

การแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน
ความหนาแน่นสูงด้วย USY ซีโอไลต์



T119172



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **119172**
วัน,เดือน,ปี - 6 S.ค. 2554

b. 119172
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**CATALYTIC CRACKING OF USED POLYPROPYLENE AND
HIGH-DENSITY POLYETHYLENE BY USY ZEOLITE**



THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG


ACADEMIC YEAR 2010


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

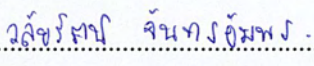
ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วย USY ซีโอไลต์	
โดย	นางสาวกรวิกา	วงษ์ผาบ
	นายกฤษฎพล	เสิกภูเขียว
	นางสาวกัญญาวีร์	อุ้นเสื่อ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อัญชลีพร	วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.ธราพงษ์	วิทิตสานต์
	ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


.....กรรมการ
(รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ)


.....กรรมการ
(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)


.....กรรมการ
(ดร.วัลย์รัตน์ จันทรอัมพร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง

การแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วย USY ซีโอไลต์

โดย

นางสาวกรวิกา วงษ์ผาบ
นายกฤษฎพล เสีกภูเขียว
นางสาวกัญญาวีร์ อุ่นเสื่อ

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา

2553

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

รศ.ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์
ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะพลาสติกที่ใช้แล้วมากกว่า 2.5 ล้านตันต่อปี ถ้าไม่มีการจัดการอย่างถูกต้องและเป็นระบบจะก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ถึงแม้ว่าจะมีการใช้ซ้ำและการรีไซเคิลอยู่บ้างแต่ก็ยังไม่มีความท้าทายให้นักวิจัยพยายามหาวิธีใช้ประโยชน์จากขยะพลาสติก เพราะนอกจากเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มแล้วยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปริญญานิพนธ์นี้ ศึกษาการแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วด้วย USY ซีโอไลต์ที่ผ่านการใช้งานจากโรงกลั่นน้ำมันในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ตัวแปรที่ศึกษาที่มีผลต่อร้อยละผลได้ (Yield) ของผลิตภัณฑ์ของเหลว (แนฟทา) ที่ต้องการ ได้แก่ อุณหภูมิ 380, 400 และ 420°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30, 45 และ 60 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ที่ใช้ต่อพลาสติกใช้แล้ว 1 และ 5 wt% (0.2 และ 1 กรัม USY ซีโอไลต์ ต่อ 20 กรัมพลาสติก) และชนิดของพลาสติกที่ใช้แล้วซึ่งเลือกศึกษาพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ที่ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ ผลการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph พร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น พบว่าที่อุณหภูมิ 400°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และอัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% เป็นภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้พอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วแตกตัวได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 69.81 (ประกอบด้วยแนฟทาร์้อยละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

47.59 เคโรซีน 5.26 แก๊สออยล์เบา 13.75 แก๊สออยล์หนัก 0.51 และกากน้ำมันหนัก 2.70) แก๊สไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 20.33 และของแข็งร้อยละ 9.86 และเมื่อใช้ภาวะการทดลองเดียวกันนี้กับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงจะได้ ผลผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 22.05 (ประกอบด้วยเนฟทาร้อยละ 9.76 เคโรซีน 1.68 แก๊สออยล์เบา 6.27 แก๊สออยล์หนัก 0.44 และกากน้ำมันหนัก 3.90) แก๊สไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 12.05 และของแข็งร้อยละ 65.90



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report title Catalytic cracking of used polypropylene and high-density polyethylene by USY zeolite

By Miss. Kronwika Wongphap
Mr. Kridsanapon Seakphukhew
Miss. Kanyawee Unsue

Degree Bachelor of Engineering

Programme Chemical Engineering

Year 2010

Advisor Assoc. Prof. Dr. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum

Co-advisor Assoc. Prof. Dr. Tharapong Vitidsant
Department of Chemical Technology, Faculty of Science,
Chulalongkorn University

ABSTRACT

A large amount of waste used plastics of more than 2.5 million tons a year without proper handling can generate environmental pollutions. Although reuse and recycling have been carrying out it is a great challenge for the researchers to make use of used plastics efficiently. Reuse and recycling used plastics not only gaining value added, but also decreasing environmental impacts. This work studied catalytic cracking of used plastics in a batch reactor by used USY zeolite from a refinery plant. The variables to affect desired liquid products (naphtha) were reaction temperature of 380, 400 and 420°C, reaction time of 30, 45 and 60 min, weight ratio of USY zeolite and used plastics of 1 and 5 wt% (0.2 and 1 g USY zeolite/20 g used plastic), and types of used plastics (polypropylene and high-density polyethylene) at a constant hydrogen pressure of 1 barg. According to the cut-point distillate results, which were obtained from the simulated distillation gas chromatograph and software, of used polypropylene cracking showed that by using the reaction temperature of 400°C for 30 min and USY zeolite of 5 wt% could achieve liquid products of 69.81% (naphtha 47.59%, kerosene 5.26%, light gas oils 13.75%, heavy gas oils 0.51%, and long residue 2.70%), hydrocarbon gases of 20.33% and solid residue of 9.86%.

For high-density polyethylene at the same experimental conditions liquid products of 22.05% (naphtha 9.76%, kerosene 1.68%, light gas oils 6.27%, heavy gas oils 0.44%, and long residue 3.90%), hydrocarbon gases of 12.05% and solid residue of 65.90% were attained.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษา และรองศาสตราจารย์ ดร. ทรายงษ์ วิทิตสานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาและช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ประกอบ กิจไชยา และ ดร.วลัยรัตน์ จันทอัมพร คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำในการใช้เครื่องมือและห้องปฏิบัติการ

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจตลอดมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครู อาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ให้แก่ข้าพเจ้า



