

การแตกตัวเชิงแรงปฏิกิริยาของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา FCC ใช้แล้ว



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2554

การแตกตัวเชิงแรงปฏิกิริยาของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา FCC ใช้แล้ว



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2554

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การแตกตัวเชิงแรงปฏิกิริยาของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา FCC ใช้แล้ว



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2554

สุพรทิพย์ ธนสินกิตติโชค. (2554). การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของพอลิพรอพิลีนและ
พอลิสไตรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา FCC ใช้แล้วกระบวนการเชิงลำดับชั้น. ปรินูญานินพนธ์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต:บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ:
คณะกรรมการควบคุม: ดร.วิชากร จารุศิริ, ผศ.ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการแตกตัวของพลาสติกพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีน เพื่อนำ
กลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารเอฟซีซีใช้แล้วเนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยา
เอฟซีซี เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้อุตสาหกรรมเพื่อผลิตแก๊สโอเลฟินจากน้ำมัน เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยา
ที่ใช้แล้วมาทำปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติกทำให้การเกิดแก๊สน้อยลง ได้ผลผลิต ของเหลว
สูงขึ้น โดยใช้ความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของ
ตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนสารตั้งต้นไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ 400-450
องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30-60 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์
ได้แก่ พอลิพรอพิลีน และ พอลิสไตรีน อัตราส่วน 60:40 เมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวมาวิเคราะห์ค่า
การกระจายตัวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น
พบว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ ระยะเวลาในการทำ
ปฏิกิริยา 60 นาทีบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้ 1% โดยปริมาณแล้วให้ผลร้อยละแก๊สโซลีนสูงสุด
ร้อยละ 52.40 โครซีนร้อยละ 11.81 แก๊สออยล์ร้อยละ 9.45 และกากน้ำมันร้อยละ 2.07 โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ : การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว พอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน

CATALYTIC CRACKING OF POLYPROPYLENE AND POLYSTYRENE
ON SPENT FCC CATALYST

AN ABSTRACT
BY
SUPORNTIP THANASINKITTICHOK



Present in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Engineering in Engineering Management

At Srinakharinwirot University

May 2011

Suporn Tip Thanasinkittichok. (2011). *Catalytic cracking of polypropylene and polystyrene on spent FCC catalyst*. Master of Engineering: Graduate School Srinakharinwirot University: Advisor Dr.Witchakorn Charusiri, Asst.Prof.Pathomthat Chiradeja

This research work is to study the catalytic cracking of polypropylene and polystyrene with spent FCC catalyst in a batch micro reactor. The experiment was carried out under various conditions by the following variables: reaction temperature of 400-450 °C, reaction time of 30-65 min, initial hydrogen pressure of 1-5 bars, amount of spent FCC catalyst ranging from 1 % by weight. The two level factorial experimental design was performed to investigate the effect of variables of oil yield to determine the optimum condition. The product oil was analyzed by Simulated Distillation Gas Chromatography (DGC). From design-expert program, it was found that reaction of polypropylene and polystyrene is temperature of 400 °C, reaction time of 60 min and by using 1 percent by weight of spent FCC and initial pressure of hydrogen 5 bar gave the highest yield. The oil yield was 80.40 percent by weight, the naphtha yield was 52.40 percent by weight, the diesel yield was 11.57 percent by weight.

Key words: Catalytic cracking, Spent Fcc, Polypropylene, Polystyrene

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.วิชากร จารุศิริ ประธานควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.อาจริย์ ศุภสุธีกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความเห็นคำแนะนำ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ (ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เพื่อทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีเชื้อเพลิงภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้การทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่เรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์ การจัดการทางวิศวกรรม (พลังงานและสิ่งแวดล้อม) ที่ให้กำลังใจและให้คำปรึกษาต่างๆ ด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา คุณปู่ อาม่าและญาติๆ ที่อบรมเลี้ยงดูสั่งสอน ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนกับผู้วิจัยเป็นอย่างดีจนสำเร็จการศึกษา

สุพรทิพย์ ธนสินกิตติโชค

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
วิธีการดำเนินงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
พอลิเมอร์	4
พลาสติก	7
พอลิสไตรีน	9
พอลิพรอพิลีน	11
ตัวเร่งปฏิกิริยา	15
ซีโอไลต์	16
การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา	22
ปฏิกิริยาการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน	22
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	28
เครื่องมือและอุปกรณ์	28
สารตั้งต้นและสารเคมี	29
การดำเนินงานวิจัย	29
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	32
การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น	32
การกำหนดภาวะที่ใช้ในการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว	37
ผลการทดลองที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดย ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว	38

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 (ต่อ)	
เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน.....	66
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	67
สรุปผลการทดลอง.....	67
ข้อเสนอแนะ.....	68
บรรณานุกรม.....	69
ภาคผนวก.....	72
ภาคผนวก ก.....	73
ภาคผนวก ข.....	75
ภาคผนวก ค.....	85
ภาคผนวก ง.....	87
ภาคผนวก จ.....	89
ภาคผนวก ฉ.....	92
ภาคผนวก ช.....	95
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	97

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 สมบัติของพอลิสไตรีน.....	10
2 สมบัติของพอลิพรอพิลีน.....	12
3 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	29
4 ขอบเขตของการทดลอง.....	30
5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส.....	32
6 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วและตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส.....	35
7 แสดงร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3	38
8 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว.....	39
9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว.....	41
10 แสดงร้อยละผลได้ของเนฟทาจากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3	51
11 ร้อยละผลได้ของเนฟทาจากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว.....	52
12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของเนฟทาจากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว.....	54
13 แสดงร้อยละผลได้ของดีเซลจากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล แบบ 2^3	58
14 ร้อยละผลได้ของดีเซลจากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว.....	59
15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของดีเซลจากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว.....	61
16 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียง.....	66

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 โครงสร้างของพอลิเมอร์.....	4
2 โฮโมพอลิเมอร์.....	5
3 โคพอลิเมอร์.....	5
4 โครงสร้างพอลิเมอร์แบบเส้น.....	6
5 โครงสร้างพอลิเมอร์แบบกิ่ง.....	6
6 โครงสร้างพอลิเมอร์แบบร่างแห.....	6
7 เทอร์โมพลาสติก.....	7
8 เทอร์โมเซต.....	8
9 แสดงปริมาณการบริโภคเม็ดพลาสติกตั้งแต่ปี 2008 – 2010.....	9
10 ลักษณะโครงสร้างพอลิสไตรีน.....	10
11 โครงสร้างพอลิพรอพิลีน.....	12
12 ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน.....	13
13 อะแทกติกพอลิพรอพิลีน.....	13
14 ซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีน.....	14
15 การเปรียบเทียบพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา.....	15
16 แสดงโครงสร้างของซีโอไลต์.....	17
17 โครงสร้างซีโอไลต์ธรรมชาติชนิด.....	19
18 XRD Pattern ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วเผาที่ 550 องศาเซลเซียส.....	33
19 XRD Pattern ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซี.....	33
20 XRD Pattern ของตัวเร่งปฏิกิริยา Ultrastable Y, Dehydrated Dealuminated.....	34
21 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิที่ 550 องศาเซลเซียส.....	35
22 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิที่ 550 องศาเซลเซียส.....	36
23 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิที่ 550 องศาเซลเซียส.....	36
24 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิที่ 550 องศาเซลเซียส.....	36
25 Half Normal Probability Plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากปฏิกิริยาการ แตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว.....	40
26 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ที่ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที.....	42

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
27 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของ พอลิพรอฟิลีนและพอลิสไตรีน ด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatograph ที่ อุณหภูมิ 400 -450 องศาเซลเซียส ด้วยความดันแก๊ส ไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำ ปฏิกริยา 30 นาที.....	43
28 ผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน....	44
29 ผลของเวลาในการทำปฏิกริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ความดันแก๊ส ไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ อุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียส.....	45
30 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของ พอลิพรอฟิลีนและพอลิสไตรีน ด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatograph ที่ เวลาในการทำปฏิกริยา 30 – 60 นาที อุณหภูมิ 400 องศา เซลเซียส ด้วยความดันแก๊ส ไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์.....	46
31 ผลของเวลาในการทำปฏิกริยาต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของ ผลิตภัณฑ์.....	47
32 ผลของความดันของแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นในการทำปฏิกริยาต่อร้อยละผลได้ของ ผลิตภัณฑ์ที่ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกริยา 60 นาที..	48
33 การวิเคราะห์การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของ พอลิพรอฟิลีนและพอลิสไตรีน ด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatograph ที่มีปริมาณความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นที่ 1 – 5 บาร์ เวลาในการทำปฏิกริยา 60 นาที อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	49
34 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นในการทำปฏิกริยาต่อค่าร้อยละการเปลี่ยน ของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์.....	50
35 แสดง Half Normal Probability Plot ของร้อยละผลได้ของเนฟทาจากปฏิกริยา การแตกตัวของพอลิพรอฟิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยาเอฟซีซี ใช้แล้ว.....	53
36 ผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของเนฟทา.....	55
37 ผลของเวลาในการทำปฏิกริยาต่อค่าร้อยละของการกระจายตัวของเนฟทา.....	56
38 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นในการทำปฏิกริยาต่อค่าร้อยละของเนฟทา	57
39 Half Normal Probability Plot ของร้อยละผลได้ของดีเซลจากปฏิกริยาการแตกตัว ของพอลิพรอฟิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยาเอฟซีซีใช้แล้ว.....	60
40 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของดีเซล.....	62

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
41 ผลของความดันต่อร้อยละผลได้ของดีเซล.....	63
42 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของดีเซล.....	64
43 ผลการเปรียบเทียบของสภาวะการทดลองจากการคำนวณและที่ได้จากการทดลองจริง.....	65



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันจากปริมาณการใช้พลาสติกและโฟมทั่วโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกลายเป็นปัญหาขยะส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก จากรายงานของสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยพบว่าประเทศไทยมี ปริมาณขยะทั่วประเทศ 14 ล้านตัน หรือวันละ 40,000 ตัน โดยเป็นขยะพลาสติกมากถึงร้อยละ 17 ประมาณ 2.4 ล้านตันต่อปี หรือ 6,000 ตันต่อวัน(สภาอุตสาหกรรม,2553) พลาสติกจากปิโตรเคมีเหล่านี้ต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานหลายร้อยปี

การจัดขยะพลาสติกสามารถทำได้ หลายวิธี เช่น การนำไปฝัง (burial) หรือนำไปถมดิน (landfill) การนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิง (incineration) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) ปัญหาที่เกิดจากการกำจัดด้วยการฝังคือ ใช้ ต้นทุนสูง เนื่องจากขาดแคลนพื้นที่ ที่ดินมีราคาแพง และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยเกิดการ ปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน และหากนำมาเผาทิ้งจะได้อากาศคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกและนำไปสู่ภาวะโลกร้อน ดังนั้นการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่จึงถูกพิจารณาว่าเป็นทางเลือก ที่ให้ประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดทางหนึ่ง นอกจากจะลดปริมาณขยะพลาสติกที่กำจัดยาก เพราะต้องใช้เวลาย่อยสลายนานนับร้อยปี ยังช่วยลดความยุ่งยากในการหาหลุมทิ้งขยะแห่งใหม่ และช่วยลดผลกระทบต่อชุมชนที่อยู่ใกล้เคียงบริเวณหลุมฝังกลบ

สำหรับวิธีการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ มีวิธีหลัก อยู่ 2 วิธี คือวิธีทางกายภาพ โดยการนำพลาสติกมาหลอมเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ และ วิธีทางเคมี ที่จะเป็นการเปลี่ยนพลาสติกเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตพอลิเมอร์หรือแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงที่มีค่า ซึ่งวิธีการเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงนั้นจะใช้กระบวนการแตกตัว (cracking) ซึ่งเป็นการแตกย่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง จนมีขนาดที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง กระบวนการแตกตัว (cracking) แบ่ง ออกเป็น 2 กระบวนการหลัก คือ การแตกตัวด้วยความร้อน (thermal cracking) และการแตกตัว ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking) การแตกตัวด้วยความร้อนอย่างเดียวยังต้องทำที่อุณหภูมิ สูงและให้ความเลือกเกิดจำเพาะต่อผลิตภัณฑ์ต่ำ ส่วนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าและให้ความเลือกเกิดจำเพาะต่อผลิตภัณฑ์สูง ดังนั้นการแตกตัวด้วยตัวเร่ง ปฏิกิริยาจึงนิยมใช้กันมากกว่าที่จะการแตกตัวด้วยความร้อนอย่างเดียว

จากปัญหาปริมาณการใช้พลาสติกหรือขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ปริมาณการใช้น้ำมันปิโตรเลียมซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกสูงขึ้นและนับวันยิ่งเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยแหล่งที่มาของน้ำมันปิโตรเลียมส่วนใหญ่เกิดจากการขุดเจาะ สรรวจทางปิโตรเคมี และ

ยังคงต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ จึงควรวางวิธีในการนำขยะพลาสติกเหล่านั้นมาใช้เป็นประโยชน์ เพื่อเป็นแหล่งพลังงานของประเทศ ซึ่งนอกจากจะเป็นการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าแล้ว ยังเป็นแหล่งพลังงานภายในประเทศด้วย

พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ที่นับวันประชากรนำมาใช้มากขึ้นโดยนำไปผลิตเป็นสิ่งของเครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างเช่นภาชนะบรรจุอาหารจากร้านอาหารและโรงเรียน กล่องโฟม แก้วน้ำ ดังนั้นปริมาณการผลิตพอลิสไตรีนของทั่วโลกจึงมีปริมาณมาก

ในขณะที่พอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่ถูกนำมาใช้ผลิตเป็นแผ่นฟิล์มพลาสติกห่อหุ้มอาหาร ซองใส่ขนมขบเคี้ยว ตลอดจนซองใส่เบหมีกึ่งสำเร็จรูป ซองใส่เสื้อเชิ้ต ทำให้ปริมาณของพอลิโพรพิลีนมีจำนวนมาก และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน

งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการแตกตัวของพลาสติกพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีนเพื่อนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาฟลูอิดคะตะไลติกแครกกิง(fluid catalytic cracking: FCC) เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อผลิตแก๊สโอเลฟินจากน้ำมัน (Sadegnbeigi, 1996) เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้แล้วมาทำปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติก คาดว่าจะทำให้การเกิดแก๊สน้อยลง ได้ผลผลิตเป็นของเหลวสูงขึ้น งานวิจัยนี้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม (design of experimental) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) ซึ่งการออกแบบการทดลองนี้จะช่วยให้ทราบถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการแตกตัวของพลาสติกไปเป็นเชื้อเพลิงเหลว ช่วยในการหาภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อการทดลอง โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการแตกตัวประกอบด้วย อุณหภูมิ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการแตกตัวของพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีนประกอบด้วยอุณหภูมิ ความดัน ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา บนเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก(micro reactor) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ของที่มีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันเชื้อเพลิง

1.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เตรียมวัตถุดิบ สารเคมีและเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3. หาภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้ว ซึ่งตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิ 400-450 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30-60 นาที ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์ โดยการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรมแบบ 2^k factorial design

4. วิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟจำลองการกลั่น (Distillation Gas Chromatograph)

5. วิเคราะห์หาชนิดองค์ประกอบที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการทดลอง

6. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล และเขียนวิทยานิพนธ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของพอลิไทรนและพอลิโพรพิลีนเป็นเชื้อเพลิงเหลว

2. ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์น้ำมันจากปิโตรเลียม



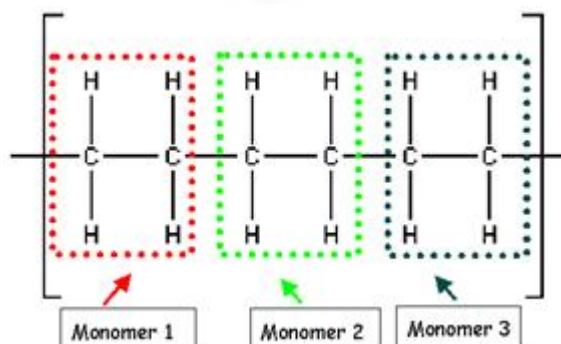
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันสภาพเศรษฐกิจและสังคมมีการขยายตัวอย่างมาก ทำให้เกิดการบริโภค แล้วก่อให้เกิดของขยะ ของเสียจำพวกพลาสติกใช้แล้วเป็นจำนวนมาก ซึ่งต้องหาทางกำจัดหรือนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์และไม่กระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อสามารถนำขยะพลาสติกมาแปรรูปเพื่อให้เกิดประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานของประเทศได้ ยังเป็นการหาแหล่งพลังงานภายในประเทศอีกด้วย งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงกระบวนการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติก โดยนำตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ประเภทกรด เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา fluid catalytic cracking (FCC) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้กันอย่างหลากหลายในอุตสาหกรรม สามารถเตรียมได้ด้วยขั้นตอนง่ายๆ ไม่ซับซ้อนและมีราคาที่ไม่แพง (Sadegnbeigi, 1996) จึงเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาอีกทั้งตัวเร่งปฏิกิริยา FCC ที่ผ่านการใช้แล้วมีสมบัติเพียงพอต่อการแตกตัวของพลาสติกไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ทั้งนี้เพื่อศึกษาถึงผลในความสามารถในการช่วยให้เกิดการแตกตัวของสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาวให้มีขนาดเล็กลงและจัดโครงสร้างเหมาะสมจนมีสมบัติของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนใกล้เคียงน้ำมันเชื้อเพลิง

2.1 พอลิเมอร์

พลาสติกได้เข้ามามีบทบาทในการใช้ชีวิตประจำวันของเราอย่างมาก อาทิเช่น เครื่องครัว อุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องประดับ เฟอร์นิเจอร์ ฯลฯ ล้วนผลิตมาจากพลาสติกแทบทั้งสิ้น พลาสติก (ปรีชา, 2548) หรือที่เรียกว่า “พอลิเมอร์” (polymer) คือ สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบขึ้นด้วยหน่วยที่ซ้ำกัน (repeating unit) จำนวนมาก หน่วยที่ซ้ำกันนี้เรียกว่า มอนอเมอร์ (monomer) ดังแสดงในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 โครงสร้างของพอลิเมอร์

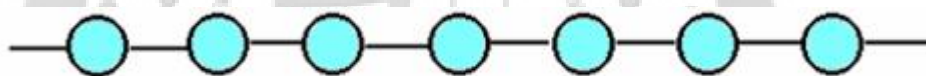
2.1.1 การจำแนกประเภทของพอลิเมอร์(เกษร,2546) จะได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. พอลิเมอร์อนินทรีย์ (inorganic polymers) หมายถึงกลุ่มพอลิเมอร์ที่เกิดจากสารอนินทรีย์ ทั้งที่ เกิดในธรรมชาติและที่สังเคราะห์ได้ พวกที่เกิดในธรรมชาติก็มีเช่น หวาย ดิน แล้วไปผ่านกระบวนการ ต่อไปจะได้ แก้ว อิฐ ซีเมนต์ เป็นต้น พวกที่สังเคราะห์ได้ก็มีเส้นใย เช่น เส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) เส้นใยซิลิคอน คาร์ไบด์ เป็นต้น

2. พอลิเมอร์อินทรีย์ (organic polymers) หมายถึงกลุ่มพอลิเมอร์ที่เกิดจากสารอินทรีย์ใน ธรรมชาติ มีพวกพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) โปรตีน กาวธรรมชาติ เส้นใยธรรมชาติ ยาง ธรรมชาติ เป็นต้น ส่วนพอลิเมอร์อินทรีย์ที่สังเคราะห์ก็มีมากมาย เช่น ยางสังเคราะห์ พลาสติกต่างๆ กาว เส้นใย เป็นต้น

2.1.2 ลักษณะการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ จะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. โฮโมพอลิเมอร์ (homopolymers) พวกนี้ในสายโซ่โมเลกุลประกอบด้วยมอนอเมอร์ชนิดเดียว เช่น ถ้ามอนอเมอร์เป็น A สายโซ่โมเลกุลตัวอย่าง เช่น พอลิเอทิลีนใน สายโซ่โมเลกุลจะประกอบด้วยเอทิลีนชนิดเดียว หรือพอลิสไตรีน ประกอบด้วยมอนอเมอร์สไตรีนชนิดเดียว ดังแสดงในรูปภาพประกอบ .2



ภาพประกอบ 2 โฮโมพอลิเมอร์

2. โคพอลิเมอร์ (copolymer) ในสายโซ่โมเลกุลจะประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่ต่างกัน 2 ชนิดหรือมากกว่า 2 ชนิด เช่น โคพอลิเมอร์ของสไตรีน และอะไครโลไนไตรล์ ดังแสดงในภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 โคพอลิเมอร์

2.1.3 โครงสร้างของพอลิเมอร์ แบ่งออกตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 3 กลุ่มคือ

1. พอลิเมอร์แบบเส้น เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์สร้างพันธะต่อกันเป็นสายโซ่ยาวพอลิเมอร์เรียงชิดกันมากกว่าโครงสร้างแบบอื่นๆจึงมีความหนาแน่น และจุดหลอมเหลวสูงมี

ลักษณะแข็ง ชุ่ม เหนียวกว่าโครงสร้างแบบอื่นๆ ตัวอย่าง เช่น พีวีซี พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีน ดังแสดงในภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 โครงสร้างพอลิเมอร์แบบเส้น

2. พอลิเมอร์แบบกึ่ง เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ยึดกันแตกกิ่งก้านสาขา มีทั้งโซ่สั้นและโซ่ยาว กิ่งที่แตกจากพอลิเมอร์ของโซ่หลัก ทำให้ไม่สามารถจัดเรียงโซ่พอลิเมอร์ให้ชิดกันได้มาก จึงมีความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวต่ำ ยืดหยุ่นได้ ความเหนียวต่ำ โครงสร้างเปลี่ยนรูปได้เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ดังแสดงในภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 โครงสร้างพอลิเมอร์แบบกึ่ง

3. พอลิเมอร์แบบร่างแห เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ต่อเชื่อมกันเป็นร่างแหพอลิเมอร์ ชนิดนี้มีความแข็งแรง และเปราะหักง่าย ตัวอย่าง เบกาไลต์ เมลามีนที่ใช้ทำถ้วยชาม ดังแสดงในภาพประกอบ 6



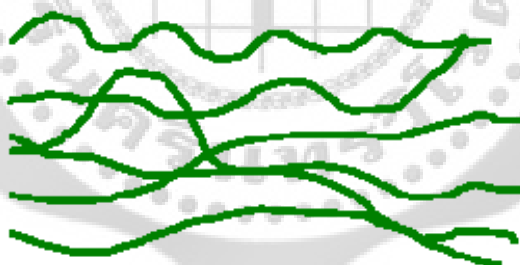
ภาพประกอบ 6 โครงสร้างพอลิเมอร์แบบร่างแห

2.2 พลาสติก (บรรเลง,2541)

ปัจจุบันพลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญอย่างหนึ่งและมีแนวโน้มที่จะเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น โดยนำมาใช้แทนทรัพยากรธรรมชาติได้หลายอย่าง เช่น ไม้ เหล็ก เนื่องจากมีราคาถูก มีน้ำหนักเบา และมีขอบข่ายการใช้งานได้กว้าง สามารถผลิตพลาสติกให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้โดยขึ้นอยู่กับ การเลือกใช้วัตถุดิบปฏิกิริยาเคมี กระบวนการผลิต และกระบวนการขึ้นรูปทรงต่าง ๆ ได้อย่างมากมายและยังสามารถปรุงแต่งคุณสมบัติได้ง่ายโดยการเติมสารเติมแต่ง (Additives) เช่น สารปรับปรุงคุณภาพ (modifier) สารเสริม (filler) สารคงสภาพ (stabilizer) สารหล่อลื่น (lubricant) และผงสี (pigment) เป็นต้น

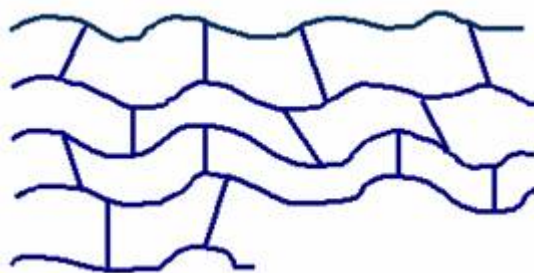
พลาสติกแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท(สุนันท์,2541) คือ

1. เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้น ๆ สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืดเนื่องจากโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่พันกันอยู่สามารถเคลื่อนที่ผ่านกันไปได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับความร้อนและเมื่อเย็นตัวลงก็จะแข็งตัว ซึ่งการหลอมเหลวและเย็นตัวนี้สามารถเกิดกลับไปกลับมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ หรือโครงสร้างของพอลิเมอร์เปลี่ยนไปมากนัก เช่น พอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน และพอลิสไตรีน ดังแสดงในภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 เทอร์โมพลาสติก

2. เทอร์โมเซตติง (thermosetting) พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างเป็นแบบร่างแห ซึ่งจะหลอมเหลวได้ในขั้นตอนการขึ้นรูปครั้งแรกเท่านั้นซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ทำให้พอลิเมอร์มีรูปร่างที่ถาวร ไม่สามารถหลอมเหลวได้อีกเมื่อได้รับความร้อนและหากได้รับความร้อนสูงเกินไป จะทำให้พันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลแตกออกได้สารที่ไม่มีสมบัติของความเป็นพอลิเมอร์ต่อไป ตัวอย่างเช่น เมลามีน พอลิยูรีเทน ดังแสดงในภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 เทอร์โมเซต

การผลิตพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตจะแตกต่างจากพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกคือในขั้นตอนแรกต้องทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเพียงบางส่วน มีการเชื่อมโยงโมเลกุลเกิดขึ้นบ้างเล็กน้อย และยังสามารถหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน จึงสามารถขึ้นรูปภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงได้ เมื่อผลิตภัณฑ์มีรูปร่างตามต้องการแล้วให้คงอุณหภูมิไว้ประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้โครงสร้างแบบร่างแหที่เสถียรและแข็งแรง สามารถนำผลิตภัณฑ์ออกจากแบบโดยไม่ต้องรอให้เย็น เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะแข็งตัวอยู่ในแม่พิมพ์ดังนั้นการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตพลาสติกเทอร์โมเซตกลับทำให้วัสดุแข็งขึ้น ต่างจากกระบวนการผลิตพลาสติกเทอร์โมพลาสติกที่การให้ความร้อนจะทำให้พลาสติกนิ่ม และหลอมเหลว พลาสติกเทอร์โมเซตเมื่อใช้งานเสร็จแล้วไม่สามารถนำมาผ่านการหลอมและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือรีไซเคิล(recycle)ได้อีก และถ้าให้ความร้อนมากเกินไป จะทำให้พลาสติกเกิดการสลายตัวหรือไหม้โดยไม่เกิดการหลอมเหลว ตัวอย่างของพลาสติกกลุ่มนี้เช่น เบคเคอไลต์ และเมลามีน เป็นต้น

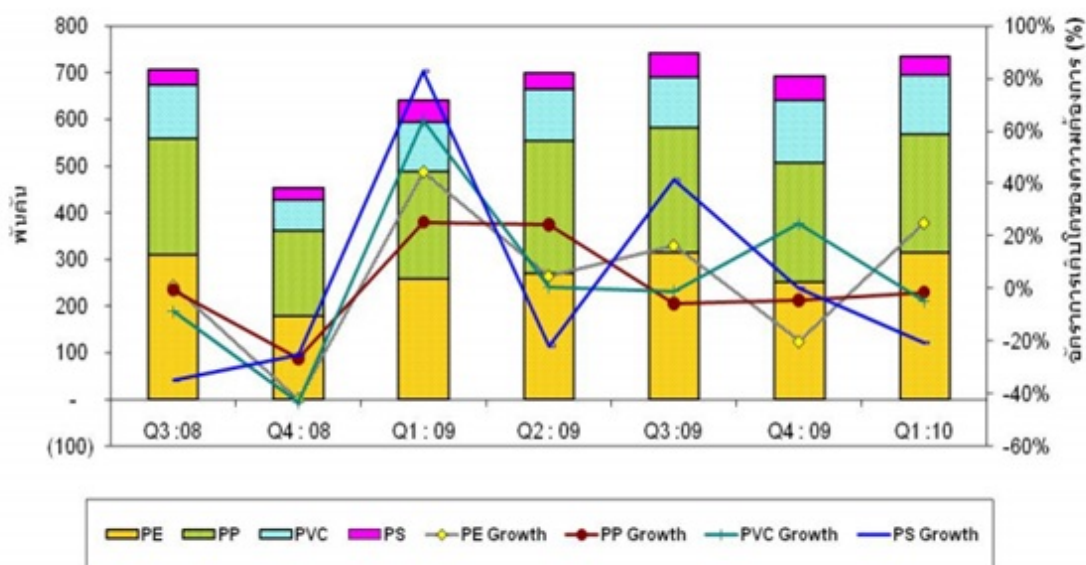
2.2.1 สมบัติของพลาสติก (เกษร,2546)

พลาสติกมีโครงสร้างพิเศษเรียกว่า high molecular weight คือโมเลกุลที่เชื่อมต่อกันยาวกว่าสารชนิดอื่นมากมายนับเป็นพันเท่า จึงทำให้พลาสติกมีสมบัติหลายอย่างไปพร้อมกันคือ

1. สมบัติทางกล (mechanical) มีความแข็งแรง เหนียว ยืดหยุ่น ทนแรงกระแทกได้ดี มีความทนทานสูง
2. สมบัติทางไฟฟ้า (electrical) เป็นฉนวนไฟฟ้า
3. สมบัติทางเคมี (chemical) มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีจุดหลอมเหลวสูงตั้งแต่ 80-150 องศาเซลเซียสที่อุณหภูมิต่ำจะแข็ง ส่วนใหญ่มีความถ่วงเฉพาะต่ำ จึงมีน้ำหนักเบา ทนกรดต่าง และสารเคมีอื่นๆ โดยมากไม่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์

2.2.2 การบริโภคเม็ดพลาสติก

ในไตรมาสที่ 1 ของปี 2553 มีปริมาณการนำเข้าของเม็ดพลาสติก 96,738 ตัน และปริมาณการส่งออกเม็ดพลาสติก 216,968 ตัน โดยแบ่งพลาสติก 4 ประเภทคือ พอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิสไตรีน แสดงในรูปประกอบ 2.9

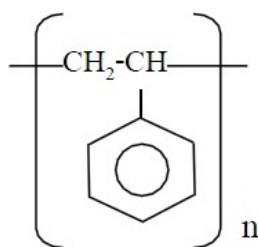


ภาพประกอบ 9 แสดงปริมาณการบริโภคเม็ดพลาสติกตั้งแต่ปี 2008 – 2010

ที่มา: กรมส่งเสริมการค้าส่งออกข้อมูลพลาสติก กระทรวงอุตสาหกรรม, 2551

2.3 พอลิสไตรีน (Polystyrene)

พอลิสไตรีนเริ่มผลิตเมื่อปี ค.ศ 1925 (เสาวรจน์,2545)สมบัติของพอลิสไตรีน คือ โปร่งใส ขึ้นรูปง่าย ราคาถูก ผสมสีง่าย และเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี แต่พอลิสไตรีนมีข้อเสียคือ ทนแรงกระแทกได้น้อย (low impact strength) จึงทำให้มีการพัฒนาสมบัติทางด้านนี้โดยการเติมบิวทาไดอีนเพราะจะทำให้มีสมบัติทนแรงกระแทกได้มากขึ้น รวมทั้งเพิ่มความมันเงาและสมบัติการทนต่อสารเคมีมากขึ้นด้วย ซึ่งพอลิเมอร์ชนิดนี้เรียกว่า พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูงหรือฮิปส์ (high impact polystyrene , HIPS) แต่มีข้อเสียคือจะมีความใสลดลงโดยเฉพาะคุณสมบัติโครงสร้างทางเคมีและสมบัติของพอลิสไตรีนแสดงดังในภาพประกอบ 10 และ ตาราง 1 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 10 ลักษณะโครงสร้างพอลิสไตรีน

สมบัติทั่วไปของพอลิสไตรีนแสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 สมบัติของพอลิสไตรีน (Feldman et. al, 1996)

ลักษณะการใช้งาน	เทอร์โมพลาสติก
มอนอเมอร์	สไตรีน
ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน	
(atactic)	free radical chain polymerization
(syndiotactic)	Ziegler-Natta polymerization
โครงสร้างสัณฐานวิทยา (Morphology)	ความเป็นอสัณฐานสูง (atactic)
	ความเป็นผลึกสูง (syndiotactic)
อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature)	270 องศาเซลเซียส (syndiotactic)
อุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass transition)	100 องศาเซลเซียส

พอลิสไตรีนเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่ เกิดจากสไตรีนมอนอเมอร์ประมาณ 2000-3000 หน่วยมาต่อกันโดยทั่วไปพอลิสไตรีนที่ใช้ในทางการค้าแบ่งเป็น 3 แบบคือ แบบไหลง่าย (easy-flow) แบบไหลปานกลาง (intermediate-flow) และ แบบใช้ความร้อนสูง (high heat) โดยสมบัติทางกายภาพขึ้นกับมวลโมเลกุล การแจกแจงมวลโมเลกุล (molecular weight distribution) และการเติมสารเติมแต่ง

แบบไหลง่าย (easy-flow) เป็นเรซินที่มีมวลโมเลกุลต่ำที่สุด มีการเติมน้ำมันลงไป 3-4% เพื่อช่วยลดความหนืด (melt viscosity) และเพิ่มดัชนีการไหล (melt flow rates > 20 g/10 min ที่ 392 °C) โดยเมื่อความหนืดลดลงจะทำให้สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น ส่วนใหญ่จะทำการขึ้นรูปแบบฉีด (injection molding)

แบบไหลปานกลาง (intermediate-flow) จะมีการเติมน้ำมันธรรมชาติลงไป 1-2 % ซึ่งจะทำให้พอลิสไตรีนประเภทนี้มีลักษณะการไหลและสมบัติทางกายภาพอยู่ระหว่างแบบไหลง่ายและแบบใช้ความร้อนสูง

แบบใช้ความร้อนสูง (high heat) เป็นพอลิสไตรีนที่มีมวลโมเลกุลสูงมากและประกอบด้วยสารเติมแต่งน้อยที่สุด ไม่มีการเติมน้ำมันหรือสารเพิ่มการไหล ต้องใช้ความร้อนสูงในการขึ้นรูปอาจมีการเติมสารประเภทกรดเตียริก ช่วยในการทำให้หลุดจากแม่พิมพ์ได้ง่าย ซึ่งพอลิสไตรีนประเภทนี้จะสามารถทนต่อความร้อนได้สูงและสามารถแตกได้ง่ายกว่าพอลิสไตรีนประเภทอื่น

2.3.1 ประโยชน์ของพอลิสไตรีน

ผลิตภัณฑ์คริสตัลพอลิสไตรีน มีลักษณะโปร่งใสสามารถนำมาฉีดใส่แบบพิมพ์ (Mold) หรือนำมาขึ้นรูป โดยพอลิสไตรีนที่นำมาฉีดใส่แบบพิมพ์จะนำไปใช้ในการทำเครื่องเสียง เทปคาสเซต กล่องใส่แผ่นดิสก์ เครื่องใช้ในสำนักงาน เครื่องใช้ในบ้าน ของเล่น เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์อิมแพคเกรดพอลิสไตรีน (impact polystyrene) มีลักษณะทึบแสงแต่มีค่าทนต่อแรงกระแทก (impact strengths) สูงกว่า เมื่อเทียบกับคริสตัลพอลิสไตรีน โดยจะมีการเติมยางเพื่อเพิ่มค่าทนกระแทกและค่าการยึดตัว แต่จะทำให้ความใสและความตึง (stiffness) ลดลง อิมแพคและคริสตัลพอลิสไตรีนจะเสื่อมสลายลงอย่างรวดเร็วเมื่อโดนแสงอัลตราไวโอเล็ต ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะใช้งานกลางแจ้งถ้าไม่ได้เติมสารเติมแต่งที่เหมาะสมเพื่อป้องกันแสง

อิมแพคพอลิสไตรีนสามารถนำมาฉีดใส่แบบพิมพ์เพื่อทำเป็น ชั้นวางเครื่องเสียง เครื่องใช้ภายในบ้าน เทปวีดีโอ เฟอร์นิเจอร์ และสามารถนำมาขึ้นรูปเพื่อใช้ทำกระเป๋าเดินทาง ที่บรรจุประตูตู้เย็น ภาชนะใส่อาหาร เป็นต้น

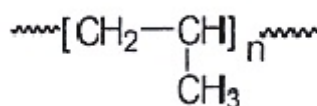
2.4 พอลิพรอพิลีน (Edward, 1996)

พอลิพรอพิลีนเป็นพลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติก มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน มีสมบัติเฉพาะตัวคือ ความถ่วงจำเพาะต่ำ ความแข็งแรงสูง อุณหภูมิจุดหลอมเหลวสูง ทนทานต่อสารเคมีได้ดี มีสมบัติต้านไฟฟ้าได้ดี จึงมีการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆหลายชนิด เช่น อุปกรณ์ในครัวเรือน ภาชนะบรรจุภัณฑ์ ของเด็กเล่น พอลิพรอพิลีนเป็นไฮโดรคาร์บอนพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงและประกอบด้วยโครงสร้างที่ไม่อึดตัวน้อยมาก หรือไม่มีเลยการสลับที่ของหมู่เมทิลไปตามคาร์บอนอะตอมบนสายโซ่โมเลกุลทำให้สมบัติของพอลิเมอร์แตกต่างกันได้มากมาย โดยหมู่เมทิลเป็นตัวกำหนดโครงสร้างแทกติกซิตี (tacticity) ของพอลิเมอร์ได้ โดยแบ่งเป็นแบบต่างๆกันดังนี้

1. แบบ isotactic เมื่อหมู่เมทิลทั้งหมดอยู่ด้านเดียวกันของสายโซ่โมเลกุล
2. แบบ syndiotactic เมื่อหมู่เมทิลทั้งหมดอยู่สลับกันบนสายโซ่โมเลกุล

3. แบบ atactic เมื่อหมู่เมทิลไม่อยู่กันเป็นระเบียบบนสายโซ่โมเลกุล

โครงสร้างทางเคมีและสมบัติของพอลิพรอพิลีนแสดงดังในรูปประกอบ 2.11 และตาราง 2 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 11 โครงสร้างพอลิพรอพิลีน

สมบัติทั่วไปของพอลิพรอพิลีนแสดงดังตาราง 2

ตาราง 2 สมบัติของพอลิพรอพิลีน(พูนสุข,2543)

ลักษณะการใช้งาน	เทอร์โมพลาสติกยืดหยุ่น (thermoplastic elastomers)
มอนอเมอร์	โพรพิลีน
ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน	zieglar-Natta polymerization metallocene catalysis polymerization
โครงสร้างฐานวิทยาศาสตร์ (Morphology)	ความเป็นอสัณฐานสูง (atactic) ความเป็นผลึกสูง (syndiotactic)
อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature)	270 องศาเซลเซียส (100% isotactic)
อุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass transition)	-17 องศาเซลเซียส

2.4.2 สมบัติทางเคมีของพอลิพรอพิลีน

1. ความต้านทานต่อสารเคมี พอลิพรอพิลีนเป็นสารที่ไม่มีขั้ว (non polar) จึงแสดงสมบัติการต้านทานต่อสารเคมีได้เป็นอย่างดี โดยสามารถทนต่อกรด (ยกเว้น oxidizing acid) เบส ได้

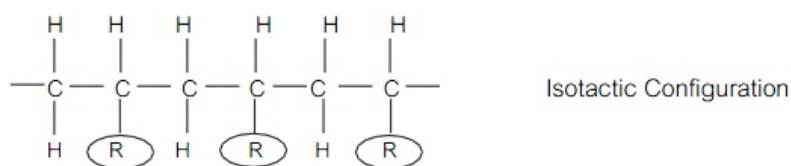
2. ความต้านทานต่อสภาพแวดล้อม พอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบ tertiary มีการเกาะตัวของโมเลกุลอย่างไม่แน่นอน ถูกย่อยสลายได้ง่าย ไม่ทนต่อสภาพแวดล้อม เช่น แสงแดด

3. สามารถติดไฟได้เองที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส

2.4.3 ประเภทของพอลิพรอพิลีน(Edward,1996)

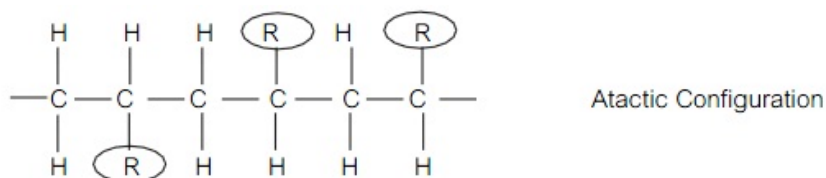
ในปี ค.ศ. 1954 แนพตาได้นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ซีเกอร์คั่นพบมาใช้ในการเตรียมพอลิพรอพิลีน โดยปรับปรุงรูปแบบของตัวเร่งปฏิกิริยา และได้พอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไปซึ่งมีผลทำให้สมบัติแตกต่างกันออกไป เช่น ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนที่มีความหนาแน่นสูงเหมือนพอลิเอทิลีนแต่มีจุดอ่อนตัวสูงกว่าแข็งแรงกว่าโครงสร้างทางเคมีส่วนใหญ่ของพอลิพรอพิลีนจะมีหมู่เมทิล (methyl group) เกาะบนโซ่หลักของโมเลกุล (main chain) พอลิพรอพิลีนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนสายโซ่โมเลกุลหลักได้แก่

1. ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน (isotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลด้านเดียวกันบนโซ่โมเลกุลหลัก ลักษณะเช่นนี้โครงสร้างโมเลกุลมีความเป็นระเบียบสูงส่งผลทำให้การตกผลึกดีที่สุดซึ่งสังเคราะห์ได้ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ Heterogeneous ของ Titanium (III) chloride กับตัวเร่งร่วมกับสารประกอบ organoaluminium ตัวอย่างเช่น diethylaluminium chloride



ภาพประกอบ 12 ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน

2. อะแทกติกพอลิพรอพิลีน (atactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนโซ่พอลิเมอร์หลักอย่างไม่เป็นระเบียบลักษณะเช่นนี้ทำให้มีการตกผลึกน้อยที่สุด สังเคราะห์จากการดลิวอิส และสารประกอบ Organ metallic เกิดเป็นโครงสร้างของอะแทกติกพอลิพรอพิลีน

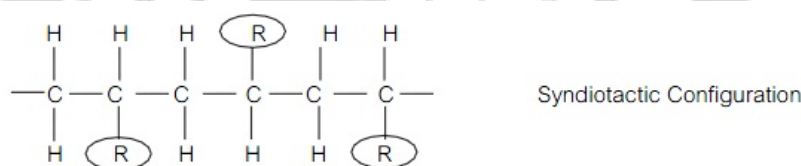


ภาพประกอบ 13 อะแทกติกพอลิพรอพิลีน (atactic polypropylene)

อะแทกติกพอลิพรอพิลีน สามารถทำการผลิตได้โดยตรง หรือเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต ตามปกติพอลิพรอพิลีน ชนิดเอแทกติกอย่างสมบูรณ์ จะมีโครงสร้างอสัณฐานแต่ในทางการค้ายังมีส่วนที่เป็นผลึกหลงเหลืออยู่บ้าง น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 20,000 – 80,000 และมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.86 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร อะแทกติกพอลิพรอพิลีนมีลักษณะอยู่กึ่งกลางระหว่างไซและยาง สามารถทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนได้เช่นเดียวกับไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนแต่ อะแทกติกพอลิพรอพิลีนจะเกิดการบวมอย่างมากในสารไฮโดรคาร์บอนทั้งประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว และรวมตัวได้ดีกับตัวเติมจำพวกแรมบิโทมินัสและเรซินต่างๆ

ในอดีตอะแทกติกพอลิพรอพิลีนเป็นผลพลอยได้ที่ไม่เป็นที่ปรารถนาในการผลิต แต่ในปัจจุบันเริ่มมีการนำมาใช้งานมากขึ้นในยุโรปใช้ผสมกับบิโทมินัส เพื่อใช้ทารอยต่อต่างๆ การผสมพลาสติกชนิดนี้จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น

3. ซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีน (syndiotactic polypropylene) โครงสร้างแบบนี้มีลักษณะการเกาะของหมู่เมทิล (methyl group) สลับกับบนโซโมเลกุลหลักอย่างเป็นระเบียบทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบลดลงมีผลทำให้การตกผลึกลดลงด้วย



ภาพประกอบ 14 ซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีน (syndiotactic polypropylene)

2.4.4 การประยุกต์ใช้ของพอลิพรอพิลีน

พอลิพรอพิลีนเป็นพลาสติกที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย มีลักษณะเงามัน ความหนาแน่นต่ำ มีน้ำหนักเบาจึงเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป เนื่องจากมีความแข็งและมีความคงรูปที่ดี จึงสามารถใช้งานที่ต้องทนทานต่อการขัดสี หรือต้องการความแข็งแรงหรืองานโครงสร้างบางประเภทได้ กรณีที่ต้องการความแข็งแรงสูง สามารถเสริมแรงได้ด้วยการเติมเส้นใยเสริมแรง เช่น การเติมเส้นใยแก้วสามารถเพิ่มความแข็งแรงและความต้านทานแรงกระแทกได้มากถึง 2 เท่า สามารถทนต่อแรงดัดงอได้ดีจึงสามารถใช้ในการที่ต้องพับไปมา หรือดัดงออยู่เสมอ เช่น บานพับ เชือก พรหม เทปรัดกล่อง สามารถทนต่ออุณหภูมิน้ำเดือดได้ จึงใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อแบบสเตอริไรเซชันได้ แต่ไม่เหมาะกับการใช้งานในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำเนื่องจากเกิดการเปราะแตก นอกจากนี้ยังมีการใช้งานประเภทเชือก และเส้นใย เนื่องจากมีความยืดหยุ่นทนการขีดข่วน ไม่เป็นรอยเปื้อนง่าย

2.5 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

(http://www.il.mahidol.ac.th/course/ap_chemistry2/kinetics/catalysis.htm,2552)

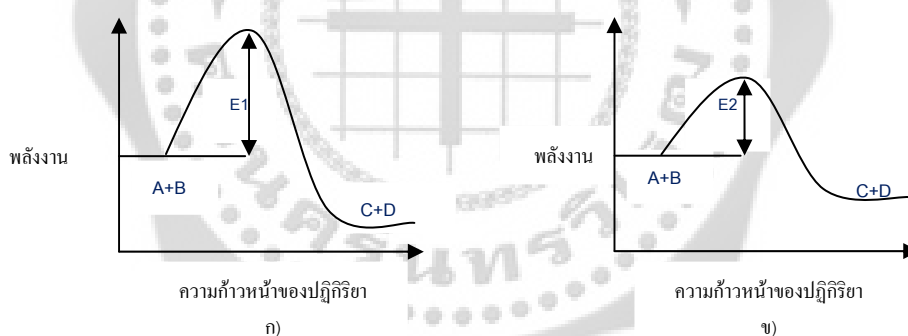
2.5.1 ความหมายของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา(Catalyst) คือสาร (Substance) ที่เติมลงไปในปฏิกิริยาในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับสารตั้งต้นแล้วทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยา (Reaction rate) เร็วขึ้นโดยที่สารนั้นไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหลังการเกิดปฏิกิริยาเสร็จสิ้น แสงหรือความร้อนไม่ใช่สารดังนั้นแม้จะเร่งปฏิกิริยาได้ก็ไม่จัดว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.5.2 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

1. ต้องไม่ไปรบกวนสมดุลของปฏิกิริยา
2. ช่วยลดพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา
3. ต้องเป็นสารเสมอ (ไม่ใช่พลังงาน)

ดังแสดงในภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 การเปรียบเทียบพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา

ก) เมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ข) เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา

2.5.3 ประเภทของปฏิกิริยาอะคะตะไลซิส

ปฏิกิริยาบางปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ช้ามากที่สภาวะปกติ แต่ถ้ามีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ลงไปจะช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น เรียกว่าปฏิกิริยาอะคะตะไลซิส (catalyst reaction หรือ catalysis) โดยแบ่งการเร่งปฏิกิริยาออกเป็น 3 ประเภท คือ

2.5.3.1 ปฏิริยาอะตะไลซิสแบบเอกพันธ์ (homogeneous catalyst reaction) หมายถึงปฏิริยาที่ทั้งสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์อยู่ในวัฏภาค (phase) เดียวกัน ดังนั้นก็ต้องใช้ตัวเร่งปฏิริยาที่มีวัฏภาคเดียวกันกับทั้งสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1. ตัวเร่งปฏิริยาที่เป็นก๊าซได้แก่ Nitrogen oxide ในปฏิริยาออกซิเดชันของ Sulfur Dioxide ในกระบวนการผลิตกรด H_2SO_4

2. ตัวเร่งปฏิริยาที่เป็นวัฏภาคของเหลว เช่น การเร่งปฏิริยาด้วยกรดหรือเบสในสารละลายที่เป็นของเหลว

2.5.3.2 ปฏิริยาอะตะไลซิสแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous catalyst reaction) ส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวเร่งที่เป็นของแข็งในการเร่งปฏิริยาที่มีสารตั้งต้นที่อยู่ในวัฏภาคแก๊สหรือของเหลว ซึ่งจะเกิดปฏิริยากันที่ผิวของตัว

ปฏิริยาที่สำคัญ ๆ ในอุตสาหกรรมผลิตสารเคมีจะใช้การเร่งปฏิริยาวิวิธพันธ์ เช่น การสังเคราะห์แอมโมเนีย การผลิตกรดไนตริก และการผลิตตัวเร่งกำจัดไอเสีย (catalytic converter) เป็นต้น

2.5.3.3 ปฏิริยาอะตะไลซิสแบบเอนไซม์ (enzyme catalyst reaction) เป็นการเร่งปฏิริยาที่เกิดขึ้นภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากเอนไซม์ (enzyme) คือ ตัวเร่งปฏิริยาชีวภาพ (biological catalyst) ที่ช่วยเร่งปฏิริยาทางชีวภาพให้มีอัตราการเกิดปฏิริยาสูงขึ้นประมาณ 10^6 ถึง 10^{12} เท่า และเอนไซม์ยังมีความจำเพาะเจาะจงต่อปฏิริยาสูงมาก คือ เอนไซม์จะเลือกทำปฏิริยากับโมเลกุลของสารตั้งต้นหรือสับสเตรท (substrate) บางชนิดเท่านั้น

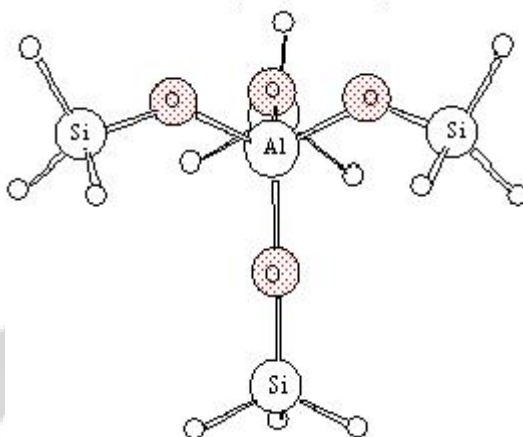
2.5.4 ความแตกต่างระหว่างปฏิริยาอะตะไลซิสแบบเอกพันธ์และแบบวิวิธพันธ์

โดยทั่วไปตัวเร่งปฏิริยาแบบเอกพันธ์มีการเลือกแบบจำเพาะเจาะจง มีประสิทธิภาพสูงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ค่อนข้างบริสุทธิ์ แต่ข้อเสีย คือ จะทำการแยกผลิตภัณฑ์และตัวเร่งปฏิริยาออกจากกันได้ยาก ในขณะที่ตัวเร่งปฏิริยาแบบวิวิธพันธ์นั้นสามารถแยกผลิตภัณฑ์ออกจากตัวเร่งปฏิริยาได้ง่าย แต่มีการเลือกจำเพาะเจาะจงต่ำและต้องใช้สภาวะที่รุนแรงกว่าซึ่งตัวเร่งปฏิริยาทั้ง 2 ระบบคุณลักษณะแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ทั้งลักษณะ ทฤษฎีและวิธีการใช้ ในอุตสาหกรรมจะนิยมใช้ตัวเร่งปฏิริยาแบบวิวิธพันธ์มากกว่า ตัวเร่งปฏิริยาแบบเอกพันธ์

