขึ้น เช่น คาร์บีนเนียมไอออนที่มีคาร์บอน 4 หรือ 5 อะตอม จะเสถียรและไม่สามารถแตกตัวได้อีก แต่สามารถไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนตัวอื่นที่มีขนาดใหญ่กว่า พร้อมทั้งถ่ายโอนประจุบวก ทำให้โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่สามารถเกิดการแตกตัวได้



สารประกอบแนฟทีนิก เป็นสารประกอบที่ให้ไฮโดรเจน และสามารถทำปฏิกิริยากับโอเลฟิน เพื่อเกิดผลผลิตเป็นพาราฟินและอะโรแมติกได้เหมือนกัน ดังสมการ (6)



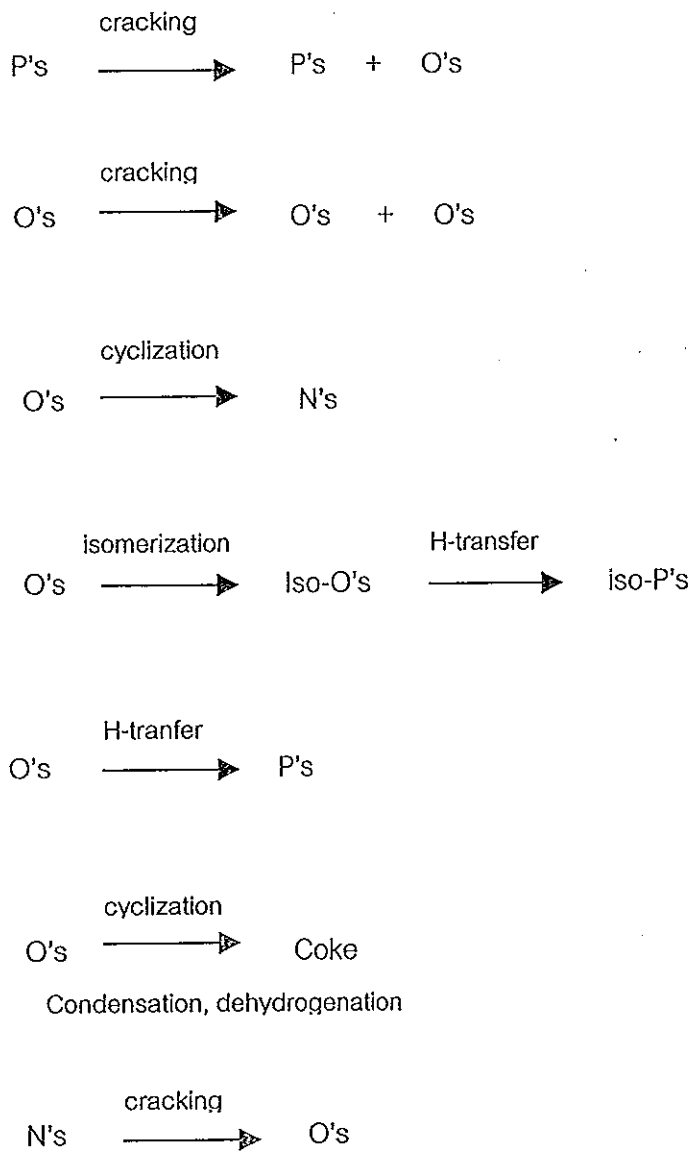
ในซีโอดีที่มีมีการแลกเปลี่ยนแรร์เอิร์ทจะเพิ่มปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจน เนื่องจากแรร์เอิร์ทจะสร้างสะพานระหว่างตำแหน่งกรด 2-3 ตำแหน่ง ในโครงร่างของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งแรร์เอิร์ทจะป้องกันการสูญเสียตำแหน่งกรดเหล่านี้ออกจากโครงร่างซีโอดี และเนื่องจากการถ่ายโอนไฮโดรเจนถูกสนับสนุนจากตำแหน่งกรดที่อยู่ใกล้ชิดกัน ดังนั้นแรร์เอิร์ทที่สร้างสะพานระหว่างตำแหน่งกรดเหล่านี้จะเป็นตัวสนับสนุนให้เกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจน

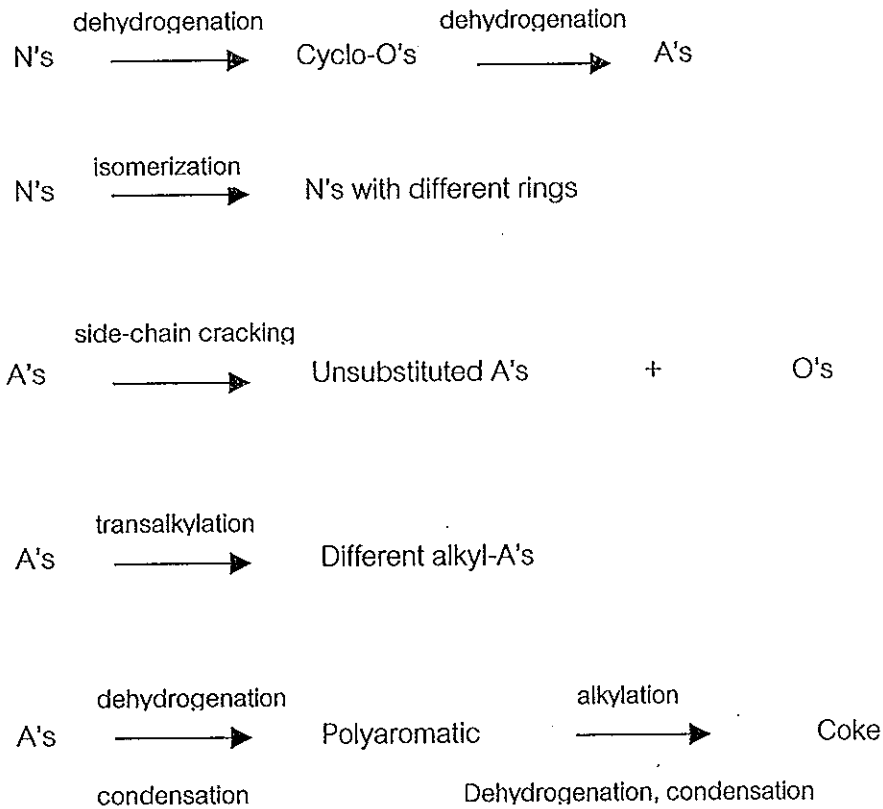
ปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนจะเพิ่มผลผลิตและเพิ่มความเสถียรของแก๊สโซลีน ลดความว่องไวของผลผลิตแก๊สโซลีน โดยลดปริมาณผลผลิตโอเลฟิน ซึ่งโอเลฟินในแก๊สโซลีนเป็นสารที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาในขั้นทุติยภูมิ (secondary reaction) ดังนั้นปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนจะช่วยลดการแตกตัวที่มากเกินไป (over cracking) ของแก๊สโซลีน แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนก็ให้ผลผลิตแก๊สโซลีนที่มีค่าออกเทนต่ำ และให้ปริมาณโอเลฟินใน LPG ต่ำ ซึ่งโอเลฟินขนาดเล็ก (C_3, C_4 และ C_5) สามารถนำไปผ่านกระบวนการ alkylation และ etherification ให้ผลผลิตที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงแก๊สโซลีน

ปฏิกิริยาการแตกตัว ปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน และปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจน เป็นปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในหน่วยการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาอื่นๆ (ตาราง 3) ที่เกิดในหน่วยการดำเนินการซึ่งมีความสำคัญด้วย เช่น ปฏิกิริยาการดึงไฮโดรเจน และการเกิดไค้ก ซึ่ง "ไค้ก" เป็นสารปนเปื้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยา ในทางทฤษฎีผลผลิตไค้กจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการทำไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสารประกอบอะโรแมติกที่มีหลายวงเป็นสารสำคัญในการเกิดไค้ก สารประกอบ

ไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว เช่น โอลิฟิน ไดโอลิฟิน และโพลีไซคลิกโอลิฟิน เป็นสารที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามาก ดังนั้นสามารถเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันเพื่อเกิดเป็นโค้กได้ สำหรับภายใต้การดำเนินการของตัวเร่งปฏิกิริยาและสารป้อน โค้กที่เกิดจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาจะมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับค่าการเปลี่ยน (conversion) ของสารป้อน

ตาราง 3 ปฏิกิริยาสำคัญที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา





หมายเหตุ P's = paraffin , O's = olefin , N's = naphthenes , A's = aromatic

5. การทดสอบและประเมินตัวเร่งปฏิกิริยา

5.1 การลดกัมมันตภาพด้วยไอน้ำอุณหภูมิสูง (hydrothermal aging) (ASTM D-4463, 1988 และ 1996 ; Moohead et al., 1989)

กระบวนการ hydrothermal aging หรือ hydrothermal pretreatment สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สด ก่อนที่จะนำไปทดสอบค่ากัมมันตภาพในการแตกตัวด้วยเครื่อง MAT มีความสำคัญ เนื่องจากการหาค่ากัมมันตภาพในการแตกตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สดกระทำได้ยาก เนื่องจากมีค่า

สูงมาก ไม่เสถียรและไม่มีประโยชน์ในการนำมาพิจารณาสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในระบบการทำงานจริง

ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการ FCC จะถูกใช้ช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยา และฟื้นฟูสภาพ (regeneration) อย่างต่อเนื่อง ในสภาพที่มีการหมุนเวียนคล้ายการไหลของของไหล (fluidize) ตัวเร่งปฏิกิริยาบางส่วนจะสูญหายไป เพราะแตกเป็นผงจากการกระทบ และหลุดออกไปจากเครื่องปฏิกรณ์ และเครื่องฟื้นฟูสภาพ ในกระแสแก๊ส หรือถูกดึงออกไปเพราะต้องการรักษาระดับค่ากำมันตภาพ การเกิดปฏิกิริยาพร้อมกับการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สด (fresh catalyst) เข้าแทนที่ในปริมาณที่ชดเชยตัวเร่งปฏิกิริยาที่หายไป ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้จะเสื่อมลงเนื่องจากอายุการใช้งาน การได้รับธาตุที่เป็นพิษต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่เข้ามาพร้อมสารป้อน (นิเกิล วานาเดียม และโลหะอื่นๆ) การได้รับความร้อนและไอน้ำอุณหภูมิสูง ดังนั้นเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการ FCC จึงต้องทำตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สดให้เสื่อมลง เพื่อให้มีสมรรถนะใกล้เคียงกับสภาพตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในอุตสาหกรรมซึ่งเรียกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาสมมูล โดยสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สดจากโรงกลั่นไทยออยล์ ทั้งหมดจะถูกลดกำมันตภาพด้วย 100 เปอร์เซ็นต์ไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (Angkasuwan, 1998)

5.2 การทดสอบด้วยเครื่องจุลกำมันตภาพ (MAT) (ASTM subcommittee D-32, 1978, 1980; ASTM D-3907-1987, 1992; RIPP 92-90 standard for microactivity test อ้างถึงใน WFS-1D. Catalytic Microactivity Index Test Unit Manual Instruction, 1997,12)

เครื่อง MAT ถูกใช้ในการหาค่ากำมันตภาพ หรือสภาพการเลือก (selectivity) ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการลดกำมันตภาพในห้องปฏิบัติการ ค่ากำมันตภาพจะอยู่ในรูปของร้อยละโดยน้ำหนักของการเปลี่ยน (conversion) ของแก๊สออยล์ ส่วนสภาพการเลือกจะคิดในรูปของร้อยละของผลผลิตที่สนใจ

การวิเคราะห์โดยเครื่อง MAT ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณน้อยกว่า 10 กรัม และแก๊สออยล์น้อยกว่า 5 กรัม โดยทำปฏิกิริยาใน fixed-bed reactor อัตราการป้อนจะถูกควบคุมโดย syringe pump ผลผลิตที่ได้จากเครื่อง MAT จะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

การเปลี่ยน (conversion) ในค่าของร้อยละโดยน้ำหนัก แสดงได้หลายวิธี เช่น

จาก RIPP 92-90 standard for microactivity test

$$\text{Conversion (MAT) , ร้อยละโดยน้ำหนัก} = 100 - \left[\frac{100 - A}{C} \right] \times B$$

โดย A = ร้อยละโดยน้ำหนักของแก๊สไฮซีนที่วิเคราะห์จากเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ, ร้อยละโดยน้ำหนัก

B = ผลผลิตในรูปของเหลวจากเครื่อง MAT , กรัม

C = วัสดุป้อน (แก๊สออกไซด์) , กรัม

และจาก ASTM subcommittee D-32.04-1978, 1980 และ ASTM D-3907-1987, 1992

$$\text{Conversion (MAT) } = \left[\frac{F - \frac{R \times L}{100} - H}{F} \right] \times 100$$

โดย F = สารป้อนตามมาตรฐาน ASTM, กรัม

R = ปริมาณของสารที่มีจุดเดือดสูงกว่า 216 องศาเซลเซียส ในผลผลิตที่เป็นของเหลวในภาชนะรองรับ, ร้อยละโดยน้ำหนัก

L = น้ำหนักของผลผลิตในรูปของเหลวในภาชนะรองรับ, กรัม

H = น้ำหนักของของเหลวที่ค้างอยู่ในทางออกของเครื่องปฏิกรณ์ และรอบๆ ข้อต่อระหว่างเครื่องปฏิกรณ์กับภาชนะรองรับ, กรัม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kraemer et al., 1990

ศึกษาการแตกตัวของสารป้อน commercial FCC โดยใช้ commercial FCC catalyst ซึ่งทำการทดลองใน riser simulator โดยการพิจารณาผลได้ ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำปฏิกิริยา (reaction time) ในช่วง 3 – 10 วินาที และอุณหภูมิในการทดลอง 500 – 550 องศาเซลเซียส พบว่าผลได้แก๊สโซลีน แก๊สเบา และโค้ก ที่ 500 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นตามเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มากขึ้น และพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสภาพการเลือกแก๊สโซลีนโดยเฉลี่ยลดลง (ร้อยละ 60.80 ที่ 500 องศาเซลเซียส และ ร้อยละ 43.70 ที่ 550 องศาเซลเซียส)

Gianetto et al., 1994

ศึกษาการแตกตัวของแก๊สออยล์โดยตัวเร่งปฏิกิริยา อัลตราสเตเบิลยิวไรต์ (ultrastable y zeolite) 2 ชนิด (USSY-large และ USSY-small) โดยมีขนาดผลึก 0.41 และ 0.13 ไมโครเมตร ตามลำดับ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาวะในการทดลองของอุณหภูมิ (500 525 และ 550 องศาเซลเซียส) อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ (3.60 และ 4.79) เวลาในการเกิดปฏิกิริยา (residence time 3, 5 และ 10 วินาที)

ผลของปฏิกิริยาที่ได้รับใน riser simulator ภายใต้ภาวะในการทดลองพบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงของแก๊สออยล์โดยตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น และเพิ่มตาม residence time ที่มากขึ้น นั่นคือตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิด มีกัมมันตภาพเชิงเร่งปฏิกิริยาสูงภายใต้การให้ปริมาณน้ำมันต่ำๆ (cat/oil ratio สูง) โดยตัวเร่งปฏิกิริยา USSY- small มีสภาพการเลือกแก๊สโซลีน (0.65) สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา USSY- large (0.60) โดยสภาพการเลือกแก๊สโซลีนมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนลดลง มีผลให้สภาพการเลือกแก๊สโซลีนลดลง ในขณะที่โค้กเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาที่มากขึ้น โดยโค้กที่เกิดโดยตัวเร่งปฏิกิริยา USSY- large มีปริมาณมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา USSY-small

Niu et al., 1995

ศึกษาอิทธิพลของสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ต่อค่ากัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ซึ่งในการทดลองมี 3 ชนิด (USY, H-ZSM-5 และ mordenite) ซึ่งทดสอบภายใต้ภาวะต่างๆ ในการทดลองกับอีทิลเบนซิน พบว่าถึงแม้ USY ซีโอไลต์ จะมีพื้นที่ผิว (BET surface) มากที่สุด แต่ก็ไม่ได้แสดงถึงกัมมันตภาพที่สูงสำหรับการศึกษากับอีทิลเบนซิน เนื่องจาก USY ซีโอไลต์ มีศูนย์กลางกรดที่อ่อน สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมดพบว่า ZSM-5 มีกัมมันตภาพสูงสุดสำหรับอีทิลเบนซิน และมีแนวโน้มเกิดผลผลิตโค้กต่ำสุด และสำหรับซีโอไลต์ทั้งหมดมีแนวโน้มการเกิดผลผลิตโค้กเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และแปรกชั้นสารป้อนอีทิลเบนซิน

Lee et al., 1998

ศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของแก๊สออยล์สุญญากาศ (vacuum gas oil : VGO) บนซีโอไลต์บริสุทธิ์ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประกอบด้วย ซีโอไลต์ร้อยละ 35 และอลูมินาร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีการกระจายขนาดพอร์ที่แตกต่างกัน จากการทดลองค่าการเปลี่ยนของ VGO บนซีโอไลต์ และซีโอไลต์/อลูมินาที่ 500 องศาเซลเซียส ทดสอบโดยเครื่อง MAT พบว่าค่าการเปลี่ยนของ VGO บนตัวเร่งปฏิกิริยาผสม ที่มีการกระจายขนาดพอร์กว้าง มีค่าการเปลี่ยนเหมือนกับการแตกตัวของ VGO บนซีโอไลต์บริสุทธิ์ แต่ผลผลิตโค้กที่เกิดบนตัวเร่งปฏิกิริยาผสมต่ำกว่าโค้กที่เกิดโดยซีโอไลต์บริสุทธิ์ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยซีโอไลต์วาย แสดงค่าการเปลี่ยนของ VGO สูงกว่า mordenite เนื่องจากความหนาแน่นตำแหน่งกรดทั้งหมดของวายซีโอไลต์สูงกว่าเมื่อเทียบกับ mordenite ซึ่งวายซีโอไลต์มี 3 dimensional channel แบบ supercage และปริมาตรพอร์ที่ใหญ่กว่าในขณะที่ mordenite เป็น one-dimensional channel สิ่งนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของ VGO ในการเข้าไปในซีโอไลต์ได้ดีกว่า mordenite ดังนั้นโมเลกุลของ VGO ที่มีขนาดใหญ่สามารถแตกตัวได้ง่ายที่ตำแหน่งวงวอภายในโครงสร้างพอร์ แต่ตัวเร่งปฏิกิริยา mordenite ให้สภาพการเลือกโอเลฟินสูงกว่าวายซีโอไลต์ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยา mordenite มีอัตราการถ่ายโอนไฮโดรเจนระหว่างสองโมเลกุลต่ำ นอกจากนั้นสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประกอบด้วย modified mordenite ซึ่งผลของ mesopore ส่งผลให้เกิดการปรับปรุงกัมมันตภาพและสภาพการเลือกแก๊สโพลีนเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา mordenite ซึ่งมีโครงสร้าง micropore

Hollander et al., 1998

ศึกษาการเกิดโค้กในกระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา ภายใต้อุณหภูมิในการทดลองของ microriser ที่ 525 องศาเซลเซียส อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยลในช่วง 0-6 พบว่า timescale สำหรับสำหรับการเกิดโค้กบนตัวเร่งปฏิกิริยาสั้นกว่า timescale ของการเปลี่ยน (conversion) นั่นคือ การเกาะของโค้กเกิดขึ้นมากในช่วงแรก โดย adsorption coke เป็นตัวสำคัญที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการทดลอง เนื่องมาจาก การระเหยกลายเป็นไอของสารป้อนไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดหยดของเหลวเล็กๆ ซึ่งเมื่อสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาจะเปลี่ยนเป็นโค้กได้ทันที และพบว่าปริมาณโค้กและค่าการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยลที่สูงขึ้น

Michalakos et.al., 1998

ศึกษาผลของการแตกตัวของเฮกซะเดเคนและสารป้อนทางการค้า FCC บนตัวเร่งปฏิกิริยา Grace-Davison's Super Dmagnum (วายซีโอไลต์) พบว่าการลดกัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าในการแตกตัวของสารป้อน FCC และเฮกซะเดเคน สามารถอธิบายโดยการเกาะของคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเกิดโค้ก ซึ่งสารป้อนทั้งสองมีอัตราการแตกตัวและการเกิดคาร์บอนสูงสุดในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา นั่นคือ ในขณะที่มีคาร์บอนเกาะบนตัวเร่งปฏิกิริยาและเกิดเป็นโค้ก ทั้งอัตราการแตกตัวและอัตราการเกาะของคาร์บอนจะลดลง

สารป้อนทางการค้า FCC ซึ่งประกอบด้วย โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าเฮกซะเดเคน ซึ่งจะเพิ่มอัตราการเกิดของโอเลฟิน และเนื่องจากสารป้อน FCC ประกอบด้วย อะโรแมติก แนฟทีน กำมะถัน และสารประกอบไนโตรเจนพวก heterocyclic ซึ่งเป็นตัวที่ก่อให้เกิดโค้กได้ง่าย ดังนั้นสารป้อนทางการค้า FCC มีโค้กเกิดมากกว่าสารป้อนเฮกซะเดเคน และในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยาของสารป้อน FCC สภาพการเลือกแก๊สโซลีนเพิ่มขึ้น ในขณะที่สารป้อนเฮกซะเดเคน จะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อัตราส่วนผลได้แก๊สโซลีนต่อแก๊ส (C_1-C_4) เป็นฟังก์ชันกับ Time-on-stream โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งอัตราการเกิดโค้กคงที่ โดยการเกิดโค้กสำหรับสารป้อนเฮกซะเดเคน จะเกิดตามลำดับจากปฏิกิริยาการแตกตัว ในขณะที่สารป้อนทางการค้า FCC โค้กจะเกิดควบคู่ไปกับการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัว

Xinjin, et.al., 1999

ศึกษาประสิทธิภาพของ ZSM-5 ใน FCC ที่มีผลต่อการถ่ายโอนไฮโดรเจน โดยมีการทดลอง 2 แบบ ซึ่งแบบแรกคือ ใช้สารป้อนจากแหล่งที่แตกต่างกันซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแนฟทาซีนในการศึกษาอันตรกิริยา ส่วนแบบที่ 2 มุ่งไปที่ผลของลักษณะการถ่ายโอนไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นตำแหน่งกรดของวายซีโอไลต์ในตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล

ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนปฏิกิริยาการแตกตัวโอเลฟินต่อปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจน เป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวเติมแต่ง ZSM-5 ในกระบวนการ FCC พบว่าการมีแอร์เออร์ท์จะเพิ่มความหนาแน่นของตำแหน่งกรด และดังนั้นจะกระตุ้นให้มีปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนมากกว่าเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของโอเลฟิน ในทำนองเดียวกัน เมื่อเติม ZSM-5 สารป้อนแนฟทาซีนมีประสิทธิภาพในการให้ไฮโดรเจน และสามารถทำให้เกิดโซลีนช่วงโอเลฟินอิมตัว ก่อนที่มันจะสามารถแตกโดย ZSM-5 ไปเป็นโอเลฟินเบา ซึ่งสรุปได้ว่าได้ผลโอเลฟินเบาสูงสุด (เช่น C_3^- และ C_4^-) โดยใช้ ZSM-5 จะมีประสิทธิภาพมากในระบบที่มีความว่องไวในการถ่ายโอนไฮโดรเจนต่ำกว่า

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาผลของตัวแปรอิสระและหาภาวะที่เหมาะสมที่มีต่อการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา เช่น อุณหภูมิ อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ และความเร็วปฏิกิริยา (WHSV) โดยใช้แก๊สออยล์จากโรงกลั่นฝางเป็นวัตถุดิบ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในโรงกลั่นไทยออยล์ โดยพิจารณาจากค่าจุลกัมมันตภาพ และผลได้ (yield) ของผลผลิตต่างๆที่ได้

ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. ได้รับความรู้พื้นฐานด้านการหาภาวะที่เหมาะสมที่มีต่อการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา
2. ได้รับความรู้พื้นฐานด้านการวิเคราะห์ผลผลิตที่ได้ด้วยเครื่อง microactivity test unit (MAT unit) และเครื่อง gas chromatography (GC)
3. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานทางอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องต่อไป
4. สามารถนำภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาไปประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบภายในประเทศ เช่น กระบวนการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของแก๊สออยล์จากโรงกลั่นฝาง

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

1. เครื่องลดกัมมันตภาพด้วยไอน้ำอุณหภูมิสูง (Hydrothermal Aging Unit) รุ่น CLY-1, RIPP (ดูรายละเอียดในภาคผนวก)
2. เครื่องทดสอบค่าจุลกัมมันตภาพ (Microactivity Test (MAT) Unit) รุ่น WFS-1D, RIPP
3. เครื่อง Gas Chromatograph รุ่น GC-14 BPF, SHIMADZU และ Integrater รุ่น HP 3295, Hellet packard
4. เครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริง (True Boiling Point Unit)
5. เครื่องวัดความหนืด
6. เครื่องแก้ว
7. เครื่องชั่ง
8. เครื่อง Thermalgravimetric Analysis : รุ่น TGA7 (Perkin Elmer)

2. วัสดุและสารเคมี

1. เอทานอล : $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
2. สารมาตรฐานโตนเดเคน : $(n\text{-CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_3)$
3. หลอดแก้วสำหรับรองรับผลผลิตของเหลวจากเครื่อง MAT และอ่างควบคุม
4. คิวทซ์และใยแก้ว
5. หลอดหยด
6. วงแหวนกระเบื้อง
7. ครุชีเบิล (crucible)
8. น้ำปราศจากไอออน (deionized water)
9. เครื่องดูดความชื้น
10. ถังแก๊สไนโตรเจน (OFN grade, purity 99.99% สำหรับ GC และ regular grade สำหรับ MAT)
11. ถังแก๊สไฮโดรเจน (regular grade)
12. ถังอากาศ (regular grade)

13. ตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สด 4 ชนิด และตัวเร่งปฏิกิริยาสมมูล 1 ชนิด จากไทยออยล์
14. น้ำมันดีเซลจากโรงกลั่นฝาง

3. วิธีดำเนินการและสภาวะที่ใช้ในการทดลอง

1. เตรียมแก๊สออยล์โดยนำน้ำมันดีเซลจากโรงกลั่นฝางมากลั่นแบบจุดเดือดจริง ที่ความดันบรรยากาศ 90 มิลลิเมตรปรอท และ 10 มิลลิเมตรปรอท (รายละเอียดดูที่ภาคผนวก ก) ซึ่งสมบัติของน้ำมันที่กลั่นได้ แสดงในตาราง 4

2. การลดค่ากำมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สด

ตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่สดก่อนที่จะนำมาศึกษาโดยเครื่องทดสอบจุดกำมันตภาพ จะต้องนำมาลดค่ากำมันตภาพ ซึ่งในการศึกษานี้ใช้วิธีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำอุณหภูมิสูง (100% ไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ทดสอบเป็นเวลา 6 ชั่วโมง) ด้วยเครื่อง hydrothermal aging unit รุ่น CLY-1,manufactured จาก RIPP (รายละเอียดการใช้เครื่องมือดูที่ภาคผนวก ข) และสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาสมมูลนำมาเผาเพื่อไล่ได้กอกที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงในตาราง 5 และตาราง 6 ตามลำดับ

3. ศึกษาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาในสภาพฟลูอิโดซ์ของแก๊สออยล์ และสภาวะที่ใช้ในการทดลอง โดยนำตัวอย่างตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 5 ชนิด ที่เตรียมจากข้อ 2. ทำปฏิกิริยากับแก๊สออยล์ที่ได้จากข้อ 1. โมปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งของเครื่องทดสอบจุดกำมันตภาพ (รายละเอียดการใช้เครื่องมือดูที่ภาคผนวก ค) โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ คือ

3.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ (cat/oil ratio) ที่อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์คงตัว 440 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์เป็น 2.40, 2.67 3.00, 3.43, 4.00 และ 4.80 ตามลำดับ (ใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 5 กรัม แต่เปลี่ยนปริมาณของแก๊สออยล์ และความเร็วปริภูมิ (WHSV) 15.0 ชั่วโมง⁻¹)

3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ที่ค่าอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์คงตัวเช่นเดียวกับข้อ 3.1 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์เป็น 460 และ 480 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3.3 ศึกษาผลของความเร็วปริภูมิ ที่อุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์ 460 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยา 5 กรัม อัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ 3.19 โดยแปรค่าความเร็วปริภูมิเป็น 11.28, 12.53, 14.12, 16.11, 18.80 และ 22.56 ชั่วโมง⁻¹ ตามลำดับ

3.4 วิเคราะห์ผลผลิตของเหลวด้วยเครื่อง GC (รายละเอียดการใช้เครื่องมือดูที่ภาคผนวก ง) พร้อมทั้งคำนวณค่าร้อยละการเปลี่ยน ผลผลิตและสภาพการเลือกแก๊สโซลีน รวมทั้งผลผลิตและสภาพการเลือกแก๊ส และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการทำปฏิกิริยาแล้ว นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโค้กที่เกิด ด้วยเครื่อง TGA

ตาราง 4 สมบัติของแก๊สออกยล์

สมบัติ	ผล
ช่วงจุดเดือด (องศาเซลเซียส)	260-340
ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (เซ็นติสโตกส์)	4.6
ดัชนีหักเหที่ 20 องศาเซลเซียส	1.459
ความหนาแน่นที่ 40 องศาเซลเซียส (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.801

ตาราง 5 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา A, C, D และ E (Angkasuwan, 1998)

สมบัติ	ตัวเร่งปฏิกิริยา			
	A	C	D	E
สมบัติทางเคมี (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)				
Al ₂ O ₃	35.4	48.5	40.7	38.3
RE ₂ O ₃	1.6	2	0.94	1.6
Na ₂ O	0.31	0.33	0.26	0.37
SiO ₂	61	45	56	56
P ₂ O ₅	0.13	0.13	0.63	0.5
K ₂ O	0.22	0.14	0	0.11
CaO	0	0.17	0	0
TiO ₂	1.9	1.5	1.7	1.4
Fe ₂ O ₃	0.84	1.1	0.7	0.7
SO ₃	0	2.7	0.32	0.36
Cl	0	0.11	0	0
BaO	0	0	0.29	0
สมบัติทางกายภาพ				
Total surface area, m ² /g	239	172	239	191
U.C.S. (fresh cat)	24.55	24.54	24.58	24.59
1/l ⁰ (fresh cat)	0.18	0.15	0.19	0.23
U.C.S. (800 °C/6 h)	24.25	24.27	24.24	24.23
Total surface area (800 °C/6), m ² /g	127	119	163	156

ตาราง 6 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล (Angkasuwan, 1998)

สมบัติ	ตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล
สมบัติทางกายภาพ	
S.A.(m ² /G), BET	110-20
P.V.(cc/g), H ₂ O	0.23-0.26
A.B.D. (g/cc)	0.88-0.92
ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	
0-20, wt.%	0-2
0.41, wt.%	3.0-5.0
0-80, wt.%	38-43
APS (micro)	80
สมบัติทางเคมี	
Al ₂ O ₃ , wt.%	35-37
Na, wt.%	0.23-0.25
Fe, wt.%	0.48-0.52
C, wt.%	0.3-0.6
V, ppm	500-550
Ni, ppm	560-600
Cu, ppm	25-50
RE ₂ O ₃ , wt.%	0.98
U.C.S. ⁰ A	24.28

บทที่ 3

ผลและการวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลองทั้งหมดจะพิจารณาถึง ระดับค่ากัมมันตภาพในการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ ผลผลิต และสภาพการเลือกในการเปลี่ยนไปเป็นผลผลิตต่างๆ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ เช่น ผลได้ และสภาพการเลือกแก๊ส (สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอน 1 - 4 อะตอม) ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีน (สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอน 5 - 12 อะตอม) ผลได้และสภาพการเลือกไค้ก (ไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบหลัก อยู่ในรูปวงแหวนอะโรแมติกที่หลอมรวมกัน) โดยพิจารณาถึงแนวโน้มของค่าต่างๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรในการดำเนินการทดลอง โดยการคำนวณค่าที่ได้รับจากแก๊สโครมาโตกราฟ กระทำโดยสมมติว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนมากกว่า 12 อะตอม เป็นแก๊สออกไซด์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถนำกลับไปป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ได้อีกครั้ง

นิยาม

$$\text{ระดับการเปลี่ยน (conversion)} = \frac{\text{กรัมของผลผลิตที่เกิดขึ้นทั้งหมด}}{\text{กรัมของสารป้อน}}$$

$$\text{ผลได้ (yield)} = \frac{\text{กรัมของผลผลิตที่ต้องการ}}{\text{กรัมของสารป้อน}}$$

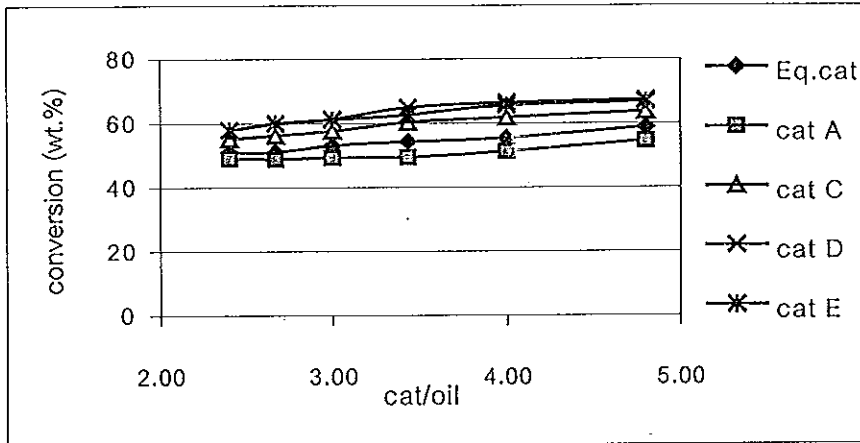
$$\text{สภาพการเลือก (selectivity)} = \frac{\text{กรัมของผลผลิตที่ต้องการ}}{\text{กรัมของสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไป}}$$

$$\text{อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ (cat/oil ratio)} = \frac{\text{กรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา}}{\text{กรัมของสารป้อน}}$$

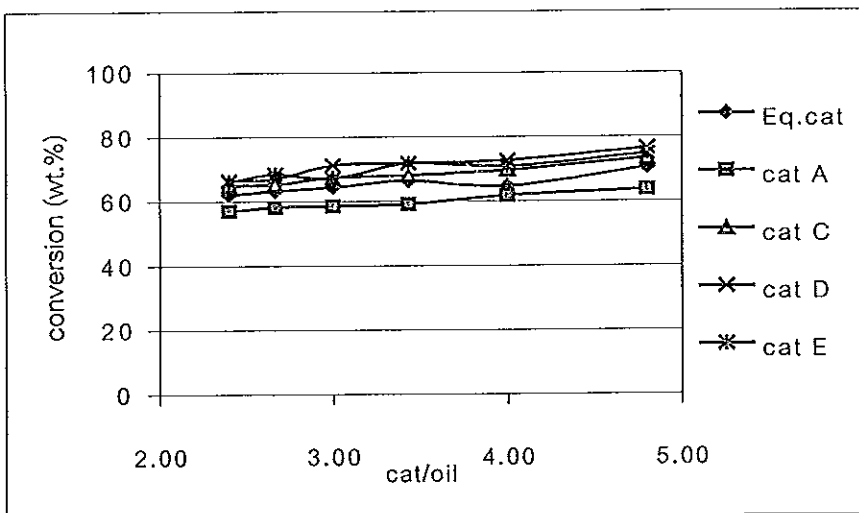
ความเร็วปริภูมิ (Weight Hourly Space Velocity : WHSV)

$$= \frac{3600 \text{ (วินาที/ชั่วโมง)} \times \text{กรัมของสารป้อน}}{\text{กรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา} \times \text{เวลาในการฉีดสารป้อน (วินาที)}}$$

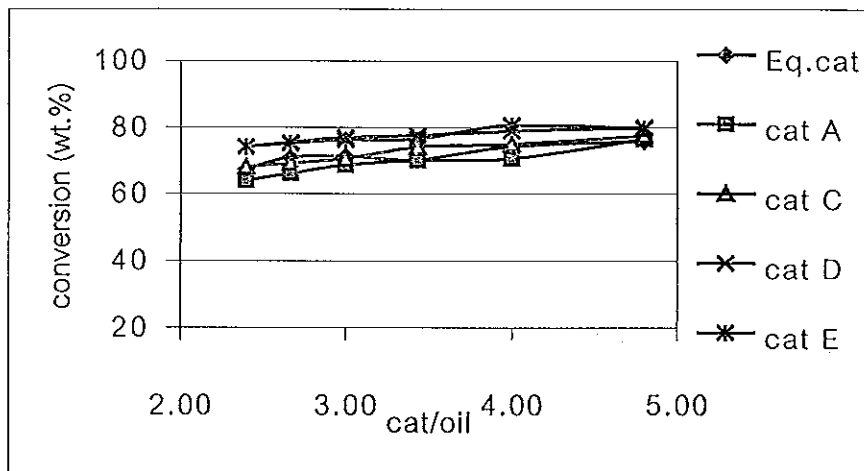
1. ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์



ภาพประกอบ 13 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ต่อร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออยล์ ที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 14 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ต่อร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออยล์ ที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส



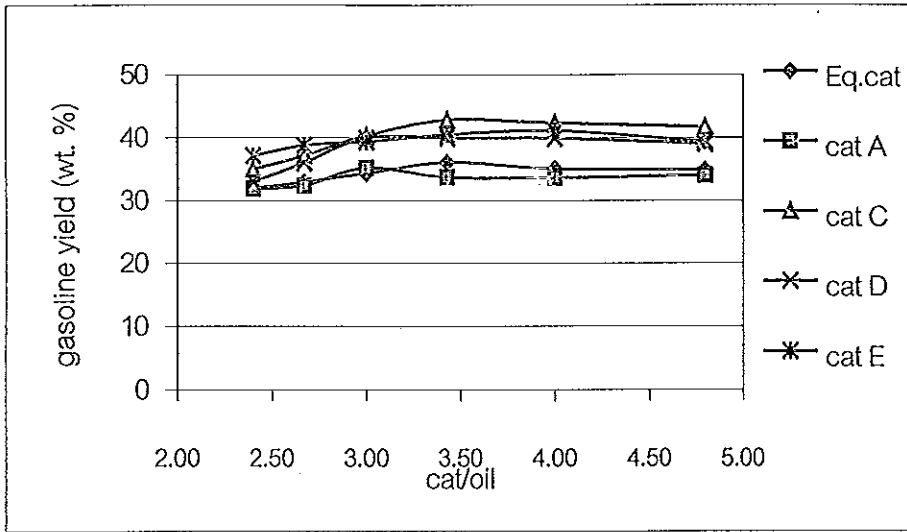
ภาพประกอบ 15 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ต่อร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออยล์ ที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส

จากภาพประกอบ 13 - 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ต่อร้อยละค่าการเปลี่ยน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการลดกัมมันตภาพ และตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุลที่ผ่านการเผาเอาไค้กออกแล้วทั้ง 5 ตัว ที่อุณหภูมิคงตัวที่ 440 460 และ 480 องศาเซลเซียส อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ จะแสดงถึงอิทธิพลของค่ากัมมันตภาพที่ลดลงของตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อเกิดการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา เช่น ตำแหน่งกรดวงไวถูกปกคลุมด้วยไค้ก และอุณหภูมิของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ลดลง เนื่องจากการให้เป็นพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัว ซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic reaction) อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ที่สูง จะแสดงการลดลงของค่ากัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่น้อยกว่า นอกจากนั้น มีผลให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสามารถสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่วงไวได้ทั่วถึง ทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลเหล่านี้ในแก๊สออยล์ได้มากขึ้น มีผลให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออยล์เพิ่มขึ้น ซึ่งจากภาพประกอบ 13 - 15 จะเห็นได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 5 ตัว แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันทั้ง 3 อุณหภูมิ โดยเมื่ออัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์เพิ่มขึ้นค่าร้อยละการเปลี่ยนก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Angkasuwan, 1998 และ Hollander et al., 1998)

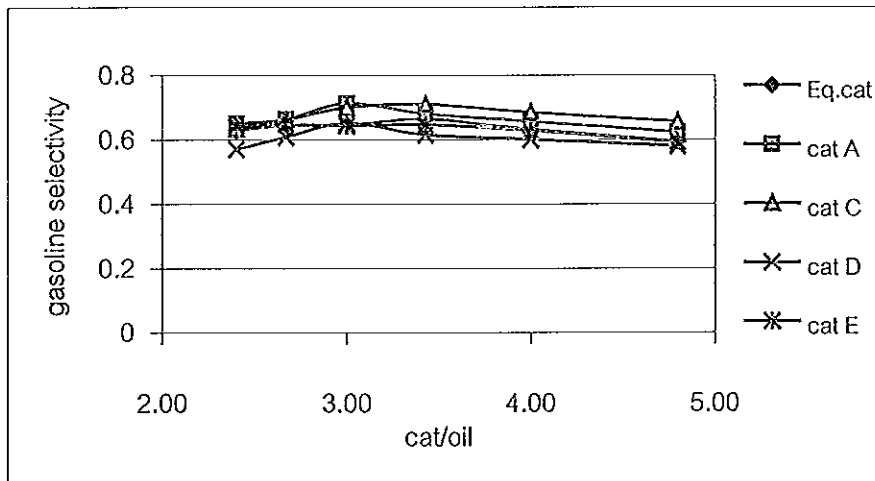
1.1 ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีน

ในการทดลองนี้จุดประสงค์หลักคือ ทำการแตกตัวโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนของแก๊สออยล์โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อได้ผลผลิตเป็นแก๊สโซลีน ซึ่งผลผลิตแก๊สโซลีนได้จากนำผลผลิตของเหลวที่ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยามาวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโตกราฟ แล้วนำมาคำนวณหาผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีนต่อภาวะการแตกตัวที่ใช้ในการศึกษา

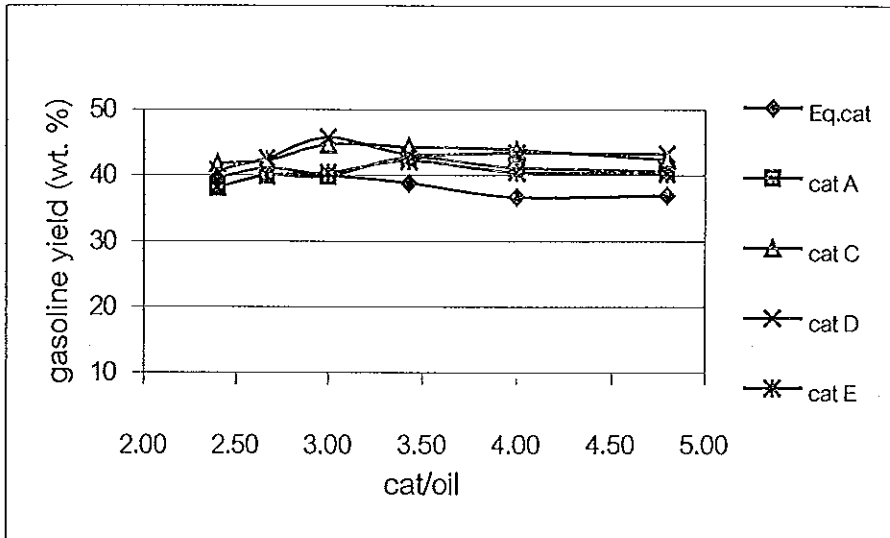
จากภาพประกอบ 16 - 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ต่อผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีน จะเห็นได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมดมีแนวโน้มการเปลี่ยนที่เหมือนกันในทุกๆช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา นั่นคือเมื่อค่าอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์สูงขึ้น ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีนสูงขึ้น จนกระทั่งค่าอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ประมาณ 3 - 3.43 จากกราฟจะเห็นได้ว่า มีผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีนสูงสุด หลังจากนั้นผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีนจะลดลงอย่างช้าๆ เมื่ออัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มความรุนแรงในการเกิดปฏิกิริยาโดยการเพิ่มอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ มีผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาทุกตัวมีกัมมันตภาพเพิ่มขึ้น ดังที่แสดงในภาพประกอบ 13-15 มีผลให้ได้แก๊สโซลีนเพิ่มขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามผลได้แก๊สโซลีนก็ลดลง เมื่อค่าการเปลี่ยนเพิ่มขึ้นมาก เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์เพิ่มขึ้น กัมมันตภาพที่เพิ่มขึ้นจะเร่งการเกิดผลผลิตอื่นๆ ด้วยเช่นกัน และช่วยในการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวในชั้นทุติยภูมิเพิ่มขึ้นด้วย (Sadeghbeigi, 1995) และจากภาพประกอบ 17-18 จะเห็นได้ว่าภาวะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีนสูงสุดอยู่ในช่วง 41.01-45.75 และ 0.602-0.722 ตามลำดับ ในขณะที่การแตกตัวของสารป้อนทางการค้า (Nigerian vacuum gas oil) โดยตัวเร่งปฏิกิริยา REUSY ให้ผลได้แก๊สโซลีน 50.30 เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก และสภาพการเลือกแก๊สโซลีน 0.700 (Adewuyi et al., 1995)



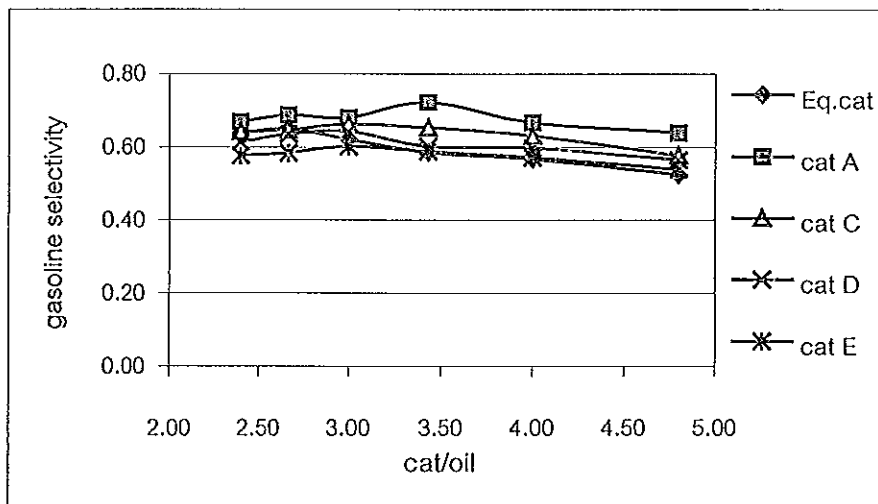
ภาพประกอบ 16 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ต่อผลได้แก๊สโซลีน
ที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส



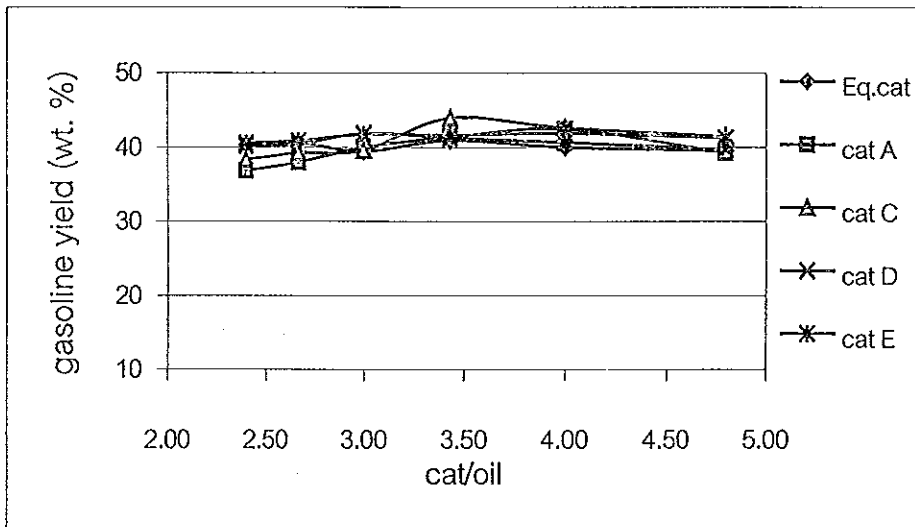
ภาพประกอบ 17 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีน
ที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส



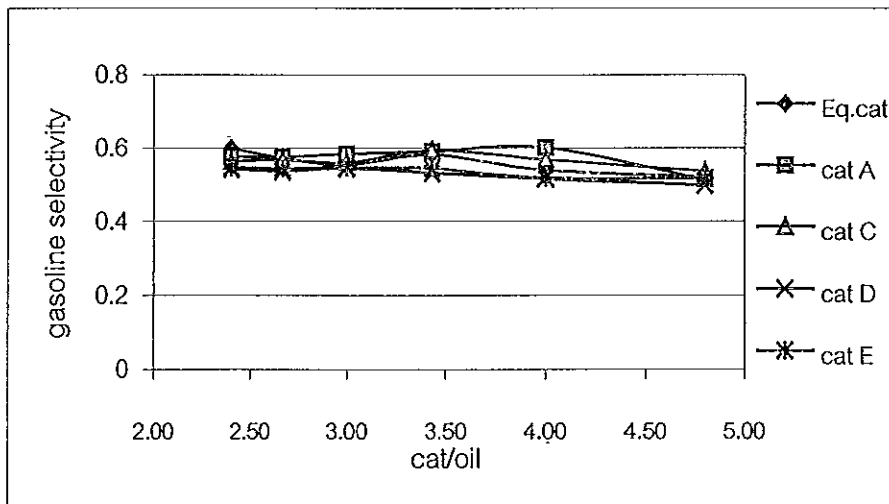
ภาพประกอบ 18 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ต่อผลได้แก๊สโซลีน
ที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 19 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีน
ที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส



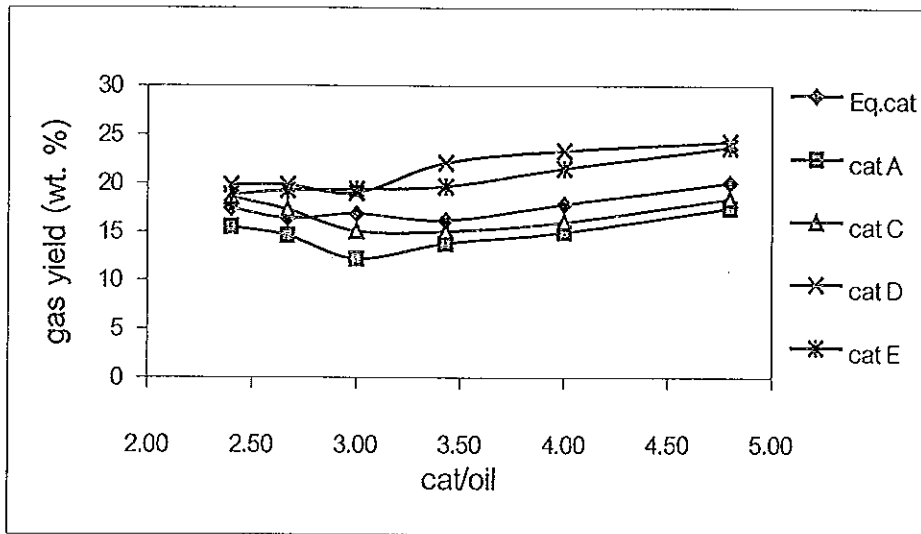
ภาพประกอบ 20 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยลต์ต่อผลได้แก๊สโซลีน
ที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส



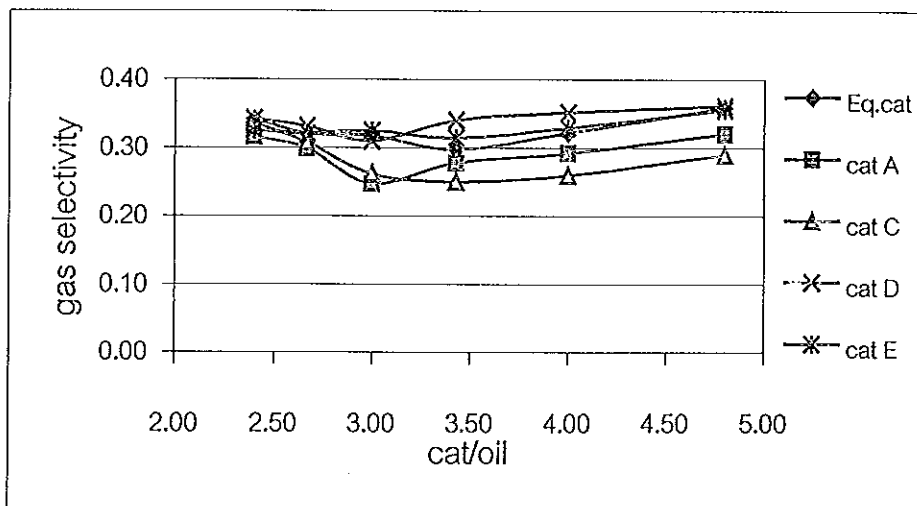
ภาพประกอบ 21 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยลต์สภาพการเลือกแก๊สโซลีน
ที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส

1.2 ผลได้และสภาพการเลือกแก๊ส

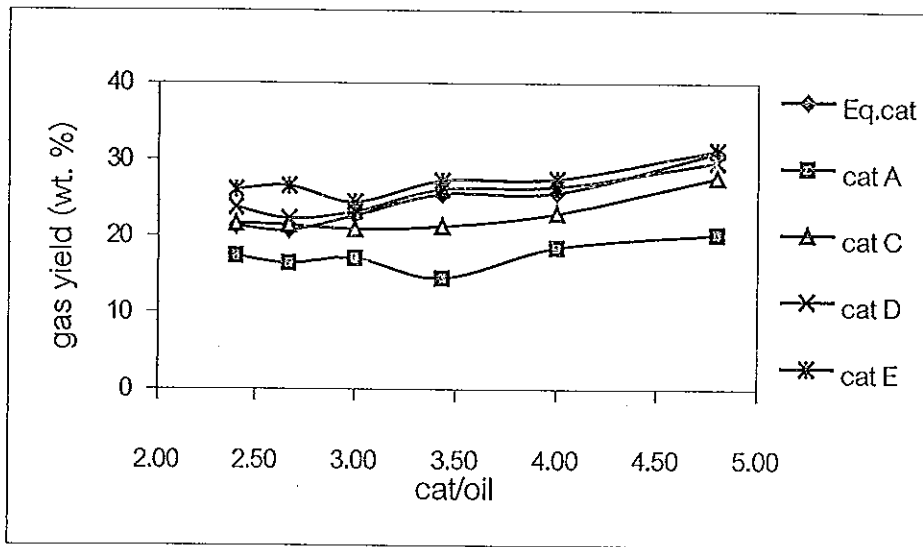
จากภาพประกอบ 22 - 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้และสภาพการเลือกแก๊ส โดยในการทดลองนี้ ผลผลิตแก๊สได้จากการทำดูลมวลสารของสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไป จะเห็นได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทุกตัวมีแนวโน้มที่เหมือนกันในทุกอุณหภูมิที่ศึกษา นั่นคือเมื่ออัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่ำๆ เช่น 2.40 ผลได้แก๊สจะไม่ขึ้นอยู่กับค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ เนื่องจากภายใต้อุณหภูมิของการศึกษา โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสามารถเกิดการแตกตัวเชิงความร้อนได้ด้วย นั่นคือปฏิกิริยาการแตกตัวอาจเกิดจากการแข่งขันกันระหว่างการแตกตัวเชิงความร้อน (thermal cracking) กับการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking) ดังนั้นที่อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่ำๆ แสดงถึงกัมมันตภาพในการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำลง ส่งผลให้อิทธิพลของการแตกตัวเชิงความร้อนเด่นชัด และเนื่องจากการแตกตัวเชิงความร้อนจะให้ผลผลิตในสถานะแก๊สสูง ดังนั้นที่อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่ำๆ จึงแสดง ผลได้แก๊สสูง ส่งผลให้สภาพการเลือกแก๊สสูงด้วย และเมื่ออัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์เพิ่มจาก 2.40 - 3.43 ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากกัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อิทธิพลของการแตกตัวเชิงความร้อนจะน้อยลง นั่นคือจะเกิดผลผลิตที่ได้รับอิทธิพลจากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยามากขึ้น ซึ่งการแตกตัวของแก๊สออกไซด์ในช่วงอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ 2.40 - 3.43 กัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้มีการเพิ่มผลได้แก๊สโซลีน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาในขั้นปฐมภูมิ ดังนั้นผลได้แก๊สมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่ออัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์เพิ่มจาก 3.43 - 4.80 ซึ่งแสดงถึงกัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงขึ้น ส่งผลให้ความรุนแรงในการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวมีมากขึ้น จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาขั้นทุติยภูมิมาก โดยเกิดการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนในช่วงแก๊สโซลีนต่ำ จึงเกิดเป็นผลผลิตในสถานะแก๊สมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีนที่ลดลง ดังนั้นเมื่ออัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์สูงขึ้น มีผลให้ระดับค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของตัวเร่งปฏิกิริยาเกือบทั้งหมดเป็นผลมาจากผลได้แก๊สที่เพิ่มขึ้น และจากภาพประกอบ 26 - 27 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูง (480 องศาเซลเซียส) ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สจะเพิ่มขึ้นตามกัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน การเพิ่มอุณหภูมิจึงเป็นการเพิ่มกัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นอิทธิพลของอุณหภูมิทำให้เกิดการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สจึงเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น



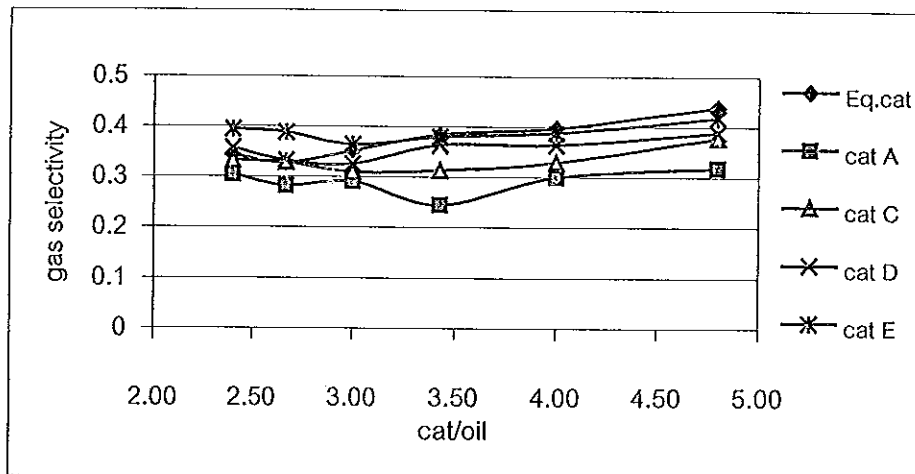
ภาพประกอบ 22 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้แก๊ส
ที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส



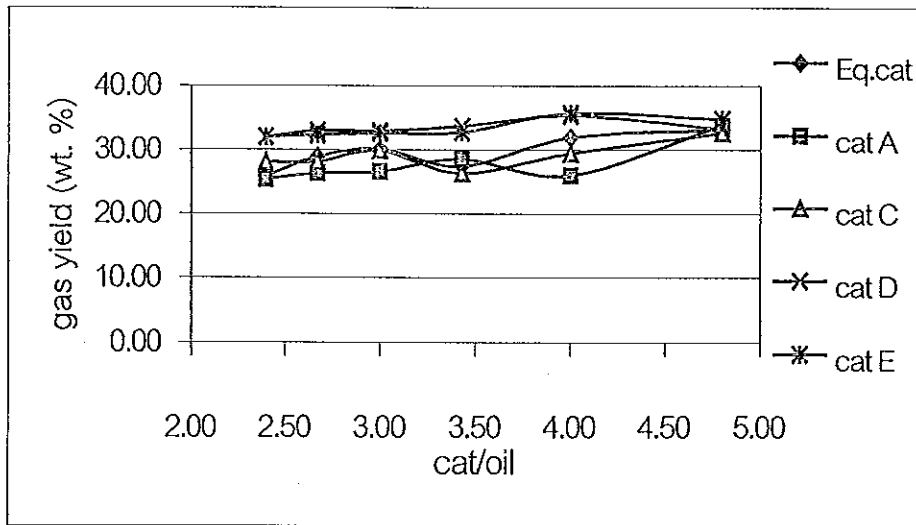
ภาพประกอบ 23 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อสภาพการเลือกแก๊ส
ที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส



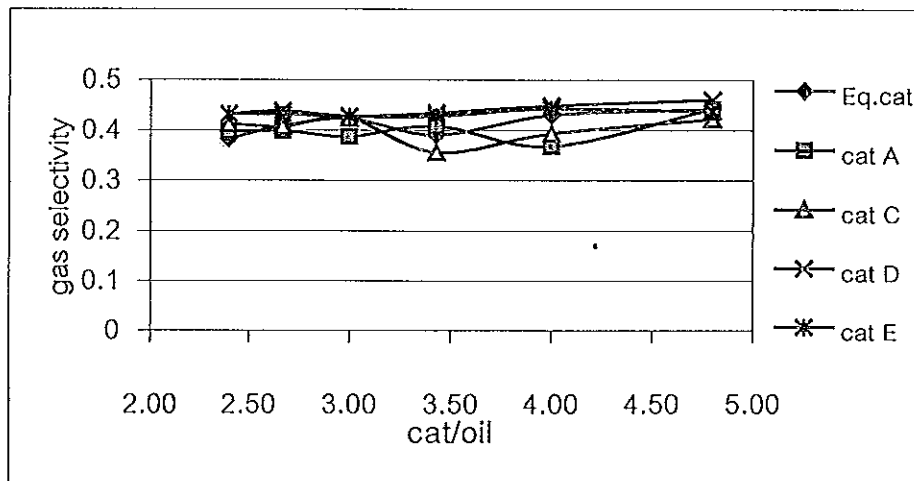
ภาพประกอบ 24 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกอยล์ต่อผลได้แก๊ส
ที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 25 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกอยล์ต่อสภาพการเลือกแก๊ส
ที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส



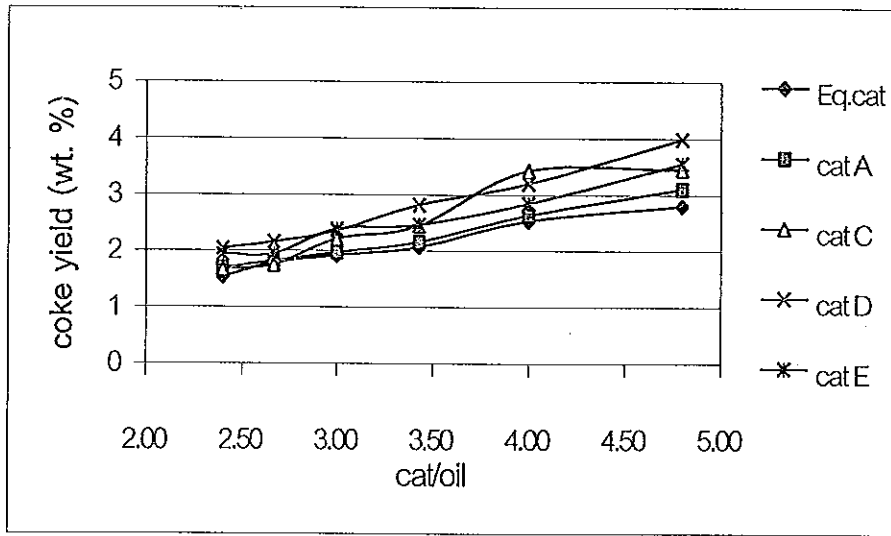
ภาพประกอบ 26 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยลต์ต่อผลได้แก๊ส
ที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส



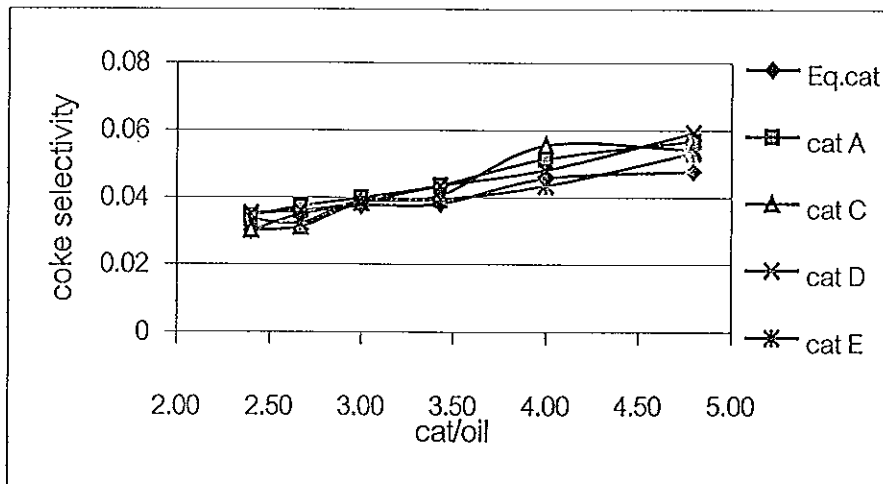
ภาพประกอบ 27 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยลต์ต่อสภาพการเลือกแก๊ส
ที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส

1.3 ผลได้และสภาพการเลือกได้

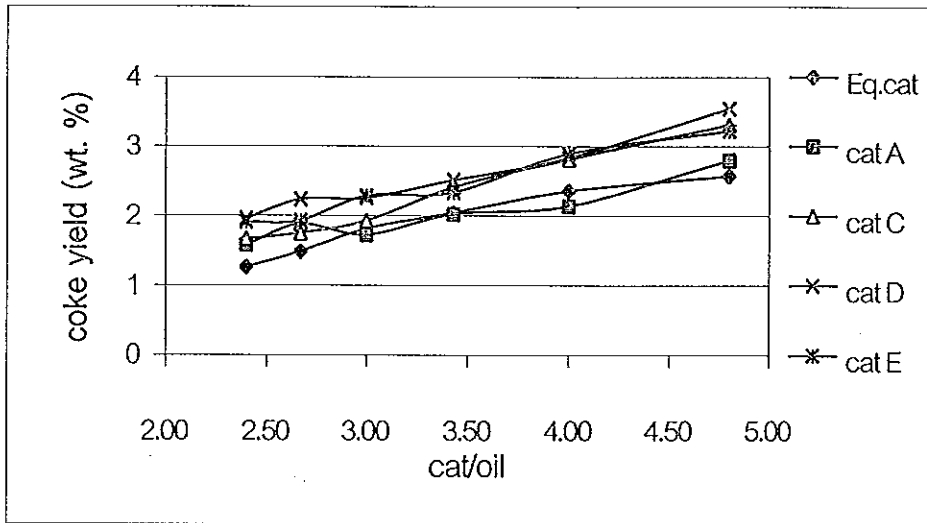
ในปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของโมเลกุลแก๊สออกไซด์ ทำให้เกิดผลผลิตพลอยได้ที่ไม่ต้องการ ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอะโรแมติกโมเลกุลใหญ่ มีผลต่อการลดกำมันตภาพในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา เรียกว่า โค้ก จากภาพประกอบ 28 - 33 แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้และสภาพการเลือกได้ ภายใต้ภาวะของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาคงตัว 440 460 และ 480 องศาเซลเซียส โดยตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 5 ชนิด มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเหมือนกันทั้ง 3 อุณหภูมิ นั่นคือเมื่ออัตราส่วนของ ตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์เพิ่มขึ้น ผลได้และสภาพการเลือกเกิดได้ก็มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาถูกลดกำมันตภาพได้น้อยลง ส่งผลให้มีการเร่งการเกิดปฏิกิริยาในขั้นทุติยภูมิมากขึ้น เนื่องจากผลผลิตที่เกิดขึ้นในขั้นปฐมภูมิจะประกอบด้วย ไฮโดรคาร์บอนโอเลฟินมาก (Sadeghbeigi, 1995) ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วโอเลฟินเหล่านี้มีจุดเดือดอยู่ในช่วงแก๊สโซลีน ส่วนที่เหลือจะมีจุดเดือดอยู่ในช่วง LPG ซึ่งโอเลฟินใน LPG จะไม่เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวต่อไป ในขณะที่โอเลฟินในแก๊สโซลีนสามารถเกิดการแตกตัวต่อไปเป็น LPG ได้ และสามารถเกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนระหว่างโอเลฟินใน LPG รวมทั้งเกิดปฏิกิริยา cyclization เกิดเป็น cycloparaffin เกิดปฏิกิริยาการตั้งไฮโดรเจนเกิดเป็นสารประกอบอะโรแมติก และปฏิกิริยาการรวมตัว (condensation) เกิดเป็นสารอะโรแมติกที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น นั่นคือ มีโค้กเกิดมากขึ้นด้วย ซึ่งส่งผลให้มีสภาพการเลือกได้สูงตามการเพิ่มกำมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย และเนื่องจากผลงานวิจัยของ Michalakos (1998) กล่าวว่า สำหรับสารป้อนทางการค้า FCC ปฏิกิริยาการแตกตัวจะเกิดโค้กขึ้นพร้อมกัน นั่นคือ ผลได้โค้กจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นด้วย



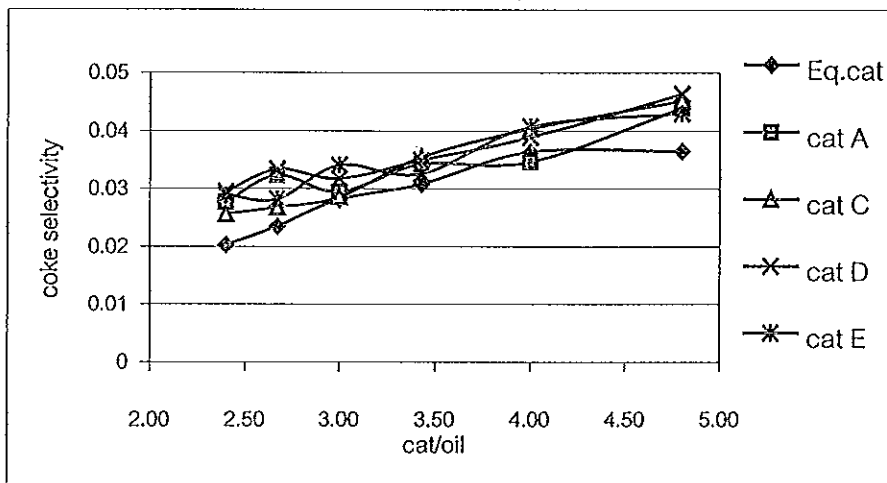
ภาพประกอบ 28 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยลต์ต่อผลได้โค้ก
ที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส



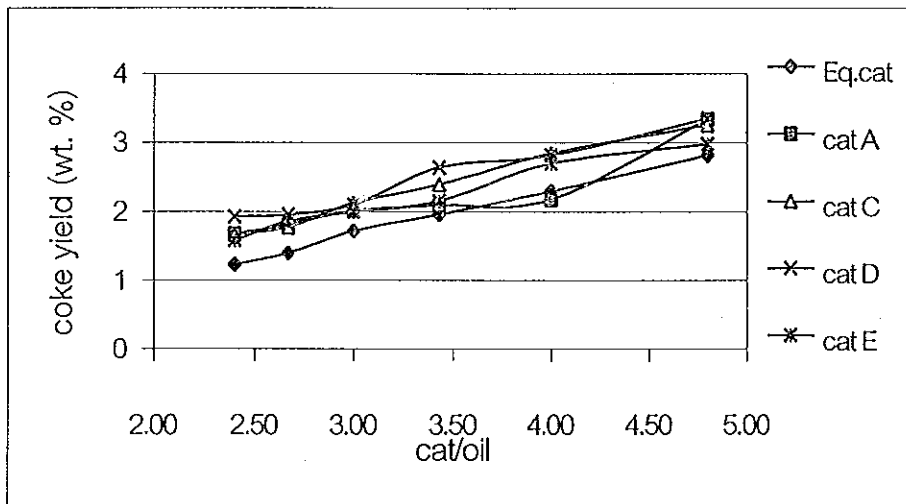
ภาพประกอบ 29 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยลต์ต่อสภาพการเลือกโค้ก
ที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส



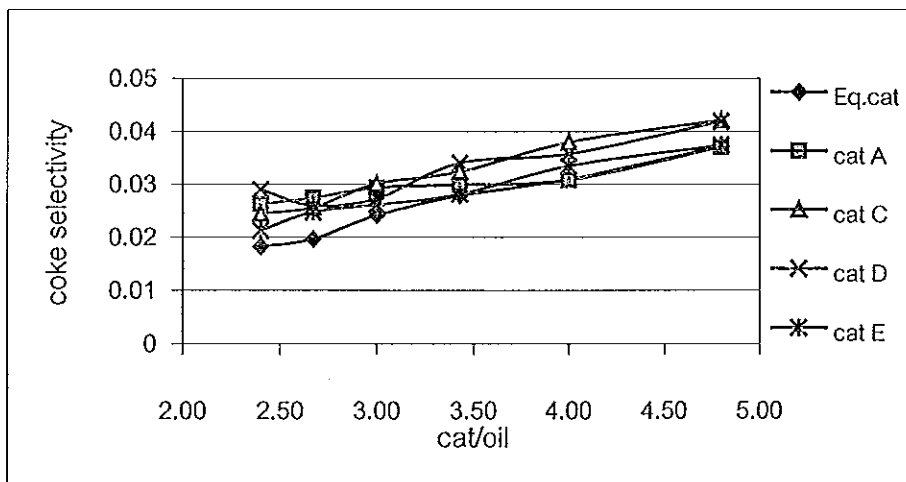
ภาพประกอบ 30 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยลต์ต่อผลได้โค้ก
ที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 31 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยลต์ต่อสภาพการเลือกโค้ก
ที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส



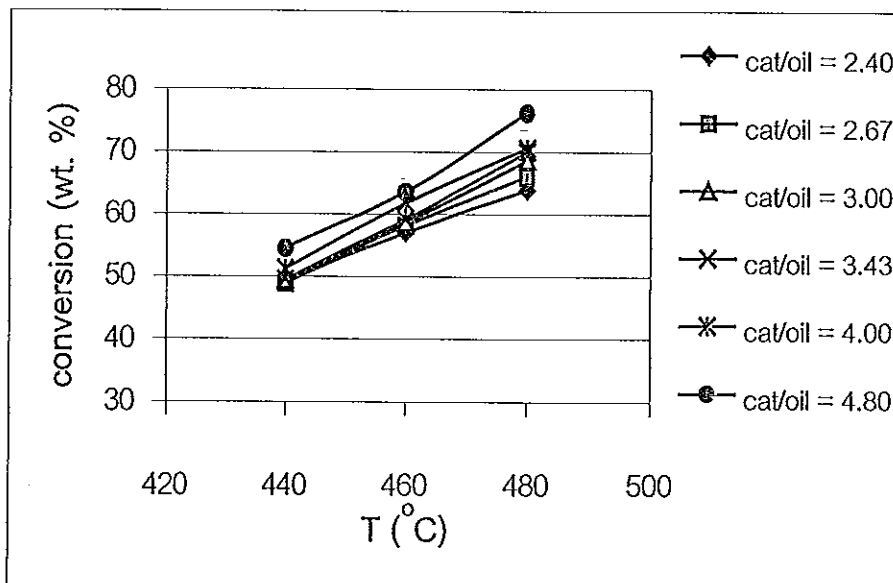
ภาพประกอบ 32 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยล์ต่อผลได้โค้ก
ที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส



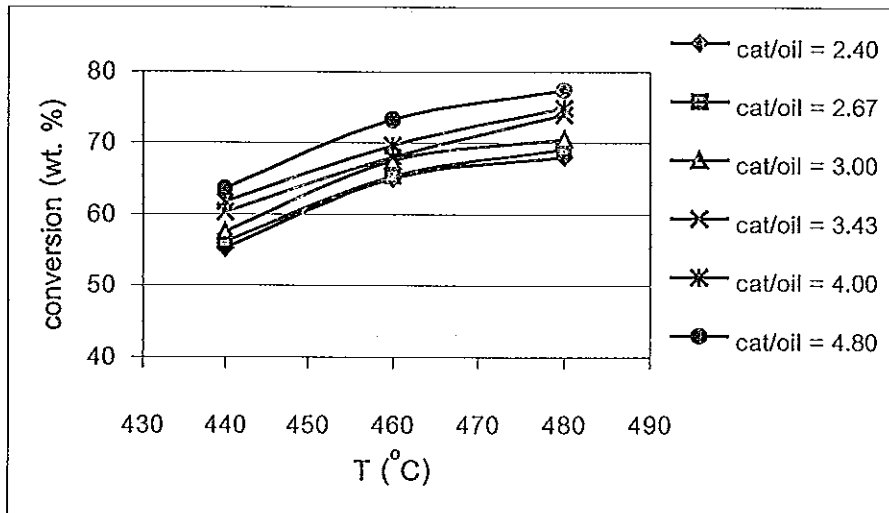
ภาพประกอบ 33 ผลของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยล์ต่อสภาพการเลือกโค้ก
ที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส

2. ผลของอุณหภูมิ

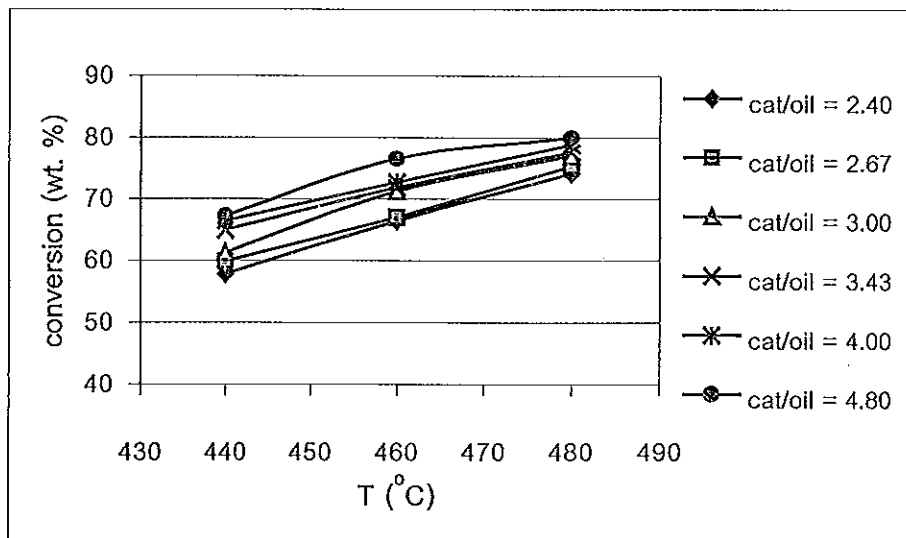
จากภาพประกอบ 34 - 38 แสดงผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่อร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 440 460 และ 480 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเพิ่มความรุนแรงในการทำปฏิกิริยา โดยการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ระดับค่าร้อยละการเปลี่ยนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากกราฟ ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาทุกตัวมีพฤติกรรมเหมือนกัน เนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ จะให้ผลที่สอดคล้องกับสมบัติของปฏิกิริยาทางเคมีโดยทั่วไป เพราะการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับเป็นการเพิ่มพลังงานให้กับสารที่เข้าทำปฏิกิริยามีผลให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดี มีการเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้น ทำให้โมเลกุลเหล่านี้แตกตัวบนตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น นั่นคือตัวเร่งปฏิกิริยามีสัมมนตภาพในการแตกตัวเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น นอกจากนี้ปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของโมเลกุลแก๊สออกไซด์เป็นปฏิกิริยาดูดกลืนความร้อน (endothermic) การเพิ่มอุณหภูมิจึงเป็นการกระตุ้นให้ปฏิกิริยาการแตกตัวเกิดได้ดีขึ้น (Sadeghbeigi, 1995)



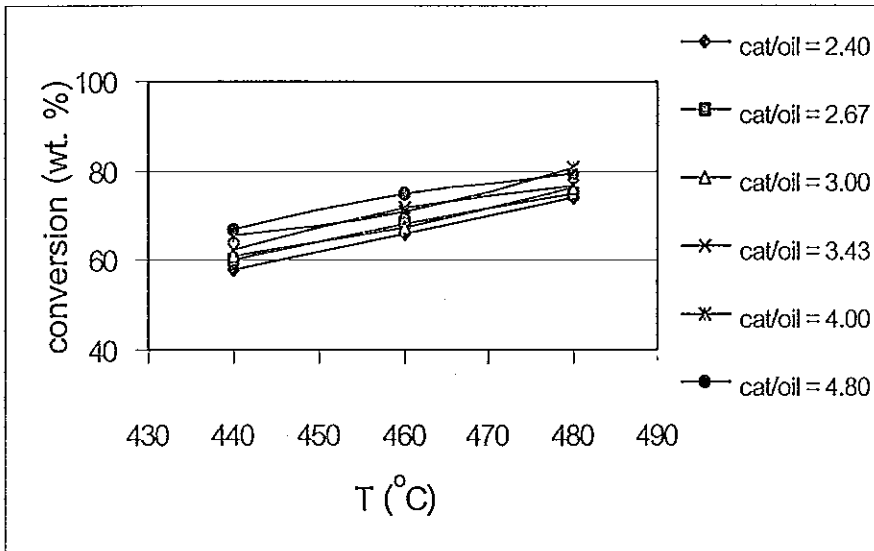
ภาพประกอบ 34 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา A



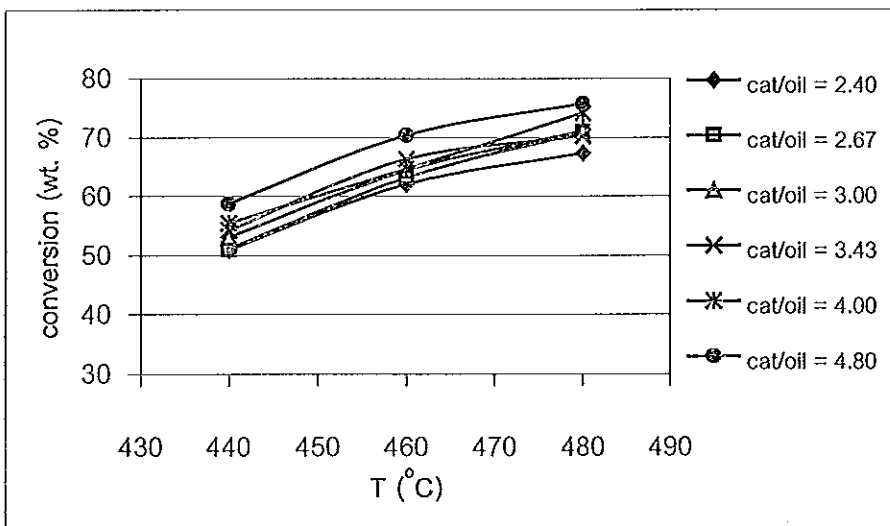
ภาพประกอบ 35 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา C



ภาพประกอบ 36 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D



ภาพประกอบ 37 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา E

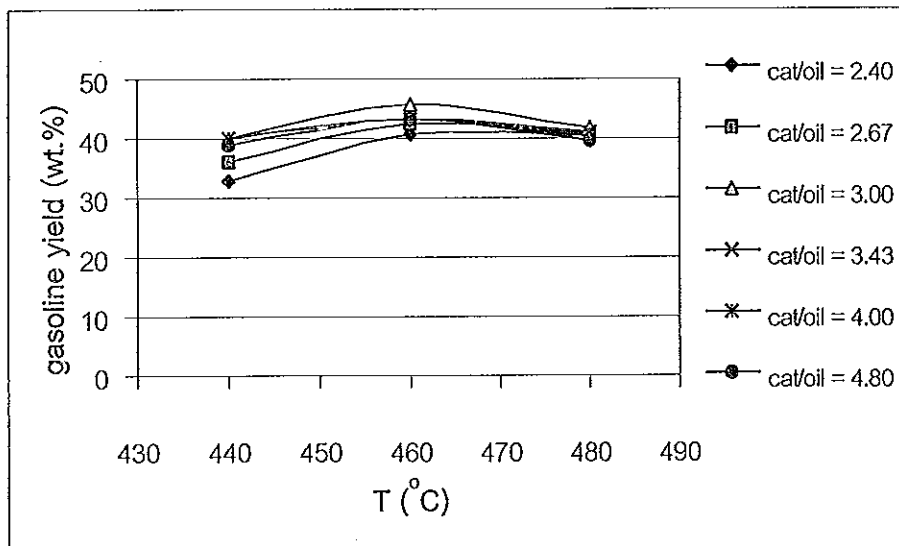


ภาพประกอบ 38 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา

สมุด

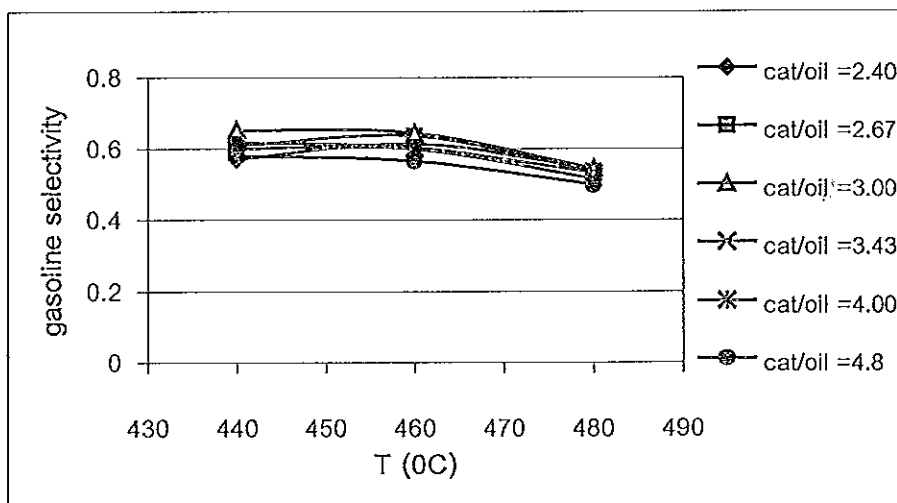
2.1 ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีน

จากภาพประกอบ 39 – 40 แสดงผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่อผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีน ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาทุกตัวมีพฤติกรรมเหมือนกัน จึงแสดงผลเฉพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด D จากภาพประกอบ 39 จะเห็นได้ว่าภายใต้อุณหภูมิในการศึกษาช่วง 440 - 480 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 440 - 460 องศาเซลเซียส ผลได้แก๊สโซลีนมากขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิในการทดลองเพิ่มขึ้นจาก 460 - 480 องศาเซลเซียส ผลได้แก๊สโซลีนมีแนวโน้มลดลง ซึ่งผลจากการทดลองสามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่ำๆ เช่นที่ 440 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้จะมีกัมมันตภาพในการแตกโมเลกุลแก๊สออกอยล์ได้น้อย ทำให้เกิดแก๊สโซลีนได้น้อยด้วย และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มเป็น 460 องศาเซลเซียส อิทธิพลของอุณหภูมิจะเพิ่มพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถทำงานได้ดีขึ้น ผลได้แก๊สโซลีนจึงเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มเป็น 480 องศาเซลเซียส ผลของอุณหภูมิทำให้เกิดความรุนแรงในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา นั่นคือเกิดการแตกตัวที่มากเกินไป (overcracking) ทำให้เพิ่มการเกิดผลผลิตอื่นๆ เช่น ผลได้แก๊ส (Gianetto et al., 1994)



ภาพประกอบ 39 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้แก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D

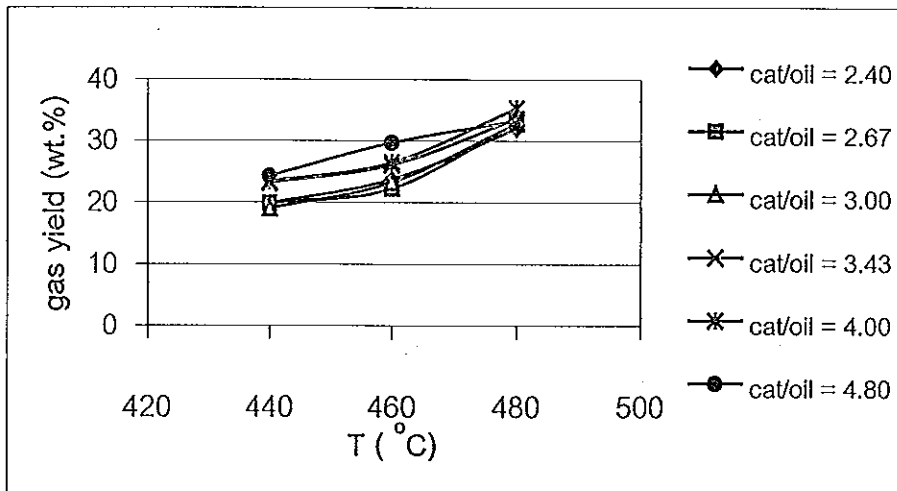
เมื่อพิจารณาถึงสภาพการเลือกแก๊สโซลีน จากภาพประกอบ 40 พบว่าสภาพการเลือกแก๊สโซลีนที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 440 และ 460 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส จะให้ผลได้แก๊สโซลีนน้อยกว่าผลได้แก๊สโซลีนที่อุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส แต่ค่าร้อยละการเปลี่ยนก็น้อยด้วย และการเปลี่ยนโดยส่วนใหญ่จะให้ผลเป็นแก๊สโซลีนมาก ดังนั้นที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส จึงมีสภาพการเลือกแก๊สโซลีนสูงใกล้เคียงกับที่อุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 480 องศาเซลเซียส แสดงสภาพการเลือกแก๊สโซลีนต่ำสุด เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงๆ ปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนลดลง (Gianetto et al., 1994) โดยปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนจะเพิ่มผลผลิตในช่วงแก๊สโซลีนด้วยการ terminating carbocation และทำให้ไฮโดรคาร์บอนโอเลฟินในช่วงแก๊สโซลีนเกิดเป็นสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวประเภทพาราฟิน ก่อนที่จะเกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆต่อไป ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้โมเลกุลโอเลฟินในช่วงแก๊สโซลีนเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก และผลจากค่าร้อยละการเปลี่ยนที่สูงขึ้น เนื่องจากการเกิดผลผลิตอื่นๆ ขึ้นมาก มีผลให้สภาพการเลือกแก๊สโซลีนลดลง ซึ่งจากภาพประกอบ 40 ภายใต้อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ 3.00 เมื่ออุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 460 - 480 องศาเซลเซียส สภาพการเลือกแก๊สโซลีนลดลงจาก 0.643 - 0.540 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kraemer et al (1990) เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มจาก 500 - 550 องศาเซลเซียส สภาพการเลือกแก๊สโซลีนโดยเฉลี่ยลดลงจาก 0.608 - 0.437



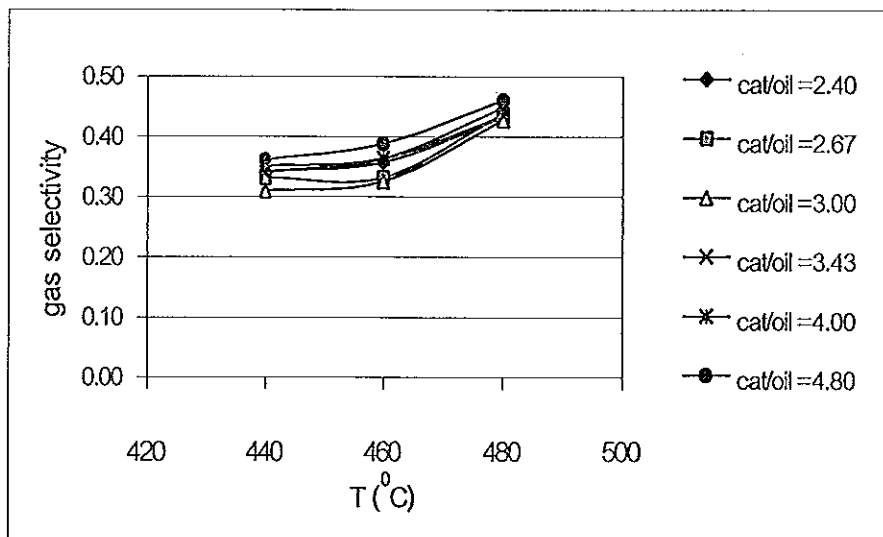
ภาพประกอบ 40 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D

2.2 ผลได้และสภาพการเลือกแก๊ส

จากภาพประกอบ 41 - 42 แสดงผลของอุณหภูมิต่อผลได้และสภาพการเลือกแก๊ส ภายใต้ภาวะของอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นผลได้แก๊สก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีความยาวไซ่มากจะมีกัมมันตภาพในการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวได้มากกว่าโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีความยาวไซ่น้อย เพราะโมเลกุลขนาดเล็กต้องการ activation energy มากกว่าโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เช่น จากงานวิจัยของ Kraemer et al (1990) พบว่า activation energy สำหรับการแตกตัวโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนในช่วงแก๊สโซลีน 31.1 kcal/gmol ในขณะที่พลังงานที่ต้องการในการแตกตัวโมเลกุลแก๊สออกไซด์ 10.1 kcal/gmol ดังนั้นที่อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่ำๆ (เช่นที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส) การแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนโดยส่วนใหญ่จึงให้ผลผลิตเป็นโมเลกุลที่อยู่ในช่วงแก๊สโซลีน แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นผลของอุณหภูมิจะเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวทำให้โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่และโมเลกุลของแก๊สออกไซด์ที่เกิดจากการแตกตัวมาก่อนแล้ว (แก๊สโซลีน) สามารถที่จะเกิดการแตกตัวซ้ำต่อไปอย่างต่อเนื่อง จนได้ผลผลิตที่มีจำนวนคาร์บอนต่ำๆ ซึ่งเป็นผลผลิตที่อยู่ในสถานะแก๊สได้มากขึ้น (Kraemer et al., 1990 และ Sadeghbeigi, 1995) และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้กับค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลง พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นสภาพการเลือกแก๊สก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส มีสภาพการเลือกแก๊สสูงสุด และที่อุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส มีค่าสภาพการเลือกแก๊สมากกว่าอุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส เพียงเล็กน้อย ซึ่งผลนี้จะสอดคล้องกับสภาพการเลือกแก๊สโซลีน นั่นคือที่อุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส แสดงสภาพการเลือกแก๊สโซลีนใกล้เคียงกับค่าที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส และถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส จะให้ผลได้แก๊สที่ต่ำสุด แต่เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก็ต่ำด้วย ดังนั้นสภาพการเลือกแก๊สจึงใกล้เคียงกับที่อุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส



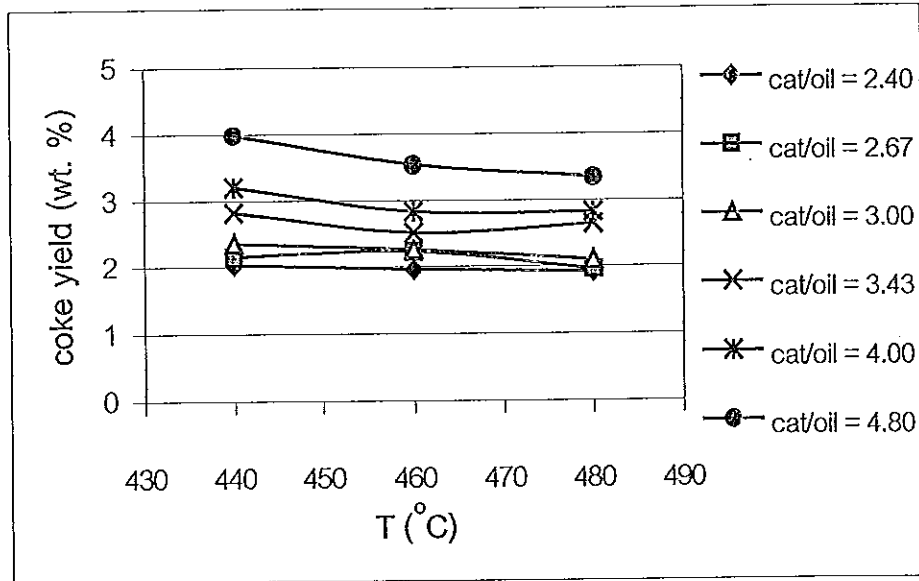
ภาพประกอบ 41 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้แก๊ส โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D



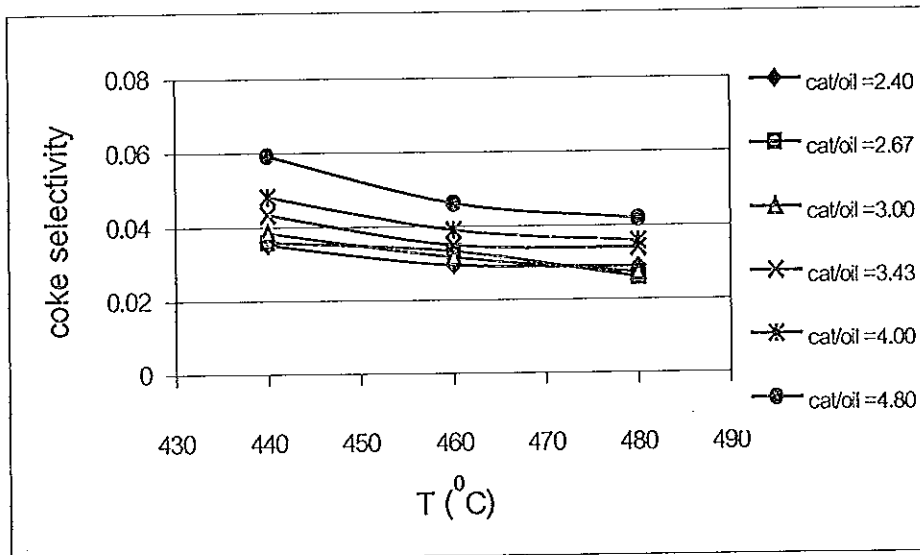
ภาพประกอบ 42 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกแก๊ส โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D

2.3 ผลได้และสภาพการเลือกได้

จากภาพประกอบ 43 - 44 แสดงผลของอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่อผลได้และสภาพการเลือกได้ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทดลอง ผลได้และสภาพการเลือกได้ก็มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจาก Sadeghbeigi (1995) กล่าวว่า "สำหรับภาวะในการทดลองของสารป้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา ผลได้ได้จากการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นตามค่าร้อยละการเปลี่ยนที่เพิ่มขึ้น นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ผลได้ได้ก็เพิ่มขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum temperature) เพื่อให้ค่าผลได้ได้ต่ำสุด ซึ่งสำหรับหน่วยการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาโดยทั่วไป อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 482 องศาเซลเซียส" ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง โดยจะเห็นได้ว่าภายใต้อุณหภูมิในการศึกษาช่วง 440 - 480 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลได้และสภาพการเลือกได้ก็มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่ำๆ (เช่นที่ 440 องศาเซลเซียส) คาร์บีเนียมไฮออนซึ่งเป็นสารตัวกลาง (intermediate) ในปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาไม่สามารถหลุดออกจากผิวที่ว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ ส่งผลให้มีคาร์บีเนียมไฮออนเกาะบนผิวที่ว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้านานพอที่จะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนระหว่างสองโมเลกุล ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดเป็นวง (cyclization) และการพอลิเมอไรเซชัน เพื่อเกิดเป็นได้กั้นได้ และเมื่ออุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น ผลได้ได้กั้นได้น้อยลง เช่น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 440 เป็น 460 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น ก็มันสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้น คาร์บีเนียมไฮออนสามารถหลุดออกจากผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น และสามารถเกิดการแตกตัวเป็นผลผลิตอื่นๆ ที่มีจำนวนคาร์บอนต่ำๆ ต่อไป แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลได้ได้กั้นที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าผลได้ได้กั้นมีค่าใกล้เคียงกับผลได้ได้กั้นที่อุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาสูงๆ ถึงแม้ว่าความรุนแรงของอุณหภูมิจะทำให้คาร์บีเนียมไฮออนสามารถหลุดออกจากผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่าย พร้อมทั้งเกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็กๆ ที่อยู่ในสถานะแก๊สมากขึ้น แต่จะมีแก๊สโอเลฟินบางส่วนซึ่งเป็นพวกที่ไม่เสถียรจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามาก ทำให้เกิดการพอลิเมอไรเซชันของโอเลฟินแก๊สเหล่านี้เป็นผลให้เกิดได้กั้นได้ เนื่องจากการเกิดได้กั้นมีกลไกการเกิดที่ซับซ้อนอย่างน้อย 2 แพกเตอร์ คือ เวลาของคาร์บีเนียมไฮออนที่เกาะบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะสูงเมื่ออุณหภูมิต่ำ และความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาเป็นได้กั้น ซึ่งจะสูงเมื่ออุณหภูมิสูง ดังนั้นภายใต้ภาวะการศึกษาการแตกตัวในช่วง 460-480 องศาเซลเซียส จึงอาจเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด



ภาพประกอบ 43 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้โค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D



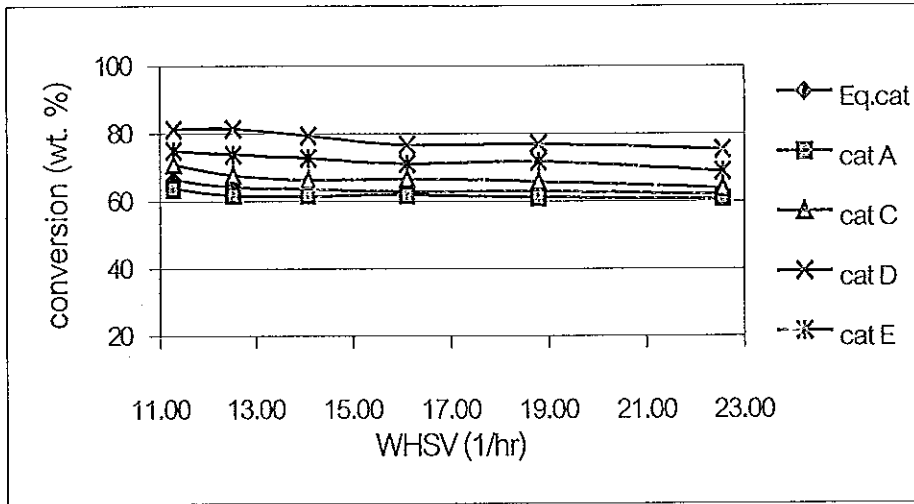
ภาพประกอบ 44 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกโค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D