กรวิกา

กฤษณพล

กัญญาวีร์

วงษ์ผาบ

เสถียรเชียว

อุ้นเสื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 พลาสติก.....	3
2.2 พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE).....	3
2.3 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP).....	4
2.3.1 ประเภทของพอลิโพรพิลีนแบ่งตามการเกาะของหมู่เมทิลบนสายโซ่หลัก.....	5
2.3.2 การใช้ประโยชน์พอลิโพรพิลีน.....	7
2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst).....	7
2.4.1 ซีโอไลต์ (Zeolite).....	8
2.4.2 สมบัติที่สำคัญของซีโอไลต์.....	14
2.4.3 โครงสร้างและตำแหน่งที่แลกเปลี่ยนไอออนของซีโอไลต์ชนิดฟูจาไซต์ (Faujasite: FAU).....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

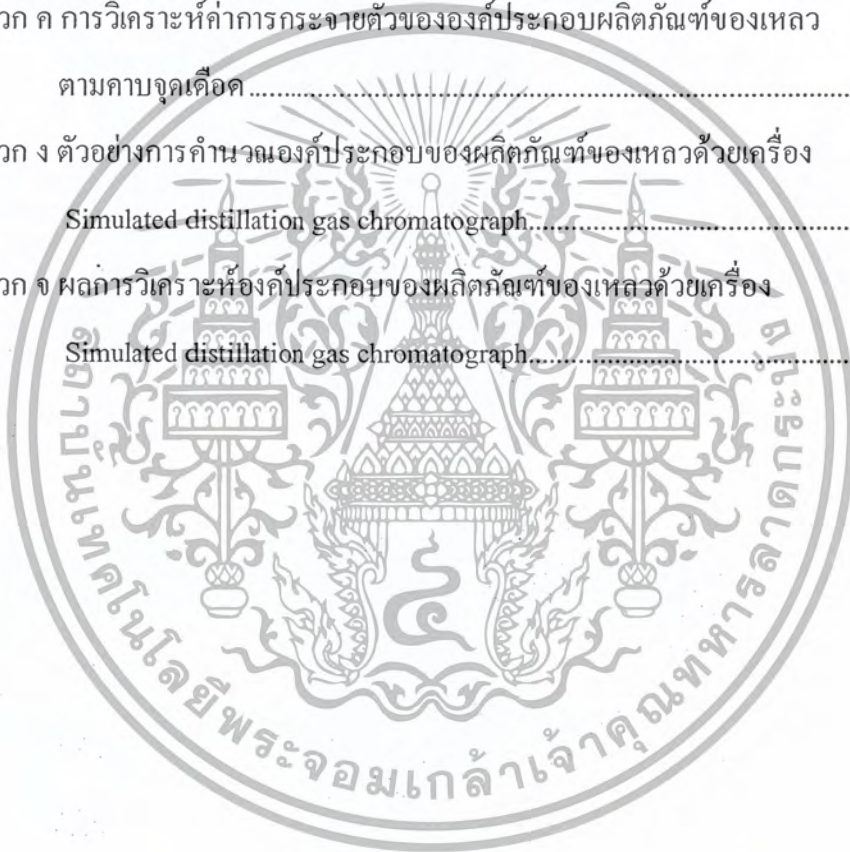
สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.4 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งานซีโอไลต์.....	16
2.5 การแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal cracking)	17
2.6 การแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking)	18
2.7 การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking).....	19
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 เครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลอง	23
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	23
3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี	26
3.3 วิธีการทดลอง	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลอง.....	29
4.1 ผลของอุณหภูมิต่อการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว	29
4.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว.....	31
4.3 ผลของอัตราส่วน โดยน้ำหนักของ USY ซีโอไลต์ต่อการแตกตัว ของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว	33
4.4 ผลการแตกตัวของชนิดพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีน และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง	35
4.5 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยอื่น	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	40
เอกสารอ้างอิง	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	44
ภาคผนวก ก ผลการทดลองจากการแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วย USY ซีโอไลต์	45
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลว.....	46
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลว ตามคาบจุดเดือด	48
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph.....	49
ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph.....	51



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของ LDPE และ HDPE	4
2.2 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ.....	14
2.3 องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวจาก Simulated distillation gas chromatograph พร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นตามคาบจุดเดือด	16
3.1 ลักษณะเฉพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา USY ซีโอไลต์	26
3.2 ภาวะที่ใช้ในการทดลองตามลำดับ (ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ).....	28
4.1 เปรียบเทียบผลการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนกับงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน	38
4.2 เปรียบเทียบผลการแตกตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงกับงานวิจัยที่มีลักษณะ ใกล้เคียงกัน	39
ก.1 ผลการทดลองจากการแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน ความหนาแน่นสูงด้วย USY ซีโอไลต์	45
จ.1 BP distribution table – cut points ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 380°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%.....	52
จ.2 BP distribution table – cut points ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%.....	55
จ.3 BP distribution table – cut points ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 420°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%.....	58
จ.4 BP distribution table – cut points ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 45 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%.....	61
จ.5 BP distribution table – cut points ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 60 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%.....	64
จ.6 BP distribution table – cut points ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 1 wt%.....	67
จ.7 BP distribution table – cut points ของการแตกตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%.....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน 3
2.2	โครงสร้างทางเคมีของพอลิโพรพิลีน 4
2.3	โครงสร้างของไอโซแทคติกพอลิโพรพิลีน 5
2.4	โครงสร้างของซินดิโอแทคติกพอลิโพรพิลีน 6
2.5	โครงสร้างของอะแทคติกพอลิโพรพิลีน 6
2.6	หน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ – Primary building unit รูปทรงเตตระฮีดรอล ของออกซิเจนเชื่อมต่อกับซิลิกอนของซีโอไลต์ 8
2.7	โครงสร้าง 2 มิติของอะลูมิโนซิลิเกตในซีโอไลต์ 9
2.8	ขนาดของรูพรุนของซีโอไลต์ตามการจัดเรียงตัวของอะตอมออกซิเจน 10
2.9	ลักษณะโครงสร้างและขนาดรูพรุนของซีโอไลต์ A 11
2.10	ลักษณะโครงสร้างและขนาดรูพรุนของซีโอไลต์ ZSM-5 12
2.11	ลักษณะโครงสร้างและขนาดรูพรุนของซีโอไลต์ X และ ซีโอไลต์ Y 13
2.12	ลักษณะโครงสร้างและขนาดรูพรุนของซีโอไลต์ UTD-1 13
2.13	ตำแหน่งไอออนโลหะบนซีโอไลต์ชนิดฟูจาไซต์ 15
3.1	เครื่องปฏิกรณ์แบบกะความจุ 250 มิลลิลิตร 23
3.2	ชุดทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอลและเครื่องเขย่า 24
3.3	ชุดกรองสูญญากาศและกระดวยกรองใยแก้ว 24
3.4	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น 25
3.5	ส่วนประกอบพื้นฐานของ GC 26
4.1	ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว อุณหภูมิ 380, 400 และ 420°C เวลา 30 นาที ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt% 30
4.2	องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ววิเคราะห์ด้วย เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph: อุณหภูมิ 380, 400 และ 420°C เวลา 30 นาที ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt% 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3	ผลการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ของเหลวกับปริมาณเนฟทารวม ของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วอุณหภูมิ 380, 400 และ 420 °C ที่เวลา 30 นาที ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt%.....31
4.4	ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการศึกษาการแตกตัวของพอลิโพรพิลีน ที่ใช้แล้ว เวลา 30, 45 และ 60 นาที อุณหภูมิ 400 °C ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt%.....32
4.5	องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ววิเคราะห์ด้วย เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph: เวลา 30, 45 และ 60 นาที อุณหภูมิ 400 °C ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt% 32
4.6	ผลการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ของเหลวกับปริมาณเนฟทารวม ของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว เวลา 30, 45 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 400 °C ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt%..... 33
4.7	ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 1 และ 5 wt% อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที..... 34
4.8	องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ววิเคราะห์ด้วย เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph: อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 1 และ 5 wt% อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที..... 34
4.9	ผลการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ของเหลวกับปริมาณเนฟทารวม ของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 1 และ 5 wt% ที่อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที..... 35
4.10	ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน ความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วอุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt% ... 36
4.11	องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน ความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph: อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt%..... 36