2.6 ซีโอไลต์ (Zeolite)

ซีโอไลต์คือสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (crystalline aluminosilicates) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) หนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม (SiO_4 หรือ AlO_4) สร้างพันธะกันเป็นรูปสามเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedron) โดยอะตอมของซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) อยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ ซึ่งโครงสร้างสามเหลี่ยม

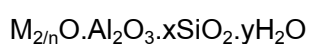
สีหน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุม(ใช้ออกซิเจนร่วมกัน) ก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นและเกิดเป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้ซีโอไลต์เป็นผลึกแข็ง เป็นรูพรุนและช่องว่างหรือโพรงที่ต่อเชื่อมกันอย่างเป็นระเบียบในสามมิติ ขนาดตั้งแต่ 2-10 อังสตรอม



ภาพประกอบ 16 แสดงโครงสร้างของซีโอไลต์

ซีโอไลต์เป็นแร่ที่ประกอบด้วย ผลึกของอะลูมิโนซิลิเกตที่มีน้ำผลึกของโลหะอัลคาไลน์หรือโลหะอัลคาไลน์เอิร์ทซึ่งโดยมากจะเป็นโลหะโซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม สตรอนเทียม และแบเรียม โดยโครงสร้างหลักของซีโอไลต์จะมีลักษณะเป็น โครงสร้าง 3 มิติ ของอะลูมิเนียม-ออกซิเจนเตตระฮีดรอล (AlO_4) และซิลิกอน-ออกซิเจนเตตระฮีดรอล (SiO_4) ซึ่งประกอบด้วยอะลูมิโนซิลิเกต โดยมีการเชื่อมต่อของอะตอมออกซิเจนอะตอมแบบไม่สิ้นสุดคือเป็นโคพอลิเมอร์ (copolymer)

สูตรอย่างง่ายของซีโอไลต์เป็นดังนี้



- n = คือ วาเลนซ์ของแคตไอออน (M) โดยมาก เท่ากับ 1 และ 2 ของโลหะอัลคาไล หรือ โลหะอัลคาไลน์เอิร์ท ตามลำดับ
- x = คือ จำนวนโมลของ SiO_2 โดยมากจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2
- y = คือ จำนวนโมลของน้ำที่อยู่ในช่องว่างของผลึกซีโอไลต์

ซีโอไลต์ เป็นสารในรูปแร่อลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicates) ชนิดหนึ่งที่มีสมบัติดูดน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อนำไปใช้โดยใส่ลงไปในดินจึงช่วยทำให้ดินมีความสามารถอุ้มน้ำได้สูงขึ้น และทำให้พืชที่ปลูกสามารถใช้น้ำในดินได้ขึ้น

ซีโอไลต์นั้นมีมากกว่า 600 ชนิด แต่สามารถแบ่งกลุ่มตามชนิดของโครงสร้างได้ประมาณ 40 ชนิด ซึ่งความแตกต่างในโครงสร้างนี้มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของซีโอไลต์ เช่น โครงสร้างผลึก ความหนาแน่น ขนาดของโพรง ความแข็งแรงของพันธะ เป็นต้น การจำแนกชนิดของซีโอไลต์นั้น อาศัยขนาดและรูปร่างของโพรงซีโอไลต์เป็นหลัก ซึ่งจะทำให้หน้าซีโอไลต์ไปใช้ประโยชน์ในงานที่แตกต่างกันไป

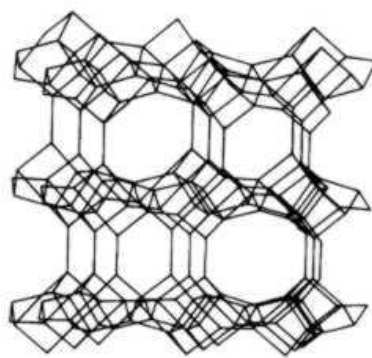
2.6.1 คุณสมบัติของซีโอไลต์

เนื่องจากโครงสร้างของซีโอไลต์ที่เป็นแบบเปิดประกอบด้วยช่องว่าง และการเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุลจำนวนมาก ซึ่งมีแคทไอออน และโมเลกุลของน้ำเกาะอยู่ภายใน โดยสามารถแลกเปลี่ยนกับแคทไอออนอื่นได้ คือมีคุณสมบัติเป็น ion exchange นำไปใช้ขบวนการ water softening และ water treatment นอกจากนี้โลหะอื่นๆ เช่น ตะกั่วปรอท แคดเมียม ซิลเวอร์ไอออนก็สามารถแลกเปลี่ยนได้เช่นเดียวกัน ยังมีคุณสมบัติเป็น resersible dehydration ซึ่งเป็น molecular sieve ที่ทำให้มีคุณสมบัติต่างจากการดูดซับอื่น และยังแสดงคุณสมบัติเป็นสารดูดซับที่ดีสามารถแยกแก๊สและไอของผสม เช่น แอมโมเนีย ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ด้วย เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพแตกต่างกัน

2.6.2 ชนิดของซีโอไลต์

ซีโอไลต์สามารถเกิดขึ้นได้ 2 วิธี คือ ซีโอไลต์ที่พบตามธรรมชาติ (natural or mineral zeolite) และที่สังเคราะห์ขึ้น (synthetic zeolite) ซีโอไลต์แต่ละชนิดมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ที่พบตามธรรมชาติมีมากกว่า 35 ชนิด ส่วนซีโอไลต์สังเคราะห์ขึ้นมีถึงประมาณ 100 ชนิด ซีโอไลต์มี 2 ชนิด ดังนี้

1. ซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (mineral zeolites or naturally occurring zeolites) ซึ่งส่วนมากค้นพบจากการทำเหมืองแร่ เป็นกลุ่มของผลึกอะลูมิโนซิลิเกตของโมโนหรือไดวาเลนต์เบส (mono and divalent bases) อาจมีการสูญเสียผลึกบางส่วนหรือทั้งหมด โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ตัวอย่างเช่น faujasite erionite offretite chabazite clinoptilolite ซีโอไลต์ธรรมชาติเดิมนำมาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง ในทางอุตสาหกรรมใช้เป็น filter ในอุตสาหกรรมกระดาษ หลังจากได้ค้นพบคุณสมบัติการเป็น molecular sieves และ ion exchange จึงได้นำมาใช้เป็น molecular sieves adsorbent ในอุตสาหกรรมแยกก๊าซธรรมชาติและแยกแอมโมเนียในขบวนการกำจัดน้ำทิ้ง ดังแสดงในภาพประกอบ 17

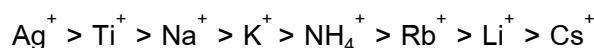


ภาพประกอบ 17 โครงสร้างซีโอไลต์ธรรมชาติชนิด clinoptilolite

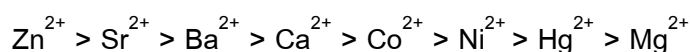
2. ซีโอไลต์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ทางเคมี (synthetic zeolite) เกิดจากการทำปฏิกิริยาเบสิกออกไซด์ต่างๆ เช่น Al_2O_3 , SiO_2 , Na_2O และ K_2O ในระบบที่มีน้ำเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ของซีโอไลต์ที่มีน้ำผลึก และการสังเคราะห์สามารถทำให้เกิดได้ตั้งแต่เป็นเจล (gelatin) จนถึงรูปที่เป็นรูพรุน (porous) และลักษณะที่คล้ายเม็ดทราย (sandlike) ได้แก่ Zeolite A, Zeolite Y, Zeolite F, Zeolite M เป็นต้น

2.6.3 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้ของซีโอไลต์

1. ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น Hydrogenation, alkylation, Aromatization และ Isomerization เป็นต้น
2. ใช้เป็น Sorption agent เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของซีโอไลต์ทำให้สามารถ ดูดซับสารต่างๆ ได้ตามขนาดและโครงสร้างของซีโอไลต์แต่ละชนิด เช่น ใช้ในขบวนการ defying ของ natural gas แยก CO_2 และสารประกอบซัลเฟอร์จากแก๊สธรรมชาติแยกสารที่ทำให้เกิดสาร มลภาวะ เช่น SO_2 , NO_2 และ O_2 จากอากาศ เป็นต้น
3. Water softeners ซีโอไลต์สามารถแลกเปลี่ยนไอออนบวกในโครงร่างผลึกกับแคลเซียมไอออนหรือแมกนีเซียมไอออนได้จึงช่วยลดความกระด้างของน้ำ
4. ใช้เป็น ion exchange resins จากคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของซีโอไลต์ทำให้สามารถนำไปใช้เป็นเรซิน เพื่อแลกเปลี่ยนกับไอออนบวก Univalent หรือ Divalent Selectivity ของซีโอไลต์ของไอออนบวกที่เป็น Univalent จากมากไปหาน้อย ดังนี้



สำหรับไอออนบวกที่เป็น Divalent มีดังนี้



พฤติกรรมของการแลกเปลี่ยนไอออนบวกจะขึ้นอยู่กับ

- ธรรมชาติของไอออนบวก เช่น ขนาด ประจุ
- อุณหภูมิ
- ความเข้มข้นของไอออนบวกในสารละลาย
- ชนิดของไอออนบวกที่รวมตัวกับไอออนบวกในสารละลาย
- ตัวทำละลาย (การแลกเปลี่ยนส่วนมากเกิดขึ้นได้ดีใน aqueous solution)
- ลักษณะโครงสร้างของซีโอไลต์

5. ใช้เป็น Detergent builder ซีโอไลต์เป็นที่นิยมในต่างประเทศที่เจริญแล้ว โดยใช้เป็นส่วนผสมของผงซักฟอกเนื่องจากซีโอไลต์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับทำผงซักฟอก คือมีค่า Capacity และ Kinetics ซึ่งทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนบวกเป็นไปได้อย่างมากและเร็ว นอกจากนี้ซีโอไลต์ยังใช้แทนฟอสเฟตได้อีกด้วย ซึ่งฟอสเฟตทำให้ฟิชน้ำหรือพวกสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กๆ เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้มีปัญหาในการกำจัดและเมื่อมีการตายแล้วทับถมกันเข้าจึงทำให้น้ำเน่าเสียและสัตว์น้ำที่จำเป็นลดจำนวนลงได้เนื่องจากขาดออกซิเจนในการย่อยสลาย

โครงสร้างของซีโอไลต์เป็นแบบเปิดประกอบไปด้วย channel หรือ interconnected void จำนวนมากซึ่งมีไอออนบวกและโมเลกุลของน้ำเกาะเชื่อมอยู่ภายใน ไอออนบวกนี้สามารถเปลี่ยนกับไอออนบวกอื่นได้ คือมีคุณสมบัติเป็น ion exchanger เมื่อโมเลกุลของน้ำผ่านเข้ามาในช่องว่างทำให้ไอออนที่อยู่ในสารละลายสามารถแลกเปลี่ยนกับไอออนที่อยู่ในโครงสร้างได้คุณสมบัติดังกล่าวนำไปใช้ในกระบวนการ water softening และ water treatment ปฏิกริยานี้ซีโอไลต์ จะแลกเปลี่ยน Na^+ กับ Ca^{++} ที่มีอยู่ในน้ำกระด้าง ในขณะที่ปล่อยให้ น้ำกระด้างไหลผ่านเม็ดของซีโอไลต์ ดังนั้นน้ำที่ผ่านออกมาจะมีปริมาณ Na^+ เพิ่มขึ้นก็จะเป็นการป้องกันการเกิดตะกอนขึ้น นอกจากนี้โลหะหนักอื่นๆ เช่น ตะกั่วปรอท แคดเมียม ซิลเวอร์ไอออนก็สามารถแลกเปลี่ยนได้เช่นเดียวกัน

ซีโอไลต์ เมื่อได้รับความร้อนโมเลกุลของน้ำภายในช่องว่างจะหลุดออกมาและน้ำจะระเหยออกมาอย่างต่อเนื่องโดยโครงสร้างโมเลกุล (dehydrated structure) ไม่เปลี่ยนแปลงหรือบอบสลายหลังจากที่มีการ dehydration แล้วช่องว่างในโครงสร้างโมเลกุลสามารถถูกเติมน้ำได้เช่นเดิมซึ่งเรียกว่า reversible dehydration

ซีโอไลต์ ได้ชื่อว่าเป็น molecular sieve เนื่องจากโมเลกุลมีช่องว่างที่สม่ำเสมอจำนวนมากซึ่งสามารถแสดงคุณสมบัติคล้าย sieve บนโมเลกุลที่มีช่องว่างที่สม่ำเสมอ

2.6.4 การดูดซับของซีโอไลต์ (adsorption)

การดูดซับ (adsorption) การดูดซับเป็นขบวนการที่โมเลกุลของสารที่เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ซึ่งในตัวอย่างใดๆ ไปเกาะบนผิวของสารอีกชนิดหนึ่งถูกนำไปอยู่ในตัวกลางนั้น เรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbant) ประเภทของการดูดซับมี 2 ชนิด

1. physical adsorption เป็นการดูดซับที่สารถูกดูดซับเกาะที่ผิวของตัวดูดซับด้วยอันตรกิริยาที่อ่อน หรือแรงแวนเดอร์วาลส์และ electrostatic เกิดได้ง่ายใช้พลังงานในการทำให้เกิดการดูดซับน้อย สามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ

2. chemical adsorption เป็นการดูดซับทางเคมี ที่โมเลกุลของตัวดูดซับทำปฏิกิริยากับพื้นที่ผิวของตัวถูกดูดซับ โดยสร้างพันธะเคมี ทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้นและเกี่ยวข้องกับการ transfer of electron ระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ พลังงานที่ทำให้เกิดการดูดซับทางเคมีมีค่าสูงกว่าการดูดซับทางกายภาพ คือ มีค่าประมาณ -200 kJ/mol ปริมาณการดูดซับนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ หลายประการ คือ พื้นที่จำเพาะของของแข็ง ความเข้มข้นที่สมดุลของสารที่ถูกดูดซับในสารละลายสามารถเกิดในอุณหภูมิสูงกว่าที่เกิด physical adsorption และแรงที่เกี่ยวข้องก็มากกว่า

2.6.5 องค์ประกอบที่มีผลต่อการดูดซับ

1. พื้นที่ผิวจำเพาะสำหรับการดูดซับ
2. การแลกเปลี่ยนใช้สารดูดซับต้องคุณสมบัติในการชอบสารประกอบโพลาร์ หรือ นอนโพลาร์
3. การดูดซับจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับก๊าซและสารละลายที่ต้องการจับ
4. ความจุของสารดูดซับควรมีค่าแน่นอน และสูงกว่าปริมาณก๊าซและสารละลายที่ต้องการจับแต่หลังจากที่เต็มความจุของมันแล้ว ก๊าซและสารละลายจะดูดซับเพียงบางส่วนจนอิ่มตัวแล้วจะไม่ดูดซับก๊าซและสารละลาย
5. มีความสามารถในการแยกชั้นก๊าซ
6. อุณหภูมิในการดูดซับ ประสิทธิภาพจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำ โดยเฉพาะก๊าซที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน ไม่สามารถ ดูดซับได้สมบูรณ์ที่อุณหภูมิปกติ แต่การให้ความเย็นจะเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดี

การศึกษาการดูดซับโดยใช้ซีโอไลต์เป็นงานที่กำลังได้รับความนิยมมาก เพราะซีโอไลต์มีคุณสมบัติในการดูดซับและการแลกเปลี่ยนไอออน จึงได้มีการใช้ซีโอไลต์ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากสารปนเปื้อนต่างๆ เป็นอย่างมาก และเนื่องจากซีโอไลต์สังเคราะห์นั้นมีราคาสูงมาก จึงมีการใช้ซีโอไลต์ธรรมชาติกันมากขึ้น

2.7 การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา (วิทยา,2534)

การที่ตัวเร่งปฏิกิริยาสูญเสียความว่องไว (activity) และการเลือกจำเพาะเจาะจง (selectivity) เนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

2.7.1 การเป็นพิษ (poisoning) เกิดขึ้นเนื่องจากมีสิ่งเจือปน (impurity) อยู่ในสารที่ใช้ใน การเกิดปฏิกิริยา แล้วทำให้ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง

2.7.2 การอุดตัน (fouling) เป็นปรากฏการณ์ทางด้านกายภาพ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากฝุ่นผง หรือพวกรับรองที่เกิดจากปฏิกิริยามาเกาะหรือไปอุดตันที่รูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วทำให้ความว่องไว หรือการเลือกจำเพาะเจาะจงของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง

2.7.3 การรวมตัวเนื่องจากความร้อน (sintering) เกิดเนื่องจากการที่โลหะเกิดการหลอมเหลวเนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่สูงในกระบวนการผลิต ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้โลหะมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ตำแหน่งที่ว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาหรือ active site ลดลง หรืออาจเกิดการเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างแบบหนึ่งไปเป็นโครงสร้างอีกแบบหนึ่ง ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความว่องไวต่ำลง

2.7.4 การสูญเสียสปีชีส์ที่ว่องไว (loss of active species) อาจเกิดการสูญเสีย active species โดยเกิดการระเหย (valorization) ของสารประกอบออกไปจากตัวเร่งปฏิกิริยาจาก catalyst deactivation

2.8 ปฏิกิริยาการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (ศุภวรรณ,2542)

ปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

2.8.1 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อน (thermal cracking)

การแตกตัวด้วยความร้อนเป็นกระบวนการเปลี่ยนโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ให้มีขนาดของ โมเลกุลที่เล็กลงโดยใช้ความร้อนอุณหภูมิสูง โดยหากควบคุมให้การแตกตัวเป็นไปได้อย่างพอดี จะมีการ เลือกเกิดไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เนื่องจากการให้ความร้อนจะเกินพอดีจะทำให้การแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กเกินไปจนอยู่ในรูปก๊าซ $C_1 - C_4$ ซึ่งไม่ต้องการและไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนจะมีความว่องไวต่อ ปฏิกิริยาโดยเฉพาะส่วนที่มีแชนโอเลฟิน (olefin) และไดโอเลฟิน (diolefin) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากันเองต่อไป

กระบวนการนี้จะได้น้ำมัน คือ น้ำมันเบนซิน (petrol) เพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 50 ในปัจจุบัน กระบวนการนี้เกิดขึ้นโดยการเอาน้ำมันดิบมาทำให้เกิดการแตกตัวในถัง ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาฟาเรนไฮต์ ที่ความกดดันมากกว่า 1,000 ปอนด์ ต่อรารางนิ้ว สภาวะอุณหภูมิที่สูงและความกดดันที่สูงทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ เกิดการแยกตัว

หรือแตกตัวเป็นน้ำมันส่วนเบา หรือเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลง รวมทั้งมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนน้อยลง และน้ำมันส่วนเบาซึ่งมีสภาพเป็นไอร้อนนี้ก็จะถูกปล่อยให้เข้าไปในหอกลั่น เพื่อควบแน่นและกลั่นตัวเป็นของเหลวต่อไป

2.8.2 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking)

เป็นกระบวนการที่นำตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามามีบทบาทในการช่วยการแตกย่อยสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง เป็นกระบวนการแยกสลายน้ำมันดีเซลและน้ำมันหนัก โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาเข้าช่วย สารเร่งปฏิกิริยาที่ใช้อาจเป็นพวกดินเหนียวธรรมชาติเช่น bentonites และ kaolon หรือพวกดินเหนียวสังเคราะห์ซึ่งมีธาตุอลูมิเนียมสูง หรืออาจเป็นพวก synthetic zeolines ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ก็คือ น้ำมันเบนซินที่มีค่าออกเทนสูง (มากกว่า 90) แก๊สไฮโดรคาร์บอนประเภท olefins ซึ่งอาจใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และพวก cycle stock ซึ่งมี range อยู่ในช่วงของน้ำมันดีเซลและน้ำมันซีโล้จึงผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันซีโล้ที่ได้มาจากการกลั่นเบื้องต้นจำหน่ายเป็นน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันซีโล้ต่อไป ในปฏิกิริยาแยกสลายนี้ สารไฮโดรคาร์บอนพวกparaffins จะถูกแยกสลายให้มีโมเลกุลเล็กลง พวก olefins จะถูกเปลี่ยนไปเป็น iso-paraffins ส่วนพวกnaphthenes ก็ถูกแยกสลายไปเป็น olefins และ paraffins ตัว aromatics ที่มีอยู่มากจะเจือยต่อปฏิกิริยาแต่บางส่วนก็จะกลายเป็นเขม่า (coke) เกาะอยู่บนผิวสารเร่ง ทำให้สารเร่งเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

2.8.3 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (hydrocracking)

การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมเป็นกระบวนการที่รวมระหว่างการแตกโมเลกุลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาและการเติมไฮโดรเจน ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีแขนแตกแขนงจำนวนมาก เกิดเป็นพาราฟินและแนฟทีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นประเภท 2 หน้าที่ (dual function) คือ ช่วยในการแตกพันธะคาร์บอน-คาร์บอนของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนและช่วยเติมไฮโดรเจน จึงมักประกอบด้วยสารจำพวกซิลิกา - อะลูมินาที่สามารถช่วยในการแตกพันธะคาร์บอนได้พร้อม ๆ กับการเติมไฮโดรเจน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเริ่มต้นจากการเกิดคาร์บอนเนียมไอออนตรงบริเวณที่เป็นกรดบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา หากปฏิกิริยาเกิดในภาวะที่อุณหภูมิ 400 – 800 องศาเซลเซียส ความดัน 35 – 170 บรรยากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นสารประกอบที่อึดตัวค่อนข้างมาก ซึ่งทำให้แก๊สโซลีนที่ได้จากกระบวนการนี้มีค่าออกเทนที่ต่ำกว่ากระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีปริมาณสารประกอบแอโรมาติกน้อย เพราะเกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนมากกว่า สารที่ได้จึงมักนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องบิน (jet fuel) รวมทั้งยังได้สารประกอบประเภท LPG ซึ่งใช้

เป็นสารป้อนในกระบวนการปิโตรเคมีแต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ใดๆ นั้น ต้องอาศัยปัจจัยอื่นๆ ควบคู่กันไป โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นต้องขึ้นกับอุณหภูมิ เวลา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย

การเติมไฮโดรเจนบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะช่วยทำความสะอาดให้กับผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาไปพร้อมๆ กันด้วย เนื่องจากการเติมไฮโดรเจนจะช่วยกำจัดโค้กที่เกิดขึ้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยาออกไป กระบวนการแตกโมเลกุลด้วยการใช้ไฮโดรเจนร่วมนี้เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ทำให้เกิดการเพิ่มอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นอย่างดีเพราะหากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดโค้กและทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสูญเสียความสามารถไปหรือทำให้เครื่องปฏิกรณ์ได้รับความเสียหายรวมทั้งไม่ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wang, L., Yoo, J., Park, S., Heon J., Ho, T.L., and Deuk K.L (1999) ศึกษาการแตกตัวของพลาสติก พอลิพรอพิลีน(PP) พอลิเอทิลีน(PE) พอลิสไตรีน(PS) พอลิเอทิลีนเทอแรพทาเลต(PET) และอะคริโนไทรสบิวตะไดอินสไตรีน (ABS) รวมกับน้ำมันหล่อลื่นพบว่า พอลิเอทิลีนจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่ 460 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันมากกว่า 99% ภาวะที่เหมาะสมของพอลิพรอพิลีน คือ 430 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เกือบสมบูรณ์ซึ่งใช้พลังงานในการแตกตัวต่ำกว่าใช้พอลิเอทิลีน ส่วนพอลิสไตรีนจะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันมากกว่า 95% ที่ 430 องศาเซลเซียส เวลา 12 นาที ABS จะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันต่ำกว่า PS และใช้เวลา 12 นาที 430 องศาเซลเซียส ส่วน PET จะให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันน้อยประมาณ 78% และใช้เวลา 30 นาที ที่ 460 องศาเซลเซียส

นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล (2542) ศึกษาการสลายตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีนใช้แล้ว โดยศึกษาการละลายพอลิสไตรีนในตัวทำละลาย benzene และ cyclohexane พบว่า cyclohexane เป็นตัวทำละลายที่เหมาะสม ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ cyclohexane ต่อพอลิสไตรีนเป็น 73:27 ภาวะที่เหมาะสมต่อปฏิกิริยาไพโรไลซิสคือ อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ความดัน 45 lb/in² เวลา 300 นาที สามารถเปลี่ยนพอลิสไตรีนเป็นผลิตภัณฑ์ได้ร้อยละ 71 ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้คือ ethyl benzene, toluene และ cumene ตามลำดับ

พูนสุข พึ่งธรรม (2543) ศึกษาการแตกตัวพอลิพรอพิลีนด้วยไฮโดรเจนโดยเหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน พบว่าเหล็กบนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม โดยที่อุณหภูมิ 435 องศาเซลเซียส ความดันก๊าซไฮโดรเจน 30 กก./ตร.ซม. และเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีปริมาณเนฟทา 40 – 65% เคโรซีน 12 – 14% ก๊าซออยล์ 10 – 13% และโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว 4 – 5%

ธราพงษ์ วิทิตสานต์ (2544) ศึกษาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน พบว่าพอลิสไตรีนแตกตัวเป็นของเหลว 89.93% ภายใต้ความดันไฮโดรเจน 30 กก./ตร.ซม. อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.45 กรัมต่อ 15 กรัมของพอลิสไตรีน องค์ประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี ให้ แนฟทา 23.83% เโครซีน 1.80% แก๊สออยล์ 25.18% และโมเลกุลสายโซ่ยาว 39.12% ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ เป็น toluene ethylbenzene diphenylpropane และ cumene

D. P. Serrano, J. Aguado, and J.M. Escola (2003) ศึกษาการแตกตัวของพอลิสไตรีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิดคือ HMCM-41, HZSM-5 และ amorphous $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ เปรียบเทียบกับการแตกตัวแบบความร้อนเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด HMCM-41 มีความเป็นกรดสูง จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีและดีกว่าแบบใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว ส่วน HZSM-5 และ amorphous $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ จะให้ผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า โดย HZSM-5 จะมีผลิตภัณฑ์หลักเป็นสไตรีนประมาณ 50 % ส่วน HMCM-41 และ $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ จะให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็น เบนซีน เอทิลเบนซีน และคิวมิน