3. ผลของความเร็วยปธิภุมิ

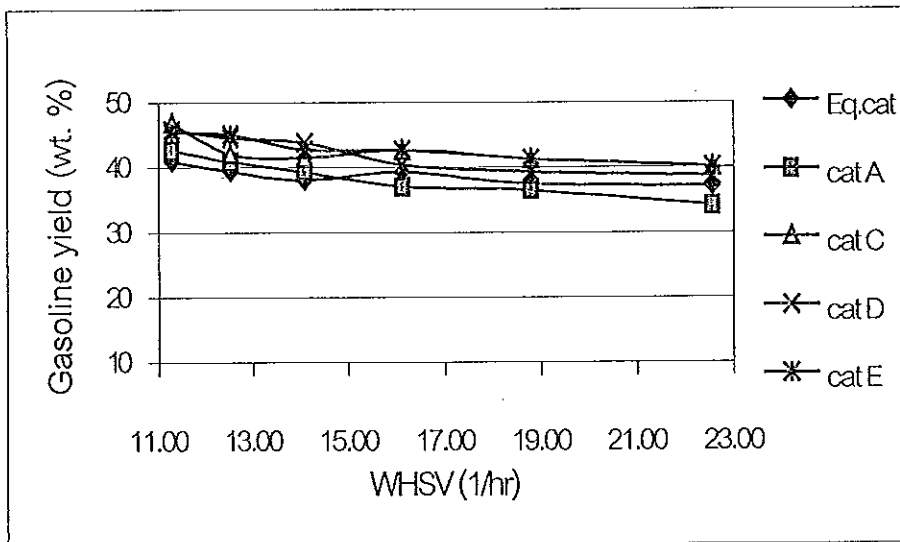
การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของแก๊สออกยล โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วยปธิภุมิระหว่าง 11.28 - 22.56 ชั่วโมง¹ ที่อัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกยลและอุณหภูมิคงตัว 3.19 และ 460 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยการเปลี่ยนแปลงเวลาในการป้อนสารอยู่ระหว่าง 100 - 50 วินาที ซึ่งเมื่อเวลาในการป้อนสารน้อยลงหมายถึงค่าความเร็วยปธิภุมิที่มากขึ้น

3.1 ผลของความเร็วยปธิภุมิต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกยล

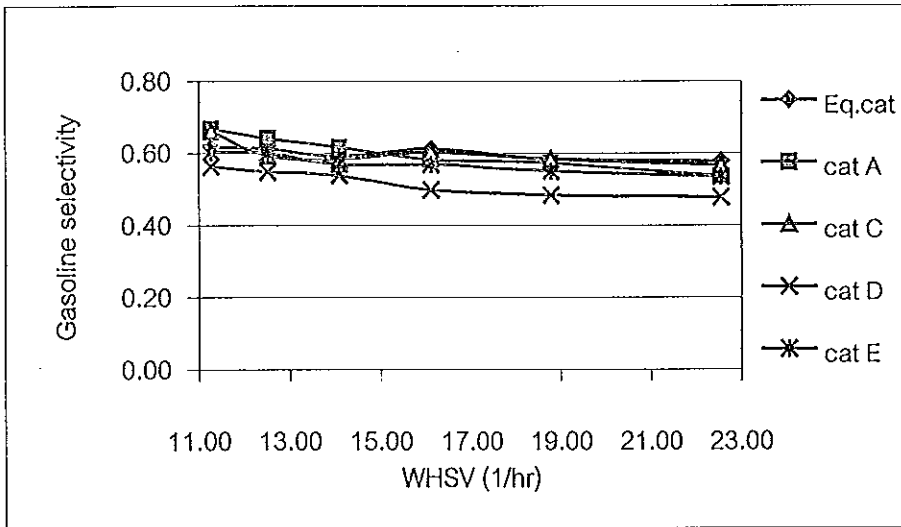
จากภาพประกอบ 45 แสดงผลของความเร็วยปธิภุมิต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกยล โดยตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 5 ชนิด ภายใต้ภาวะในการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อความเร็วยปธิภุมิลดลง ซึ่งสอดคล้องกับเวลาในการป้อนน้ำมันที่มากขึ้น มีผลให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกยลเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อทำการทดลองโดยรักษาให้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและสารป้อนแก๊สออกยลคงที่ แต่เปลี่ยนแปลงเวลาในการป้อนแก๊สออกยล โดยที่เวลาในการป้อนแก๊สออกยลสั้นๆ จะมีอัตราการไหลของแก๊สออกยลเร็ว และโมเลกุลแก๊สออกยลใช้เวลาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์น้อย แต่เมื่อเวลาในการป้อนแก๊สออกยลมากขึ้นอัตราการไหลของแก๊สออกยลจะช้าลง และโมเลกุลแก๊สออกยลใช้เวลาอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์นานขึ้น ทำให้น้ำมันค่อยๆ สัมผัสกับผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ว่างไว้อย่างช้าๆ และทั่วถึง พร้อมทั้งเกิดการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน เกิดเป็นผลผลิตต่างๆ ได้มากขึ้น โดยตัวเร่งปฏิกิริยาทุกตัวมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกัน



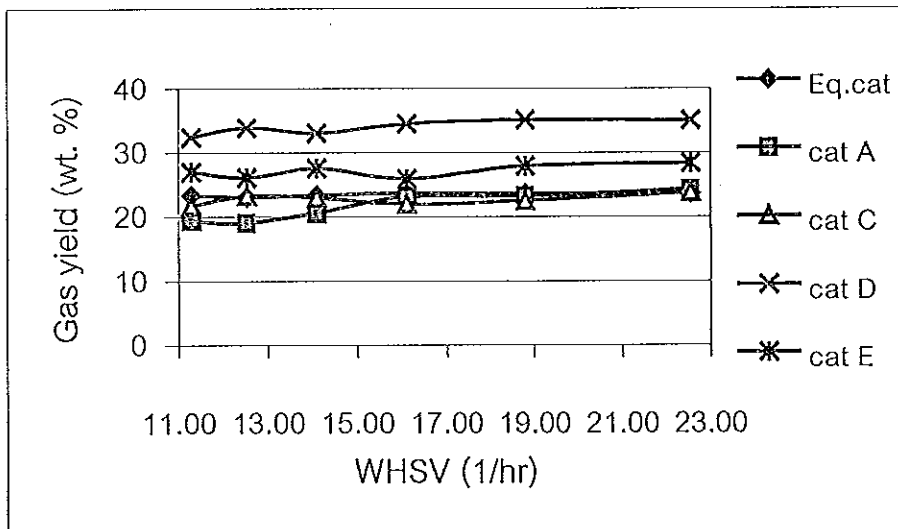
ภาพประกอบ 45 ผลของความเร็วยวปริภูมิต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกยล



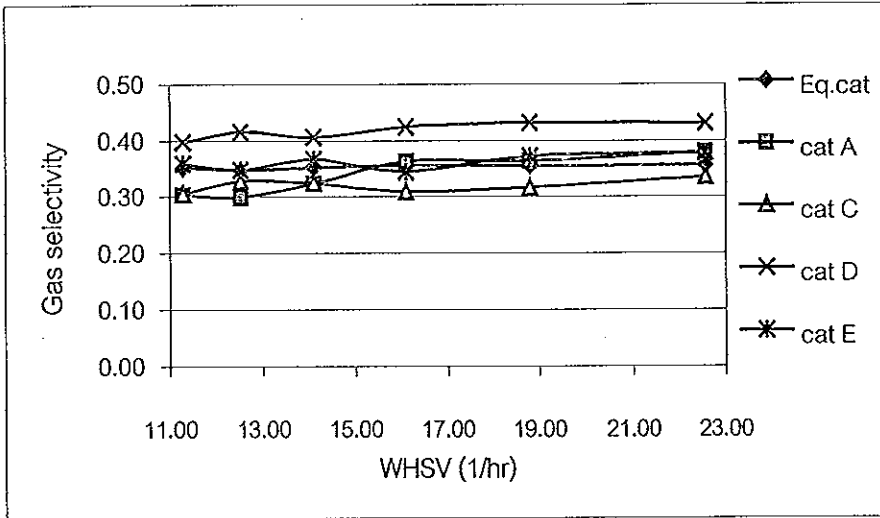
ภาพประกอบ 46 ผลของความเร็วยวปริภูมิต่อผลได้แก๊สโซลีน



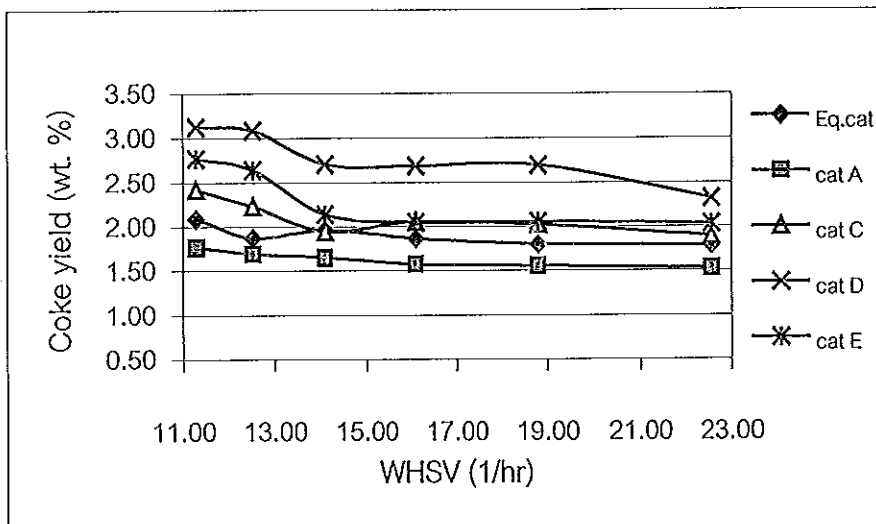
ภาพประกอบ 47 ผลของความเร็วยุติต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีน



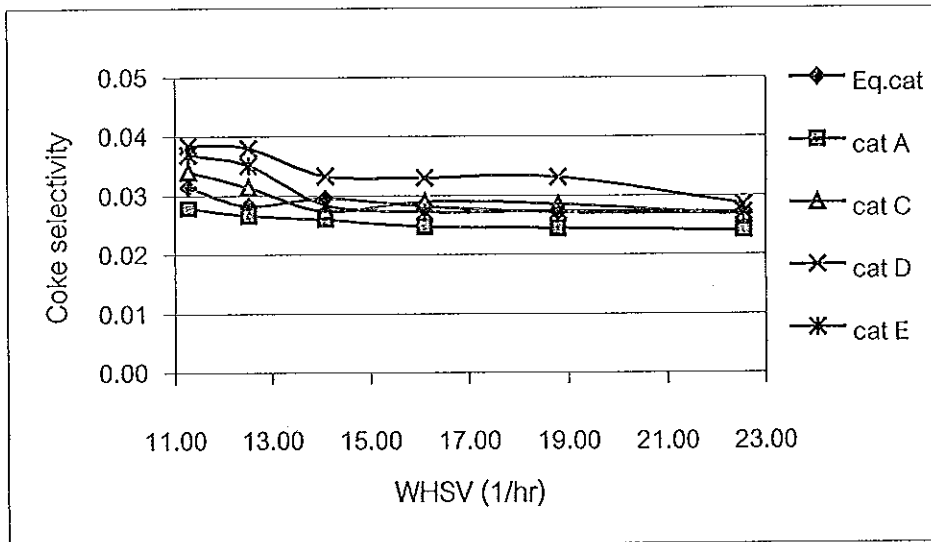
ภาพประกอบ 48 ผลของความเร็วยุติต่อผลได้แก๊ส



ภาพประกอบ 49 ผลของความเร็วยุติต่อสภาพการเลือกแก๊ส



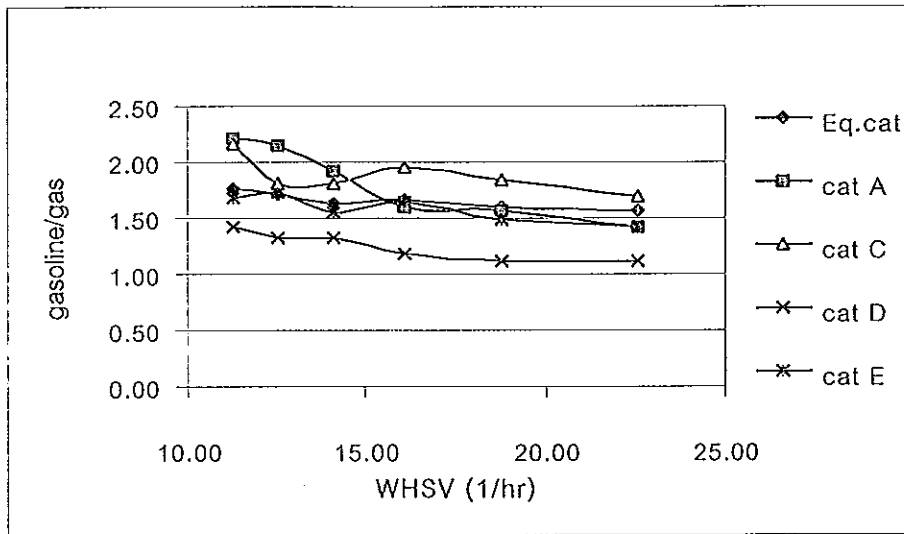
ภาพประกอบ 50 ผลของความเร็วยุติต่อผลได้โค้ก



ภาพประกอบ 51 ผลของความเร็วยิ่งปริมาณต่อสภาพการเลือกเกิดได้

ตาราง 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วยิ่งปริมาณต่ออัตราส่วนผลได้แก๊สโซลีนต่อผลได้แก๊สของตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ

WHSV (1/hr)	Eq.cat	cat A	cat C	cat D	cat E
11.28	1.756	2.207	2.166	1.416	1.682
12.53	1.709	2.149	1.811	1.319	1.728
14.10	1.633	1.913	1.806	1.328	1.554
16.11	1.664	1.603	1.947	1.172	1.649
18.80	1.591	1.571	1.839	1.118	1.481
22.56	1.572	1.412	1.688	1.108	1.416



ภาพประกอบ 52 ผลของความเร็วปฏิกิริมาต่ออัตราส่วนผลได้แก๊สโซลีนต่อผลได้แก๊ส

3.2 ผลของความเร็วปฏิกิริมาต่อผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีน ไค้ก และแก๊ส

จากภาพประกอบ 46 - 47 แสดงอิทธิพลของความเร็วปฏิกิริมาต่อผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีน จะเห็นได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทุกตัวมีแนวโน้มการเกิดผลผลิตแก๊สโซลีนเหมือนกัน นั่นคือ เมื่อความเร็วปฏิกิริมาเพิ่มขึ้น ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สโซลีนลดลง และจากภาพประกอบ 48 - 51 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วปฏิกิริมา กับผลได้และสภาพการเลือกแก๊ส และไค้ก ตามลำดับ พบว่าเมื่อความเร็วปฏิกิริมาน้อยลงเกิดไค้กมากขึ้นแต่เกิดแก๊สน้อยลง ซึ่งจากการทดลองสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อความเร็วปฏิกิริมาน้อยลงจะสอดคล้องกับช่วงเวลาในการป้อนสารที่นานขึ้น ในขณะที่ปริมาณสารป้อนแก๊สออกไซด์เท่ากันตลอดการทดลอง เนื่องจากไค้กจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาแรก และปกคลุมตำแหน่งกรดแข็งแรง ซึ่งจำเป็นในการเกิดแก๊ส (Michalakos et al., 1998) ดังนั้นผลได้แก๊สจึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการป้อนสารนานขึ้น สำหรับผลได้ไค้ก ซึ่งมีค่าสูงเมื่อความเร็วปฏิกิริมาต่ำ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยน (conversion) ที่สูงขึ้น และปฏิกิริยาการเกิดไค้กเป็นปฏิกิริยาประเภท bimolecular reaction ความเร็วปฏิกิริมาที่ต่ำ จะทำให้เวลาในการสัมผัสของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนกับตัวเร่งปฏิกิริยานานขึ้น จึงเชื่อต่อการเกิด bimolecular reaction ดังนั้นผลได้และสภาพการเลือกไค้กจะสูงที่ความเร็วปฏิกิริมาต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแตกโมเลกุลแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 5 ชนิด ดังตาราง 6

โดยพิจารณาการเกิดผลได้แก๊สโซลีน ซึ่งเป็นผลผลิตที่ต้องการต่อการเกิดผลได้แก๊ส ภายใต้ภาวะในการดำเนินการของแก๊สออกไซด์จากโรงกลั่นฝาง พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาทุกตัวมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเมื่อความเร็วปริภูมिन้อยลง เนื่องจากเวลาในการบ่อนสารที่นานขึ้น ทำให้เกิดการแตกตัวของแก๊สออกไซด์เกิดเป็นผลได้แก๊สโซลีนมาก และอิทธิพลจากการมีไค้กปกคลุมที่ตำแหน่งกรดว่องไวทำให้เกิดผลได้แก๊สต่ำลง และตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด D มีประสิทธิภาพต่ำสุด ซึ่งจะเห็นได้ชัดที่ความเร็วปริภูมิที่ใช้ในการทดลองทุกค่า โดยเฉพาะที่ความเร็วปริภูมิ 16.11 ชั่วโมง⁻¹ ซึ่งเป็นความเร็วปริภูมิที่ภาวะมาตรฐานจะเห็นได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด D ให้อัตราส่วนผลได้แก๊สโซลีนต่อผลได้แก๊ส 1.172 ซึ่งต่ำสุด และตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด C ให้อัตราส่วนผลได้แก๊สโซลีนต่อผลได้แก๊สสูงสุดเท่ากับ 1.947 ทั้งนี้อาจจะเกิดจากผลของความแตกต่างในองค์ประกอบทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสอง นั่นคือ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด C มีปริมาณแรร์เอิร์ทอยู่มากสุด (ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก) ซึ่งแรร์เอิร์ทจะช่วยเพิ่มผลได้แก๊สโซลีน (Susan, 1992 และ John, 1993) ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด D มีปริมาณแรร์เอิร์ทน้อย (ร้อยละ 0.98 โดยน้ำหนัก) และจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ภายใต้การแตกตัวของแก๊สออกไซด์จากโรงกลั่นฝาง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีกัมมันตภาพสูง จะให้ผลได้ในช่วงแก๊สโซลีนต่ำ และให้ผลได้ของแก๊สสูงมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีกัมมันตภาพต่ำ เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด C ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนที่ความเร็วปริภูมิ 16.11 ชั่วโมง⁻¹เท่ากับ 66.54 โดยน้ำหนัก ให้ผลได้แก๊สโซลีนร้อยละ 42.60 โดยน้ำหนัก และผลได้แก๊สร้อยละ 21.89 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด D ภายใต้ภาวะในการศึกษาที่เหมือนกัน จะให้ค่าร้อยละการเปลี่ยน 76.69 โดยน้ำหนัก ให้ค่าผลได้แก๊สโซลีนร้อยละ 40.40 โดยน้ำหนัก และผลได้แก๊สร้อยละ 34.46 โดยน้ำหนัก

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอนแนะ

บทสรุป

1. อิทธิพลของอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ (cat/oil ratio)

อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออยล์ จะแสดงถึงอิทธิพลของค่ากำมันตภาพที่ลดลงของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งภายใต้ภาวะในการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลง cat/oil ratio ในช่วง 2.40-4.80 สำหรับการแตกตัวของแก๊สออยล์จากโรงกลั่นฝาง พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาถูกลดกำมันตภาพได้น้อยลงเมื่อ cat/oil ratio สูงขึ้น ส่งผลให้ร้อยละการแตกตัวของแก๊สออยล์เพิ่มขึ้น และส่งผลให้ร้อยละโดยน้ำหนักของโค้กบนตัวเร่งปฏิกิริยา และสภาพการเลือกโค้กมีค่าเพิ่มขึ้น โดยให้ผลได้แก๊สไฮโดรเจนมากที่สุด (41.01 – 45.75 ร้อยละโดยน้ำหนัก) ในช่วง cat/oil ratio 3.00 – 3.43 และให้ผลได้แก๊สได้น้อยสุด ซึ่งสอดคล้องกับภาวะมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบด้วยเครื่อง MAT ซึ่งมีค่า cat/oil ratio เท่ากับ 3.2

2. อิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

อุณหภูมิจะมีผลต่อปฏิกิริยาการแตกตัวมาก นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปฏิกิริยาการแตกตัวของแก๊สออยล์เพิ่มขึ้น โดยผลผลิตที่เพิ่มส่วนใหญ่จะเป็นผลผลิตที่เป็นแก๊ส ดังนั้นภายใต้ภาวะการทดลอง โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง 440 – 480 องศาเซลเซียส สำหรับการแตกตัวของแก๊สออยล์จากโรงกลั่นฝาง พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออยล์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่ผลได้และสภาพการเลือกโค้กมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิต่อช่วงเวลาที่ใช้คาร์บอนไอออนเกาะบนผิวที่ว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้ผลได้โค้กที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดโค้กของกระบวนการ FCC ในทางการค้า ในขณะที่ผลได้และสภาพการเลือกแก๊สไฮโดรเจนจะแสดงค่าสูงสุด (36.94– 45.74 ร้อยละโดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิในการทดลอง 460 องศาเซลเซียส โดยในทางการค้าอุณหภูมิในการดำเนินการอยู่ในช่วง 480 – 520 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารป้อนและปัจจัยอื่นๆ โดยให้ผลผลิตแก๊สไฮโดรเจนอยู่ในช่วง 40 – 60 ร้อยละโดยน้ำหนัก

3. อิทธิพลของความเร็วปฏิกิริยา

ภายใต้ภาวะการทดลองการแตกตัวของแก๊สออกไซด์จากโรงกลั่นฝาง โดยเปลี่ยนแปลงความเร็วปฏิกิริยาในช่วง 11.28 – 22.56 โดยความเร็วปฏิกิริยาน้อยลง แสดงถึงเวลาในการป้อนน้ำมันที่นานขึ้น จะส่งผลให้เกิดการแตกตัวของแก๊สออกไซด์ได้มากขึ้น และส่งผลให้มีแนวโน้มเกิดผลได้แก๊สไฮลีน ผลได้โค้ก สภาพการเลือกแก๊สไฮลีน และสภาพการเลือกโค้กเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการป้อนแก๊สออกไซด์นานขึ้น แต่ผลได้แก๊สมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาถูกกลดกัมมันตภาพจากการมีโค้กไปปกคลุมตำแหน่งกรดว่องไว ซึ่งสำหรับภาวะการแตกตัวที่เหมาะสมของแก๊สออกไซด์จากโรงกลั่นฝางอาจเลือกใช้ความเร็วปฏิกิริยาในช่วง 16.11 เนื่องจากถ้าความเร็วปฏิกิริยาสูงทำให้เกิดการแตกตัวของแก๊สออกไซด์ได้น้อย แต่ถ้าความเร็วปฏิกิริยิต่ำๆ มีผลให้ระบบการแตกตัวมีกำลังในการผลิตต่ำ ดังนั้นควรเลือกใช้ความเร็วปฏิกิริยาในช่วงที่เหมาะสม

ข้อเสนอแนะ

- 1 การศึกษาการแตกตัวของแก๊สออกไซด์โดยตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า ซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบที่แน่นอนของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ ทำให้ไม่สามารถอธิบายอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการแตกตัวของแก๊สออกไซด์จากโรงกลั่นฝาง จึงควรมีการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทราบองค์ประกอบทางเคมีที่แน่นอน เพื่อศึกษาการแตกตัวของแก๊สออกไซด์จากโรงกลั่นฝางโดยตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ
- 2 การศึกษาการแตกตัวของแก๊สออกไซด์ด้วยเครื่องทดสอบจุลกัมมันตภาพ ควรทำการ calibrate น้ำหนักของสารป้อนทุกครั้งที่ใช้งาน
- 3 การวิเคราะห์ผลได้แก๊ส ซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากการแตกตัวของแก๊สออกไซด์ โดยการทำดุลมวลสารภายใต้ปริมาณของสารป้อนที่ทำปฏิกิริยาไป ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ จึงควรมีอุปกรณ์สำหรับเก็บและวิเคราะห์ผลได้ในสถานะแก๊สโดยตรง

บรรณานุกรม

- Adewuyi, Y. G., et al. 1995. "Effect of High-Level Addition of ZSM-5 to a Fluid Catalytic Cracking (FCC) RE-USY Catalyst", Applied Catalysis A: General 131 (1995), 121-133.
- American Society for Testing and Material. 1978. Standard Method for Testing Fluid Cracking Catalysts by Microactivity Test. ASTM Subcommittee D-32.04, The ASTM Committee of Standard, Easton, MD, U.S.A.
- American Society for Testing and Material. 1980. Microactivity Test for Fluid Cracking Catalyst, ASTM Subcommittee D-32.04, The ASTM Committee of Standard, Easton, MD, U.S.A.
- American Society for Testing and Material. 1985. Standard Test Method for Steam Deactivation of Fresh Fluid Cracking Catalysts. ASTM Designation:D-4463 Vol. 05.03, The ASTM Committee of Standard, Easton, MD, U.S.A.
- American Society for Testing and Material. 1987. Standard Method for Testing Fluid Cracking Catalysts by Microactivity Test. ASTM Designation:D-3907 Vol. 05.03, The ASTM Committee of Standard, Easton, MD, U.S.A.
- American Society for Testing and Material. 1991. Standard Test Method for Steam Deactivation of Fresh Fluid Cracking Catalysts. ASTM Designation:D-4463 Vol. 05.03, The ASTM Committee of Standard, Easton, MD, U.S.A.
- American Society for Testing and Material. 1992. Standard Test Method for Testing Fluid Catalytic Cracking (FCC) Catalysts by Microactivity Test. ASTM Designation:D-3907 Vol. 05.03, The ASTM Committee of Standard, Easton, MD, U.S.A.