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 ผลการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ของเหลวกับปริมาณเนฟทารวมของพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt%.....	37
จ.1 การกลั่นตามคาบจุดเดือดขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวจากเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph	49
จ.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Signal กับ Retention time (min) ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 380°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%.....	51
จ.2 องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 380°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% จากเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph	53
จ.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Signal กับ Retention time (min) ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%.....	54
จ.4 องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% จากเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph	56
จ.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Signal กับ Retention time (min) ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 420°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%.....	57
จ.6 องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 420°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% จากเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph	59
จ.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Signal กับ Retention time (min) ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 45 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%.....	60

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ.8	องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400 °C เวลา 45 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% จากเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph 62
จ.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง Signal กับ Retention time (min) ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400 °C เวลา 60 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%..... 63
จ.10	องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400 °C เวลา 60 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% จากเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph..... 65
จ.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง Signal กับ Retention time (min) ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 1 wt%..... 66
จ.12	องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 1 wt% จากเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph 68
จ.13	ความสัมพันธ์ระหว่าง Signal กับ Retention time (min) ของการแตกตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%..... 69
จ.14	องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดของการแตกตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% จากเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph..... 71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ [1-3]

การเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะพลาสติกที่ใช้แล้ว ถ้าไม่มีการจัดการอย่างถูกต้องและเป็นระบบ จะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม วิธีจัดการขยะพลาสติกที่ใช้ทั่วไป ได้แก่ การฝังกลบซึ่งใช้เวลาย่อยสลายนาน การเผา การหลอมและนำกลับมาใช้ใหม่ แต่วิธีดังกล่าวไม่สามารถลดปัญหามลพิษได้อย่างยั่งยืน ข้อมูลจากกระทรวงอุตสาหกรรมพบว่าปริมาณขยะพลาสติกจากบ้านเรือน กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม และการค้าขายหมุนเวียนตามท้องตลาดโดยรวมทั้งสิ้น มากกว่า 2.5 ล้านตันต่อปี สามารถกำจัดโดยการฝังกลบถึง 1.3 ล้านตัน ส่วนที่เหลือนำไปเผาเพื่อนำพลังงานกลับมาใช้ ในขยะพลาสติก 2.5 ล้านตันต่อปีนี้มีปริมาณพอลิโพรพิลีนมากกว่า 730,000 ตัน/ปี และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมากกว่า 650,000 ตัน/ปี

การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในปัจจุบันมี 2 วิธี คือ วิธีทางกายภาพโดยนำพลาสติกที่ใช้แล้วหลอมผสมกับเม็ดใหม่ของพลาสติกนั้นแล้วขึ้นรูป และวิธีทางเคมีโดยการเปลี่ยนพลาสติกที่ใช้แล้วให้เป็นสารเคมีอื่น หรือผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงหรือพลังงานรูปอื่นที่มีคุณค่า วิธีทางเคมีอาจใช้ปฏิกิริยาการแตกตัวของพลาสติกด้วยความร้อน (Thermal cracking) ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูง แต่ได้ค่าการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ (Selectivity) ต่ำ การแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking) ซึ่งเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าและให้ค่าการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์สูงกว่าและมักใช้ร่วมกับการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจน (Hydrocracking) สำหรับประเทศไทยมีโรงงานทดลองขนาดเล็กทั้งในกรุงเทพและตามจังหวัดต่างๆ ที่ผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก รวมทั้งการใช้ประโยชน์จากยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว งานวิจัยนี้ศึกษาการแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วย USY ซีโอไลต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงกลั่นน้ำมันภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ เพื่อหาภาวะที่ให้ผลได้ (Yield) ของผลิตภัณฑ์ของเหลว (แนฟทา) ที่ต้องการสูงที่สุด ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วน โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อพลาสติกที่ใช้แล้ว และ ชนิดของพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา USY ซีโอไลต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงกลั่นน้ำมัน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 คำนวณทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.3.2 เตรียมสารเคมี อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และรวบรวมพลาสติกที่ใช้แล้ว
- 1.3.3 วิเคราะห์สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา
- 1.3.4 หากภาวะที่เหมาะสมในการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว ตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิ 380, 400 และ 420 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 30, 45 และ 60 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ต่อพลาสติกที่ใช้แล้ว 1 และ 5 wt% (0.2 และ 1 กรัม USY ซีโอไลต์ ต่อ 20 กรัมพลาสติก) และชนิดของพลาสติกที่ใช้แล้ว คือ พอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง
- 1.3.5 วิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph พร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น
- 1.3.6 วิเคราะห์สรุปผลการทดลอง และเขียนรายงาน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 ทราบตัวแปรและภาวะการแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิง
- 1.4.2 สามารถลดปริมาณและสร้างมูลค่าเพิ่มพลาสติกที่ใช้แล้ว
- 1.4.3 สามารถใช้ประโยชน์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เลิกใช้แล้วจากโรงกลั่นน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