ประชากรณ์ แท้ภักดี (2547) ศึกษาถึงกระบวนการแตกตัวพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีนและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ขนาด 70 มิลลิลิตร กระบวนการแตกตัวนี้ทำการศึกษาถึงเปอร์เซ็นต์ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ อัตราส่วนพอลิพรอพิลีนต่อพอลิสไตรีน อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นต่อพลาสติก อุณหภูมิ 390-450 องศาเซลเซียส เวลา ทำปฏิกิริยา 45-105 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-10 บาร์ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่าน กัมมันต์ 0.1-1.5 กรัม ปริมาณสารตั้งต้นจำนวน 15 กรัม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันและองค์ประกอบที่ดี ที่สุด โดยภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่ง ปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ดังนี้ เปอร์เซ็นต์ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์คือ 5% อัตราส่วนพอลิพรอพิลีนต่อ พอลิสไตรีนคือ 70:30 อัตรา ส่วนน้ำมันหล่อลื่นต่อพลาสติกคือ 60:40 อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เวลา ทำปฏิกิริยา 75 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ และตัวเร่งปฏิกิริยา 0.8 กรัม ซึ่งภาวการณ์ทดลอง ข้างต้นจะได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน 75.65% ผลิตภัณฑ์แก๊ส 17.37 % และของแข็งที่ไม่ทำปฏิกิริยา 6.98% เมื่อ นำผลิตภัณฑ์น้ำมันมาวิเคราะห์หาการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์พบว่าปริมาณของแก๊สโซลีน 61.25% เโครซีน 13.25% แก๊สออยล์เบา 15.84% แก๊สออยล์ 3.65% และกากน้ำมันหนัก 6.01% และเมื่อเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า เหล็กบนถ่านกัมมันต์ให้ผลของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด

วิชชากร จารุศิริ (2547) ศึกษาการแปรรูปน้ำมันพืชใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 – 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ที่ 10 – 30 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 45 – 90 นาทีโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ซัลเฟตเตตระเออร์โคเนียม และตัวเร่งปฏิกิริยาแบบผสม HZSM-

5 และซัลเฟตเตตระเซอรโคเนียในสัดส่วนต่าง ๆ กัน ผลการทดลองของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบผสมที่สัดส่วนของ HZSM-5 และซัลเฟตเตตระเซอรโคเนีย 0.3 ต่อ 0.7 ให้ร้อยละผลได้ของแก๊สโซลีนสูงที่สุดร้อยละ 26.57 โดยน้ำหนัก ที่ภาวะอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 10 บาร์ เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 90 นาที และมีองค์ประกอบเป็นคาร์บอน 10.65%, Light Gas oil 23.02%, Gas oil 6.05%, กากน้ำมัน 12.88% โดยมีแก๊สไฮโดรคาร์บอน 20.20% และของแข็ง 0.63% โดยน้ำหนักซึ่งเป็นผลการเติม HZSM-5 ปริมาณเล็กน้อยลงในซัลเฟตเตตระเซอรโคเนียมีส่วนช่วยปรับปรุง

อราดา วงศ์สกุลลักษณ์ (2547) ศึกษาการแตกตัวของพอลิสไตรีนใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด HZSM-5 เหล็กบนถ่านกัมมันต์ และ Co-Mo/Al₂O₃ ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาด 75 มิลลิลิตร โดยมีตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิ 350 – 400 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 – 180 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 – 5 บาร์ และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0.1 – 1% โดยน้ำหนัก เหล็กบนถ่านกัมมันต์ และ Co-Mo/Al₂O₃ 1 – 5% โดยน้ำหนัก พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวพอลิสไตรีนใช้แล้วที่ให้แนวโน้มของค่ากระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันได้ดีที่สุดเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด HZSM-5 คืออุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ได้ร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมัน 88.3 และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ได้ร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมัน 88.7 และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด Co-Mo/Al₂O₃ พบว่าอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 370 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ได้ร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมัน 91.2

Walendziewski J (2005) นำของเสียจำพวกพอลิเอทิลีนและพอลิสไตรีนมาผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยความร้อนและด้วยไฮโดรเจนใน closed autoclaves ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์พบว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวและดีเซลช่วงจุดเดือดที่ต้องมีการเติมไฮโดรเจนเข้าไปโดยในการทดลองใช้แพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิเอทิลีนและพอลิสไตรีนคือที่อุณหภูมิ 410 – 430 องศาเซลเซียส ถ้าใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้ไฮโดรเจนจะสามารถทำได้ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าคือ 390 องศาเซลเซียสและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 1.5 ชั่วโมงโดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ได้เป็นแก๊สและของเหลวที่จุดเดือดต่ำกว่า 360 องศาเซลเซียส

นิศา วิสุทธิรังสีอุไร (2549) ศึกษากระบวนการแตกตัวของพอลิสไตรีน และน้ำมันพีซีใช้แล้วใน เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมัน และ องค์ประกอบที่ดีที่สุด ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิ 350-600 องศาเซลเซียส, อัตราส่วนระหว่าง น้ำมันพีซีใช้แล้วและพอลิสไตรีน 100:0 90:10 80:20 70:30 60:40 โดยน้ำหนัก และอัตราการไหลเข้า 4.14, 9.04, 15.49 กรัมต่อนาที และทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีจำลอง การกลั่น พบว่าภาวะที่ส่งผลต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันพีซีใช้แล้วที่

ทำให้เกิดปริมาณ ร้อยละแนฟตามากที่สุดคืออุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที ได้ปริมาณแนฟ ทาร้อยละ 41.15 เคโรซีนร้อยละ 8.72 แก๊สออยล์เบาร้อยละ 28.26 แก๊สออยล์หนักร้อยละ 9.92 กาก น้ำมันร้อยละ 11.12 และพบว่าภาวะที่ส่งผลต่อการแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีนและน้ำมันพีซี แล้วทำให้เกิดปริมาณร้อยละของแนฟตามากที่สุด คือ อัตราส่วนของน้ำมันพีซีแล้วและพอลิสไตรีน 60:40 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 9.04 กรัมต่อนาที ได้ปริมาณแนฟทาร้อย ละ 70.38 เคโรซีนร้อยละ 6.26 แก๊สออยล์เบาร้อยละ 14.49 แก๊สออยล์หนักร้อยละ 3.33 กากน้ำมันร้อยละ 3.43 เมื่อทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันโดยเครื่อง FTIR พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันหลักเป็นแอโรแมติก ไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับหมู่ฟังก์ชันหลักในน้ำมันเบนซินออกเทน 95 แล้วพบว่ามีหมู่แอโรแมติก ไฮโดรคาร์บอนที่คล้ายคลึงกัน

พัชรกันย์ สุขามาลาวงษ์ (2552) ศึกษาการแตกตัวของพอลิเอทิลีนและพอลิพรอพิลีน ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว ทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ขนาด 70 มิลลิลิตร ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิ 400-460 องศา เซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 30-75 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์ และปริมาณของตัวเร่ง ปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วร้อยละ 1-5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักพบว่า ภาวะที่เหมาะสม ในการแตกตัวของพอลิเอทิลีน คืออุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 75 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว 1 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก และความไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ ให้ ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เกิดการแตกตัว 86.75 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก มีปริมาณสัดส่วนของแนฟทาและดีเซล 31.73 และ 23.09 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวพอลิพรอพิลีน คือ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว 1 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ ภาวะการทดลองนี้ให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เกิด การแตก ตัว 78.73 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีปริมาณสัดส่วนของแนฟทาและดีเซล 51.26 และ 17.39 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ประสิทธิภาพการแตกตัวของน้ำมันพีซีแล้วเป็นก๊าซโซลีนได้มากขึ้น แบบจำลอง จลนพลศาสตร์ของการแตกตัวน้ำมันพีซีแล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยาแบบผสม HZSM-5 และซัลเฟตเตต เซอร์โคเนียมเป็นปฏิกิริยาลำดับสองที่มีค่าพลังงานกระตุ้นเป็น 116.072 กิโลจูลต่อโมล และค่า pre-exponential เท่ากับ 2.67×10^5 ต่อวินาที

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลว โดยการแตกของพอลิพรอฟิลีนและพอลิสไตรีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว และทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้เพื่อหาภาวะของการทดลองที่ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์น้ำมัน และองค์ประกอบที่ดีที่สุด

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก (micro-reactor) รูปทรงกระบอกปริมาตร 70 มิลลิตร ทำจากเหล็กกล้าเหนียวไร้สนิม SS 316 โดยด้านบนมีชุดฝาปิดทำจากสแตนเลส มีชุดอุปกรณ์สำหรับอัดแก๊สและวาล์วนิรภัย สามารถทำการทดลองภายใต้ภาวะที่ทนความร้อนได้ถึง 500 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคาล มีเทอร์โมคัปเปิลทางด้านบนสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างการทำการทดลอง

3.1.2 ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล (temperature controller) ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังขดลวดความร้อนและตัวจ่ายกระแสเมื่อได้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ มีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิได้ในระดับ ± 10 องศาเซลเซียส

3.1.3 ขดลวดความร้อนแบบ injection แรงดัน 220 โวลต์ กำลัง 600 วัตต์

3.1.4 เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ เป็นแบบเค (k-type) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร

3.1.5 ชุดควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ โดยมีมอเตอร์เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนแกนหมุนให้เครื่องปฏิกรณ์เกิดการแกว่ง สามารถปรับความเร็วรอบการเขย่าได้จากชุดควบคุมความเร็ว

3.1.6 ชุดกรองสูญญากาศ ประกอบด้วยชุดเครื่องแก้วต่อกับเครื่องดูดอากาศ เพื่อทำการกรองแยกแบบสูญญากาศ สำหรับแยกส่วนของผลิตภัณฑ์ของเหลวออกจากส่วนที่เป็นกากของแข็ง โดยผ่านการกรองด้วยแผ่นกระดาษกรองใยแก้ว

3.1.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก ชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.1.8 นาฬิกาจับเวลา

3.1.9 เตาอบ

3.1.10 ตู้ดูดความชื้น

3.1.11 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟจำลองการกลั่น (simulation distillation gas chromatograph)

3.1.12 เครื่องแก้ว ประกอบด้วย ปีกเกอร์ กรวยกรอง ขวดใส่สารตัวอย่าง

3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี

3.2.1 เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน	จากบริษัทวิศวกรรมพลาสติก จำกัด
3.2.2 เม็ดพลาสติกพอลิสไตรีน	จากบริษัทวิศวกรรมพลาสติก จำกัด
3.2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว	จากบริษัทไทยออยล์ จำกัด
3.2.4 แก๊สไฮโดรเจน 99.99%	จากบริษัท TIG Trading จำกัด

3.3 การดำเนินงานวิจัย

3.3.1 ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการแตกตัวของพอลิสไตรีนและพอลิพรอพิลีน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว โดยวางรูปแบบการทดลองและมีตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น

ตาราง 3 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปร	ระดับ		หน่วย
	ระดับต่ำ (-)	ระดับ(+)	
A = อุณหภูมิ	400	450	องศาเซลเซียส
B = เวลา	30	60	นาที
C = ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น	1	5	บาร์

3.3.2 ขอบเขตของการทำการทดลอง

ตาราง 4 ขอบเขตของการทดลอง (ปรับปรุงจาก ปารเมศ,2548)

Treatment	Factor				Factor Level	
	A	B	C		Low(-)	High(+)
1	-	-	-	A(⁰ C)	400	450
2	-	-	+	B (min)	30	60
3	-	+	-	C (bar)	1	5
4	-	+	+			
5	+	-	-			
6	+	-	+			
7	+	+	-			
8	+	+	+			

3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบและสารตั้งต้น

1. นำพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีน ไปอบไล่ความชื้นในตู้อบที่มีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียสเพราะเนื่องจากว่าพอลิสไตรีน นั้น มีคุณสมบัติโปร่งแสงและใส มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและดูดความชื้นต่ำ จากนั้นก็นำสารตั้งต้นไปเก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อเตรียมไว้ใช้ในการทดลอง

2. นำตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเพื่อเป็นการกำจัดสารปนเปื้อนที่ไม่ต้องการออกและทำให้เอพซีซีใช้แล้วมีความเสถียรมากขึ้น และมีขนาดของรูพรุนที่เล็กลง เนื่องจากซีโอไลต์ที่มีขนาดของรูพรุนที่เล็กลงจะทนต่ออุณหภูมิที่สูงได้ดีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเก็บในตู้ดูดความชื้น เพื่อเตรียมไว้ใช้ในการทดลอง

3.4.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ชั่งน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีน ในอัตราส่วน 60:40 ทั้งหมด 20 กรัม พร้อมกับเครื่องปฏิกรณ์ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด 2 ตำแหน่ง ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วโดยใช้เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่งในสัดส่วนที่กำหนด แล้วประกอบเครื่องปฏิกรณ์เข้ากับส่วนประกอบต่าง

2. นำเครื่องปฏิกรณ์ไปใส่ในอากาศที่อยู่ภายในออกโดยผ่านแก๊สไฮโดรเจน จากนั้นอัดแก๊สไฮโดรเจนจนได้ความดันที่ต้องการ ทำการตรวจสอบรอยรั่วของแก๊สด้วยน้ำสบู่ความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์

3. นำเครื่องปฏิกรณ์ต่อเข้ากับชุดควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ เทอร์โมคัปเปิ้ล และอุปกรณ์ขดลวดความร้อน จากนั้นหุ้มด้วยฉนวน เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนระหว่างการทดลอง

4. ทำการทดลองและเริ่มจับเวลาตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด เมื่อครบกำหนดแล้วนำฉนวนและขดลวดความร้อนออก ใช้พัดลมเป่าเครื่องปฏิกรณ์จนอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้องจนเปิดฝาดูออก จากนั้นนำเครื่องปฏิกรณ์ไปชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง

5. แยกผลิตภัณฑ์น้ำมันออกจากกากของแข็งด้วยการกรองแบบสุญญากาศเซ็ดทำความสะอาดด้วยกระดาษซับน้ำมันที่ได้ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว จากนั้นนำส่วนที่เป็นของแข็งและกระดาษซับน้ำมันไปอบในตู้อบ dry oven ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วไปชั่งน้ำหนัก

6. นำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง simulated distillation gas chromatography เพื่อวิเคราะห์ค่าการกระจายขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงคาบจุดเดือดที่อุณหภูมิต่างๆ

7. คำนวณร้อยละการเปลี่ยนของสารตั้งต้น

$$\text{ร้อยละผลได้น้ำมัน (\% oil yield)} = \frac{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำมันที่เกิดขึ้น} * 100}{\text{น้ำหนักสารตั้งต้น}} \text{-----}(3.1)$$

ร้อยละผลได้ของเนฟทา (% overall naphtha yield)

$$= \frac{\text{ร้อยละผลได้ของเหลว} \times \text{ร้อยละการกระจายตัวของเนฟทา}}{100} \text{-----}(3.2)$$

ร้อยละการเปลี่ยนของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

$$= \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้นของกากน้ำมันหนัก} - \text{น้ำหนักกากน้ำมันหนักของผลิตภัณฑ์}) \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของกากน้ำมัน}} \text{-----} (3.3)$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการแตกตัวพลาสติกพอลิโพรพิลีนและพอลิพรอพิลีนเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเอฟซีซีใช้แล้ว โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการแตกตัวซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง เวลาในการทำปฏิกิริยา และความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น รวมทั้งศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการทดลองเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์น้ำมันจากปิโตรเลียม

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น

4.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วด้วยเทคนิค XRF โดยใช้เครื่องมือ X-Ray fluorescence spectrometer ที่ห้องปฏิบัติการ วิทยาลัยปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส

Spent FCC (element)	Concentration (%wt weight)	Spent FCC cal 500 ⁰ C(element)	Concentration (%wt weight)
Na	0.58	Na	0.312
Al	42.07	Al	40.304
Si	44.13	Si	42.031
P	0.32	P	0.202
S	0.60	S	0.49
K	0.32	K	0.24
Ca	0.40	Ca	0.37
Ti	3.67	Ti	3.081
V	0.38	V	0.342
Mn	0.23	Mn	0.192
Fe	3.46	Fe	3.285
Ni	1.65	Ni	1.27

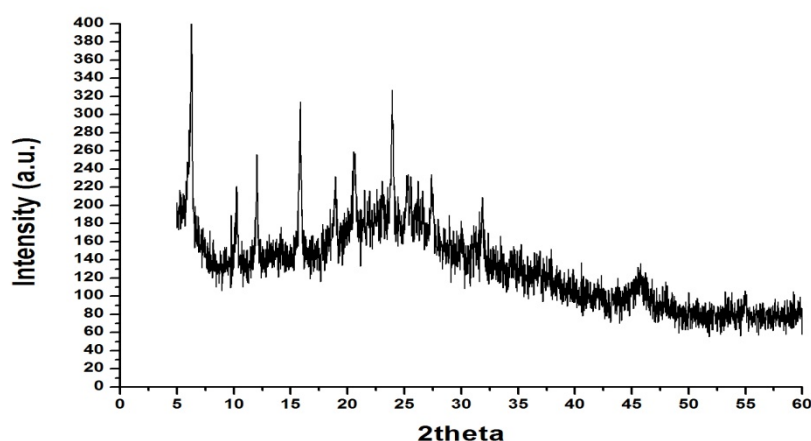
ตาราง 5 (ต่อ)

Spent FCC (element)	Concentration (%wt weight)	Spent FCC cal 500 ⁰ C(element)	Concentration (%wt weight)
Cu	0.195	Cu	0.108
Zn	0.083	Zn	0.072
La	8.29	La	7.056
Ce	0.76	Ce	0.644

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วมีปริมาณ Si และ Al เป็นปริมาณมาก จึงคาดว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทซีโอไลต์ จึงนำตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้มาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD เพื่อตรวจสอบว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ประเภทใด

4.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วด้วยเทคนิค XRD

โดยใช้เครื่องมือ X-ray Diffractometer ที่ห้องปฏิบัติการ วิทยาลัยปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพประกอบ 18 XRD Pattern ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วเผาที่ 550 องศาเซลเซียส

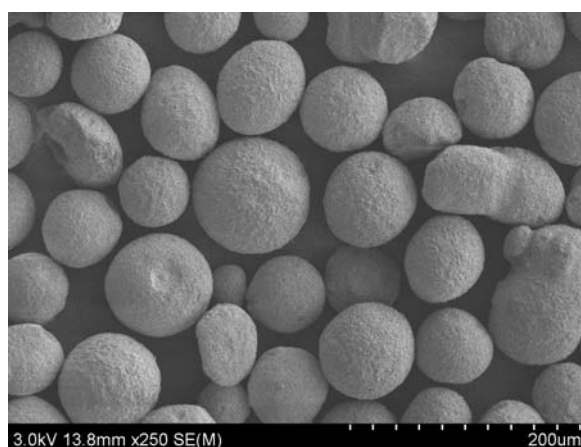
4.1.3 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วและตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสโดยเครื่อง Autosorb-1 ที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตาราง 6 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วและตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส

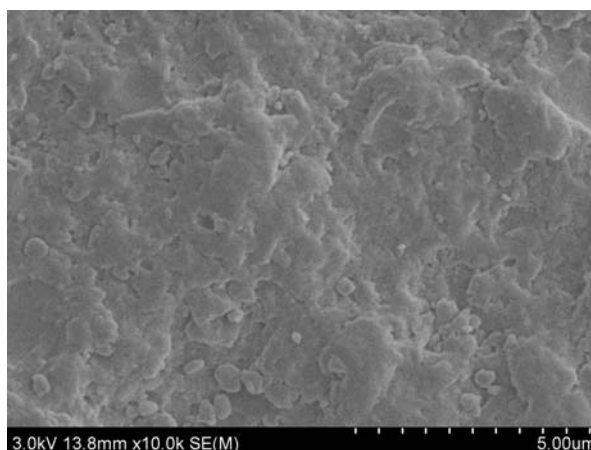
การเผาตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เพื่อ

- ขจัด coke เพื่อเป็นการทำความสะอาด active site ทำให้ประสิทธิภาพของการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดีขึ้น
- ทำให้พื้นที่ผิวรูพรุนเพิ่มขึ้น เนื่องจากจะช่วยให้การเลือกเกิดปฏิกิริยา (selectivity) ดีขึ้น

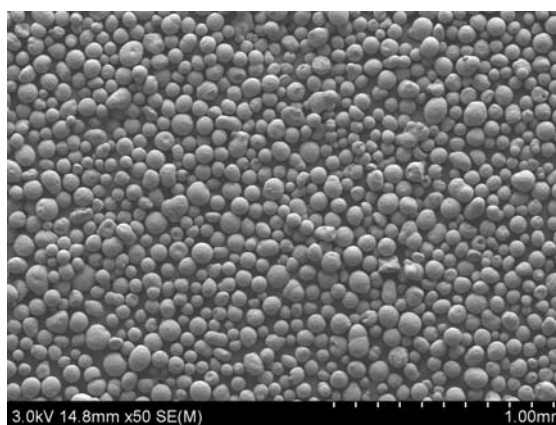
ตัวอย่าง	พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด(S_{BET}) ตารางเมตร/กรัม	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (Average Pore size) นาโนเมตร	ปริมาตรรูพรุน (Pore volume) ลูกบาศก์ เซนติเมตร/กรัม
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว	79.84	6.92	0.13
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ^{°C}	103.65	6.37	0.19



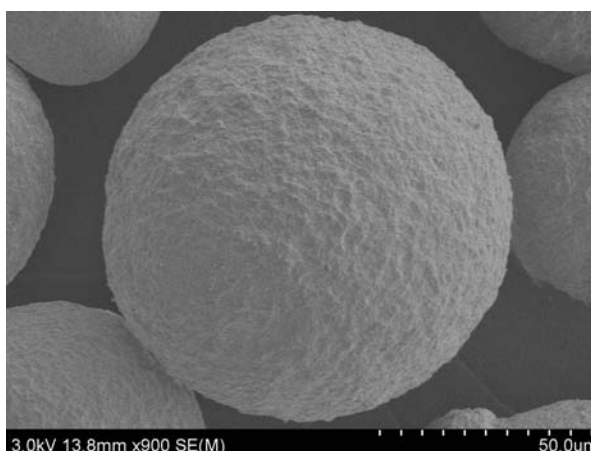
ภาพประกอบ 21 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส (1)



ภาพประกอบ 22 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิที่ 550 องศาเซลเซียส (2)



ภาพประกอบ 23 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิที่ 550 องศาเซลเซียส (3)



ภาพประกอบ 24 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิที่ 550 องศาเซลเซียส (4)

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูปทรงทั้งหมด (surface area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว และตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ตาราง 5 พบว่าการนำตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วมาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ผิวรูปทรงทั้งหมดสูงขึ้น เนื่องจากการเผาเป็นการกำจัดคาร์บอนที่เกิดจากตัวเร่งปฏิกิริยาได้บางส่วนทำให้พื้นที่ผิวรูปทรงทั้งหมดสูงขึ้น

4.2 การกำหนดภาวะที่ใช้ในการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

ภาวะที่เลือกใช้ในการทดลองคือ อุณหภูมิ 400-450 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 - 60 นาที ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1-5 บาร์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักและอัตราส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีน คือ 60 : 40 การเลือกในช่วงอุณหภูมิที่ตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียสขึ้นไป เนื่องจากลองทำปฏิกิริยาการแตกตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 400 องศาเซลเซียส พบว่าผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนเป็นแว็กซ์แต่เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียสขึ้นไป พบว่าไม่เกิดปัญหาดังกล่าว และอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 450 องศาเซลเซียส เนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิสูงมากจะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นแก๊สได้มากซึ่งไม่ต้องการและเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน การเลือกระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 30 - 60 นาที เพื่อให้เห็นความแตกต่างของผลการทดลอง ส่วนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มากกว่า 60 นาที จะทำให้เกิดแก๊สมากเกินไป การเลือกปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามีบทบาทในการส่งเสริมการแตกตัวทำแต่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณมากเกินไปส่งผลให้เกิดแก๊สมากขึ้น(พัชรกันย์,2552) การเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเอพซีซีใช้แล้วเนื่องจากโดยทั่วไปตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในโรงกลั่นน้ำมันสำหรับเปลี่ยนแนฟทาเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สโอเลฟินส์ ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วจึงสูญเสียความสามารถในการเกิดแก๊ส เกิดแก๊สได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการในงานวิจัยที่ต้องการให้เกิดแก๊สน้อย ได้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลวมาก จึงนำตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วมาใช้ในการงานวิจัย และการเลือกช่วงของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 - 5 บาร์ เนื่องจากถ้าเติมแก๊สไฮโดรเจนมากและเมื่อรวมกับแก๊สที่เกิดขึ้นภายในระบบทำให้ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบ batch มีความดันแก๊สสูงส่งผลให้แก๊สเกิดการรั่วไหล ดังนั้นจึงต้องกำหนดช่วงของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นอยู่ในขอบเขตที่จำกัด

4.3 ผลการทดลองที่ได้จากปฏิบัติการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

ปฏิบัติการการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว ทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยออกแบบการทดลองเป็น 2^3 แฟกทอเรียล ทำการทดลองซ้ำ แสดงในตาราง 7 พบว่าค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันอยู่ในช่วง 51.57 – 80.40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ภาพประกอบ 25 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ นำมาสร้างเป็น normal probability plot พบว่า ตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรงคือ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อันตรกิริยาของอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และอันตรกิริยาของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น อุณหภูมิ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา แสดงให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