- Angkasuwan Aurapun. 1998. "Testing on Fluid Catalytic Cracking catalysts", Master of Engineering in Chemical Engineering Prince of Songkla University.
- Campagna, R. J., et.al. 1986. "Fresh FCC Catalyst Tests Predict Performance", Oil & Gas Journal, March 24, pp 85-96.
- Chester, A. W. and Stover, W. A. 1977. "Steam Deactivation Kinetics of Zeolite Cracking Catalyst", Ind. Eng. Chem., Pro. Res. Dev. Vol. 16 No 4 (1977), 65-68.
- Gianetto, et al. 1994. "Fluid Catalytic Cracking Catalyst for Reformulated Gasoline. Kinetic Modeling", Ind. Eng. Chem. Res. 33 (1994), 3053-3062.
- Hollander, M. A., Makkee, M. and Moulijn, J. A. 1998. "Coke Formation in Fluid Catalytic Cracking Studied with the Microriser", Catalysis Today. 46 (1998), 27-35.
- John, S. M. 1993. Fluid Catalytic Cracking : Science and Technology. Elsevier, Amsterdam.
- Kraemer, et al. 1990. "Catalytic Cracking Kinetic in a novel Riser Simulator", Chemical Engineering Science. 145 (1990), 2447-2452.
- Lee, K. H. and Ha, B. H. 1998. "Catalytic Cracking of Vacuum Gas Oil over the Modified Mordenites and Y-Type Zeolites Mixed with Alumina", Ind. Eng. Chem. Res. 37 (1998), 1761-1768.
- LetZsch, W. S., Ritter, R. E. and Vaughan, D. E. W., 1976. "Lab Can Evaluate Zeolite FCC Catalyst", Oil & Gas Journal, January 26, pp 130-144.

- Michalakos, P. M., et al. 1998. "Catalyst Deactivation in the Cracking of Hexadecane and Commercial FCC Feed as Studied by Microactivity Test – Multiple Cold Trap (MAT – MCT) Technique", Catalysis Today. 46 (1998), 13 - 26.
- Moorehead, E. J., et al. 1989. "Evaluation of Fluid Cracking Catalysts: A Comparative Study of Testing Philosophies", Characterization and Catalyst Development, pp.120-134, American Chemical Society, Washington, DC.
- Nui, F. and Hofmann, H. 1995. "Activity and Deactivity behavior of various Zeolite Catalyst", Applied Catalysis A: General 128 (1995), 107-118.
- Pohlenz, J. B. 1963. "How Operational Variables Affect Fluid catalytic Cracking", Oil & Gas Journal, April 1, pp 124-143.
- Research Institute of Petroleum Processing, SINOPEC, 1997. CLY-1 Hydrothermal Aging Unit Manual Instructions,
- Research Institute of Petroleum Processing, SINOPEC, 1997. WFS-1D Catalytic Micro Activity Index Test Unit Manual Instruction.
- Sedeghbeigi, R. 1995. Fluid Catalytic Cracking Handbook. Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
- Venuto, P. B. and Hobib, E. T., Jr. 1979. Fluid Catalytic Cracking with Zeolite Catalysts. Marcel Dekker, Inc., New York and Basel.
- Xinjin, Z. and Robert, H. 1999. "ZSM-5 Additive in Fluid Catalytic Cracking. 2. Effect of Hydrogen Transfer Characteristics of the Base Cracking Catalysts and Feedstocks", Ind. Eng. Chem. Res. 38 (1999), 3854-3859.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารป้อนสำหรับทดสอบค่ากำมันตภาพ

ในการทดลองใช้สารป้อนที่มีจุดเดือดของแก๊สไฮโดรเจน 260 - 340 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงต้องทำการกลั่นน้ำมันดีเซลจากโรงกลั่นฝาง ด้วยเครื่องกลั่นแบบจุดเดือดจริง (true boiling point : TBP)

1. การกลั่นแบบจุดเดือดแท้จริงตามมาตรฐาน ASTM D2892

เป็นการกลั่นแบบแยกละเอียดชนิดที่อาจถือได้ว่า แต่ละองค์ประกอบค่อยๆ แยกตัวออกมาตามจุดเดือดของมันเป็นลำดับ เครื่องมือที่ใช้ต้องมีความสามารถในการแยกลำดับส่วนอย่างดีและอัตราการกลั่นรวมทั้งรีฟลักซ์ต้องได้รับการควบคุมอย่างใกล้ชิด

2. แนะนำเครื่อง

เครื่องกลั่นแบบจุดเดือดแท้จริงได้ออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2892 ดังแสดงในภาพประกอบ 52 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

2.1 หม้อกลั่น (still pot) มีปริมาตร 15 ลิตร ส่วนบนของหม้อกลั่นมีช่องทางเปิดอยู่ 3 ช่อง คือ ช่องหนึ่งใช้สำหรับติดตั้งตัววัดอุณหภูมิของหม้อกลั่น (T4) ช่องที่สองใช้สำหรับถ่าย (drain) น้ำมันหนักที่เหลือค้างในหม้อกลั่นออกหลังจากทำการกลั่นเสร็จสิ้น ช่องสุดท้ายใช้สำหรับป้อนวัตถุดิบของการกลั่นและยังใช้สำหรับเชื่อมต่อท่อเพื่อวัดความดันลดที่เกิดขึ้นในระหว่างการกลั่น หม้อกลั่นสามารถรับสารป้อนได้ 5 - 10 ลิตร

2.2 เตาเผา (furnace) ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่หม้อกลั่น โดยเตาเผาจะคลุมอยู่ภายนอกหม้อกลั่นในลักษณะที่เป็นแจ็กเก็ต (jacket) แจ็กเก็ตนี้ประกอบด้วย ชุดลดความร้อน 2 ชุด ชุดหนึ่งจะอยู่ที่ใต้หม้อกลั่น และอีกชุดหนึ่งจะอยู่รอบๆ ด้านข้างของหม้อกลั่น โดยชุดลดทั้ง 2 ชุดนี้ จะเชื่อมต่อกันด้วยวงจรไฟฟ้าแบบขนาน การให้ความร้อนแก่เตาเผาสามารถทำการควบคุม ได้ทั้งแบบอัตโนมัติ (automatic control) และควบคุมด้วยมือ (manual control) ในกรณีที่มีการควบคุมแบบอัตโนมัติ จะใช้ความดันลดที่วัดระหว่างหม้อกลั่นและส่วนบนของคอลัมน์เป็นตัวควบคุม นั่นคือเมื่อความดันลดเพิ่มขึ้นจะต้องทำให้ลดลงโดยการลดอัตราการให้ความร้อน ซึ่งหมายถึงร้อยละของการเปิด-ปิดการให้ความร้อนของเตาเผา เช่นเมื่อควบคุมการให้ความร้อนเป็นร้อยละ 75 หมายถึง ในช่วงเวลา 1 นาที เตาเผาจะเดินเครื่อง 45 วินาที และจะหยุดการเดินเครื่อง 15 วินาที

สำหรับการเดินเครื่องด้วยมือ เป็นการปรับปริมาณร้อยละการให้ความร้อนโดยผู้ทำการควบคุม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความต้องการอัตราการกลั่นหรือความดันลดของผู้ควบคุม

หม้อกลั่นมีตัววัดอุณหภูมิแบบเทอร์มอคัปเปิล (thermocouple) ติดตั้งอยู่ 2 จุด จุดหนึ่งใช้วัดอุณหภูมิภายในส่วนล่างของหม้อกลั่น และอีกจุดหนึ่งใช้วัดอุณหภูมิของเตาเผา โดยจะเรียกค่าของอุณหภูมิทั้งสองที่วัดได้ว่า T4 และ T7 ตามลำดับ

2.3 มีจำนวนเพลททางทฤษฎี 15 เพลท

2.4 เครื่องกลั่น TBP สามารถทำการกลั่นที่อุณหภูมิสมมูลกับความดันบรรยากาศ (atmospheric equivalent temperature, AET) ได้ไม่เกิน 350 องศาเซลเซียส

2.5 คอลัมน์การกลั่น (distillation column) มีความสูง 1 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเป็น 50 มิลลิเมตร บรรจุด้วยวัสดุบรรจุ (packing) แบบเซมิริง (semi-ring) ซึ่งมีลักษณะเป็นสแตนเลสสตีล (stainless steel) มีผิวขรุขระและมีขนาดเล็ก มีวนเป็นตัวอักษรจีใหญ่ ภายในคอลัมน์มีชุดวัดอุณหภูมิแบบเทอร์มอคัปเปิลอยู่ 3 จุด สำหรับวัดอุณหภูมิที่ใจกลางของคอลัมน์ 3 ส่วนคือ ส่วนบนของคอลัมน์บริเวณที่ไอไหลออกไปสู่ท่อนำไอ ส่วนกลาง และส่วนล่างของคอลัมน์ ซึ่งจะเรียกค่าของอุณหภูมิเหล่านี้ว่า T1, T2 และ T3 ตามลำดับ

2.6 แจ็คเก็ตรอบคอลัมน์ เป็นทรงกระบอก ทำจากสแตนเลสสตีลคลุมอยู่โดยรอบคอลัมน์ เพื่อให้อากาศไหลผ่านในกรณีที่ต้องการทำให้คอลัมน์เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วหลังจากเสร็จสิ้นการกลั่นรอบๆ แจ็คเก็ตมีอุปกรณ์ให้ความร้อน ติดตั้งอยู่ 2 จุด เพื่อเป็นชนวนความร้อน (thermal insulation) ให้แก่คอลัมน์ และมีชุดวัดอุณหภูมิแบบเทอร์มอคัปเปิล ติดตั้งอยู่ 2 จุด สำหรับอุณหภูมิของคอลัมน์ โดยเรียกค่าของอุณหภูมิที่วัดได้ว่า T5 และ T6 ตามลำดับ

2.7 เครื่องควบแน่นยอดหม้อกลั่น (top condenser) ทำหน้าที่รับไอจากคอลัมน์ และเกิดการควบแน่นกลายเป็นรีฟลักซ์ไหลกลับเข้าสู่คอลัมน์และส่งออกไปยังท่อนำไอ ซึ่งการแบ่งการไหลจะทำโดยติดตั้งท่อที่ส่วนล่างของเครื่องควบแน่น โดยปลายท่อมี่ลักษณะเป็นแฉก (slot) ทั้งหมด 5 แฉก ของเหลวที่เกิดจากการควบแน่นจะไหลย้อนกลับลงมาตามผิวภายในเครื่องควบแน่น เมื่อของเหลวไหลลงสู่ปลายท่อจะทำให้ของเหลวถูกแบ่งออกเป็น 5 ส่วน โดยของเหลว 1 ส่วนจะส่งต่อไปสู่ท่อนำไอ และอีก 4 ส่วนที่เหลือจะไหลกลับเข้าสู่คอลัมน์ นอกจากของเหลว 5 ส่วนนี้แล้วยังมีของเหลวอีก 1 ส่วนที่ไหลลงมาจากส่วนกลางของเครื่องควบแน่น จากลักษณะของเหลวที่กล่าวมานี้ จะทำให้ได้อัตราส่วนรีฟลักซ์ (reflux ratio) เป็น 5 : 1

2.8 ท่อนำ (conduct tube) ส่วนของไอและของเหลวที่ออกมาจากส่วนบนของคอลัมน์การกลั่น จะผ่านเข้าสู่ท่อนำ เพื่อที่จะส่งไปยังหน่วยเก็บผลผลิต โดยท่อนำนี้จะติดตั้งเครื่องควบแน่น

2 ชุด เพื่อทำการควบแน่นน้ำมันที่ยังคงมีสถานะเป็นไอ และลดอุณหภูมิของเหลวลง เครื่องควบแน่นชุดแรกจะใช้น้ำหล่อเย็นเป็นตัวดึงความร้อน ส่วนเครื่องควบแน่นชุดที่สอง จะใช้สารตัวกลางทำความเย็นเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน

2.9 หน่วยเก็บผลผลิตแบบอัตโนมัติ (automatic collector) เป็นตัวรองรับผลผลิตจากการกลั่น ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 65 องศาเซลเซียส ภายในหน่วยเก็บจะมีหลอดแก้ว 10 หลอดเรียงอยู่บนฐานรองรับวงกลม โดยจะมีการหมุนเปลี่ยนหลอดเก็บผลผลิตตามอุณหภูมิจุดตัดที่กำหนดไว้

2.10 หน่วยเก็บผลผลิตเบ้า (glass collector) ในการกลั่นที่ความดันบรรยากาศ น้ำมันที่กลั่นได้ ณ อุณหภูมิการกลั่นต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส จะถูกนำไปเก็บในหน่วยเก็บผลผลิตเบ้า

2.11 แหล่งจ่ายพลังงาน เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 3{ EMBED Equation.3 }220 โวลต์ ความถี่ 50 หรือ 60 Hz กำลัง 6 กิโลวัตต์

2.12 ท่อน้ำ

2.13 เครื่องทำความเย็น

2.14 ระบบควบคุม (control system) อุณหภูมิของเครื่องกลั่นจะถูกควบคุมหรือวัดค่าโดยเครื่องควบคุมเวสต์ (west controllers) ซึ่งเครื่องควบคุมเวสต์สามารถกำหนดการควบคุมให้เป็นได้ทั้งแบบอัตโนมัติ และควบคุมด้วยมือ ในขณะที่เครื่องจ่ายกำลังในการให้ความร้อนจะควบคุมโดยเครื่องควบคุม PLC (simatic S7-200 programmable logical controller) ซึ่งจะใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมทั้งสอง

3. ขั้นตอนการดำเนินการกลั่น

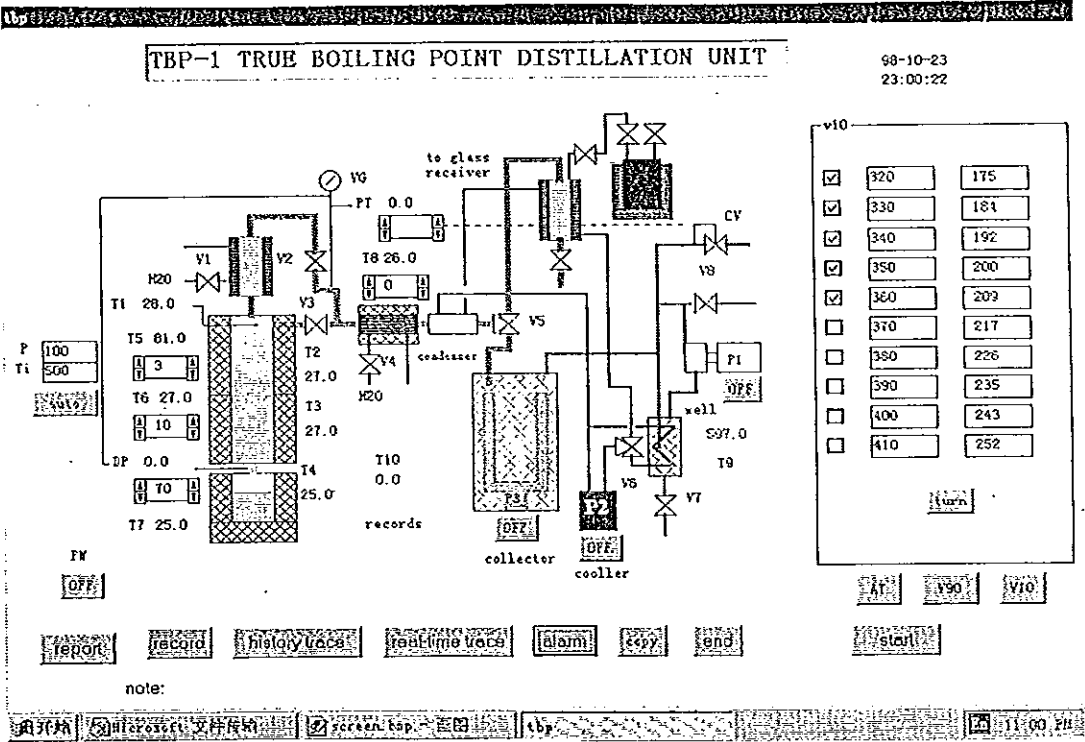
การกลั่นแยกแบบจุดเดือดแท้จริงของน้ำมันดิบ โดยปกติทำตามขั้นตอนดังนี้

1) บรรจุน้ำมันดิบลงในหม้อกลั่น และชัณยกตัวให้ความร้อนแก่หม้อกลั่นขึ้น และทำการลือกให้เรียบร้อย

2) ในขั้นตอนการกลั่นที่ความดันบรรยากาศ โดยปกติแล้วเลือกค่า cut point เป็น 80, 100, 120, 135, 145, 150, 165, 180 และ 200 องศาเซลเซียส

3) เมื่อสิ้นสุดการกลั่นจะปล่อยให้อุณหภูมิของตัวให้ความร้อนแก่หม้อกลั่นลดลง และทำให้หม้อกลั่นกับคอลัมน์เย็นตัวลง จนกระทั่งอุณหภูมิของคอลัมน์ (T1) ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของหม้อกลั่น (T4) ต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส

- 4) ในขั้นตอนการกลั่นสุญญากาศที่ความดัน 90 มิลลิเมตรปรอท โดยปกติแล้วเลือก cut point เป็น 220, 230, 240, 260, 280 และ 300 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่สมมูลกับความดันบรรยากาศ)
- 5) เมื่อสิ้นสุดการกลั่นที่ความดัน 90 มิลลิเมตรปรอท ในขั้นตอนการกลั่นสุญญากาศที่ความดัน 10 มิลลิเมตรปรอท โดยปกติแล้วเลือก cut point เป็น 320, 350 และ 360 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่สมมูลกับความดันบรรยากาศ)
- 6) ปล่อยให้อุณหภูมิของตัวให้ความร้อนแก้ม้อกลั่นลดลง และทำให้แก้ม้อกลั่นกับคอลัมน์เย็นตัวลงจนกระทั่งอุณหภูมิของคอลัมน์ (T1) ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของแก้ม้อกลั่น (T4) ต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส แล้วหยุดปั๊มสุญญากาศ
- 7) ถ่ายน้ำมันที่คงค้างในแก้ม้อกลั่นออกทางท่อที่ต่อออกจากแก้ม้อกลั่น โดยอัดอากาศหรือไนโตรเจนเพื่อให้ความดันแก้ม้อกลั่น
- 8) ทำความสะอาดระบบการกลั่นโดยบรรจุน้ำมันเบาประมาณ 2 ลิตร ลงในแก้ม้อกลั่น เริ่มให้ความร้อนโดยการกดปุ่มเริ่มด้วยมือ กลั่นที่ความดันบรรยากาศจนกระทั่งมีน้ำมันประมาณ 1 ลิตร ถูกกลั่นออกมา
- 9) ถ่ายน้ำมันที่คงค้างอยู่ในแก้ม้อกลั่นเหมือนในขั้นตอนที่ 7) แล้วปิดเครื่อง



ภาพประกอบ 53 เครื่องมือการกลั่นแบบจุดเดือดจริง

ภาคผนวก ข

การลดความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง CLY-1 Hydrothermal Aging Unit

Hydrothermal aging Unit Model CLY-1 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาใหม่สดให้มีกัมมันตภาพลดลง และสามารถนำไปทดสอบค่ากัมมันตภาพด้วยเครื่องทดสอบค่าจุลกัมมันตภาพ (microactivity test (MAT) unit)

1 การติดตั้งและเตรียม

1.1 แหล่งจ่ายพลังงาน (power supply)

ใช้กระแสไฟฟ้าแบบ 3 เฟส เป็นกระแสสลับ 220 โวลต์ 20 แอมแปร์

1.2 การป้อนอากาศ

อากาศที่ใช้มีความดัน 0.4 เมกะปาสคาล โดยสามารถส่งอากาศผ่านท่อเล็กๆหรือเครื่องอัดอากาศขนาดเล็ก ในหน่วยดำเนินการลดกัมมันตภาพด้วยไอน้ำอุณหภูมิสูงปรับความดันให้อยู่ที่ 0.3 เมกะปาสคาล ตัวควบคุมความดันปรับไปที่ 0.1 เมกะปาสคาล และอัตราการไหลของอากาศ 30 มิลลิลิตรต่อนาที

1.3 น้ำ

น้ำที่ใช้สำหรับกระบวนการนี้เป็นน้ำที่ปราศจากไอออน (deionized) โดยก่อนจะเริ่มใช้เครื่องต้องเติมน้ำในถังเก็บให้เต็มทุกครั้ง

1.4 การปรับอุณหภูมิ

เตาเผา ต้องมีความยาวในการรักษาให้มีการกระจายอุณหภูมิคงที่เท่ากัน (isothermal) อย่างเพียงพอ (ประมาณ 10 ซม.) ถ้าความยาวในช่วงที่มีอุณหภูมิคงที่ไม่พอ สามารถปรับอุณหภูมิของเตาเผาโดยใส่กระเบื้องรูปวงแหวน (porcelain ring) หรือทรายลงในท่อปฏิกิริยา (aging) ให้เต็ม แล้วปรับอุณหภูมิของเตาเผาทั้งสามช่วง (บน กลาง และล่าง) ให้เข้าใกล้ 800 องศาเซลเซียส จากนั้นก็เริ่มให้ความร้อนและอากาศไหลผ่าน เมื่ออุณหภูมิเข้าสู่ค่าที่ต้องการ และคงที่แล้วก็เริ่มป้อนน้ำด้วยอัตราการไหล 25 มิลลิลิตรต่อนาที หลังจากนั้นผ่านไป 40 นาที ค่อยๆปรับตัวควบคุมอุณหภูมิทั้งสามของเตาเผา จนกระทั่งมีการกระจายอุณหภูมิเท่ากันตลอดความยาวที่เข้าใกล้ค่าสูงสุดที่ 800 องศาเซลเซียส

2 วิธีการบ่มแรงตัวเร่งปฏิกิริยา (aging)

2.1 วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกรณ์

- 1 เติมกระเบื้องรูปวงแหวน (porcelain ring) ในท่อบ่มแรงประมาณ 14 เซนติเมตร และเศษกระเบื้องที่แตก (broken porcelain ring) ประมาณ 3 เซนติเมตร
- 2 ใส่ใยควอทซ์ (quartz cotton) หนาประมาณ 0.5-1 เซนติเมตร
- 3 เติมตัวเร่งปฏิกิริยาประมาณ 40 มิลลิลิตร
- 4 ใส่ใยควอทซ์ปิดด้านบนหนาประมาณ 0.5 - 1 เซนติเมตร เติมกระเบื้องที่แตกในท่อบ่มแรงประมาณ 3 เซนติเมตร และกระเบื้องรูปวงแหวนประมาณ 10 เซนติเมตร
- 5 ปิดฝาชั้นให้แน่นพอประมาณ แล้วใส่ในเตาเผา
- 6 ใส่ Thermocouple 3 เส้น ทางด้านข้างตามเครื่องหมายที่ขีดไว้
- 7 ใส่ Thermocouple ทางด้านล่างให้สุดแล้วดึงลงมาประมาณ 19 เซนติเมตร (ตำแหน่ง Thermocouple จะอยู่ตรงกลางของตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในท่อปฏิกรณ์)
- 8 ต่อท่อน้ำเข้ากับท่อบ่มแรง แล้วเปิดท่อแก๊ส (อากาศ) ให้ได้ระดับการไหลประมาณ 30 มิลลิลิตรต่อนาที

2.2 วิธีการให้อากาศและเริ่มให้ความร้อน

- 1 เปิดวาล์วให้อากาศไหลโดยปรับความดันอากาศไปที่ 0.3 เมกะปาสคาล ตัวควบคุมความดันปรับไปที่ 0.1 เมกะปาสคาล และปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 30 มิลลิลิตรต่อนาที
- 2 เปิดสวิตช์ "Power"
- 3 ตั้งเวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 2 ชั่วโมง
- 4 ตั้งเวลาในการให้น้ำอุณหภูมิสูงผ่านเท่ากับ 6 ชั่วโมง พร้อมทั้งกำหนดเวลาในการเตือนว่าจะครบกำหนดในการทำบ่มแรงโดยจะมีเสียงเตือนก่อนครบกำหนด 1 นาที
- 5 กดปุ่มให้ความร้อนเพื่อเริ่มต้นให้ความร้อน
- 6 กดปุ่ม L 0.41 ที่เครื่องปั๊ม (อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 25 มิลลิลิตรต่อนาที)