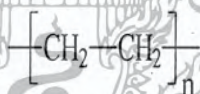
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติก [4-5]

พลาสติกหรือเรซินสังเคราะห์ มีหลายชนิดและมีสมบัติแตกต่างกัน สามารถขึ้นรูปได้ง่าย เต็มที่ได้ น้ำหนักเบาแต่แข็งแรง ทนน้ำและสารเคมี ผิวเรียบเป็นมัน และไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เรซินสังเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เรซินแบบหลอมรวมด้วยความร้อน หรือเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic resins) และเรซินแบบแข็งตัวด้วยความร้อน (Thermosetting resins) เรซินแบบหลอมตัวด้วยความร้อนเมื่อได้รับความร้อนจะหลอมเหลวและเมื่อเย็นลงจะแข็งตัว สามารถหลอมเหลวได้อีกเมื่อได้รับความร้อน เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน เป็นต้น ส่วนเรซินแบบแข็งตัวด้วยความร้อน สามารถทำให้แข็งตัวเป็นรูปทรงตามต้องการได้เมื่อได้รับความร้อน แต่เมื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จแล้วจะไม่สามารถทำให้หลอมเหลวเปลี่ยนรูปทรงได้อีก เรซินในกลุ่มนี้ ได้แก่ ฟีนอลิกเรซิน ยูเรียเรซิน อีพอกซีเรซิน และพอลิเอสเทอร์ เป็นต้น

2.2 พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) [6-8]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีน มีลักษณะ ขุ่น ยืดตัวได้ดี แข็งแรง ฉีกขาดยาก เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก ความชื้นไม่สามารถผ่านเข้าออก แต่แก๊สต่างๆ และไขมันสามารถซึมผ่านได้ ทนความร้อนได้ไม่สูงมากนัก เรซินพอลิเอทิลีนแบ่งได้ 3 ชนิด คือ

1. ชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low - density polyethylene: LDPE) เป็นพอลิเอทิลีนที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า 0.94 โปรงใส และเหนียวขึ้นรูปได้ง่าย นิยมใช้ทำฟิล์มสำหรับทำถุงบรรจุอาหาร และเนื่องจากมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี จึงใช้เป็นฉนวนในอุปกรณ์สื่อสาร ปลูกหุ้มสายเคเบิล สมบัติทั่วไปแสดงดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

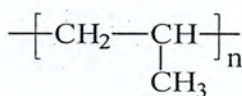
2. ชนิดความหนาแน่นสูง (High - density polyethylene: HDPE) เป็นพอลิเอทิลีนที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 0.94 มีสมบัติเหมาะกับการขึ้นรูปแบบกลวง เช่น การเป่าขวด และเนื่องจากทนต่อสารเคมีได้ดีจึงนิยมใช้ทำภาชนะบรรจุสารเคมี ถ้าทำเป็นแผ่นฟิล์มจะมีความเหนียว กิ่งโปร่งแสง จึงนิยมใช้แผ่นฟิล์มทำเป็นถุงใส่สรรพสินค้า สมบัติทั่วไปแสดงดังตารางที่ 2.1

3. ชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low - density polyethylene: LLDPE) ใช้ผสมกับ LDPE เพื่อเพิ่มความเหนียวให้กับผลิตภัณฑ์ สามารถใช้ผลิตแผ่นฟิล์มที่บางมากๆ ได้

ตารางที่ 2.1 สมบัติของ LDPE และ HDPE [9]

สมบัติ	ชนิด LDPE	ชนิด HDPE
Crystallinity (%)	60	95
Density (g/cm ³)	0.92	0.95
Tensile strength (MPa)	11	31
Elongation (%)	100 ถึง 600	50 ถึง 800
Impact value (J)	ไม่มีการแตกหัก	5 ถึง 15
Tg (°C)	-120	-120
Tm (°C)	115	138
Maximum service temperatures (°C)	85	125

2.3 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) [3, 10-12]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของพอลิโพรพิลีน

พอลิโพรพิลีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของโพรพิลีน

เป็นสารที่ไม่มีขั้ว (Non polar) จึงแสดงสมบัติการต้านทานสารเคมีได้เป็นอย่างดี สามารถทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรด-เบสได้ เหมาะสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานประเภทที่ต้องการสมบัติด้านการทนทานต่อสภาพแวดล้อมและทนความร้อนได้ดี ด้านทานการกระแทกสูง มีจุดเปราะตัวที่อุณหภูมิค่านิยมใช้ผลิตเป็นวัสดุหรือชิ้นส่วนต่างๆ เช่น ชิ้นส่วนของเครื่องซักผ้า ตัวถังและกันชนรถยนต์ เนื่องจากฟิล์มพอลิโพรพิลีนมีความโปร่งใสมากจึงนิยมนำมาทำถุงพลาสติกทนร้อนสำหรับบรรจุอาหาร

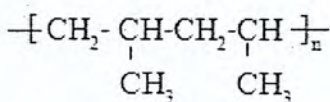
สมบัติทั่วไปของพอลิโพรพิลีน [10]