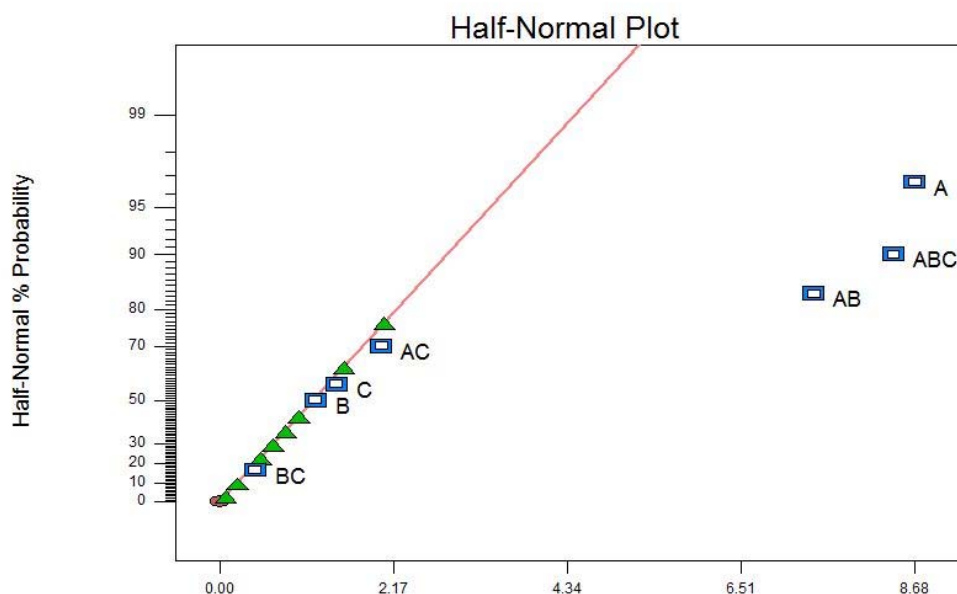
ตาราง 7 แสดงร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากปฏิบัติการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3

Treatment	Factor			%yield of Liquid		Factor Level	
	A	B	C			Low(-)	High(+)
1	-	-	-	75.21	A ($^{\circ}$ C)	400	450
2	-	-	-	70.34			
3	-	-	+	72.08	B (min)	30	60
4	-	-	+	69.98			
5	-	+	-	67.92	C (bar)	1	5
6	-	+	-	62.81			
7	-	+	+	80.40			
8	-	+	+	78.71			
9	+	-	-	67.46			
10	+	-	-	62.79			
11	+	-	+	66.33			
12	+	-	+	64.40			
13	+	+	-	75.46			
14	+	+	-	69.55			
15	+	+	+	54.48			
16	+	+	+	51.57			

การออกแบบการทดลองแบบ 2^k เป็นการออกแบบการทดลองที่ทำให้จำนวนครั้งในการทดลองน้อยและครอบคลุมถึงตัวแปรที่ต้องการศึกษาครบถ้วน สำหรับการทดลองนี้ทำเพื่อตรวจสอบหาปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองของการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้วโดยตัวแปรหลักที่ต้องการศึกษา คือ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ในการทดลองนี้ได้ออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 ซึ่งจำนวนระดับชั้นเสรีสำหรับการทดลองปัจจัยของ 2^3 เท่ากับ 7 ซึ่งประกอบไปด้วยระดับชั้นความเสรีของ A,B,C และอันตรกิริยาของ AB,AC,CB และ ABC โดยในที่นี้ A คืออุณหภูมิ B คือ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น และ C คือ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา แสดงข้อมูลในตาราง 7

ตาราง 8 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

การทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตัวแปร ระยะเวลาในการทำ ปฏิกิริยา(นาที)	ความดันไฮโดรเจน เริ่มต้น(บาร์)	ร้อยละผลได้ ผลิตภัณฑ์น้ำมัน
1	400	30	1	75.21
2				70.34
3		30	5	62.81
4				67.92
5	400	60	1	69.98
6				72.08
7		60	5	80.40
8				78.71
9	450	30	1	67.46
10				62.49
11		30	5	75.46
12				67.55
13	450	60	1	66.33
14				64.40
15		60	5	51.57
16				54.48
17	425	45	3	73.18
18				64.52



ภาพประกอบ 25 Half Normal Probability Plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันจากปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว

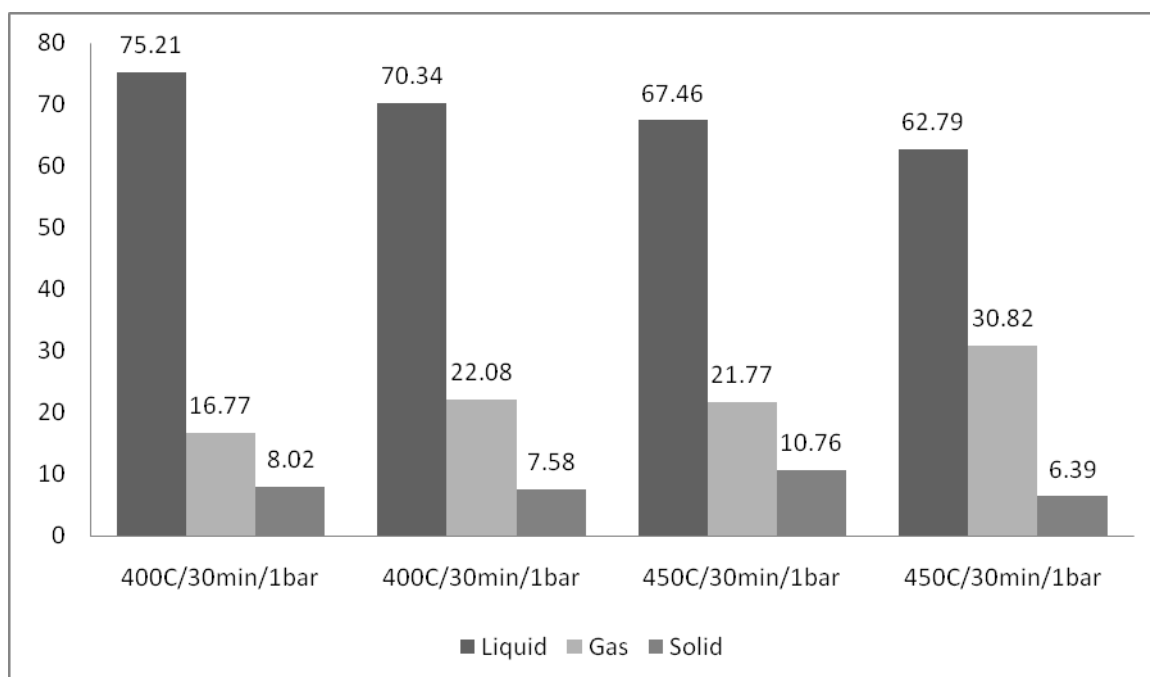
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบว่า อุณหภูมิ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น อันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นและอุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Design-Expert 8.0.5 บ่งบอกว่าปัจจัยที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.05 ปัจจัยนั้นจะมีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิ อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นและอุณหภูมิ เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันอย่างมีนัยสำคัญแสดงข้อมูลในตาราง 9

ตาราง 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากปฏิกิริยาแตกตัวของ
พอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

Source	Sum of Square	Degree of Freedom	Mean Square	F Value	Prob > F Value
Model	835.96	7	119.42	10.09	<0.0020
A – Temp	301.11	1	301.11	25.45	0.0010
B – Time	5.75	1	5.75	0.49	0.5055
C – Pressure	8.54	1	8.54	0.72	0.4202
AB	220.30	1	220.30	18.62	0.0026
AC	16.30	1	16.30	1.38	0.2742
BC	0.80	1	0.80	0.067	0.8018
ABC	283.16	1	283.16	23.93	0.0012
Error	94.65	8	11.83		
Total	930.61	17			

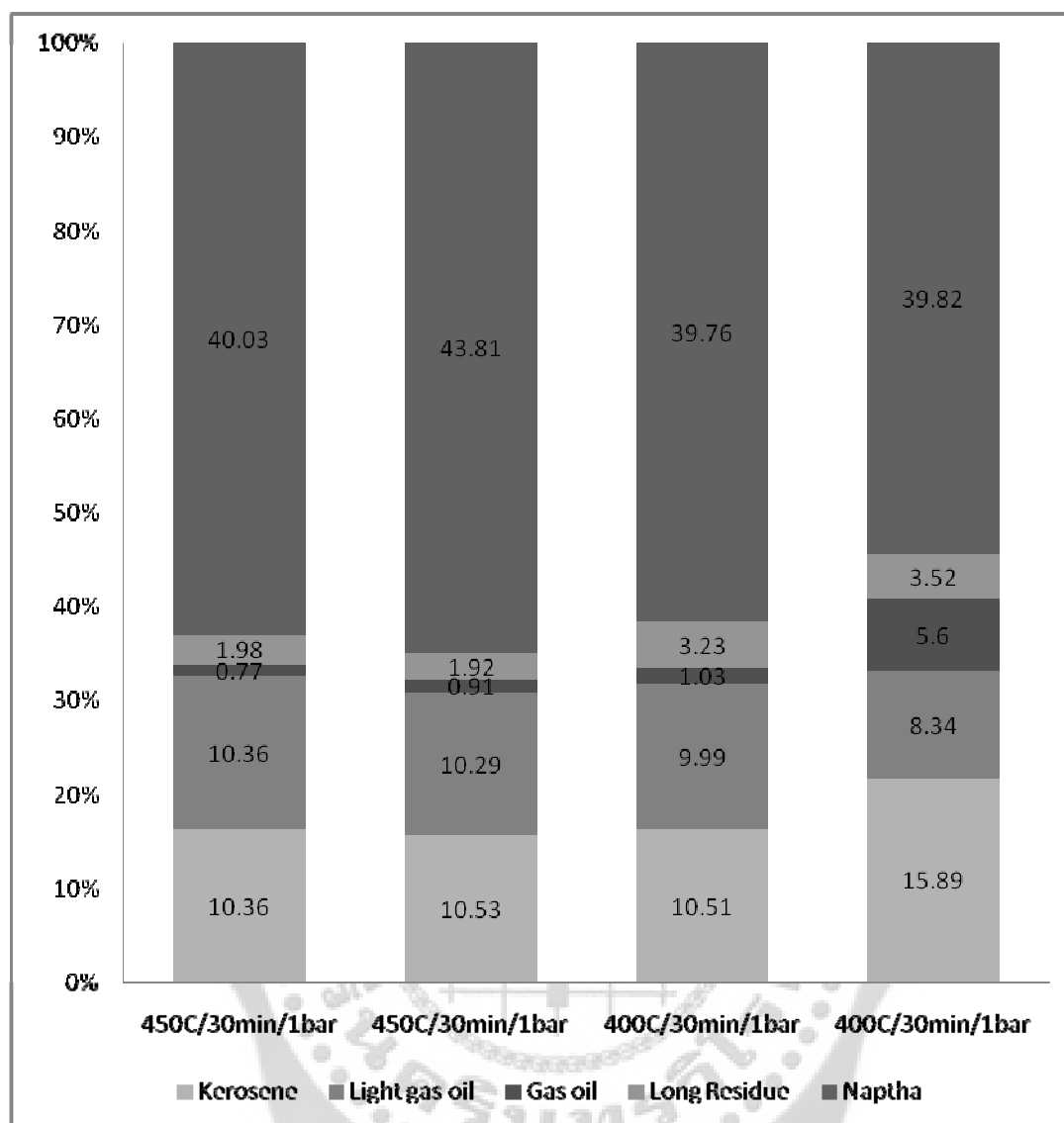
4.3.1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

การศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีน ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 และ 450 องศาเซลเซียสภายใต้ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพประกอบ 26 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400 ถึง 450 องศาเซลเซียส ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันลดลงจาก 75.21 เป็น 62.79 ร้อยละผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 16.77 เป็น 30.82 เนื่องมาจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการแตกย่อยโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจนได้โมเลกุลขนาดเล็กจนอยู่ในรูปแก๊สมากเกินไป จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดเป็นแก๊สได้มากขึ้น และได้ปริมาณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันน้อยลงด้วย



ภาพประกอบ 26 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ที่ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

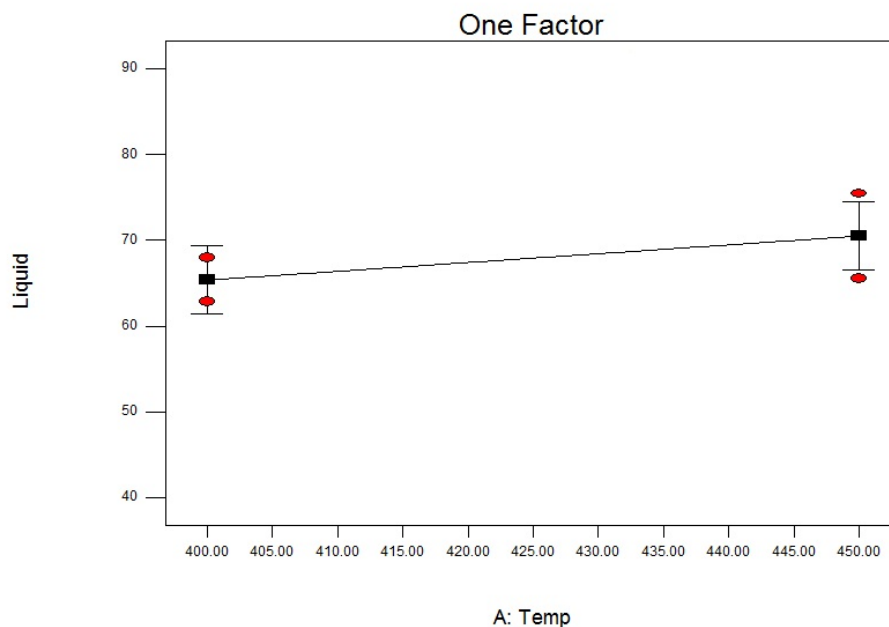
เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันเพื่อหาค่าการกระจายตัวตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพประกอบ 27 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ร้อยละผลได้ของเนฟทาจะเพิ่มขึ้นจาก 39.76 ถึง 43.81 และร้อยละผลได้ของกาน้ำมันหนักมีแนวโน้มลดลงจาก 3.52 เป็น 1.92 ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อน อันเป็นผลจากการให้อุณหภูมิสูงแก่ระบบ เมื่ออุณหภูมิลดลงสูงขึ้นจะทำให้สารตั้งต้นที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่แตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ดีขึ้น จึงมีปริมาณเนฟทามากขึ้นด้วยโดยที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสจะให้ร้อยละผลได้ของเนฟทามากที่สุด คือ ร้อยละ 43.81 และที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณร้อยละผลได้ของเนฟทาลดลง คือ ร้อยละ 39.76



ภาพประกอบ 27 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของพอลิพรอฟิลีนและพอลิสไตรีน ด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatograph ที่อุณหภูมิ 400 -450 องศาเซลเซียส ด้วยความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

ผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของน้ำมันจากการทดลองที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาทีและความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ จาก ภาพประกอบ 28 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 96.14 เป็น 97.89 โดยน้ำหนัก เป็นผลมาจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการแตกโมเลกุลของสารประกอบ

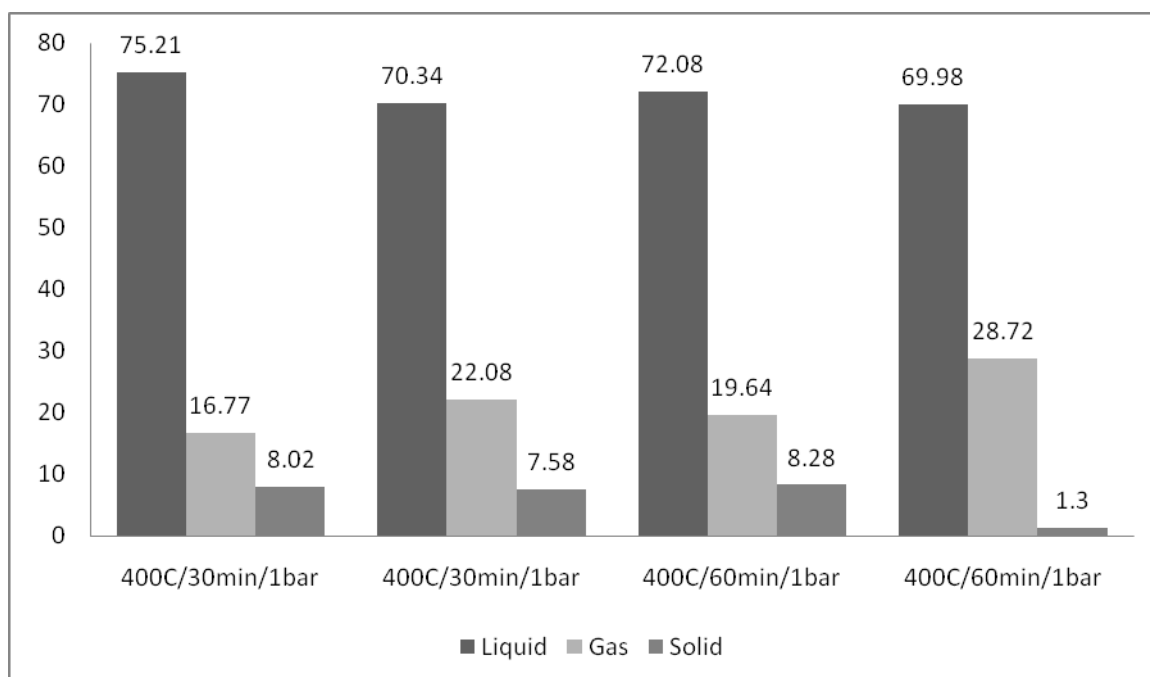
ไฮโดรคาร์บอนให้มีขนาดเล็กลง เกิดเป็นสัดส่วนของ แนฟทา เคโรซีน แก๊สออยล์ ซึ่งสัดส่วนเหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์น้ำมันปิโตรเลียม



ภาพประกอบ 28 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

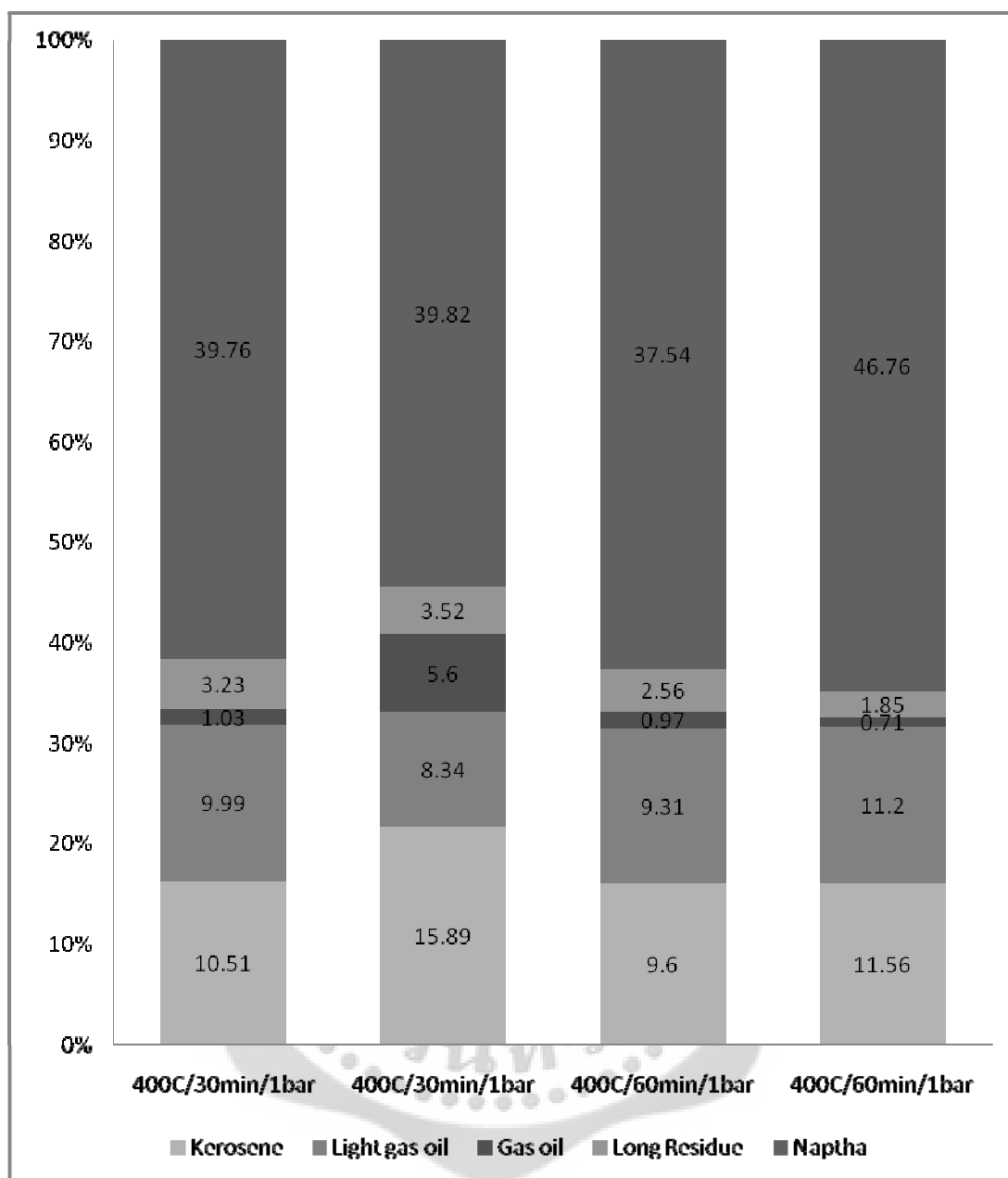
4.3.2 การศึกษาอิทธิพลของเวลาที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอฟิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว

ศึกษาถึงอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์น้ำมัน โดยทำการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างๆ กัน ตั้งแต่ 30-60 นาที ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ จากผลการทดลองที่เวลา 30 และ 60 นาที พบว่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันเป็น 75.21 70.34 72.08 และ 69.98ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 29 จะเห็นว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จะลดลงโดยเปลี่ยนเป็นร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาขึ้นจาก 30-60 นาทีร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊สเพิ่มขึ้นจาก 16.77 เป็น 28.72 ทั้งนี้เนื่องมาจากการให้ความร้อนแก่ระบบเป็นเวลานานตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดปฏิกิริยาส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อน ทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวเกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลงและอยู่ในสภาพที่เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น



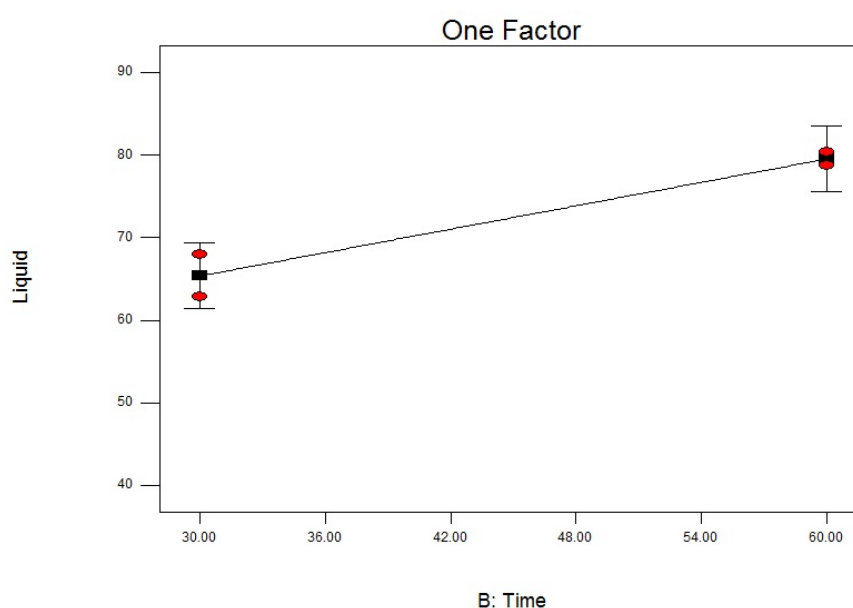
ภาพประกอบ 29 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ อุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียส

เมื่อนำผลิตภัณฑ์น้ำมันมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าการกระจายตัวตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปประกอบ 4.13 เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างกัน พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 30 เป็น 60 นาที ปริมาณเนฟทาเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 39.76 เป็นร้อยละ 46.76 ทั้งนี้เนื่องมาจากการให้ความร้อนแก่ระบบเป็นเวลานานตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดปฏิกิริยาส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวเกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลงและอยู่ในสภาพที่เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น



ภาพประกอบ 30 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของ
พอลิพรอฟีลีนและพอลิสไตรีน ด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatograph ที่
เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 – 60 นาที อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ด้วยความดันแก๊ส
ไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์

การศึกษาผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากการทดลองที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ จากรูปประกอบ 31 พบว่าเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 30 นาทีเป็น 60 นาทีค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน เพิ่มขึ้นจาก 96.14 เป็น 97.98 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการแตกสายโมเลกุล ให้กลายเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโมเลกุลขนาดเล็กลง เกิดเป็นสัดส่วนของ แนฟทา เครโซลีน แก๊สออยล์ เนื่องจากที่เวลาสูงขึ้นทำให้โมเลกุลเกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลงและอยู่ในสภาพที่เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น

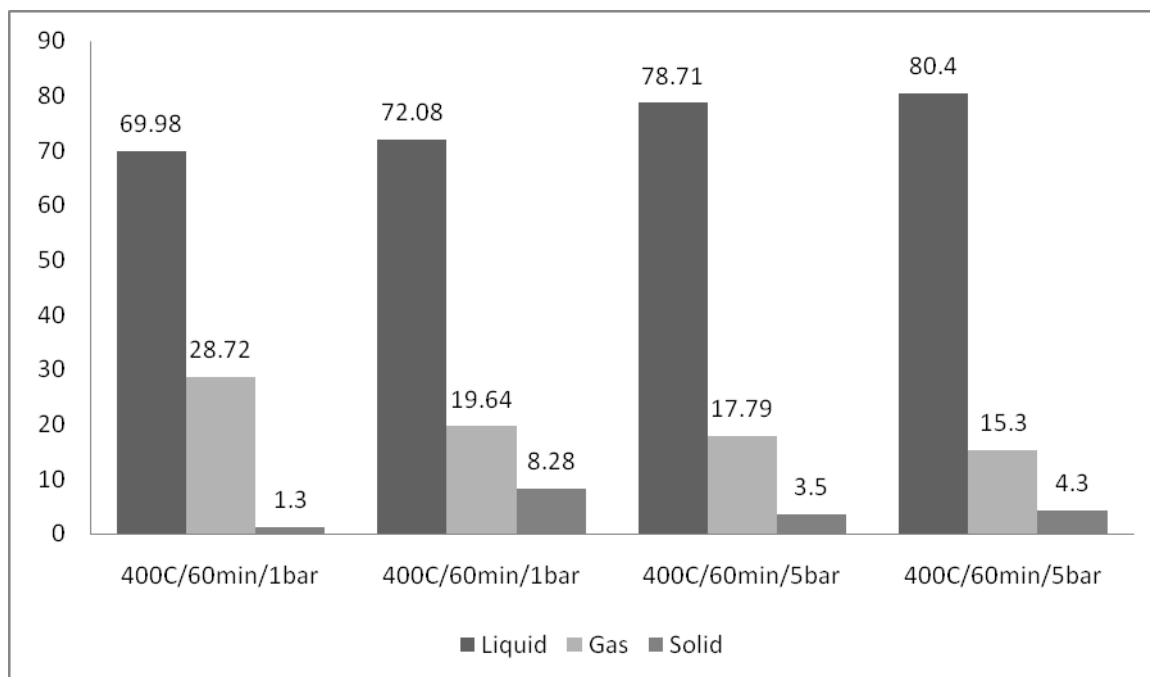


ภาพประกอบ 31 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์

4.3.3 การศึกษาอิทธิพลของความดันที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว

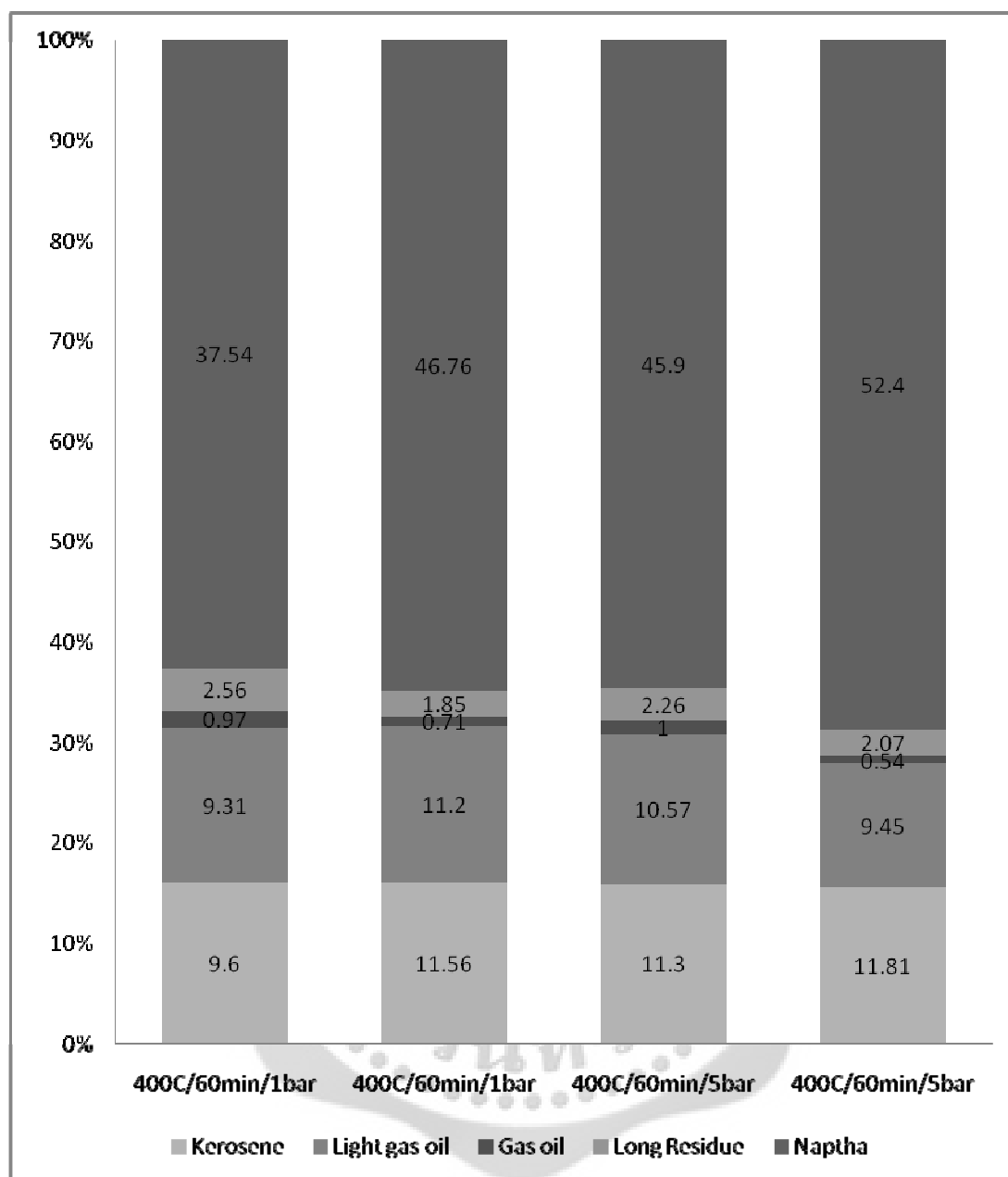
ศึกษาผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 – 5 บาร์ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเวลา 60 นาที ซึ่งแสดงดังรูปประกอบ 32 พบว่าเมื่อเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นจาก 1 บาร์ไปเป็น 5 บาร์ ส่งผลให้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันเพิ่มขึ้นจาก 69.98 เป็น 80.40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากการอัดความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นเป็นการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเพื่อช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาการแตกตัว ทำให้เกิดปฏิกิริยาถ่ายโอนไฮโดรเจน ดังนั้นการเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นไปเป็น 5 บาร์ จึง

ส่งผลให้มีการแตกตัวของพลาสติกไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวมากขึ้นเมื่อเทียบกับการอัดความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์



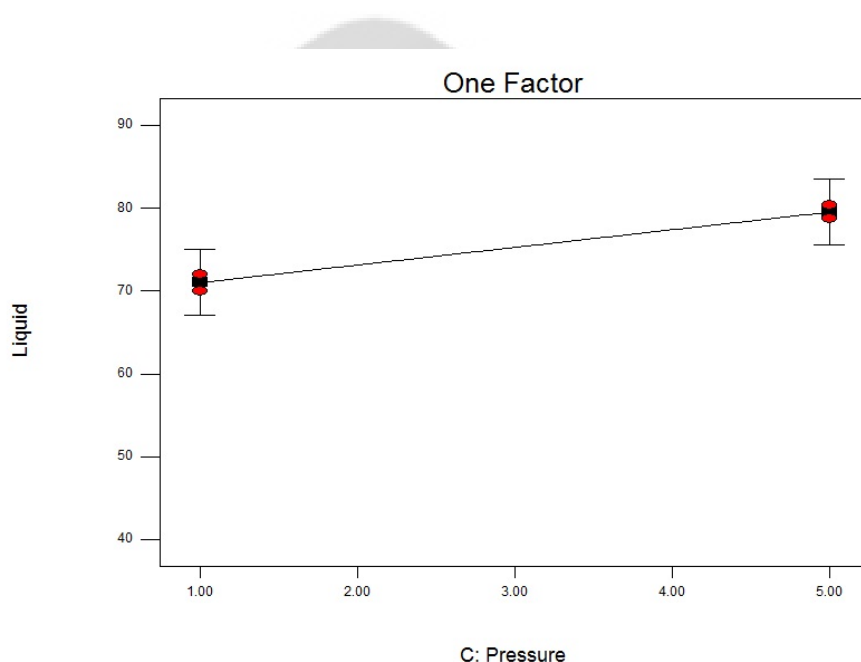
ภาพประกอบ 32 ผลของความดันของแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที

เมื่อนำผลิตภัณฑ์น้ำมันมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าการกระจายตัวตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปประกอบ 33 เมื่อความดันของแก๊สไฮโดรเจนต่างกันพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณความดันของแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นจาก 1 บาร์ เป็น 5 บาร์ปริมาณเนฟทาเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 37.54 เป็นร้อยละ 52.40 ทั้งนี้เนื่องมาจากการอัดความดันของแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นแก่ระบบเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณไฮโดรเจนเพิ่มตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดปฏิกิริยาส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวเกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลงและอยู่ในสภาพที่เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น



ภาพประกอบ 33 การวิเคราะห์การกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากการแตกตัวของ
พอลิพรอฟีลีนและพอลิสไตรีน ด้วยเครื่อง Simulate Distillation Gas Chromatograph
ที่มีปริมาณความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นที่ 1 – 5 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที
อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

การศึกษาผลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นในการทำปฏิกิริยาต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากการทดลองที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที จากภาพประกอบ 34 พบว่าเมื่อความดันของแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นเพิ่มขึ้นจาก 1 บาร์เป็น 5 บาร์ค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมัน เพิ่มขึ้นจาก 97.20 เป็น 97.73 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเมื่อความดันของแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการแตกสายโมเลกุล ให้กลายเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโมเลกุลขนาดเล็กลง เกิดเป็นสัดส่วนของ แนฟทา เคโรซีน แก๊สออยล์ เนื่องจากที่เวลาสูงขึ้นทำให้โมเลกุลเกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลงและอยู่ในสภาพที่เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น



ภาพประกอบ 34 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นในการทำปฏิกิริยาต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์

4.3.4 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของแนฟทาจากปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอฟีลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

ปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอฟีลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว ทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยออกแบบการทดลองเป็น 2^3 แฟกทอเรียล ทำการทดลองซ้ำ แสดงในตาราง 10 พบว่าค่าร้อยละผลได้ของแนฟทาอยู่ในช่วง 27.24 – 53.37 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในภาพประกอบ 35 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆนำมาสร้างเป็น Normal probability plot พบว่า ตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรงคือ อันตรกิริยาของอุณหภูมิและความดัน

แก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น และอันตรกิริยาของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น อุณหภูมิ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา แสดงให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของ แนฟทา

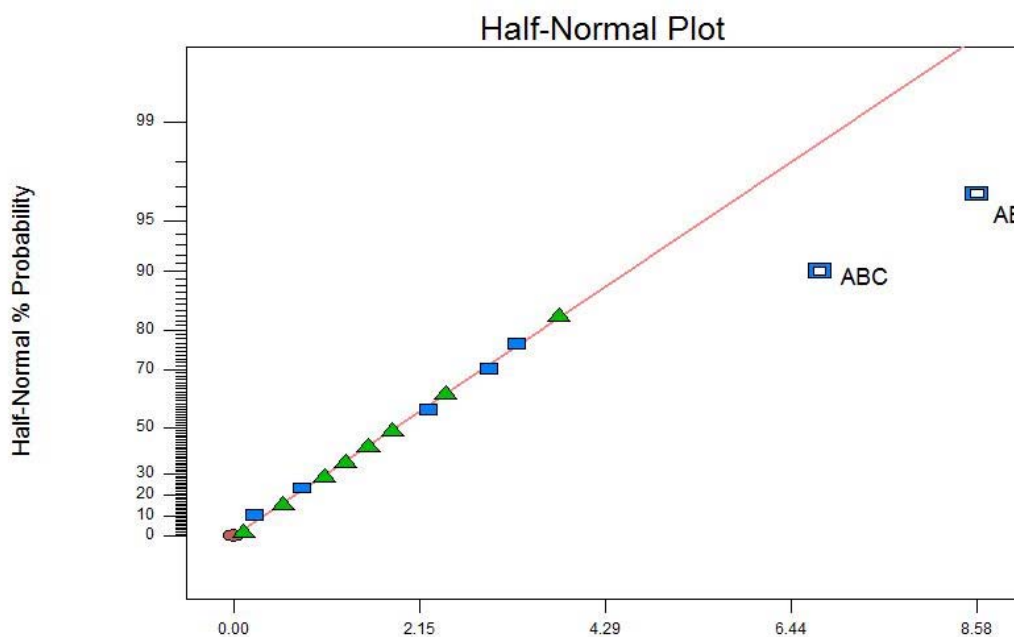
ตาราง 10 แสดงร้อยละผลได้ของแนฟทาจากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล แบบ 2^3

Treatment	Factor			%yield of Naphtha		Factor Level	
	A	B	C			Low(-)	High(+)
1	-	-	-	39.82	A(°C)	400	450
2	-	-	-	39.76			
3	-	-	+	37.54	B (min)	30	60
4	-	-	+	46.76			
5	-	+	-	27.24	C (bar)	1	5
6	-	+	-	42.43			
7	-	+	+	52.40			
8	-	+	+	45.90			
9	+	-	-	43.81			
10	+	-	-	40.03			
11	+	-	+	40.66			
12	+	-	+	33.64			
13	+	+	-	48.91			
14	+	+	-	30.00			
15	+	+	+	27.57			
16	+	+	+	30.22			

การออกแบบการทดลองแบบ 2^k เป็นการออกแบบการทดลองที่ทำให้จำนวนครั้งในการทดลองน้อยและครอบคลุมถึงตัวแปรที่ต้องการศึกษาครบถ้วน สำหรับการทดลองนี้ทำเพื่อตรวจสอบหาปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองของการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วโดยตัวแปรหลักที่ต้องการศึกษา คือ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ในการทดลองนี้ได้ออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 ซึ่งจำนวนระดับขั้นเสรีสำหรับการทดลองปัจจัยของ 2^3 เท่ากับ 7 ซึ่งประกอบไปด้วยระดับขั้นความเสรีของ A,B,C และอันตรกิริยาของ AB,AC,CB และ ABC โดยในที่นี้ A คืออุณหภูมิ B คือ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น และ C คือ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา แสดงข้อมูลในตาราง 10

ตาราง 11 ร้อยละผลได้ของแนฟทาจากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

การ ทดลอง	ตัวแปร			ร้อยละผลได้ ของแนฟทา
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาในการทำ ปฏิกิริยา(นาที)	ความดันไฮโดรเจน เริ่มต้น(บาร์)	
1	400	30	1	39.82
2				39.76
3				27.24
4	400	30	5	42.43
5				37.54
6				46.76
7	400	60	1	52.40
8				45.90
9				43.81
10	450	30	1	40.03
11				48.91
12				30.00
13	450	60	1	40.66
14				33.64
15				27.57
16	450	60	5	30.22
17				53.37
18				49.37



ภาพประกอบ 35 แสดง Half Normal Probability Plot ของร้อยละผลได้ของแฉกจากปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

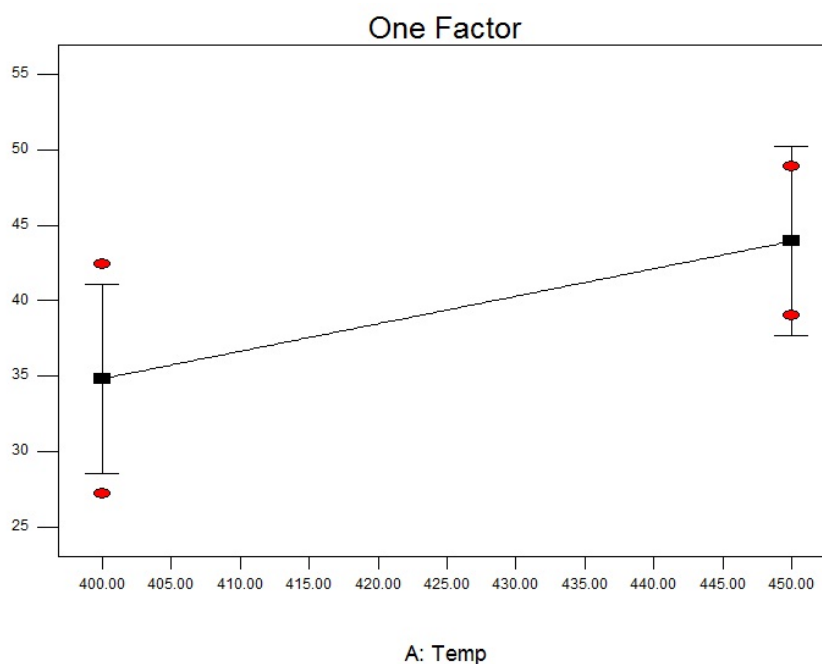
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น อันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นและอุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของแฉก จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Design-Expert 8.0.5 จะบ่งบอกว่าปัจจัยที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.05 ปัจจัยนั้นจะมีผลต่อร้อยละผลได้ของแฉก แสดงให้เห็นว่า อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น อันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นและอุณหภูมิ เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของแฉกอย่างมีนัยสำคัญแสดงข้อมูลในตาราง 12

ตาราง 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของแนฟทาจากปฏิกิริยาแตกตัวของ
พอลิพรอฟิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

Source	Sum of Square	Degree of Freedom	Mean Square	F Value	Prob > F Value
Model	578.67	7	82.67	2.81	0.0854
A – Temp	34.93	1	34.93	1.19	0.3075
B – Time	0.24	1	0.24	7.99E-003	0.9309
C – Pressure	20.30	1	20.30	0.69	0.4302
AB	294.47	1	294.47	10.01	0.0133
AC	42.90	1	42.90	1.46	0.2616
BC	2.51	1	2.51	0.085	0.7775
ABC	183.33	1	183.33	6.23	0.0371
Error	235.25	8	29.41		
Total	813.92	17			

4.3.4.1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของแนฟทาจากปฏิกิริยา การแตกตัวของพอลิพรอฟิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

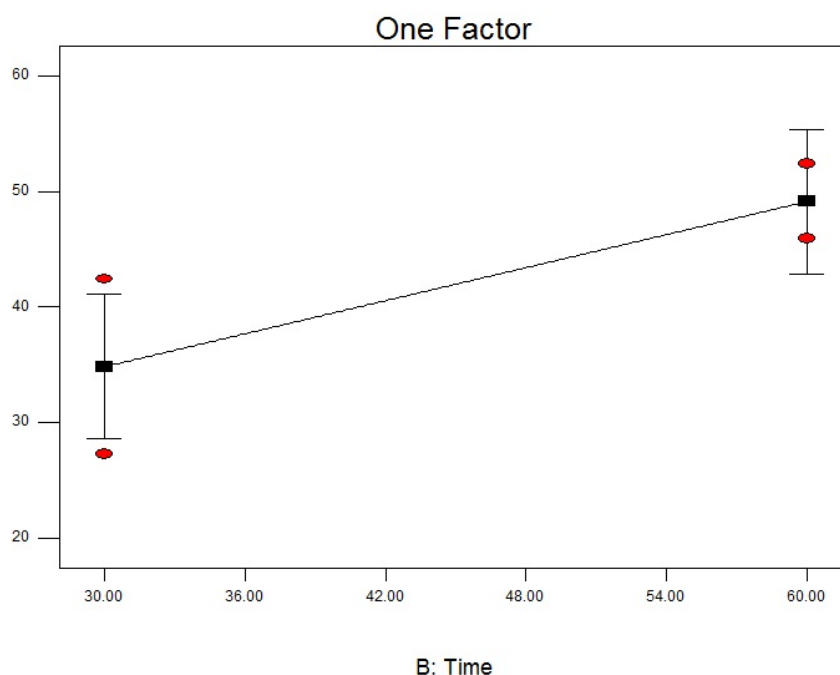
ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของแนฟทา ผลการทดลองที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ ซึ่งแสดงดังภาพประกอบ 36 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400 องศาเซลเซียสจนถึงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ทำให้สัดส่วนของแนฟทาเพิ่มขึ้นจาก 39.76 เป็น 43.81 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก เนื่องมาจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อน อิทธิพลของอุณหภูมิจึงมีผลอย่างมากต่อการแตกตัวของสายโซ่ขนาดใหญ่ไปเป็นขนาดกลางและขนาดเล็ก เวลาในการทำการทดลองดำเนินต่อไป และอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้โมเลกุลขนาดกลาง แตกตัวไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็กลง ส่งผลให้ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบ 36 ผลของอุณหภูมิต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของแนฟทา

4.3.4.2 การศึกษาอิทธิพลของเวลาที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของแนฟทาที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

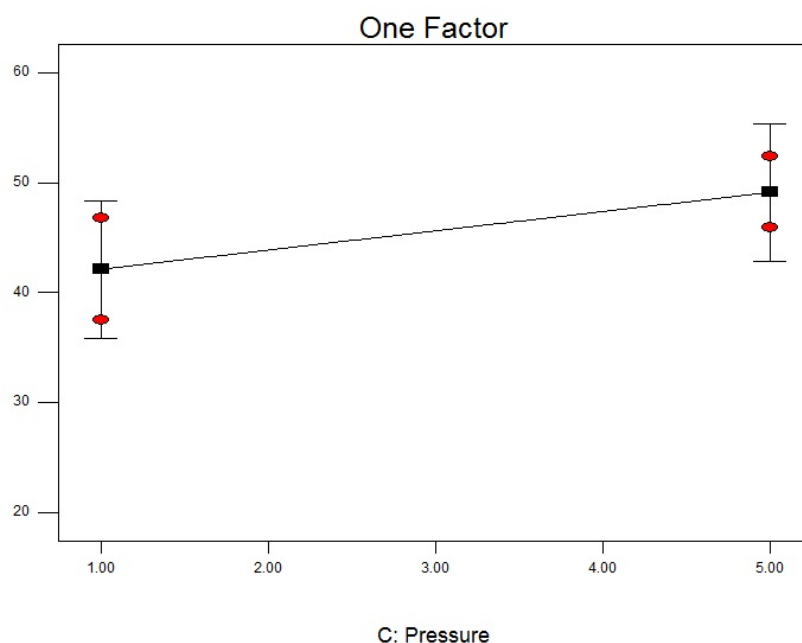
ศึกษาถึงอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อการเปลี่ยนแปลงของร้อยละผลได้ของแนฟทาโดยทำการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างๆ กัน ตั้งแต่ 30-60 นาที ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ จากผลการทดลองที่เวลา 30 และ 60 นาที พบว่าร้อยละผลได้ของแนฟทา คือ 39.76 39.82 37.54 และ 46.76 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 37 จะเห็นว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นร้อยละผลได้ของแนฟทาที่ได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิมีผลต่อการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน เมื่อได้รับอุณหภูมิที่เหมาะสมและในระยะเวลาที่นานทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวเกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เหมาะสมทำให้ร้อยละผลได้ของแนฟทาเพิ่มขึ้นตามลำดับ



รูปประกอบ 37 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อค่าร้อยละของการกระจายตัวของแนฟทา

4.3.4.3 การศึกษาอิทธิพลของความดันที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของแนฟทาที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

การศึกษาผลของความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นในการทำปฏิกิริยาต่อค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของแนฟทา จากการทดลองที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที จากภาพประกอบ 38 พบว่าเมื่อความดันของแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นเพิ่มขึ้นจาก 1 บาร์เป็น 5 บาร์ค่าร้อยละการเปลี่ยนของการกระจายตัวของแนฟทา เพิ่มขึ้นจาก 37.54 เป็น 52.40 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเมื่อความดันของแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการแตกสายโมเลกุล ให้กลายเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโมเลกุลขนาดเล็กลงทำให้เกิดเป็นสัดส่วนของ แนฟทาเพิ่มขึ้น



รูปประกอบ 38 ผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นในการทำปฏิกิริยาต่อค่าร้อยละของเนฟทา

4.3.5 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของดีเซลจากปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว

ปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลว ทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยออกแบบการทดลองเป็น 2^3 แฟกทอเรียล ทำการทดลองซ้ำ แสดงในตาราง 12 พบว่าค่าร้อยละผลได้ของดีเซลอยู่ในช่วง 9.04 – 14.92 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยในรูปประกอบ 39 แสดงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆนำมาสร้างเป็น Normal probability plot พบว่า ตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรงคือ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิและความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นแสดงให้เห็นว่าตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของดีเซล

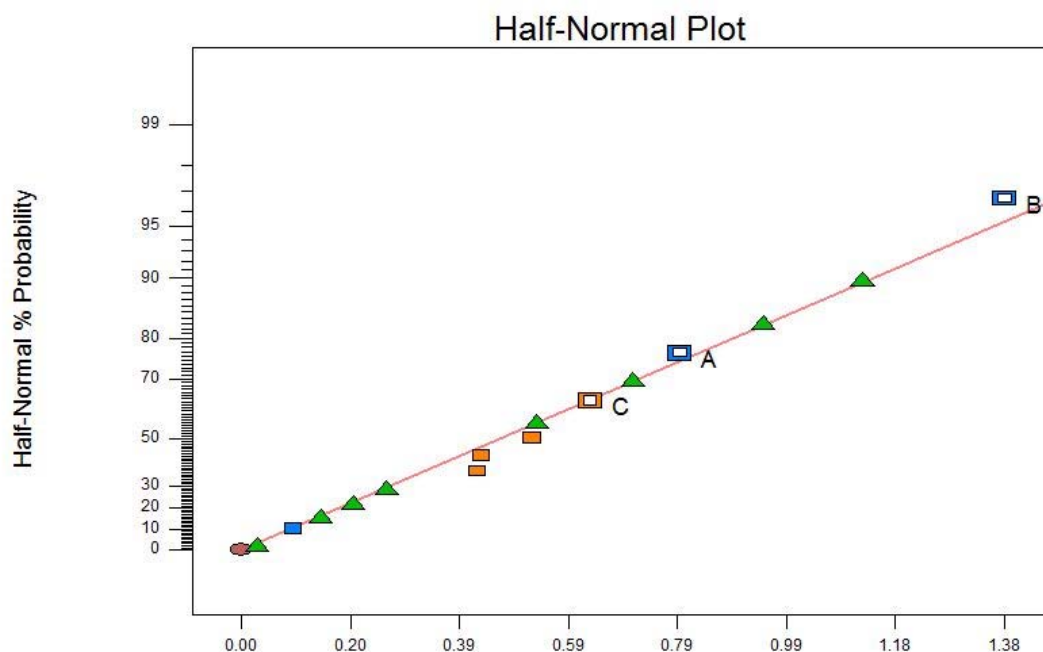
ตาราง 13 แสดงร้อยละผลได้ของดีเซลจากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล แบบ 2^3

Treatment	Factor			%yield of diesel		Factor Level	
	A	B	C			Low(-)	High(+)
1	-	-	-	13.94	A($^{\circ}$ C)	400	450
2	-	-	-	11.02			
3	-	-	+	11.92	B (min)	30	60
4	-	-	+	10.28			
5	-	+	-	14.92	C (bar)	1	5
6	-	+	-	11.51			
7	-	+	+	11.57			
8	-	+	+	9.98			
9	+	-	-	11.13			
10	+	-	-	11.20			
11	+	-	+	10.90			
12	+	-	+	9.04			
13	+	+	-	12.23			
14	+	+	-	11.54			
15	+	+	+	11.76			
16	+	+	+	10.98			