2.3 ขั้นตอนการเริ่มการบ่มแรง

เมื่ออุณหภูมิของท่อบ่มแรงคงตัวที่ 800 องศาเซลเซียส ประมาณ 10 นาที ให้กดปุ่ม "start" เพื่อเริ่มการบ่มแรง (โดยปั๊มน้ำเริ่มผ่านเข้าสู่ท่อ ในขณะที่วาล์วอากาศจะปิด และเริ่มการบ่มแรงโดยอัตโนมัติ) เมื่อครบกำหนดการบ่มแรงเครื่องจะหยุดการให้น้ำแล้วปล่อยให้อากาศไล่ไอน้ำที่เหลือโดยอัตโนมัติ หลังจากไล่ไอน้ำประมาณ 10 นาที สามารถปิดเครื่องและท่อแก๊สได้ และเมื่อท่อบ่มแรงเย็นลงให้เอาท่อออกมาจากเตาเผาแล้วเอาตัวเร่งปฏิกิริยาออกมาใช้งานได้

ภาคผนวก ค

เครื่องทดสอบจุลกิจกรรมันตภาพ (microactivity test unit รุ่น WFS-1D)

1. เครื่องทดสอบจุลกิจกรรมันตภาพ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่ากิจกรรมันตภาพ (activity) สภาพการเลือก(selectivity) ของตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาในสภาพฟลูอิด

1.1 ระบบการเกิดปฏิกิริยาและการเก็บผลผลิต

ระบบนี้จะครอบคลุมถึงเครื่องปฏิกรณ์ ตัวให้ความร้อน อ่างควบแน่น และหลอดสำหรับเก็บผลผลิต โดยเครื่องปฏิกรณ์เป็นตัวให้ความร้อนแก่ระบบและเป็นตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยา แท่งเกลียว (screw bar) เป็นส่วนบนของเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งมีสารป้อนน้ำมันระเหยกลายเป็นไออยู่รอบๆ โดยภายใต้แท่งเกลียวนี้มีลักษณะการกระจายของอุณหภูมิคงตัวเท่ากันตลอด มีความยาวประมาณ 7 เซนติเมตร เป็นตำแหน่งที่เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์เป็นทางออกของผลผลิต ที่เป็นของเหลวซึ่งจะถูกเก็บไว้โดยหลอดเก็บตัวอย่าง ซึ่งต่อกับเครื่องปฏิกรณ์โดยผ่านท่อยาวที่เชื่อมต่อกันโดยท่อยาง หลอดเก็บตัวอย่างจะจมลงในอ่างควบแน่นที่มีน้ำและน้ำแข็งเป็นตัวควบแน่น และมีเข็มต่อติดกับท่อยาง เพื่อปล่อยให้แก๊สที่ได้จากการแตกตัวออกไป

1.2 ระบบการฉีดสารป้อน

เป็นการปั๊มสารป้อนผ่านเข็มฉีด ผ่านวาล์วที่มีหกทาง และขวดใส่สารป้อน ระบบนี้สามารถควบคุมน้ำหนักและเวลาในการป้อนสารไปสู่เครื่องปฏิกรณ์ได้ตามที่ต้องการ

1.3 ระบบ stripping

เกี่ยวกับตัวควบคุมความดัน ตัวควบคุมการไหลของแก๊ส เครื่องวัดความดัน และลูกกลยวัดการไหล โดยมีระบบการทำงานดังนี้

1) Pre-stripping : ก่อนฉีดสารป้อนจะมีการ stripping ด้วยแก๊สไนโตรเจน เพื่อให้แน่ใจว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน และไม่มีไอน้ำ

2) Post stripping : หลังจากฉีดสารป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ การ stripping ด้วยแก๊สไนโตรเจน เพื่อนำสารป้อนที่เหลือและนำผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวออกจากเครื่องปฏิกรณ์

1.4 ระบบการตรวจสอบและควบคุม

ระบบนี้เกี่ยวกับตัวควบคุมอุณหภูมิ วาล์ว solenoid และตัวควบคุมโปรแกรม (programmable logic controller: PLC) มีตัวควบคุมอุณหภูมิ 2 ตัว ที่เหมือนกัน โดยเป็นตัวบ่งบอกถึงอุณหภูมิของเบดตัวเร่งปฏิกิริยา และอีกตัวเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิของเตาเผา

ตัวควบคุม PLC ซึ่งควบคุมปั๊มฉีดสารป้อนและวาล์วหกทาง มีวิธีการดำเนินการ คือ

1) ขั้นตอนการเตรียม : เมื่อเปิดเครื่อง MAT unit ในขณะที่เปิดถังแก๊สไนโตรเจน PLC จะควบคุมวาล์วหกทางอยู่ในตำแหน่งที่เป็นเส้นประ ซึ่งในช่วงนี้เป็นช่วง pre-stripping

2) ขั้นตอนฉีดสารป้อนน้ำมัน : หลังจากเครื่องปฏิกิริยามีอุณหภูมิคงที่ กดปุ่ม "start" ต่อจากนั้นวาล์วหกทางจะเปลี่ยนกลับไปตำแหน่งที่แสดงเป็นเส้นทึบ หลอดฉีดสารป้อนจะถูกดันไปข้างหน้าทำให้สารป้อนน้ำมันถูกฉีดไปยังเครื่องปฏิกรณ์ผ่านวาล์วหกทาง

3) ขั้นตอนดูดน้ำมัน : หลังจากฉีดน้ำมันครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว วาล์วหกทางจะเคลื่อนที่กลับไปอยู่ที่ตำแหน่งเดิมที่แสดงเป็นเส้นประ จากนั้นก็เริ่มต้น post-stripping และดึงหลอดฉีดสารป้อนกลับ พร้อมกับดูดน้ำมันไว้ในหลอดฉีดจากขวดใส่สารป้อนน้ำมัน

4) ขั้นตอนการไล่ฟองอากาศ : เมื่อดูดสารป้อนจากขวดเก็บสารป้อนเข้าไปในหลอดฉีดสารป้อนจนครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว ก้านของหลอดฉีดสารป้อนจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอีกเป็นเวลา 20 นาที เพื่อการไล่ฟองอากาศ

5) ขั้นตอน post-stripping : เมื่อ post-stripping ผ่านไป 10 นาที จะมีเสียงเพลงร้องจนจบ ระบบจะกลับไปอยู่ที่ขั้นตอนการเตรียมอีกครั้ง

2. การเตรียมก่อนดำเนินการ

2.1 อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์

เพื่อให้อุณหภูมิในเบดตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst bed) ของเครื่องปฏิกรณ์แสดงค่าได้ถูกต้อง thermocouple จะต้องนำมาปรับมาตรฐาน การควบคุมอุณหภูมิในเบดตัวเร่งปฏิกิริยาของเครื่องปฏิกรณ์ทำโดยการปรับตัวควบคุมอุณหภูมิของเตาเผา

2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทดสอบ

เพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทดสอบมีน้ำหนักถูกต้องดังนั้นก่อนที่จะใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ต้องทำให้แห้งโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2.3 สารป้อนน้ำมัน

สารป้อนที่หนักไม่เหมาะสำหรับเครื่องมือชนิดนี้

2.4 การปรับมาตรฐานน้ำหนักของสารป้อนน้ำมัน

เพื่อให้มีความถูกต้องของน้ำหนักน้ำมันที่จะป้อนเข้าไปในระบบ จะต้องปรับน้ำหนักทุกๆ ครั้ง ก่อนการทดลองโดยการใส่หลอดยางเล็กๆ ต่อกับขวดขนาดเล็ก จากนั้นกดปุ่ม start จนเมื่อผ่านขั้นตอนการอัด แล้วกดปุ่ม reset แล้วชั่งน้ำหนักของขวดรับ ถ้าน้ำหนักไม่ถูกต้องก็ปรับที่ความเร็วในการป้อนสารป้อนแล้วทำซ้ำเหมือนเดิม

2.5 วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์

1) ใส่ใยควอทซ์ หนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ลงในเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อไม่ให้ตัวเร่งปฏิกิริยาหลุดออกไปทางออกของเครื่องปฏิกรณ์

2) ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา 5.00 { EMBED Equation.3 } 0.02 กรัม ในเครื่องปฏิกรณ์ แล้วปิดฝาชั้นให้แน่นพอประมาณ

2.6 วิธีการเตรียมตัวเก็บสาร

1) ตัดสายยางยาวประมาณ 4 เซนติเมตร

2) นำสายยางที่เตรียมได้มาเชื่อมต่อระหว่างตัวเก็บสารกับเข็มเบอร์ 6 โดยให้ปลายเข็มหันลงไปในตัวเก็บ แล้วพันด้วยจุกปิดฝาด้วยเทปพันเกลียว

3. วิธีการใช้เครื่องทดสอบจุลแก๊สมันตภาพ

1) เปิดสวิทช์เครื่อง stabilizer แล้วกดปุ่ม reset (สีแดง) จนเสียงเตือนหยุดจึงปล่อยมือ

2) เปิดถังแก๊สไนโตรเจนให้ได้ความดันของทางเข้า inlet ประมาณ 0.3 เมกะปาสคาล ความดันของตัวควบคุมประมาณ 0.1 เมกะปาสคาล และระดับการไหลของแก๊สประมาณ 20 - 30 มิลลิลิตรต่อนาที

3) เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าโปรแกรมวินโดว แล้วเลือกไอคอน WFS-1D

4) เพิ่มหรือลดอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ โดยการกดปุ่มเพิ่มหรือปุ่มลดอุณหภูมิของเตาที่หน้าต่างแสดงอุณหภูมิ แล้วกดปุ่ม SV

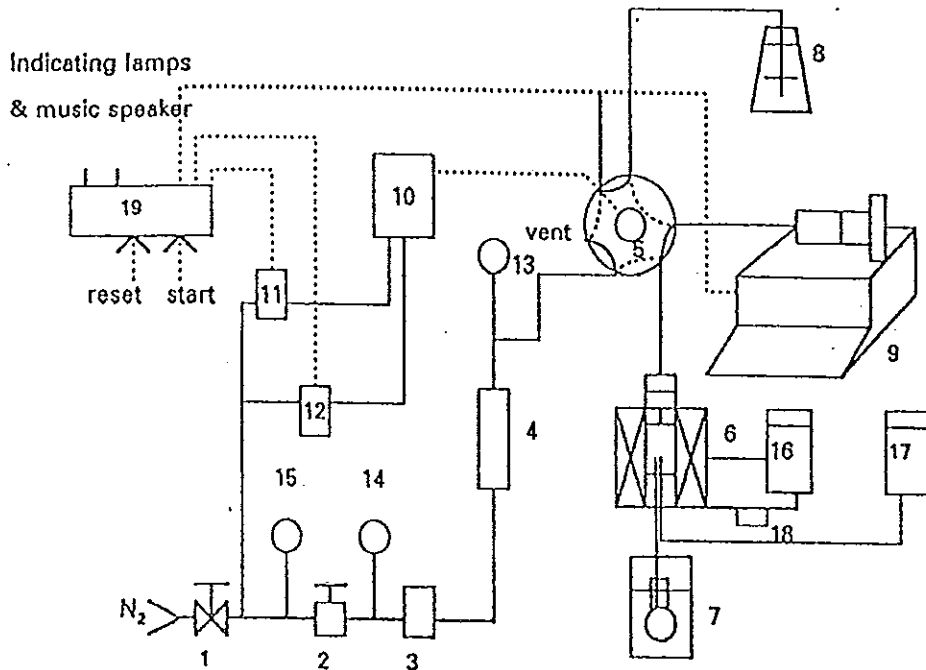
5) เพิ่มหรือลดเวลาในการป้อนสาร เวลาในการดูดสารป้อน และเวลาในการไล่สาร โดยการกดปุ่มเพิ่มหรือลดที่หน้าต่าง Time Table แล้วกดปุ่ม OK ตามด้วยปุ่ม Send

หมายเหตุ เวลาในการดูด - เวลาในการป้อน = เวลาในการเตรียม = 20 เสมอ

6) กำหนดอัตราการไหลของสารป้อนที่ป้อน

7) นำเครื่องปฏิกรณ์ที่เตรียมไว้มาใส่ในเตา แล้วนำ thermocouple ใส่ในท่อสำหรับใส่ thermocouple ทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ และให้ตัวเก็บจุ่มอยู่ในปีกเกอร์ที่ใส่น้ำผสมน้ำแข็ง

- 8) พันเทพพันเกลียวที่ปลายทางออกของเครื่องปฏิกรณ์
- 9) ต่อสายเชื่อมระหว่างสารป้อนและเครื่องปฏิกรณ์ทางด้านบน
- 10) เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์คงที่ นำตัวเก็บสารที่เตรียมไว้ไปซึ่งหาน้ำหนัก แล้วนำไปต่อเข้ากับทางออกสำหรับผลผลิตที่อยู่ทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ และให้ตัวเก็บสารจุ่มลงในอ่างควบคุมที่มีน้ำผสมน้ำแข็ง แล้วเสียบเข็มเบอร์ 6 ตัวสั้นเข้ากับตัวเก็บสารตรงบริเวณสายยางเพื่อเป็นทางออกของแก๊ส
- 11) กด RUN ที่หน้าจอกอมพิวเตอร์
- 12) เมื่อมีเสียงร้องเตือน แสดงว่าครบเวลาในการทดลอง ให้ดึงเข็มเบอร์ 6 ตัวสั้นออก ปิดฝาและทำการเช็ดให้แห้ง แล้วนำไปซึ่งน้ำหนัก เพื่อบันทึกน้ำหนักผลผลิตที่เป็นของเหลว จากนั้นนำไปเก็บไว้ในตู้เย็น เพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC ต่อไป



- 1: valve 2: pressure regulator 3: flow regulator 4: rotary flow meter
 5: six-port valve 6: reactor & heater 7: ice bath & collect bottle 8: feed oil bottle
 9: injection pump 10: six-port valve driver 11: solenoid valve 12: solenoid valve
 13: reaction pressure gauge 0-0.16 MPa 14: regulated pressure gauge 0-0.4 MPa
 15: inlet pressure gauge 0-0.16 MPa 16: temperature controller (furnace)
 17: temperature monitor (reactor) 18: solid relay
 19: programmable logic controller

ภาพประกอบ 54 แสดง process diagram ของเครื่องทดสอบจุลสัมมันตภาพ

ภาคผนวก ง

แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph : GC, รุ่น GC-14B) และ Integrator รุ่น HP 3295

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกสารผสม ที่สามารถเปลี่ยนเป็นวัฏภาคแก๊สได้ที่อุณหภูมิหนึ่ง (ไม่เกิน 450 องศาเซลเซียส) ถ้าสารใดเปลี่ยนเป็นวัฏภาคแก๊สได้ยากก็อาจใช้วิธีอื่นๆ บางอย่างเข้าช่วย เช่น อาศัยปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนให้เป็นอนุพันธ์อื่นๆ

วิธีนี้จะให้สารที่เป็นแก๊ส หรือไอของสารที่ผสมกันอยู่ เมื่อผ่านคอลัมน์จะสามารถแยกออกจากกันได้ โดยอาศัยการกระจายตัวที่แตกต่างกันของแก๊ส หรือไอระหว่างวัฏภาคเคลื่อนที่กับวัฏภาคคงที่ ซึ่งมีของเหลวบาบอยู่บนของแข็ง หรือมีค่า partition coefficient ต่างกัน

สำหรับการใช้ในการตรวจสอบค่าจุลจลัมมันตภาพในการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันใช้สภาวะในการวิเคราะห์คือ

แก๊สที่เป็นตัวพา (carrier gas) : ใช้แก๊สไนโตรเจน (OFN) มีอัตราการไหล 35 - 40 มิลลิลิตรต่อนาที

แก๊สเผาไหม้ (combustion gas) : ใช้แก๊สไฮโดรเจน มีอัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที

แก๊สช่วย (auxilliary gas) : ใช้อากาศ โดยมีอัตราการไหล 400 มิลลิลิตรต่อนาที

อุณหภูมิของช่องที่ทำให้กลายเป็นไอ (injector) : 280 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของช่องจับ (detector chamber) : 280 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของช่องคอลัมน์ (column chamber) : ช่วงอุณหภูมิเพิ่มจาก 35 ถึง 80 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 15 องศาเซลเซียสต่อนาที จากนั้นเพิ่มจาก 80 ถึง 235 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 8 องศาเซลเซียสต่อนาที ซึ่งที่ 235 องศาเซลเซียสให้คงที่นาน 10 นาที

ปริมาตรของตัวอย่างที่ฉีด : 1 ไมโครลิตร

พารามิเตอร์ของการบันทึกเครื่องอินทิเกรเตอร์คือ

Attenuation : 8

ความกว้างของครึ่งพีค : 0.04 มิลลิเมตร และหลังจาก 1.5 นาทีเปลี่ยนเป็น 0.16 มิลลิเมตร

1. ขั้นตอนการเตรียม

- 1) เปิดแก๊สตัวพา และแก๊สที่ใช้จุดไฟที่ถึงให้ได้ความดันประมาณ 4 เมกะปาสคาล
- 2) ปรับอัตราการไหลของอากาศและของไฮโดรเจน ให้ได้ตามต้องการ
- 3) ตั้งอุณหภูมิของคอลัมน์ ช่องฉีดสาร และตัวจับวัดสารตามที่กำหนดไว้ก่อนหน้า

2. วิธีการใช้เครื่อง

- 1) เปิดถังแก๊สไนโตรเจน, อากาศ และไฮโดรเจน
- 2) เปิดสวิตช์ Power ของเครื่องแก๊สโครมาโทแกรม แล้วกดปุ่ม start
- 3) เปิดสวิตช์ Power ของเครื่องอินทิเคเตอร์ ใส่กระดาษแล้วกดปุ่ม ESC
- 4) เมื่ออุณหภูมิของคอลัมน์คงที่ (มีไฟสีเขียวขึ้นที่ ready) และอุณหภูมิของตัวจับสาร และอุณหภูมิของช่องฉีดสารคงที่ ให้ฉีดสารปริมาตร 0.5 ไมโครลิตร ในช่องฉีดสารที่ 1 พร้อมทั้งกดปุ่ม start ของเครื่องแก๊สโครมาโทแกรมและเครื่องอินทิเคเตอร์พร้อมกัน
- 5) เมื่อครบกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ เครื่องจะหยุดและปรับอุณหภูมิของคอลัมน์ให้เย็นลงถึงอุณหภูมิเริ่มต้น โดยจะปรากฏไฟสีเขียวที่ตำแหน่ง COOL
- 6) เมื่อปรากฏไฟสีเขียวตรงตำแหน่ง Ready สามารถฉีดตัวอย่างใหม่ต่อไป หรือสามารถปิดเครื่องได้เลย

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC สามารถนำข้อมูลมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน (conversion) และผลได้แก๊สโซลีน ในรูปของเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดย

$$\text{ผลได้แก๊สโซลีน (gasoline yield)} = \frac{A \times B}{100}$$

โดย A = พื้นที่ใต้กราฟของแก๊สโซลีนในผลผลิตที่เป็นของเหลว ที่วิเคราะห์จากเครื่อง GC

B = ผลผลิตในรูปของเหลวจากเครื่อง MAT, กรัม

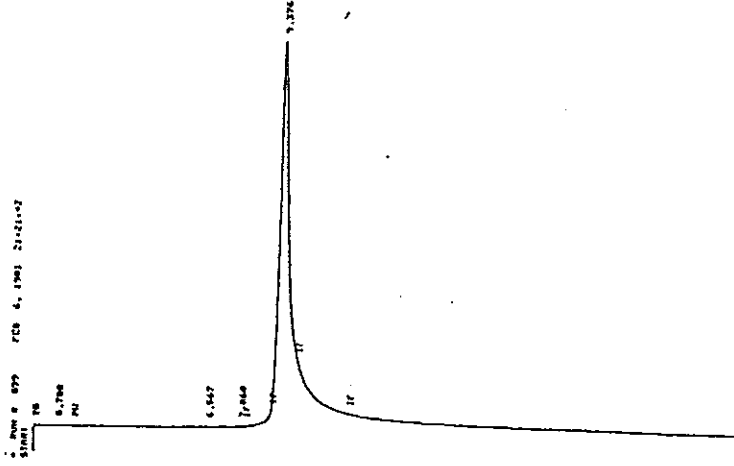
$$\% \text{ conversion} = \frac{C + D + E}{F}$$

โดย C = ผลได้แก๊สโซลีน จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC

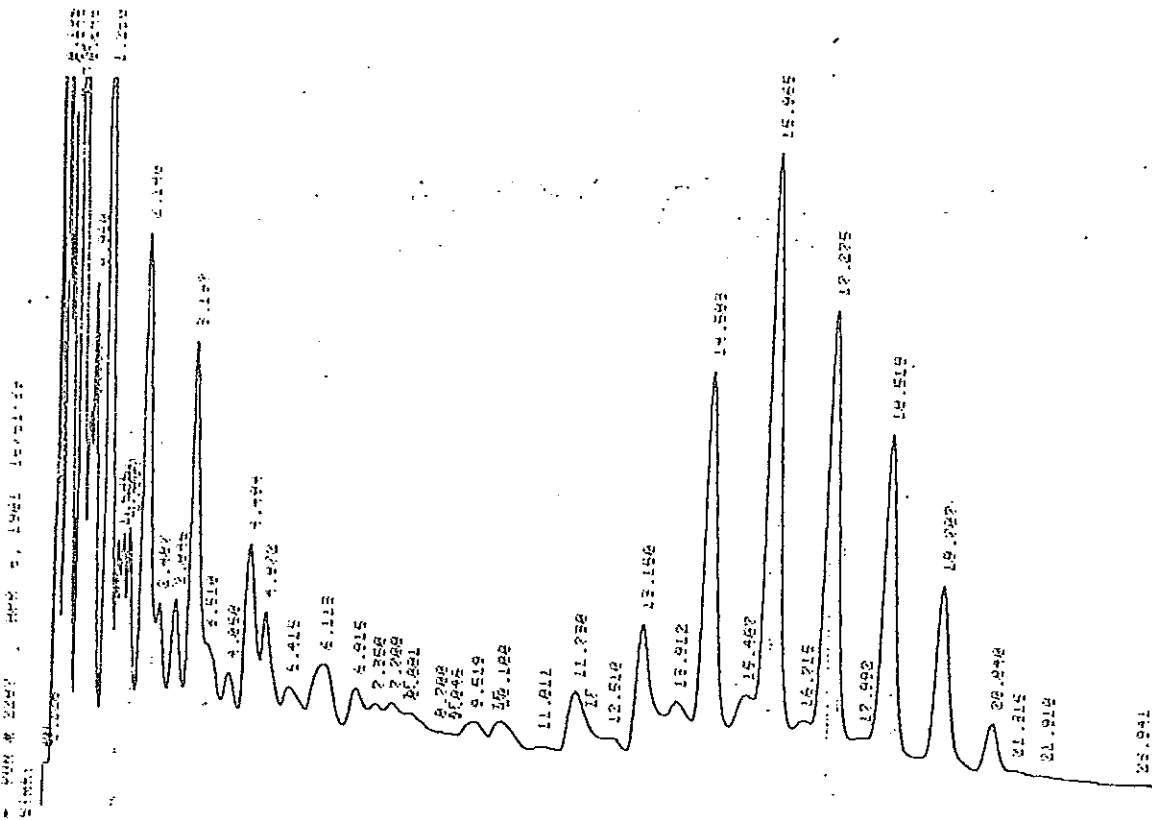
D = ผลได้ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA

E = ผลได้แก๊ส จากการทำดุลมวลสาร

F = น้ำหนักของสารป้อน



ภาพประกอบ 55 กราฟของ standard n-C₁₂ ด้วยเครื่อง GC



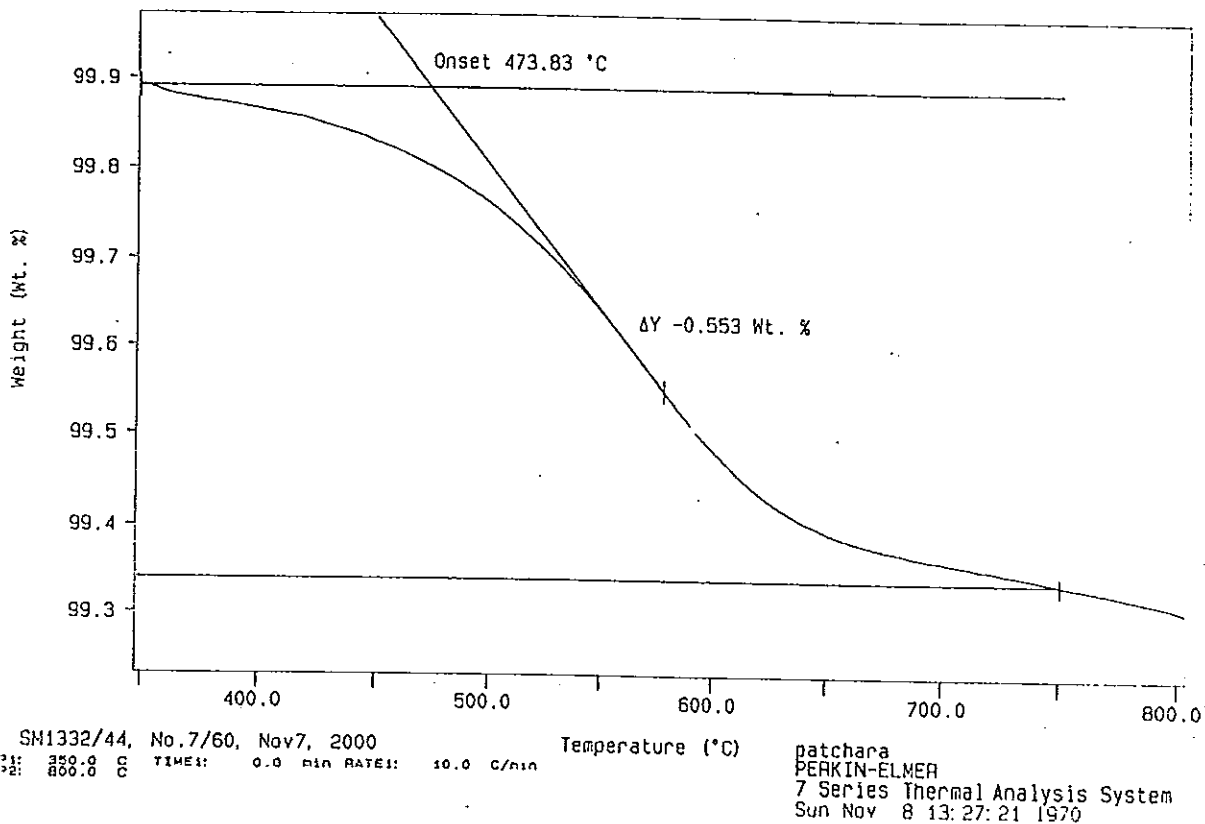
ภาพประกอบ 56 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ผลผลิตที่เป็นของเหลวด้วยเครื่อง GC