1. ความหนาแน่น 0.895 – 0.912 g/cm³
2. มีน้ำหนักเบา
3. จุดหลอมเหลวปานกลาง 134-165 °C
4. ไม่ละลายในตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้อง
5. ทนกรดและเบส
6. ติดไฟง่าย
7. ละลายในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 °C
8. ดัชนีการหลอมไหล (Melt flow index) อยู่ในช่วง 0.47 – 350 g / 10 min

2.3.1 ประเภทของพอลิโพรพิลีนแบ่งตามการเกาะของหมู่เมทิลบนสายโซ่หลัก

พอลิโพรพิลีนสามารถแบ่งตามการเกาะของหมู่เมทิลบนสายโซ่หลักได้ 3 ประเภท ดังนี้

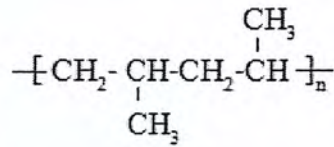
1. ไอโซแทคติกพอลิโพรพิลีน (Isotactic polypropylene) (รูปที่ 2.3) โครงสร้างมีหมู่เมทิล (-CH₃) เกาะเรียงกันอยู่ทางด้านใดด้านหนึ่งบนสายโซ่หลัก ทำให้เกิดการตกผลึกได้ดีที่สุด สมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีนนอกจากขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่เป็นแบบไอโซแทคติกแล้วยังขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของพอลิโพรพิลีนด้วย



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของไอโซแทคติกพอลิโพรพิลีน

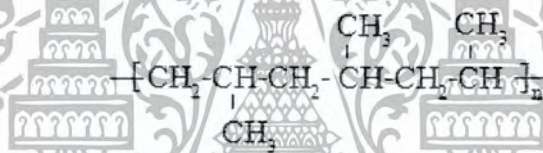
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ซินดิโอแทคติกพอลิโพรพิลีน (Syndiotactic polypropylene) (รูปที่ 2.4) โครงสร้างมีหมู่เมทิลเกาะสลับกันบนสายโซ่หลักอย่างเป็นระเบียบ ทำให้เกิดการตกผลึกลดลงด้วย



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของซินดิโอแทคติกพอลิโพรพิลีน

3. อะแทคติกพอลิโพรพิลีน (Atactic polypropylene) (รูปที่ 2.5) โครงสร้างมีการเกาะของหมู่เมทิลบนสายโซ่หลักอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้เกิดการตกผลึกน้อยที่สุด มักมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าพอลิโพรพิลีนชนิดอื่น



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอะแทคติกพอลิโพรพิลีน

อะแทคติกพอลิโพรพิลีนสามารถทำการผลิตได้โดยตรงหรือเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต ตามปกติพอลิโพรพิลีนชนิดอะแทคติกอย่างสมบูรณ์จะมีโครงสร้างแบบอสัณฐาน แต่ในทางการค้ายังมีส่วนที่เป็นผลึกหลงเหลืออยู่บ้าง น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 20,000 - 80,000 g/mol และความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.86 g/cm³ อะแทคติกพอลิโพรพิลีนมีลักษณะอยู่กึ่งกลางระหว่างไอโซแทคติกและซังดิโอแทคติก สามารถทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนได้เช่นเดียวกับไอโซแทคติกพอลิโพรพิลีน แต่อะแทคติกพอลิโพรพิลีนจะเกิดการบวมอย่างมากในสารไฮโดรคาร์บอนทั้งประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว และรวมตัวได้ดีกับตัวเติมจำพวกแรมบิโทมินัสและเรซินต่างๆ ในอดีตอะแทคติกพอลิโพรพิลีนเป็นผลพลอยได้ที่ไม่ต้องการจากการผลิต แต่ปัจจุบันมีการนำมาใช้งานมากขึ้น ในยุโรปใช้ผสมกับบิโทมินัสเพื่อใช้ทำรอยต่อต่างๆ การผสมพลาสติกชนิดนี้จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น อะแทคติกพอลิโพรพิลีนมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศและไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การใช้ประโยชน์พอลิโพรพิลีน

ปัจจุบันมีการใช้พอลิโพรพิลีนอย่างกว้างขวาง มีการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ให้เหมาะสมกับประโยชน์ใช้งาน แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) เป็นการนำพอลิโพรพิลีนมาต่อกันโดยมีหมู่เมทิลที่อยู่บนโครงสร้างหลักอยู่ข้างเดียวกันของระนาบ มักขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป พอลิโพรพิลีนเสื่อมสภาพได้เมื่อสัมผัสกับแสงอาทิตย์เป็นเวลานาน ดังนั้นจึงต้องเติมสารเติมแต่งเพื่อป้องกันการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ พอลิโพรพิลีนมีลักษณะขุ่นแต่สามารถปรับปรุงให้ใสและมีสมบัติดีขึ้นได้ โดยการเติมตัวเหนียวน้ำทำให้เกิดการตกผลึกเพิ่มขึ้น ประโยชน์ของพอลิโพรพิลีนชนิดนี้ใช้ทำฟิล์ม เส้นใย ตาข่าย ฝาขวด เข็มฉีดยา ของเด็กเล่น ชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น

2. พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (Random copolymer) พอลิเมอร์ชนิดนี้มีเอทิลีนประมาณร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก ซึ่งเติมลงในสายโซ่ของพอลิโพรพิลีน ใช้ผลิตเป็นฟิล์มบรรจุอาหารและห่ออาหารได้ตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์กันชนของรถยนต์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น

3. พอลิเมอร์ร่วมชนิดรับแรงกระแทก (High impact copolymer) มีความทนทานต่อแรงกระแทกได้ดี แม้ที่อุณหภูมิต่ำ ถึงกระนั้นโดยเติมมอนอเมอร์อื่นๆ ประมาณ 20 % ในสายโซ่ของพอลิโพรพิลีนซึ่งมักจะเป็นเอทิลีนหรือยาง ต้องใช้ความละเอียดรอบคอบในการสังเคราะห์ และควบคุมภาวะให้เหมาะสม เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลและองค์ประกอบตามต้องการ ใช้ผลิตเบาะนั่งในรถ กระเป๋าเดินทาง อุปกรณ์หล่อเย็น เป็นต้น