การออกแบบการทดลองแบบ 2^k เป็นการออกแบบการทดลองที่ทำให้จำนวนครั้งในการทดลองน้อยและครอบคลุมถึงตัวแปรที่ต้องการศึกษาครบถ้วน สำหรับการทดลองนี้ทำเพื่อตรวจสอบหาปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองของการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีที่ใช้แล้วโดยตัวแปรหลักที่ต้องการศึกษา คือ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ในการทดลองนี้ได้ออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 ซึ่งจำนวนระดับชั้นเสรีสำหรับการทดลองปัจจัยของ 2^3 เท่ากับ 7 ซึ่งประกอบไปด้วยระดับชั้นความเสรีของ A,B,C และอันตรกิริยาของ AB,AC,CB และ ABC เมื่อ A คืออุณหภูมิ B คือระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และ C คือ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น แสดงข้อมูลในตาราง 13

ตาราง 14 ร้อยละผลได้ของดีเซลจากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

การ ทดลอง	ตัวแปร			ร้อยละผลได้ ของดีเซล
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาในการทำ ปฏิกิริยา(นาที)	ความดันไฮโดรเจน เริ่มต้น(บาร์)	
1	400	30	1	13.94
2				11.02
3				11.51
4	400	30	5	14.92
5				10.28
6				11.92
7	400	60	1	9.98
8				11.57
9				11.20
10	450	30	1	11.13
11				12.23
12				11.54
13	450	60	1	10.90
14				9.04
15				11.76
16	450	60	5	10.98
17				12.37
18	425	45	3	12.86



ภาพประกอบ 39 Half Normal Probability Plot ของร้อยละผลได้ของดีเซลจากปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว

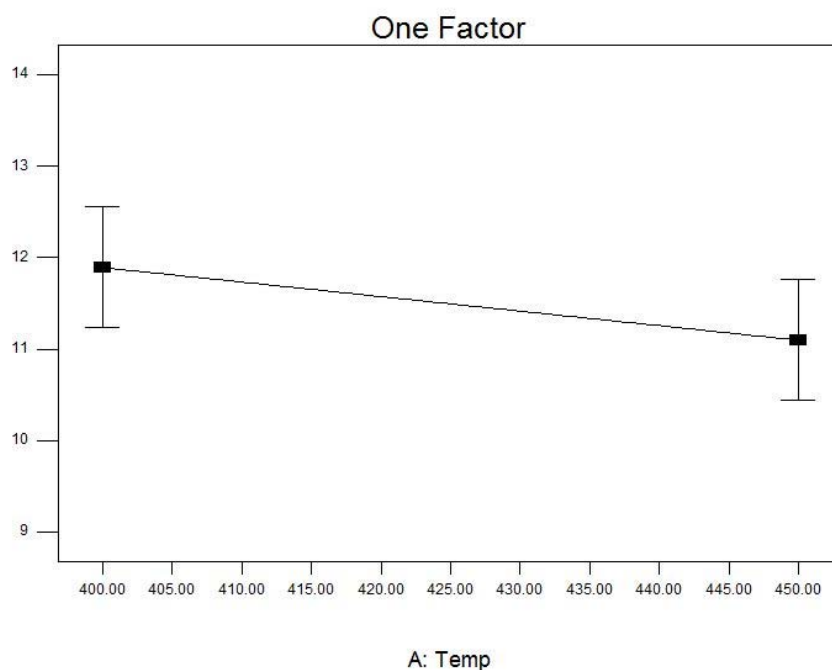
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) พบว่า อุณหภูมิ ความดันแก๊ส ไฮโดรเจนเริ่มต้น อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น อันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นและอุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Design-Expert 8.0.5 จะบ่งบอกว่าปัจจัยที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.05 ปัจจัยนั้นจะมีผลต่อร้อยละผลได้ดีเซล แสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของดีเซลอย่างมีนัยสำคัญแสดงในตาราง 14

ตาราง 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ของดีเซลจากปฏิกิริยาแตกตัวของ
พอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว

Source	Sum of Square	Degree of Freedom	Mean Square	F Value	Prob > F Value
Model	11.17	3	3.92	2.68	0.0944
A – Temp	2.53	1	2.53	1.72	0.2137
B – Time	7.65	1	7.65	5.21	0.0414
C – Pressure	1.60	1	1.60	1.09	0.3168
Residual	17.60	12	1.47		
Lack of fit	2.64	4	0.66	0.35	0.835
Error	14.96	8	1.87		
Total	29.37	17			

4.3.4.1 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของดีเซลของการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีน

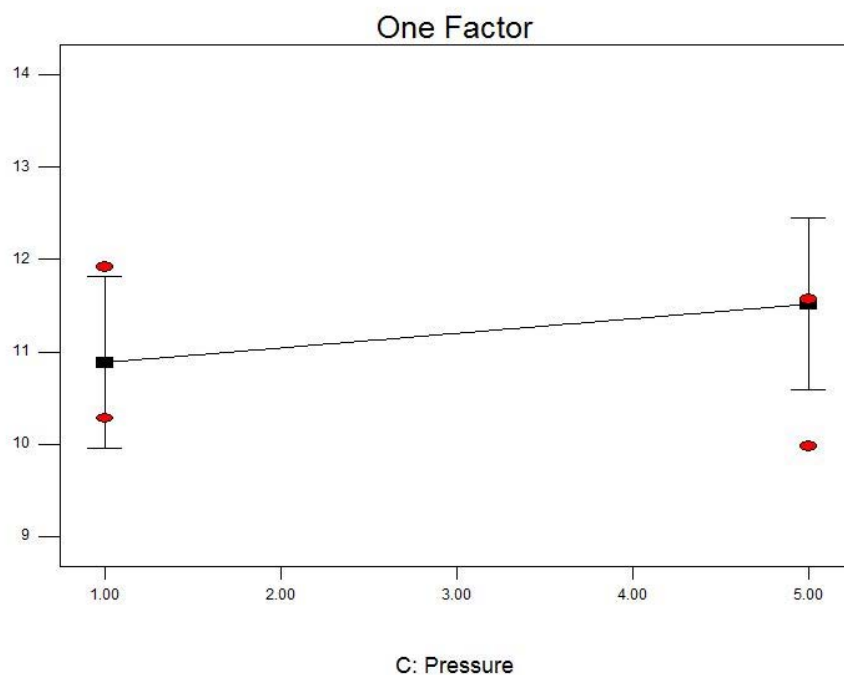
ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของดีเซล ผลการทดลองที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ ซึ่งแสดงดังภาพประกอบ 40 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 400 องศาเซลเซียสจนถึงอุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ทำให้สัดส่วนของดีเซลลดลงจาก 14.92 เป็น 11.54 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องมาจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อน อิทธิพลของอุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อการแตกตัวของสายโซ่ขนาดใหญ่ไปเป็นขนาดกลางและขนาดเล็ก เวลาในการทำการทดลองดำเนินต่อไป และอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้โมเลกุลขนาดกลาง แตกตัวไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็กลง ส่งผลให้ร้อยละผลได้ของดีเซลลดลง



ภาพประกอบ 40 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของดีเซล

4.3.4.2 ผลของความดันต่อร้อยละผลได้ของดีเซลของการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีน

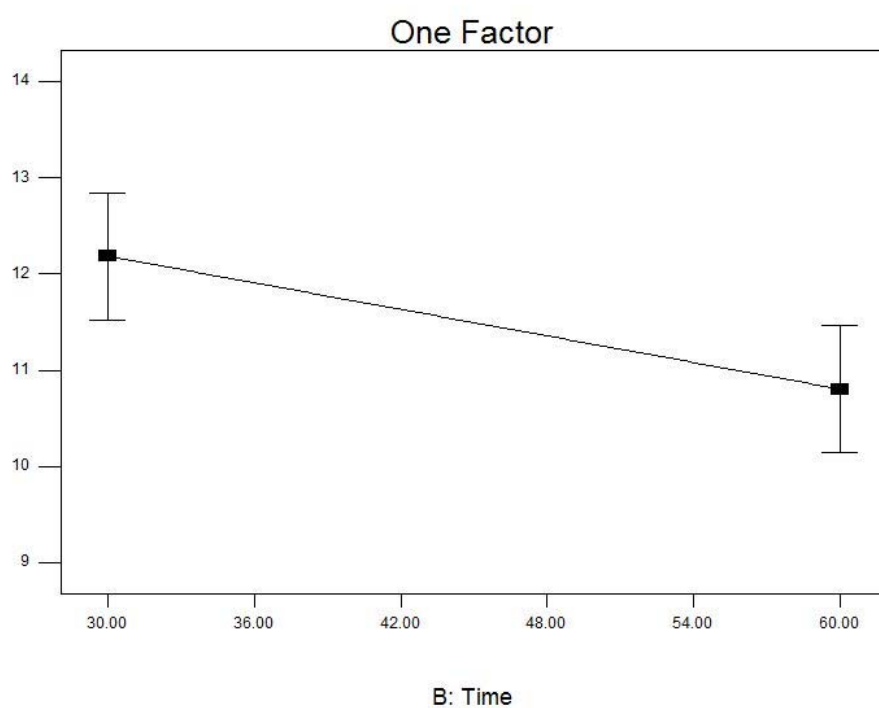
ศึกษาผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่อร้อยละผลได้ของดีเซล ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 1 บาร์ และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาทีดังภาพประกอบ 41 พบว่าเมื่อเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นจาก 1 บาร์ไปเป็น 5 บาร์ ส่งผลให้ร้อยละผลได้ของดีเซลเพิ่มขึ้นจาก 11.02 เป็น 14.92 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นเป็นการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเพื่อช่วยปฏิกิริยาการถ่ายโอนไฮโดรเจนได้มากขึ้น ส่งเสริมให้เกิดการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมในปฏิกิริยา ดังนั้นการเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นไปเป็น 5 บาร์จึงส่งผลให้มีการแตกตัวของเม็ดพลาสติกไปเป็นผลิตภัณฑ์ในช่วงของดีเซลมากขึ้นเมื่อเทียบกับ 1 บาร์



ภาพประกอบ 41 ผลของความดันต่อร้อยละผลได้ของดีเซล

4.3.4.3 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของดีเซลของการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีน

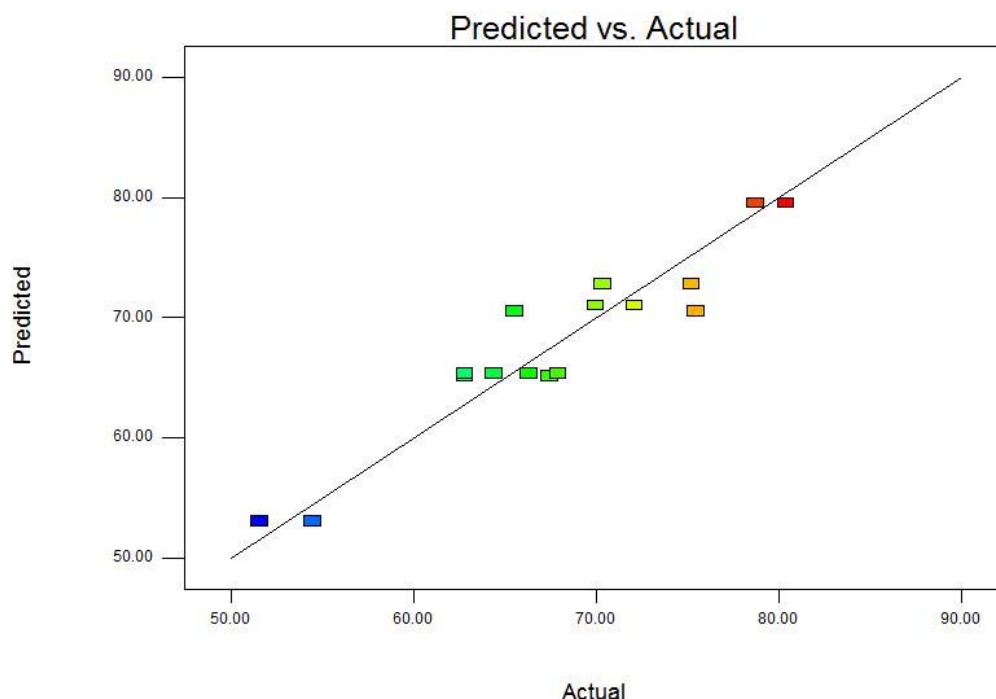
ศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของดีเซล ที่ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ และอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ดังภาพประกอบ 42 พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 30 นาที ถึง 60 นาที ทำให้สัดส่วนของดีเซลลดลงจาก 14.92 เป็น 9.98 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น ทำให้เกิดการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีขนาดเล็กลงและการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นไปอย่างทั่วถึง ส่งผลให้สัดส่วนของดีเซลลดลง



ภาพประกอบ 42 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละผลได้ของดีเซล



4.3.5 ผลการเปรียบเทียบของสภาวะการทดลองที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมและสภาวะการทดลองที่ได้จากการทดลองจริง



ภาพประกอบ 43 ผลการเปรียบเทียบของสภาวะการทดลองจากการคำนวณและที่ได้จากการทดลองจริง

จากภาพประกอบ 43 เป็นกราฟแสดงผลเปรียบเทียบสภาวะการทดลองที่ได้จากการคำนวณและสภาวะการทดลองที่ได้จากการทดลองจริง สภาวะที่ได้จากการคำนวณคือที่ช่วงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ความดันของแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นที่ 5 บาร์ โดยจะให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันร้อยละ 79.555 แก๊สร้อยละ 12.141 และของแข็งร้อยละ 8.304 ซึ่งสภาวะที่ได้จากการทดลองจริงคือช่วงอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 5 บาร์ การทดลองให้ผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันร้อยละ 80.040 แก๊สร้อยละ 15.300 และของแข็งร้อยละ 4.300

จากข้อมูลข้างต้น สภาวะการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และสภาวะการทดลองที่ได้จากการทดลองจริง เป็นสภาวะการทดลองเดียวกัน แต่ปริมาณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์มีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากปัจจัยต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง ส่งผลให้ร้อยละที่ได้แตกต่างจากการคำนวณเพียงเล็กน้อย

4.4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

จากผลการวิจัยและงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน สามารถเปรียบเทียบภาวะที่ใช้ในการทดลองและผลการทดลองแสดงในตาราง 16

ตาราง 16 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียง

การทดลอง	ประชากรต้น แต้มกดี	พัชรกันย์ มาลาสุข	งานวิจัยนี้
สารตั้งต้น	พอลิพรอพิลีน :พอลิสไตรีน (70:30) พลาสติก : น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ แล้ว(60:40)	พอลิสไตรีน	พอลิพรอพิลีน :พอลิสไตรีน (60:40)
ชนิดของเครื่อง ที่ใช้ในการทดลอง	เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก	เครื่องปฏิกรณ์ ขนาดเล็ก	เครื่องปฏิกรณ์ ขนาดเล็ก
ตัวเร่งปฏิกิริยา	เหล็กบนถ่านกัมมันต์	สารเอฟซีซีใช้แล้ว	สารเอฟซีซีใช้แล้ว
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา	5% โดยน้ำหนัก	1% โดยน้ำหนัก	1% โดยน้ำหนัก
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	430	400	400
ระยะเวลาในการ ทำปฏิกิริยา (นาทีก)	75	30	60
ความดันแก๊ส ไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)	1	5	5
ร้อยละผลได้ของ ผลิตภัณฑ์น้ำมัน (โดยน้ำหนัก)	75.57	78.73	80.40
ร้อยละผลได้ของ แนฟทา (โดยน้ำหนัก)	61.25	51.26	52.40
ร้อยละผลได้ของ ดีเซล (โดยน้ำหนัก)	-	17.39	11.57

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีน เช่น อุณหภูมิ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก นำไปวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่างๆ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Simulated Distillation Gas Chromatography) ซึ่งทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลและออกแบบการทดลองเป็น 2^3 แฟกทอเรียล ทำการทดลอง 2 ครั้งซ้ำ (replicated) โดยมีการออกแบบและคำนวณโดยโปรแกรม Design Expert 8.0.5 โปรแกรมนี้สามารถบ่งบอกได้ว่าตัวแปรใดมีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ร้อยละผลได้ของแนฟทา และร้อยละผลได้ของดีเซล

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ คือ อุณหภูมิ ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น อันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นและอุณหภูมิ

2. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของแนฟทาอย่างมีนัยสำคัญ คือ อันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิกับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น อันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นและอุณหภูมิ

3. ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลได้ของดีเซลอย่างมีนัยสำคัญ คือ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

4. ภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีน บนตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้ว คือ

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	400	องศาเซลเซียส
ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา	60	นาที
ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น	5	บาร์

การทดลองให้ผลร้อยละของผลได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน 80.40 โดยน้ำหนัก ร้อยละผลได้ของแก๊ส 15.30 โดยน้ำหนัก และร้อยละผลได้ของแข็ง 4.30 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีปริมาณ สัดส่วนของแนฟทา เคโรซีน ดีเซล และกากน้ำมันหนัก 52.40 11.81 9.45 0.54 2.07 ค่าร้อยละการเปลี่ยน 97.73 โดยน้ำหนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาอิทธิพลระหว่างปัจจัย(interaction)ของตัวแปรที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็น แนนฟาหรือดีเซลให้ละเอียดชัดเจนขึ้น
2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยา ในระบบอื่นๆเพื่อนำไปขยาย ส่วนการผลิตในระดับที่ใหญ่ขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง
3. ศึกษาถึงความเป็นไปได้ของทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตเชื้อเพลิงเหลว
4. ศึกษาชนิดของสารตั้งต้นอื่นๆที่หาได้ง่าย ราคาถูก หรือเป็นขยะรีไซเคิลจำนวนมากๆ ที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้จริง เพื่อลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม





บรรณานุกรม

- เกษร พะลัง. (2546). *เคมีอินทรีย์*. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- กรมส่งเสริมการส่งออก. (2541). *ข้อมูลพลาสติกกระทรวงอุตสาหกรรม*.
- ธราพงษ์ วิทิตสานต์. (2554). *การแตกตัวพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน*. รายงานการวิจัยกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช.
- ธารณี กิตติเรืองทอง. (2543). *กระบวนการร่วมของโพรพิลีนและลิกไนต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม*. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล. (2542). *การแยกสลายตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีนใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบ แบตช์*. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นিকা วิสุทธิรังสีอุไร. (2549). *การแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิสไตรีนและน้ำมันพืชใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บรรเลง ศรีนิล. (2542). *เทคโนโลยีพลาสติก*. พิมพ์ครั้งที่ 17 .กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.
- ปรีชา พหลเทพ. (2548). *พอลิเมอร์*. พิมพ์ครั้งที่ 7 กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- ประจักษ์ ด้งศักดิ์. (2547). *การแตกตัวด้วยความร้อนของพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปารเมศ ชุตินา. (2548). *การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม*. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พูนสุข พิงธรรม. (2543). *การแตกตัวพอลิโพรพิลีนด้วยไฮโดรเจนโดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม น้ำมัน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- พัชรกัญญ์ สุขามาลาวงษ์. (2552). *การแตกตัวของพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- วิชชากร จารุศิริ. (2547). การเปลี่ยนน้ำมันพืชใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 และซัลเฟตเซอร์โคเนีย. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. (2553). สืบค้นเมื่อ 3 สิงหาคม 2553, จาก <http://www.fti.or.th>
- สุนันท์ ชัยนะกุล. (2541). เคมีพอลิเมอร์. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์. (2545). สมบัติของพอลิเมอร์. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักนโยบายอุตสาหกรรมรายสาขา 1. (2546). ข้อมูลและการคาดการณ์การบริโภคผลิตภัณฑ์พลาสติก กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ศุภารณ ดันตยานนท์. (2542). ปีโตรเคมี : 6-1 – 6-11, 7-1 – 7-5, 9-5 – 9-8. ----- (2553). สืบค้นเมื่อ 3 สิงหาคม 2553, จาก <http://guru.thaibizcenter.com/article/detail.asp?kid=2117>
- (2553). สืบค้นเมื่อ 3 สิงหาคม 2553, จาก http://nru.ku.ac.th/KU_NRU_/?c=page&rpind41&pind=100&rind=41
- อรดา วงศ์สุลักษณ์. (2547). การแตกตัวพอลิไทรินใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Feldman D., Barbalata A. (1996). *Synthetic polymer*. London: Chapman & Hall.
- Moore, Edward P.Jr. (1996). *Polypropylene Handbook*. Munich: Hanser.
- Sadeghbeigi, Reza. *Fluid Catalytic Cracking Handbook*. 2nd Edition. Gulf Publish Company.
- (2553). สืบค้นเมื่อวันที่ 9 สิงหาคม 2553, จาก http://nakhamwit.ac.th/pingpong_web/Polymer.htm
- Satterfield C.N. (1991). *Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice*. 2nd Ed. McGraw-Hill.
- Walendziewski J. (2005). *Continuous flow cracking of waste plastics*. Fuel Processing Technology, 86.





ตาราง ก1 ผลการทดลองจากการปฏิบัติการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วที่สภาวะการทดลองต่างๆ

No.	Factors			Product yield			Product distribution in liquid fules				
	Temperature (°C)	Time of reaction (min)	Initial H ² Pressure (bar)	% Yield Liquid	% Yield Gas	% Yield Solid	% Naphtha	% Kerosene	% Light gas oil	% Gas oil	% Long residue
1	400	30	1	75.21	16.77	8.02	39.82	15.89	8.34	5.60	3.52
2				70.34	22.08	7.58	39.76	10.51	9.99	1.03	3.23
3				62.81	34.15	3.04	27.24	12.88	13.65	1.28	4.53
4	400	30	5	67.92	22.68	9.40	42.43	11.11	10.47	1.04	4.20
5				69.98	28.72	1.30	37.54	9.60	9.31	0.97	2.56
6				72.08	19.64	8.28	46.76	11.56	11.20	0.71	1.85
7	400	60	1	80.40	15.30	4.30	52.40	11.81	9.45	0.54	2.07
8				78.71	17.79	3.50	45.90	11.30	10.57	1.00	2.26
9				67.46	21.77	10.76	43.81	10.53	10.29	0.91	1.92
10	450	30	1	62.79	30.82	6.39	40.03	10.36	10.36	0.77	1.98
11				75.46	22.45	2.09	48.91	12.56	11.58	0.65	1.76
12				65.55	32.95	1.50	30.00	10.11	10.94	0.60	1.33
13	450	30	5	66.33	33.17	0.50	40.66	10.21	10.10	0.80	3.54
14				64.40	31.41	4.20	33.64	8.97	8.11	0.93	3.37
15				51.57	46.83	1.60	27.57	10.63	11.19	0.57	1.61
16	450	60	5	54.48	36.51	8.67	30.22	9.66	10.44	0.55	1.41
17				73.18	21.83	5.00	50.37	15.45	11.42	0.95	1.83
18				64.52	26.50	8.98	49.37	11.38	12.20	6.60	0.24



ภาคผนวก ข

การคำนวณและการวิเคราะห์เชิงสถิติ

การคำนวณและการวิเคราะห์เชิงสถิติ

การวิเคราะห์เชิงสถิติได้วางรูปแบบการทดลองเป็น 2 k แฟกทอเรียล n แพลลิกेट และมีสมมติฐานเป็นตัวควบคุม ว่า ฐานของตัวแปร และค่าการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง

1. สัญลักษณ์ของการทดลองแบบแฟกทอเรียล

- k หมายถึง จำนวนของตัวแปรที่ต้องการทำการการศึกษา
- n หมายถึง จำนวนการทดลองที่เกิดขึ้นในภาวการณ์ทดลองเดียวกัน
- อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ (A,B,C) แทนปัจจัยที่ต้องการศึกษาเช่น อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น
- อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เขียนรวมกัน เช่น ab, ac, abc หมายถึง การทดลองซึ่งเกิดจากการรวมกันของอิทธิพลปัจจัยต่างๆเรียกว่า Treatment Combination การทดลองที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ จะแทนแต่ละระดับแต่ละปัจจัยเป็น -1 และ +1 โดย -1 แทนระดับต่ำ +1 แทนระดับสูง

2. ความหมายของคำสำคัญ

อิทธิพลหลัก (Main Effect)	หมายถึง	อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา
ปฏิกริยาสัมพันธ์ (Interaction)	หมายถึง	การแสดงออกของระดับต่างๆในปัจจัยหนึ่งไม่เท่ากันเมื่อเปรียบเทียบกับระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งของปัจจัย
อิทธิพลแฟกทอเรียล (Factorial Effects)	หมายถึง	อิทธิพลต่างๆทั้งอิทธิพลหลักและปฏิกริยาสัมพันธ์ทั้งหมดในการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ จำนวนการรวมตัว - 1 หรือเท่ากับองศาความเป็นอิสระ (Degree of Freedom) ของสิ่งทดลอง

3. สูตรการคำนวณ

3.1 Contrast เท่ากับ ผลรวมของค่าการทดลองแต่ละ Treatment คูณกับสัมประสิทธิ์ (-1 หรือ +1) ของตัวแปรหรือปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

3.2 Effect Estimate $_{AB...K} = 2 \text{ (Contrast } _{AB...K} \text{)}$

3.3 Sum of Squares $_{AB...K} : SS_{AB...K} = 2 \text{ (Contrast } _{AB...K} \text{)}^2$

3.4 Total of Sum of Squares:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{ijk}^2 - y^2.../N; \quad N = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{ijk}^2 - y^2.../N; \quad N \text{ จำนวนค่าสังเกตทั้งหมด}$$

3.5 Mean of Square Error:

$$SS_E = SST - \text{Sum Squares of Main Effect}$$

3.6 Mean of Square:

$$MS = \text{Sum of Squares/Degree of Freedom}$$

$$3.7 \text{ \% Normal Probability} = (\text{Cumulative frequency} - 0.5) \times 100 / \text{Total Cumulative frequency}$$

$$3.8 F_0 = \text{Mean Square of Effect} / \text{Mean Square of Error}$$

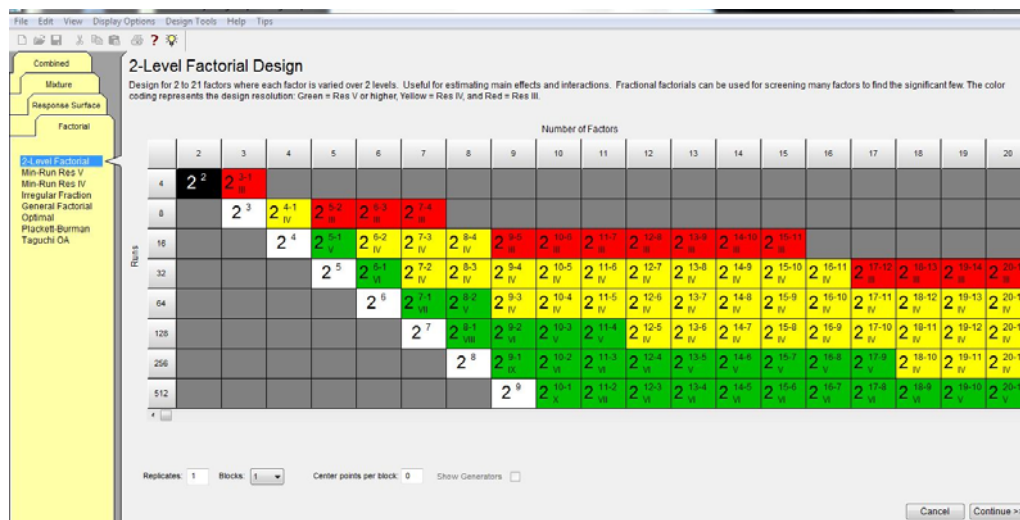
ตัวอย่างงานวิจัย การแตกตัวของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซี³ ใช้แล้ว ออกแบบการทดลองเป็น 2 แฟกทอเรียล แบบ 2 เรพลิเคต โดยกำหนดสัญลักษณ์และระดับของตัวแปรดังนี้

ตารางที่ ข1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษาของพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

	ตัวแปร	ระดับ		หน่วย
		ระดับต่ำ (-)	ระดับ(+)	
A =	อุณหภูมิ	400	450	องศาเซลเซียส
B =	เวลา	30	60	นาที
C =	ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น	1	5	บาร์

4. การใช้โปรแกรม Design – Expert ในการคำนวณ

- เมื่อเข้าสู่โปรแกรม คลิกไปที่ file ----> New Design และจะได้ดังรูป ข2



รูป ข2 แสดงตารางของ 2 Level Factorial Design

- เลือกจำนวนตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ยกตัวอย่างในการทดลองนี้จะศึกษาอิทธิพลของ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งที่ใช้ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น รวมทั้งหมด 3 ตัวแปร เลือกที่ Full ของช่อง 3 จากนั้นกรอกจำนวนที่ทำซ้ำช่อง Replicates และ กรอกค่าทำซ้ำที่ค่ากลาง ช่อง Center point per block ยกตัวอย่าง Replicates = 2, Center point per block = 2 กดที่ Continue จะปรากฏดังรูป ข3 เมื่อกรอกตัวแปรเสร็จคลิกที่ Continue

2-Level Factorial Design

Factors

☒ Horizontal
☐ Vertical

	Name	Units	Type	Low	High
A [Numeric]	A		Numeric	-1	1
B [Numeric]	B		Numeric	-1	1
C [Numeric]	C		Numeric	-1	1

รูป ข3 แสดงตัวแปรและหน่วยที่ใช้ในการทดลอง

กรอกตัวแปรในช่อง ยกตัวอย่างเช่น

	Name	Units	Type	Low	High
A	Temperature	⁰ C	Numeric	400	450
B	Time	Min	Numeric	30	60
C	Pressure	Bar	Numeric	1	5

3. เลือก Responses กรอกชื่อ Responses พร้อมกรอก Unit ของตัวแปรนั้นๆในช่องดังรูป ข4 เมื่อกรอกตัวแปรเสร็จคลิกที่ Continue

2-Level Factorial Design

Optional Power Wizard: For each response, you may enter the minimum change the design should detect as statistically significant and also the estimated standard deviation of each response (generally obtained from historical data). The ratio will then be calculated in the Delta/Sigma field. Press Continue to see the calculated power for each response. A probability of 80% or higher is recommended. If power is low, consider adding runs by choosing a larger design or replication, or reconcile yourself to not detecting a signal this small.