ภาคผนวก จ
การวิเคราะห์หาปริมาณโค้ก

นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการทำปฏิกิริยา (spent catalyst) ไปวิเคราะห์หาปริมาณโค้ก
ด้วยเครื่อง TGA โดยมีสภาวะการทดสอบดังนี้

- 1) น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาประมาณ 0.1 กรัม
- 2) ให้ความร้อนแก่ตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้บรรยากาศฮีเลียม จนอุณหภูมิถึง 350 องศาเซลเซียส
จึงเปลี่ยนเป็นแก๊สออกซิเจน
- 3) เพิ่มอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียส/นาที จนอุณหภูมิถึง 800 องศา
เซลเซียส

Curve 1: TGA
File info: 1332_7 Sun Nov 8 12:51:28 1970
Sample Weight: 57.873 mg
100



ภาพประกอบ 57 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง TGA

จากกราฟสามารถคำนวณ เเปอร์เซ็นต์โค้ก (% coke) ได้ดังนี้

$$\% \text{ coke (catalyst basis)} = \Delta Y$$

โดย

$$\Delta Y = \text{น้ำหนักที่หายไปเนื่องจากการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง TGA, เเปอร์เซ็นต์}$$

โดยน้ำหนัก

$$\% \text{ coke (feed basis)} = \frac{A * B}{C \left(1 - \frac{B}{100}\right)}$$

โดย

A = น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดสอบด้วยเครื่อง MAT, กรัม

B = เเปอร์เซ็นต์โค้กบนตัวเร่งปฏิกิริยา, เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

C = น้ำหนักของสารป้อน

ภาคผนวก จ

ผลของการเปลี่ยนแปลงภาวะในการดำเนินการทดลองต่อผลผลิตจากปฏิกิริยาการแตก
ตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของแก๊สออกไซด์โดยตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์

1.1 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อค่าร้อยละการเปลี่ยน

ตาราง 8 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อค่าร้อยละการเปลี่ยน
ที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	49.04	55.17	57.83	57.87	50.90
2.67	48.78	56.11	59.87	59.93	51.06
3.00	49.31	57.53	61.28	61.09	53.05
3.43	49.47	60.26	64.87	62.59	54.24
4.00	51.19	61.71	66.41	65.41	55.39
4.80	54.54	63.52	67.20	66.65	58.72

ตาราง 9 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อค่าร้อยละการเปลี่ยน
ที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	57.03	64.97	66.38	66.12	62.08
2.67	58.18	65.27	66.99	68.38	63.20
3.00	58.59	67.42	71.18	67.09	64.38
3.43	59.15	67.95	71.81	71.73	66.35
4.00	61.74	69.62	72.66	70.86	64.73
4.80	63.61	73.28	76.49	74.74	70.40

ตาราง 10 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อค่าร้อยละการเปลี่ยน
ที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	63.87	68.01	74.09	74.06	67.33
2.67	66.06	69.12	75.29	75.05	70.88
3.00	68.59	70.54	76.92	76.26	71.20
3.43	69.99	73.97	77.52	76.50	70.24
4.00	70.60	74.90	78.77	80.60	74.15
4.80	76.34	77.37	79.86	79.62	76.79

1.2 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้และสภาพการเลือก
แก๊สโซลีน

ตาราง 11 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้แก๊สโซลีน
ที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	31.86	34.97	33.00	37.11	31.98
2.67	32.37	37.10	36.00	38.76	32.91
3.00	35.14	40.27	39.92	39.34	34.30
3.43	33.66	42.79	39.96	40.45	36.02
4.00	33.60	42.27	39.86	41.04	35.02
4.80	33.97	41.66	38.96	39.40	34.86

ตาราง 12 อัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีน
ที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	0.600	0.634	0.571	0.641	0.628
2.67	0.664	0.661	0.609	0.647	0.644
3.00	0.713	0.700	0.652	0.644	0.647
3.43	0.680	0.710	0.616	0.646	0.664
4.00	0.656	0.685	0.600	0.627	0.632
4.80	0.623	0.656	0.580	0.591	0.594

ตาราง 13 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้แก๊สโซลีน
ที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	38.12	41.75	40.71	38.15	39.57
2.67	39.93	42.17	42.53	39.93	41.01
3.00	39.83	44.65	45.75	40.38	39.97
3.43	42.68	44.31	43.22	42.17	38.85
4.00	41.14	43.86	43.38	40.48	36.68
4.80	40.60	42.31	43.23	40.29	36.94

ตาราง 14 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีน
ที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	0.668	0.643	0.613	0.577	0.637
2.67	0.686	0.646	0.635	0.584	0.649
3.00	0.680	0.662	0.643	0.602	0.621
3.43	0.722	0.652	0.602	0.588	0.586
4.00	0.666	0.630	0.597	0.571	0.567
4.80	0.638	0.577	0.565	0.539	0.525

ตาราง 15 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้แก๊สโซลีน
ที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	36.83	38.28	40.19	40.50	40.34
2.67	37.95	39.21	40.37	40.86	40.59
3.00	40.00	39.56	41.85	41.70	39.40
3.43	41.36	43.89	41.23	41.63	40.88
4.00	42.43	42.63	40.64	41.82	39.97
4.80	39.24	41.46	39.66	41.22	39.48

ตาราง 16 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีน
ที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	0.576	0.563	0.542	0.547	0.599
2.67	0.574	0.567	0.536	0.544	0.573
3.00	0.583	0.560	0.544	0.547	0.553
3.43	0.591	0.593	0.532	0.544	0.582
4.00	0.601	0.569	0.516	0.519	0.539
4.80	0.514	0.536	0.498	0.518	0.521

ตาราง 17 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้แก๊ส
ที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	15.49	18.53	19.80	18.79	17.39
2.67	14.59	17.26	19.84	19.23	16.38
3.00	12.20	15.05	19.00	19.00	16.84
3.43	13.75	15.02	22.10	19.67	16.15
4.00	14.96	16.02	23.35	21.53	17.83
4.80	17.46	18.41	24.26	23.69	20.06

ตาราง 18 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อสภาพการเลือกแก๊ส
ที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	0.316	0.336	0.342	0.325	0.342
2.67	0.299	0.308	0.331	0.321	0.321
3.00	0.247	0.263	0.310	0.325	0.317
3.43	0.278	0.250	0.340	0.314	0.298
4.00	0.292	0.259	0.351	0.329	0.322
4.80	0.320	0.290	0.361	0.355	0.359

ตาราง 19 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้แก๊ส
ที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	17.34	21.55	23.71	26.06	21.25
2.67	16.38	21.35	22.23	26.52	20.71
3.00	17.03	20.87	23.18	24.43	22.60
3.43	14.45	21.23	26.08	27.23	25.46
4.00	18.46	22.94	26.45	27.49	25.69
4.80	20.20	27.66	29.71	31.23	30.89

ตาราง 20 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อสภาพการเลือกแก๊ส
ที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	0.304	0.332	0.357	0.394	0.342
2.67	0.281	0.327	0.332	0.388	0.328
3.00	0.291	0.309	0.326	0.364	0.351
3.43	0.244	0.312	0.363	0.379	0.384
4.00	0.299	0.330	0.364	0.388	0.397
4.80	0.318	0.378	0.388	0.418	0.439

ตาราง 21 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้แก๊ส
ที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	25.38	28.07	31.98	31.98	25.76
2.67	26.30	28.14	32.97	32.33	28.91
3.00	26.58	29.86	32.89	32.58	30.09
3.43	28.54	26.30	33.64	32.72	27.41
4.00	25.99	29.43	35.32	35.70	31.88
4.80	33.76	32.65	33.33	34.81	33.16

ตาราง 22 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อสภาพการเลือกแก๊ส
ที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	0.397	0.413	0.432	0.432	0.383
2.67	0.398	0.407	0.438	0.431	0.408
3.00	0.388	0.423	0.428	0.427	0.423
3.43	0.408	0.356	0.434	0.428	0.390
4.00	0.368	0.393	0.448	0.443	0.430
4.80	0.442	0.422	0.460	0.437	0.442

ตาราง 23 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้ได้ก
ที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	1.69	1.67	2.03	1.93	1.53
2.67	1.82	1.75	2.15	1.94	1.78
3.00	1.97	2.20	2.35	2.38	1.91
3.43	2.16	2.45	2.81	2.46	2.06
4.00	2.63	3.43	3.20	2.85	2.53
4.80	3.10	3.45	3.98	3.55	2.80

ตาราง 24 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อสภาพการเลือกได้ก
ที่อุณหภูมิคงตัว 440 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	0.034	0.030	0.035	0.033	0.030
2.67	0.037	0.031	0.036	0.032	0.035
3.00	0.040	0.038	0.038	0.039	0.037
3.43	0.044	0.041	0.043	0.039	0.038
4.00	0.051	0.056	0.048	0.044	0.046
4.80	0.057	0.054	0.059	0.053	0.048

ตาราง 25 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้ได้ก
ที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	1.58	1.66	1.95	1.91	1.26
2.67	1.88	1.75	2.23	1.92	1.48
3.00	1.73	1.92	2.26	2.28	1.81
3.43	2.02	2.41	2.51	2.34	2.04
4.00	2.14	2.81	2.83	2.89	2.35
4.80	2.79	3.31	3.54	3.22	2.57

ตาราง 26 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อสภาพการเลือกโค้ก
ที่อุณหภูมิคงตัว 460 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	0.034	0.030	0.035	0.033	0.030
2.67	0.037	0.031	0.036	0.032	0.035
3.00	0.040	0.038	0.038	0.039	0.037
3.43	0.044	0.041	0.043	0.039	0.038
4.00	0.051	0.056	0.048	0.044	0.046
4.80	0.057	0.054	0.059	0.053	0.048

ตาราง 27 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อผลได้โค้ก
ที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	1.68	1.66	1.92	1.58	1.23
2.67	1.81	1.77	1.95	1.85	1.39
3.00	2.01	2.12	2.10	1.99	1.72
3.43	2.09	2.40	2.64	2.15	1.96
4.00	2.18	2.84	2.82	2.70	2.30
4.80	3.34	3.26	3.34	2.98	2.82

ตาราง 28 ผลของอัตราส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อแก๊สออกไซด์ต่อสภาพการเลือกได้ก
ที่อุณหภูมิคงตัว 480 องศาเซลเซียส

cat/oil	cat A	cat C	cat D	cat E	Eq.cat
2.40	0.026	0.024	0.029	0.021	0.018
2.67	0.027	0.026	0.026	0.025	0.020
3.00	0.029	0.030	0.027	0.026	0.024
3.43	0.030	0.032	0.034	0.028	0.028
4.00	0.031	0.038	0.036	0.034	0.031
4.80	0.037	0.042	0.042	0.037	0.037

2. ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ตาราง 29 ผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา A

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	49.04	57.03	63.89
2.67	48.78	58.18	66.06
3.00	49.31	58.58	68.59
3.43	49.47	59.15	69.99
4.00	51.19	61.74	70.60
4.80	54.54	63.61	76.34

ตาราง 30 ผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา C

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	55.17	64.97	68.01
2.67	56.11	65.27	69.12
3.00	57.53	67.42	70.54
3.43	60.26	67.95	73.97
4.00	61.71	69.62	74.90
4.80	63.52	73.28	77.37

ตาราง 31 ผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	57.83	66.38	74.09
2.67	59.87	66.99	75.29
3.00	61.28	71.18	76.92
3.43	64.87	71.81	77.52
4.00	66.41	72.66	78.77
4.80	67.20	76.49	79.86

ตาราง 32 ผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา E

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	57.87	66.12	74.067
2.67	59.93	68.38	75.05
3.00	61.09	67.09	76.26
3.43	62.59	71.73	76.50
4.00	65.41	70.86	80.60
4.80	66.65	74.74	79.62

ตาราง 33 ผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของแก๊สออกไซด์ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุค

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	50.90	62.08	67.33
2.67	51.06	63.20	70.88
3.00	53.05	64.38	71.20
3.43	54.24	66.35	70.24
4.00	55.39	64.73	74.15
4.80	58.72	70.40	75.79

ตาราง 34 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้แก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยา A

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	31.86	38.12	36.83
2.67	32.37	39.93	37.95
3.00	35.14	39.83	40.00
3.43	33.66	42.68	41.36
4.00	33.60	41.14	42.43
4.80	33.97	40.60	39.24

ตาราง 35 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยา A

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.650	0.668	0.576
2.67	0.664	0.686	0.574
3.00	0.713	0.680	0.583
3.43	0.680	0.722	0.591
4.00	0.656	0.666	0.601
4.80	0.623	0.638	0.514

ตาราง 36 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้แก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยา C

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	34.97	41.75	38.28
2.67	37.10	42.17	39.21
3.00	40.27	44.65	39.56
3.43	42.79	44.31	43.89
4.00	42.27	43.86	42.63
4.80	41.66	42.31	41.46

ตาราง 37 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยา C

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.634	0.643	0.563
2.67	0.661	0.646	0.567
3.00	0.700	0.662	0.560
3.43	0.710	0.652	0.593
4.00	0.685	0.630	0.569
4.80	0.656	0.577	0.536

ตาราง 38 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้แก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	33.00	40.71	40.19
2.67	36.00	42.53	40.37
3.00	39.92	45.75	41.85
3.43	39.96	43.22	41.23
4.00	39.86	43.38	40.63
4.80	38.96	43.23	39.66

ตาราง 39 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.571	0.613	0.542
2.67	0.609	0.635	0.536
3.00	0.652	0.643	0.544
3.43	0.616	0.602	0.532
4.00	0.600	0.597	0.516
4.80	0.580	0.565	0.498

ตาราง 40 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้แก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยา E

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	37.11	38.14	40.50
2.67	38.76	39.93	40.86
3.00	39.34	40.38	41.70
3.43	40.45	42.17	41.63
4.00	41.04	40.48	41.82
4.80	39.40	40.29	41.22

ตาราง 41 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยา E

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.641	0.577	0.547
2.67	0.647	0.584	0.544
3.00	0.644	0.602	0.547
3.43	0.646	0.588	0.544
4.00	0.627	0.571	0.519
4.80	0.591	0.539	0.518

ตาราง 42 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้แก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	31.98	39.57	40.34
2.67	32.91	41.01	40.59
3.00	34.31	39.97	39.40
3.43	36.02	38.85	40.88
4.00	35.02	36.68	39.97
4.80	34.86	36.94	39.48

ตาราง 43 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกผลแก๊สโซลีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.628	0.637	0.599
2.67	0.644	0.649	0.573
3.00	0.647	0.621	0.553
3.43	0.664	0.586	0.582
4.00	0.632	0.567	0.539
4.80	0.594	0.525	0.521

ตาราง 44 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้แก๊ส โดยตัวเร่งปฏิกิริยา A

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	15.49	17.34	25.38
2.67	14.59	16.38	26.30
3.00	12.20	17.03	26.58
3.43	13.75	14.45	28.54
4.00	14.96	18.46	25.99
4.80	17.46	20.21	33.76

ตาราง 45 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกแก๊ส โดยตัวเร่งปฏิกิริยา A

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.316	0.304	0.397
2.67	0.299	0.281	0.398
3.00	0.247	0.291	0.388
3.43	0.278	0.244	0.408
4.00	0.292	0.299	0.368
4.80	0.320	0.318	0.442

ตาราง 46 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้แก๊ส โดยตัวเร่งปฏิกิริยา C

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	18.54	21.55	28.07
2.67	17.26	21.35	28.14
3.00	15.05	20.87	29.86
3.43	15.02	21.23	26.30
4.00	16.02	22.94	29.43
4.80	18.41	27.66	32.65

ตาราง 47 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกแก๊ส โดยตัวเร่งปฏิกิริยา C

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.336	0.332	0.413
2.67	0.308	0.327	0.407
3.00	0.261	0.310	0.423
3.43	0.250	0.312	0.356
4.00	0.260	0.330	0.393
4.80	0.290	0.376	0.422

ตาราง 48 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้แก๊ส โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	19.80	23.71	31.98
2.67	19.84	22.23	32.97
3.00	19.00	23.18	32.89
3.43	23.1013	26.45	33.65
4.00	23.35	26.45	35.32
4.80	24.26	29.71	33.33

ตาราง 49 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกแก๊ส โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.342	0.357	0.432
2.67	0.331	0.332	0.438
3.00	0.310	0.326	0.428
3.43	0.340	0.363	0.434
4.00	0.351	0.364	0.448
4.80	0.361	0.388	0.460

ตาราง 50 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้แก๊ส โดยตัวเร่งปฏิกิริยา E

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	18.79	27.49	31.98
2.67	19.23	26.52	32.33
3.00	19.00	24.43	32.58
3.43	19.67	27.23	32.72
4.00	21.53	27.49	35.70
4.80	23.70	31.23	34.81

ตาราง 51 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกแก๊ส โดยตัวเร่งปฏิกิริยา E

cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.325	0.394	0.432
2.67	0.321	0.388	0.431
3.00	0.325	0.364	0.427
3.43	0.314	0.380	0.428
4.00	0.329	0.388	0.443
4.80	0.356	0.418	0.437

ตาราง 52 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้แก๊ส โดยตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล

Cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	15.39	21.25	25.76
2.67	16.38	20.71	28.91
3.00	16.84	22.60	30.09
3.43	16.15	25.46	27.41
4.00	17.83	25.69	31.88
4.80	21.06	30.89	33.16

ตาราง 53 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกแก๊ส โดยตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล

Cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.342	0.342	0.383
2.67	0.321	0.328	0.408
3.00	0.317	0.351	0.423
3.43	0.298	0.384	0.390
4.00	0.322	0.397	0.430
4.80	0.359	0.439	0.442

ตาราง 54 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้โค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยา A

Cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	1.69	1.58	1.68
2.67	1.82	1.88	1.81
3.00	1.97	1.73	2.01
3.43	2.16	2.02	2.09
4.00	2.63	2.14	2.18
4.80	3.10	2.79	3.34

ตาราง 55 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกโค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยา A

Cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.034	0.028	0.026
2.67	0.037	0.032	0.027
3.00	0.040	0.030	0.029
3.43	0.044	0.034	0.030
4.00	0.051	0.035	0.031
4.80	0.057	0.044	0.037

ตาราง 56 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้โค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยา C

Cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	1.75	1.66	1.66
2.67	1.97	1.75	1.77
3.00	2.20	2.12	2.12
3.43	2.65	2.41	2.40
4.00	3.43	2.81	2.84
4.80	3.45	3.31	3.26

ตาราง 57 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกโค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยา C

Cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.030	0.026	0.024
2.67	0.031	0.027	0.026
3.00	0.038	0.029	0.030
3.43	0.041	0.035	0.032
4.00	0.056	0.040	0.038
4.80	0.054	0.045	0.042

ตาราง 58 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้โค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D

Cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	2.04	1.95	1.92
2.67	2.15	2.23	1.95
3.00	2.35	2.26	2.10
3.43	2.81	2.51	2.64
4.00	3.20	2.83	2.82
4.80	3.98	3.54	3.31

ตาราง 59 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกโค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยา D

Cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.035	0.029	0.029
2.67	0.036	0.033	0.026
3.00	0.038	0.032	0.027
3.43	0.043	0.035	0.034
4.00	0.048	0.039	0.036
4.80	0.059	0.046	0.042

ตาราง 60 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้ไค้ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา E

Cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	1.94	1.91	1.58
2.67	1.94	1.92	1.85
3.00	2.38	2.28	1.99
3.43	2.46	2.34	2.15
4.00	2.85	2.86	2.70
4.80	3.55	3.22	2.98

ตาราง 61 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกไค้ โดยตัวเร่งปฏิกิริยา E

Cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.033	0.029	0.021
2.67	0.032	0.028	0.025
3.00	0.039	0.034	0.026
3.43	0.039	0.033	0.028
4.00	0.044	0.041	0.034
4.80	0.053	0.043	0.037

ตาราง 62 ผลของอุณหภูมิต่อผลได้โค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล

Cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	1.53	1.26	1.23
2.67	1.78	1.48	1.39
3.00	1.91	1.81	1.72
3.43	2.06	2.04	1.96
4.00	2.53	2.35	2.30
4.80	2.80	2.57	2.82

ตาราง 63 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการเลือกโค้ก โดยตัวเร่งปฏิกิริยาสมดุล

Cat/oil	T (°C) 440	T (°C) 460	T (°C) 480
2.40	0.030	0.020	0.018
2.67	0.034	0.024	0.020
3.00	0.037	0.028	0.024
3.43	0.038	0.031	0.028
4.00	0.046	0.036	0.031
4.80	0.048	0.036	0.037

3. ผลของความเร็วยปริญมิ

3.1 ผลของความเร็วยปริญมิต่อค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของแก๊สออกยล

ตาราง 64 ผลของความเร็วยปริญมิต่อค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของแก๊สออกยล

WHSV(hr ⁻¹)	Cat A	Cat C	Cat D	Cat E	Eq.cat
11.28	63.64	71.74	82.16	74.99	66.30
12.53	62.61	69.87	81.37	73.75	64.20
14.41	61.47	66.29	79.38	72.74	63.52
16.11	61.73	66.54	76.69	70.97	62.76
18.80	61.09	65.54	76.99	71.62	62.82
22.56	60.61	63.76	75.32	68.84	62.0221

ตาราง 65 ผลของความเร็วยปริญมิต่อผลได้แก๊สโซลีน

WHSV(hr ⁻¹)	Cat A	Cat C	Cat D	Cat E	Eq.cat
11.28	42.58	46.81	45.74	45.30	40.92
12.53	40.89	42.05	44.53	45.05	39.32
14.41	39.28	41.42	43.73	42.74	37.99
16.11	37.04	42.60	40.40	42.65	39.29
18.80	36.38	41.22	39.22	41.29	37.47
22.56	34.13	40.11	38.71	40.13	37.14

ตาราง 66 ผลของความเร็วปฏิวัติต่อสภาพการเลือกแก๊สโซลีน

WHSV(hr ⁻¹)	Cat A	Cat C	Cat D	Cat E	Eq.cat
11.28	0.669	0.661	0.564	0.604	0.617
12.53	0.642	0.594	0.549	0.601	0.612
14.41	0.617	0.585	0.539	0.570	0.592
16.11	0.582	0.601	0.498	0.569	0.612
18.80	0.572	0.582	0.483	0.551	0.584
22.56	0.536	0.566	0.477	0.535	0.578

ตาราง 67 ผลของความเร็วปฏิวัติต่อผลได้แก๊ส

WHSV(hr ⁻¹)	Cat A	Cat C	Cat D	Cat E	Eq.cat
11.28	19.29	21.62	32.30	26.92	23.29
12.53	19.03	23.22	33.75	26.06	23.01
14.41	20.53	22.93	32.94	27.45	23.26
16.11	23.10	21.89	34.46	25.86	23.61
18.80	23.15	22.42	35.09	27.88	23.55
22.56	24.17	23.76	34.93	28.35	23.62

ตาราง 68 ผลของความเร็วปฏิวัติต่อสภาพการเลือกแก๊ส

WHSV(hr ⁻¹)	Cat A	Cat C	Cat D	Cat E	Eq.cat
11.28	0.303	0.305	0.398	0.359	0.351
12.53	0.299	0.328	0.416	0.348	0.347
14.41	0.323	0.324	0.406	0.367	0.351
16.11	0.363	0.309	0.425	0.345	0.356
18.80	0.364	0.316	0.432	0.372	0.355
22.56	0.380	0.335	0.430	0.378	0.356

ตาราง 69 ผลของความเร็วปฏิวัติต่อผลได้โค้ก

WHSV(hr ⁻¹)	Cat A	Cat C	Cat D	Cat E	Eq.cat
11.28	1.77	2.41	3.12	2.77	2.09
12.53	1.69	2.23	3.09	2.64	1.87
14.41	1.65	1.94	2.71	2.13	1.96
16.11	1.57	2.05	2.68	2.05	1.86
18.80	1.56	2.02	2.69	2.05	1.80
22.56	1.53	1.89	2.32	2.04	1.78

ตาราง 70 ผลของความเร็วปฏิรูปต่อสภาพการเลือกได้ก

WHSV(hr ⁻¹)	Cat A	Cat C	Cat D	Cat E	Eq.cat
11.28	0.028	0.034	0.038	0.037	0.032
12.53	0.027	0.031	0.038	0.035	0.028
14.41	0.026	0.027	0.033	0.028	0.030
16.11	0.025	0.029	0.033	0.027	0.028
18.80	0.024	0.028	0.033	0.027	0.027
22.56	0.024	0.027	0.029	0.027	0.027

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวกาญจนา เพชรประสิทธิ์		
วัน เดือน ปี เกิด	27 พฤศจิกายน 2518		
วุฒิการศึกษา			
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2541	