2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) [13]

ตัวเร่งปฏิกิริยามีกลไกไปลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา โดยไม่ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นหรือไปรบกวนสมดุลของปฏิกิริยา ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงเป็นตัวเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่านั้น เมื่อพิจารณาค่าคงที่ของสมดุลของปฏิกิริยา พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องไม่ทำให้ค่าคงที่ของสมดุลเปลี่ยนแปลง แต่ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาไปข้างหน้าและอัตราเร็วของปฏิกิริยาย้อนกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งตามทฤษฎีแล้วเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะได้ตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาเท่ากับปริมาณที่ใช้เริ่มต้น โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพ แต่ในทางปฏิบัติตัวเร่งปฏิกิริยาอาจเกิดการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างหรือองค์ประกอบได้ เช่น การเปลี่ยนอัตราส่วนของออกซิเจนต่อโลหะในตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะออกไซด์บางชนิดที่อุณหภูมิสูง หรือการสัมผัสของสารตั้งต้นในระหว่างการทำปฏิกิริยา

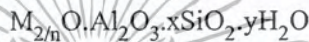
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ซีโอไลต์ (Zeolite) [14-16]

“ซีโอไลต์” มาจากภาษากรีกสองคำ แปลว่า หินเดือด (Boiling stone) เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนแก่ผลึกแล้วจะเกิดฟองและไอน้ำออกมาจากก้อนผลึก แร่กลุ่มนี้ประกอบด้วย อะลูมิโนซิลิเกตของแอลคาไล หรือแอลคาไลเอิร์ท ส่วนมากมักจะเป็นโลหะ โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) สตรอนเทียม (Sr) และแบเรียม (Ba) ที่มีน้ำอยู่ในโครงผลึก ซีโอไลต์ที่ค้นพบขณะนั้น คือ Stibite

โครงสร้างของซีโอไลต์มีลักษณะเป็นโครงร่าง 3 มิติของอะลูมิเนียม - ออกซิเจนเตตระฮีดรอล (AlO_4)⁻ หรือซิลิกอน - ออกซิเจนเตตระฮีดรอล (SiO_4)⁴⁻ ซึ่งประกอบกันเป็นอะลูมิโนซิลิเกตโดยการเชื่อมต่อกันของออกซิเจนอะตอมแบบไม่สิ้นสุด ดังรูปที่ 2.6

สูตรอย่างง่ายของซีโอไลต์ คือ



n คือ ivalence ของแคตไอออน (M) ส่วนมากมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 2 ของโลหะแอลคาไล หรือ แอลคาไลเอิร์ท

x คือ จำนวน โมลของ SiO_2 โดยมากจะมีค่า ≥ 2

y คือ จำนวน โมลของน้ำที่อยู่ในช่องว่างของผลึกซีโอไลต์

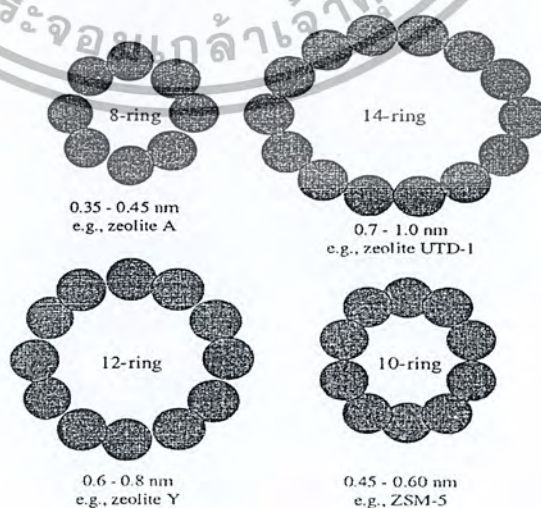
รูปที่ 2.6 หน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ - Primary building unit รูปทรงเตตระฮีดรอลของออกซิเจนเชื่อมต่อกับซิลิกอนของซีโอไลต์ [14]

ซีโอไลต์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic zeolites) ซีโอไลต์สังเคราะห์เกิดจากการทำปฏิกิริยาของออกไซด์ชนิดเบสต่างๆ เช่น Al_2O_3 , SiO_2 , Na_2O และ K_2O ในระบบที่มีน้ำและความร้อน (Hydrothermal synthesis) เพื่อให้ได้ซีโอไลต์ที่มีน้ำในผลึก การสังเคราะห์ซีโอไลต์สามารถทำให้เกิดขึ้นได้ทั้งในลักษณะที่เป็นเจล (Gelation) เป็นรูพรุน (Porous) และลักษณะที่คล้ายเม็ดทราย (Sand-like zeolite) ได้ซีโอไลต์ที่มีองค์ประกอบและโครงสร้างตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

ซีโอไลต์สังเคราะห์เหมาะสำหรับงานวิจัย และมีประโยชน์กับอุตสาหกรรมมากกว่าซีโอไลต์จากธรรมชาติ เนื่องจากโครงสร้างของซีโอไลต์สังเคราะห์มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า และยังมีควมบริสุทธิ์สูงกว่า ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับงานอุตสาหกรรมที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเหมือนกันทุกครั้งและสามารถทำซ้ำได้ (Reproducibility) โดยเฉพาะสารเจือปนที่อยู่ในซีโอไลต์จากธรรมชาติ เช่น ปริมาณเหล็กเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้เกิดความเสียหายในปฏิกิริยาการเร่งแบบวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous catalysis)