Leave Sigma and Delta fields blank to skip power calculation.

Responses: 3 (1 to 999)

Edit model for power...

	Name	Units	Diff. to detect Delta("Signal")	Est. Std. Dev. Sigma("Noise")	Delta/Sigma (Signal/Noise Ratio)
R1					
R2					
R3					

รูป ข4 แสดง Responses และ หน่วยที่ต้องการของการทดลอง

กรอกตัวแปรในช่อง ยกตัวอย่างเช่น

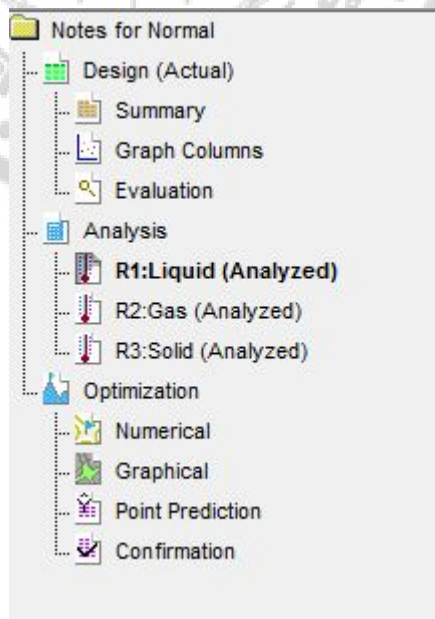
Name	Units
Liquid	%wt
Gas	%wt
Solid	%wt

4. จากนั้นจะขึ้นตัวแปรที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น มีทั้งหมด 8 การทดลอง ทำซ้ำ การทดลองละ 2 ครั้ง ค่ากลาง 1 การทดลอง ทำซ้ำ 2 ครั้ง รวมการทดลอง 18 การทดลอง จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองกรอกในช่องดังรูป ข5

Std	Run	Factor 1 A:A	Factor 2 B:B	Factor 3 C:C	Response 1 R1	Response 2 R2	Response 3 R3
6	1	1.00	-1.00	1.00			
1	2	-1.00	-1.00	-1.00			
3	3	-1.00	1.00	-1.00			
2	4	1.00	-1.00	-1.00			
5	5	-1.00	-1.00	1.00			
4	6	1.00	1.00	-1.00			
7	7	-1.00	1.00	1.00			
8	8	1.00	1.00	1.00			

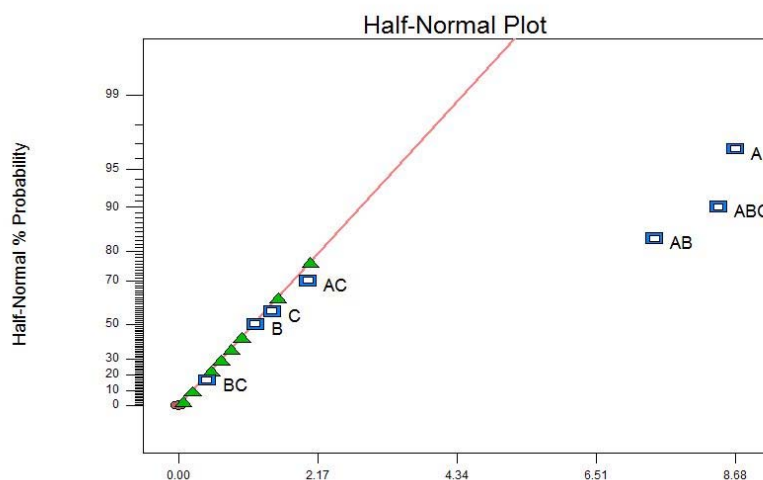
รูป ข5 แสดงตารางการทดลองและผลที่ได้จากการทดลองที่ภาวะต่างๆ

5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองโดยโปรแกรม Design - Expert ยกตัวอย่างเช่น วิเคราะห์ผลของ liquid โดยคลิกที่ liquid ที่หัวข้อ Analysis ดังรูป ข6 จากนั้นไปคลิกที่ Effect



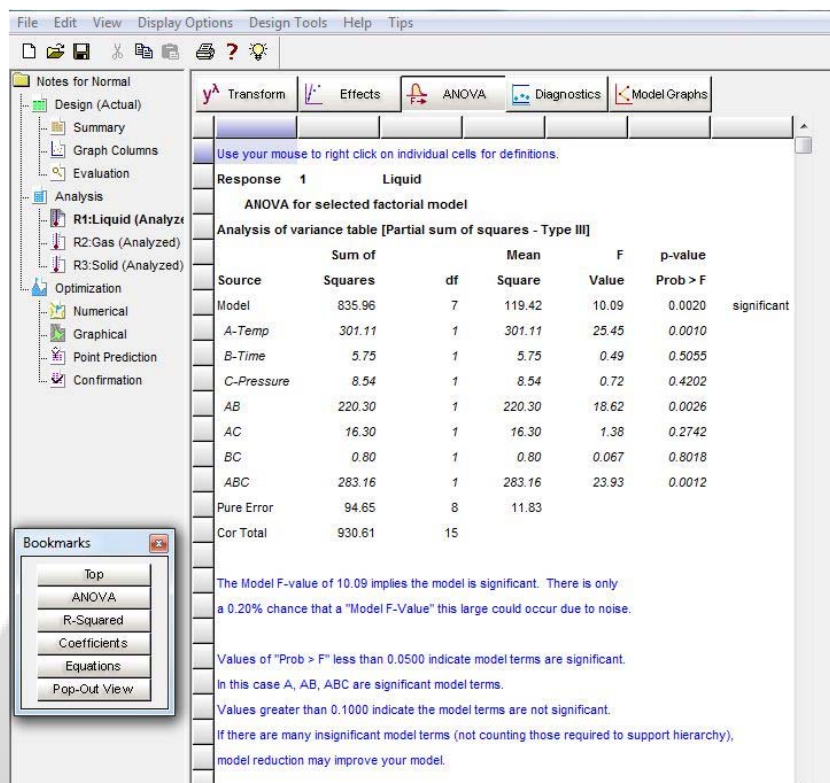
รูป ข6 แสดงแถบของ Gas liquid Solid

6. เมื่อคลิก Effect จากนั้นทำการเลือกจุดในกราฟ Half Normal % Probability เพื่อให้แนวโน้มเป็นเส้นตรง ดังรูป ข7



รูป ข7 Half Normal probability plot ของร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันจากปฏิกิริยาแตกตัวของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

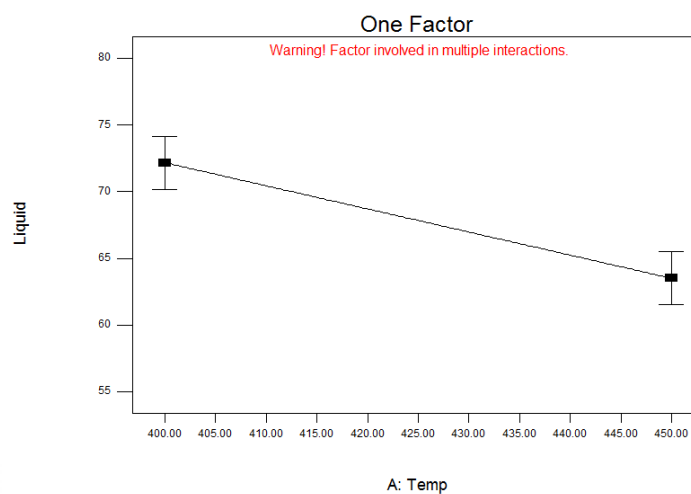
7. คลิกที่คำว่า ANOVA ดังรูป ข8 เพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณและเป็นการยืนยันผลของ Normal normal probability



รูป ข8 แสดงการคำนวณผลของ ANOVA

จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Design-Expert 8.0.5 จะบ่งบอกว่าปัจจัยใดที่มีค่า Prob > F น้อยกว่า 0.05 ปัจจัยนั้นจะมีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

8. คลิก Model graphs เพื่ออธิบายผลของอุณหภูมิ ที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน ดังรูป ข9



รูป ข9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของอุณหภูมิต่อร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน

9. จากนั้นวิเคราะห์ตัวแปรอื่นๆตามข้อที่ 5-8

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์การกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือด
(Boiling Distribution)



การวิเคราะห์การกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือด (Boiling Distribution)

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วย Simulated Distillation Gas Chromatography การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันด้วยวิธีนี้จะวิเคราะห์ตามคาบจุดเดือดของสารดังต่อไปนี้

IBP - 200°C = naphtha	
200°C - 250°C = kerosene	
250°C – 350 °C = light gas oil	} Diesel
350°C - 370°C = gas oil	
370°C – FBP = long residue	

การวิเคราะห์เริ่มด้วยการนำผลิตภัณฑ์น้ำมันไปละลายในคาร์บอนไดซัลไฟด์ในอัตรา 1 ส่วน ใน 100 ส่วน โดยปริมาตร วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ Varian รุ่น CP-3800 สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือด ตามมาตรฐาน ASTM D2887 พร้อมทั้งดีเทคเตอร์แบบ FID ซอฟต์แวร์ Simulated Distillation คอลัมน์ที่ใช้เป็น Capillary column มี Stationary Phase คือ CP-SIL 5CB ยาว 15 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร และความหนาของชั้นฟิล์ม 0.25 ไมครอน ภาวะที่ใช้คือ

- อุณหภูมิหัวฉีด (Injector Temperature) เท่ากับ 298 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิคอลัมน์ (Column Temperature or Oven Temperature) ซึ่งจะใช้เป็นแบบโปรแกรมอุณหภูมิ (Temperature Program) 1 ขั้นตอน และมีไนโตรเจนเหลวเป็นตัวให้ความเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิด้วย เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.01 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 320 องศาเซลเซียสแล้วคงที่เป็นเวลา 8.50 นาที
- อุณหภูมิดีเทคเตอร์ (Detector Temperature) เท่ากับ 320 องศาเซลเซียส
- แก๊สตัวพา (Carrier Gas) เป็นแก๊สฮีเลียมโดยมีอัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อ นาทีด้วย split ratio เท่ากับ 2

ที่มา : วิทยาลัยปิโตรเคมี แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค XRF

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค XRF

ตาราง ง1 องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วและองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว calcine ที่อุณหภูมิ 500 °C

Spent FCC (element)	Concentration (%wt weight)	Spent FCC cal 500 ⁰ C(element)	Concentration (%wt weight)
Na	0.58	Na	0.312
Al	42.07	Al	40.304
Si	44.13	Si	42.031
P	0.32	P	0.202
S	0.60	S	0.49
K	0.32	K	0.24
Ca	0.40	Ca	0.37
Ti	3.67	Ti	3.081
V	0.38	V	0.342
Mn	0.23	Mn	0.192
Fe	3.46	Fe	3.285
Ni	1.65	Ni	1.27
Cu	0.195	Cu	0.108
Zn	0.083	Zn	0.072
La	8.29	La	7.056
Ce	0.76	Ce	0.644

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วมีปริมาณ Si และ Al เป็นปริมาณมาก จึงคาดว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทซีโอไลต์

ที่มา : วิทยาลัยปิโตรเคมี แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิเคราะห์เมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 2553



ภาคผนวก จ
การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วย GC-MS

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วย GC-MS

Gas Chromatography-Mass Spectrometry เป็นวิธีที่สามารถทำนายชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารได้อย่างค่อนข้างแม่นยำโดยอาศัยการเปรียบเทียบ Fingerprint ของเลขมวล (Mass number) ของสารตัวอย่างนั้นๆ กับข้อมูลที่มีอยู่ใน Library นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) และเชิงคุณภาพ (Qualitative analysis)

GC-MS ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่อง GC (Gas chromatography) และส่วนของเครื่อง MS (Mass spectrometer)

Gas Chromatograph (GC)

ทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบของสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอ (Volatile organic compounds) ได้เมื่อถูกความร้อน กลไกที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่างๆ ในสารตัวอย่าง อาศัยหลักของความชอบที่แตกต่างกันขององค์ประกอบในตัวอย่างที่มีต่อเฟส 2 เฟส คือ Stationary phase และ Mobile phase

องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง GC สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

1. Injector คือ ส่วนที่สารตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าสู่เครื่องและระเหยเป็นไอก่อนที่จะเข้าสู่ Column อุณหภูมิที่เหมาะสมของ injector ควรเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างสามารถระเหยได้แต่ต้องไม่ทำให้สารสลายตัว ตัวอย่างของ injector ได้แก่ Split, Splitless, On Column
2. Oven คือ ส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุ Column และเป็นส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิของ Column ให้เปลี่ยนไปตามความเหมาะสมกับสารที่ต้องการวิเคราะห์
3. Detector คือส่วนที่จะใช้สำหรับตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและดูว่าสารตัวอย่างชนิดที่เราสนใจมีปริมาณอยู่เท่าใด

Mass Spectrometer (MS)

เป็น Detectorที่ใช้ตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างโดยอาศัยกลไก คือ โมเลกุลขององค์ประกอบที่ถูกแยกออกมาจากสารตัวอย่างโดยเครื่อง GC จะถูกไอออไนซ์ในสถานะสุญญากาศแล้วตรวจวัดออกมาเป็นเลขมวล (Mass number) เทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิง แล้วแปลผลออกมาเป็นชื่อขององค์ประกอบนั้นๆ

องค์ประกอบสำคัญของ MS แบ่งออกเป็น

1. Ionization Source แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

Electron Ionization (EI) เป็นการทำให้สารเกิด Fragment โดยใช้ลำอิเล็กตรอนซึ่ง Ionization chamber ต้องมีความดันต่ำประมาณ 10^{-8} Torr โดยอิเล็กตรอนจาก Filament ที่ร้อนจะถูกโฟกัสผ่านห้องนี้และถูกดึงเข้าหา repeller voltage ที่มีความต่างศักย์ 70 โวลต์ ซึ่งจะให้พลังงานกับอิเล็กตรอนเป็น 70 eV ทำให้ของผสมที่ซับซ้อนของไอออนเกิดการแตกหัก (Fragmentation ion) ที่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและความอุดมสมบูรณ์ (Relative abundance)

Chemical Ionization (CI) เป็นการทำให้สารเกิดการ Fragment ด้วยวิธีทางเคมีโดยผสมสารตัวอย่าง (ความดัน 10^{-4} Torr) แล้วผ่านสารผสมเข้าไปใน Ionization chamber โดยการทำให้เกิดการ Fragment ด้วยการชนกับอิเล็กตรอนเช่นเดียวกัน

2. Mass Analyzer

เป็นเครื่องวิเคราะห์มวลมีหลายแบบ คือ Magnetic-sector analyzer, Electrostatic analyzer, Time-of-flight analyzer, Ion cyclotron resonance analyzer, Quadrupole mass spectrometer-Quadrupole mass spectrometer ใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยสนามแม่เหล็ก คือเป็น Path-stability mass spectrometer ซึ่งมีแหล่งผลิต Ion source 2 ส่วนโดยส่วนแรกจะทำให้ตัวอย่างกลายเป็นไอออน และส่วนที่สองทำให้สารมาตรฐานกลายเป็นไอออน ลำไอออนทั้งสองจะถูกบังคับให้ผ่านเครื่องแยกไอออนชุดเดียวกัน ดังนั้นไอออนทั้งหมดจะได้รับอิทธิพลจากสนามแม่เหล็กในสถานะเดียวกัน แต่ถูกตรวจและวัดด้วยเครื่อง Detector แยกกันซึ่งมีข้อดีคือ ทำให้สามารถวัดมวลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

3. Detector

ที่ใช้โดยทั่วไปมีหลายอย่าง คือ Faraday cup detector, Electron multiplier detector, Scintillation counter detector, Photographic plate detector



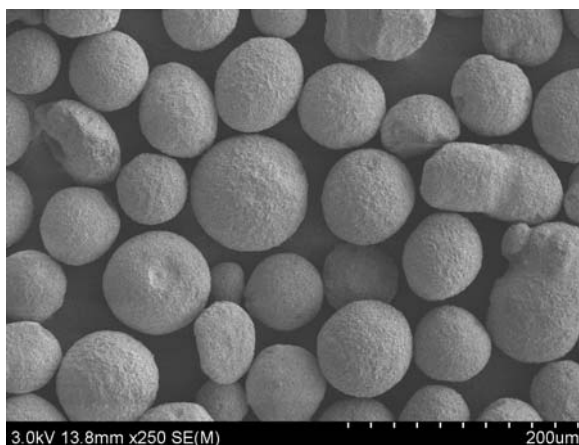
ภาคผนวก จ
สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว

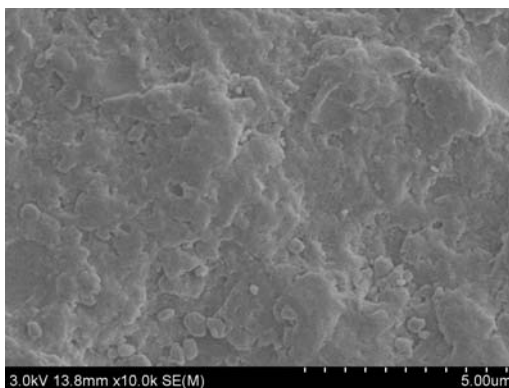
พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนทั้งหมด ที่ตรวจวัดด้วยเครื่อง BET surface area แสดงดังตารางที่ จ.1

ตาราง จ.1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว และตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส

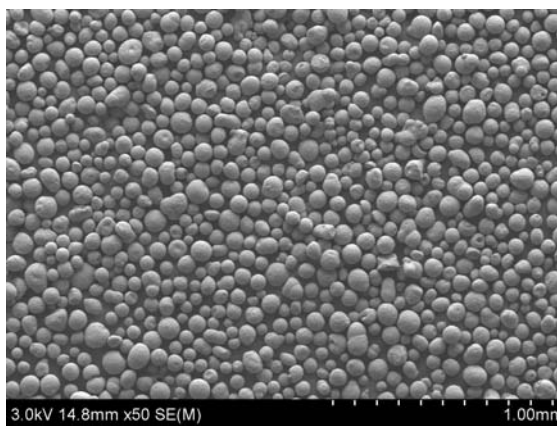
ตัวอย่าง	พื้นที่ผิวรูพรุน ทั้งหมด(S_{BET}) ตารางเมตร/กรัม	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (Average Pore size) นาโนเมตร	ปริมาตรรูพรุน (Pore volume) ลูกบาศก์ เซนติเมตร/กรัม
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้ว	79.840	6.92	0.130
ตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส°C	103.650	6.37	0.189



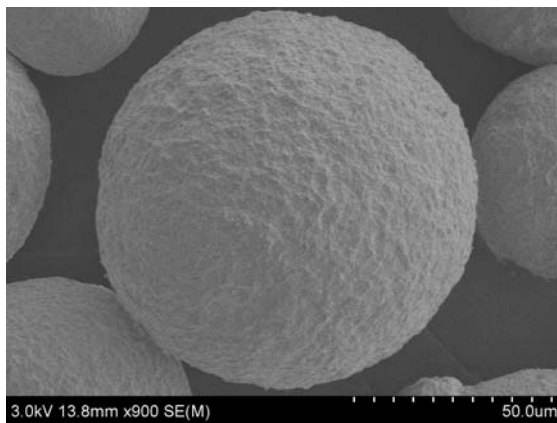
รูปประกอบ จ.1 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิที่ 550 องศาเซลเซียส (1)



รูปประกอบ จ.2 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิที่ 550 องศาเซลเซียส (2)



รูปประกอบ จ.3 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิที่ 550 องศาเซลเซียส (3)



รูปประกอบ จ.4 พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วเผาที่อุณหภูมิที่ 550 องศาเซลเซียส (4)

ที่มา : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิเคราะห์เมื่อวันที่ 11 สิงหาคม 2553

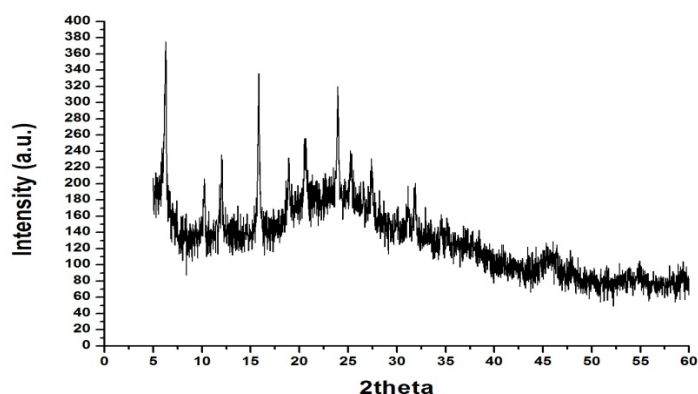
ภาคผนวก ช
การวิเคราะห์ผลึกภัณฑ์ด้วยเทคนิค XRD



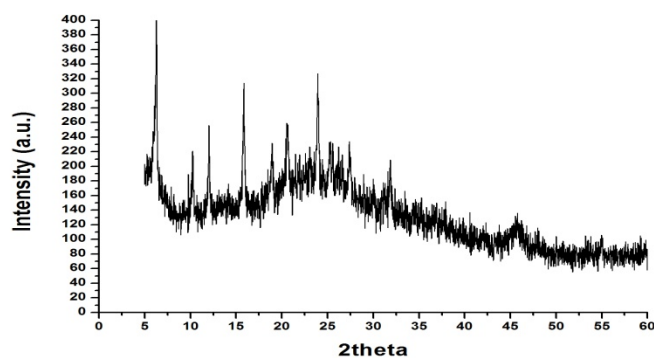
การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิค XRD

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วมีปริมาณ Si และ Al เป็นปริมาณมาก จึงคาดว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทซีโอไลต์ จึงนำตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD เพื่อตรวจสอบว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ประเภทใด

การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีใช้แล้วด้วยเทคนิค XRD



รูปประกอบ ข 1 XRD Pattern ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีบริสุทธิ์



รูปประกอบ ข 2 XRD Pattern ของตัวเร่งปฏิกิริยาเอฟซีซีที่ใช้แล้ว CsClcine 500 องศาเซลเซียส

ที่มา : วิทยาลัยปิโตรเคมี แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิเคราะห์เมื่อวันที่ 14 สิงหาคม 2553



ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล

นางสาวสุพรทิพย์ ธนสินกิตติโชค

วัน เดือน ปีเกิด

27 มีนาคม 2528

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

26/10 ม.1 ต.สุรศักดิ์ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

ตำแหน่งงานปัจจุบัน

Asst. Project Manager

สถานที่ทำงานปัจจุบัน

Fuchitex Auto Interior Co.,Ltd.

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรีคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมี

จาก มหาวิทยาลัยบูรพา ปีการศึกษา 2549

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การจัดการทางวิศวกรรม

จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