ประเภทของซีโอไลต์แบ่งตามขนาดรูพรุน

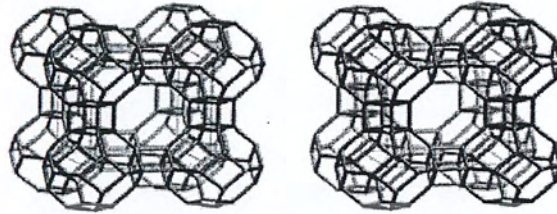
ผลึกของซีโอไลต์ประกอบด้วยรูพรุนซึ่งมีขนาดและรูปร่างที่แน่นอน รูพรุนประกอบด้วยอะตอมออกซิเจนเป็นวงแหวน ซึ่งขนาดวงแหวนแทนด้วยสัญลักษณ์ nOR โดย n คือ จำนวนออกซิเจนซึ่งต่อกันอยู่ เนื่องจากอะตอมของออกซิเจนใหญ่กว่าอะตอมของไอออนบวก คือ Si^{4+} และ Al^{3+} ดังนั้นพื้นผิวภายใน (Interior surface) ของซีโอไลต์จึงประกอบด้วยออกซิเจนทั้งหมดขนาดของรูพรุนในซีโอไลต์ แบ่งออกได้ 4 ขนาด ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ขนาดของรูพรุนของซีโอไลต์ตามการจัดเรียงตัวของอะตอมออกซิเจน [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

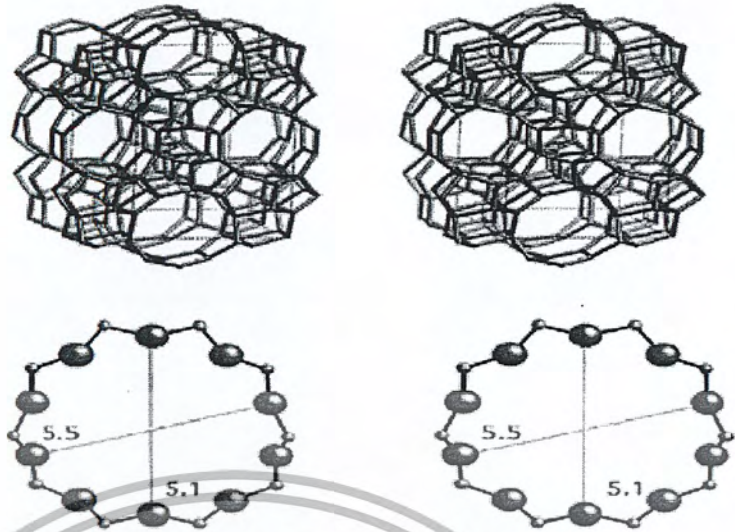
ซีโอไลต์รูพรุนขนาดเล็ก (Small - pore zeolite) มีขนาดของรูพรุนน้อยกว่า 5 อังสตรอม (0.30 - 0.45 นาโนเมตร) ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งโครงสร้างแต่ละวงประกอบด้วยออกซิเจน 8 อะตอม (8OR) เช่น ซีโอไลต์ A



8-ring viewed along <100>

รูปที่ 2.9 ลักษณะ โครงสร้างและขนาดรูพรุนของซีโอไลต์ A [16]

ซีโอไลต์รูพรุนขนาดกลาง (Medium - pore zeolite) มีขนาดรูพรุน 5 - 6 อังสตรอม (0.50 - 0.60 นาโนเมตร) ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งโครงสร้างแต่ละวงประกอบด้วยออกซิเจน 10 อะตอม (10OR) เช่น ซีโอไลต์ ZSM - 5



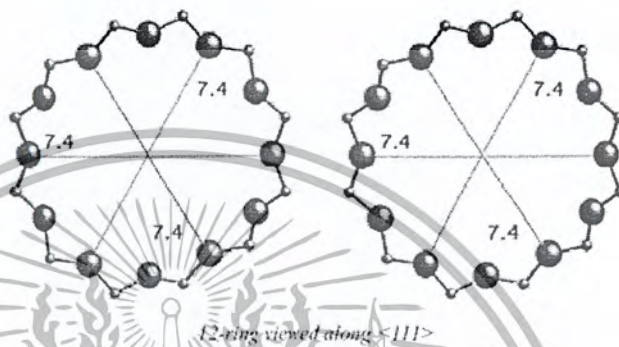
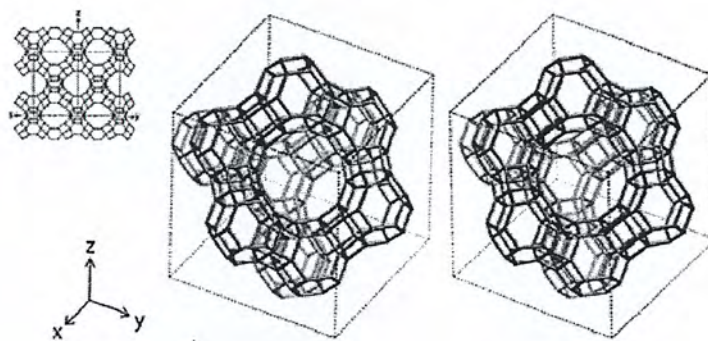
10-ring viewed along [100]



10-ring viewed along [010]

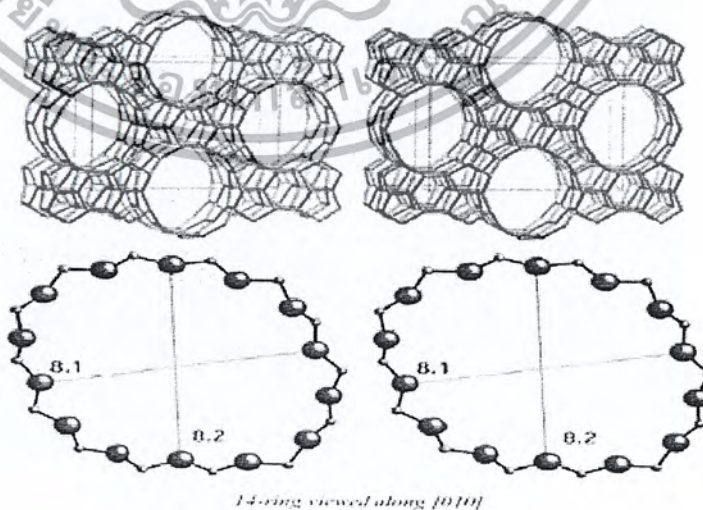
รูปที่ 2.10 ลักษณะโครงสร้างและขนาดรูพรุนของซีโอไลต์ ZSM - 5 [16]

ซีโอไลต์รูพรุนขนาดใหญ่ (Large - pore zeolite) มีขนาดรูพรุน 6- 8 อังสตรอม (0.60 - 0.80 นาโนเมตร) ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งโครงสร้างแต่ละวงประกอบด้วยออกซิเจน 12 อะตอม (12OR) เช่น ซีโอไลต์ X และ ซีโอไลต์ Y (Faujasite: FAU)



รูปที่ 2.11 ลักษณะ โครงสร้างและขนาดรูพรุนของซีโอไลต์ X และ ซีโอไลต์ Y [16]

ซีโอไลต์รูพรุนขนาดใหญ่มาก (Very large - pore zeolite) มีขนาดรูพรุน 0.70 - 1.00 นาโนเมตร ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งโครงสร้างแต่ละวงประกอบด้วยออกซิเจน 14 อะตอม (14OR) เช่น ซีโอไลต์ UTD -1



รูปที่ 2.12 ลักษณะ โครงสร้างและขนาดรูพรุนของซีโอไลต์ UTD - 1 [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้เห็นใช้เชิงพาณิชย์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 สมบัติที่สำคัญของซีโอไลต์ [17-18]

- การแลกเปลี่ยนไอออน ซีโอไลต์สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุบวกนี้เป็นกระบวนการแบบผันกลับได้
- การดูดซับน้ำ ซีโอไลต์สามารถดูดซับน้ำให้เข้าไปอยู่ในช่องว่างบริเวณผนังด้านในของโพรงชนิดต่างๆ และสามารถกำจัดน้ำออกได้ที่อุณหภูมิสูงพอ
- การคัดขนาดและรูปร่างของโมเลกุลที่ผ่านเข้าออกจากโพรงของซีโอไลต์ ภายในโครงสร้างของซีโอไลต์ประกอบด้วยโพรงขนาดต่างๆ กัน มีทางให้โมเลกุลของสารผ่านเข้าออกได้ เรียกว่า “ปากโพรง” (Aperture) โดยโมเลกุลที่มีรูปร่างและขนาดพอเหมาะสำหรับปากโพรงเท่านั้น จึงจะสามารถผ่านเข้าออกได้ ทำให้ซีโอไลต์มีสมบัติในการกรองแยกโมเลกุลได้ (Molecular sieve)
 - พื้นที่ผิว (Surface area) ตัวเร่งปฏิกิริยายังมีพื้นที่ผิวมากโอกาสที่โมเลกุลจะเข้าทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น การวิเคราะห์พื้นที่ผิวมักใช้วิธี BET (Brunauer – Emmett - Teller) เป็นการวัดค่าพื้นที่ผิวด้วยวิธีการดูดซับกายภาพแบบหลายชั้น โดยวัดปริมาตรของแก๊สในโตรเจนที่ดูดซับด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ภาวะสมดุล
 - สมบัติที่สำคัญอื่น เช่น ความหนาแน่นของตำแหน่งที่เป็นกรด (Acid site density) ความแรงของกรด (Acid strength) ขนาดและการกระจายตัวของขนาดของรูพรุนภายใน (Pore size and pore size distribution) ลักษณะรูปร่าง และขนาดของทางเข้าออกรูพรุน (Pore entrance)

ตารางที่ 2.2 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ [19]

Catalyst	HZSM-5	b-zeolite	FCC	MCM-41	SA	HNZ	HY
Commercial name	HZSM-5 catalyst	b-zeolite catalyst	Engelhard FCC catalyst	MCM-41 catalyst	Silica alumina	Clinoptilolite catalyst	Y zeolite catalyst
Si/Al	31	39	12.90	45	36	4	3
Pore size (nm)	0.55	0.64	-	2.40	2-12	-	0.74
BET area (m ² /g)	361	613	151	1,164	261	271	583
Surface area (m ² /g)	7	25	-	73	-	-	9
Pore volume (cm ³ /g)	0.81	0.35	78	0.79	0.97	0.107	0.26
Acidity (NH ₄ ⁺ /g)	0.52	0.32	0.22	0.24	0.24	-	0.37

2.4.3 โครงสร้างและตำแหน่งที่แลกเปลี่ยนไอออนของซีโอไลต์ชนิดฟูจาไซต์ (Faujasite: FAU) [14]

USY ซีโอไลต์ (Ultrastable Y) เป็นซีโอไลต์ชนิดฟูจาไซต์ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของ Si/Al มากกว่า 3 มีพื้นที่ผิวและความเป็นกรดสูงและมีความเสถียรกับความร้อนและน้ำ USY ซีโอไลต์เตรียมโดยนำซีโอไลต์ NaY มาแลกเปลี่ยนไอออนกับไอออนแอมโมเนียมด้วยสารละลายเกลือของแอมโมเนียม เช่น NH_4Cl ได้เป็น NH_4Y แล้วนำไปผ่านไอน้ำร้อนยิ่งยวดเพื่อให้อะตอมของอะลูมิเนียมหลุดออก (Dealumination) และเกิดการจัดเรียงอะตอมภายในโครงสร้างใหม่เป็น USY ซีโอไลต์ เมื่อใช้สารละลายกรดอะลูมิเนียมส่วนเกินที่หลุดออก (Extra framework aluminium) จะได้ HUSY ซีโอไลต์ ดังรูปที่ 2.13 USY ซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีค่าการเลือกเกิดแก๊สสูงเกินกว่าแก๊สน้ำมัน มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กคล้ายผงแป้ง

การเตรียม HUSY ซีโอไลต์ ดังแสดง



รูปที่ 2.13 ตำแหน่งไอออนโลหะบนซีโอไลต์ชนิดฟูจาไซต์ [16]

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph (DGC) พร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นตามคาบจุดเดือด แสดงดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวจาก Simulated distillation gas chromatograph พร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นตามคาบจุดเดือด [11]

Boiling point ($^{\circ}\text{C}$)	Fraction
IBP \leq 200	Naphtha ($\text{C}_5 - \text{C}_{12}$)
200 \leq 250	Kerosene ($\text{C}_{12} - \text{C}_{15}$)
250 \leq 350	Light gas oils ($\text{C}_{15} - \text{C}_{25}$)
350 \leq 370	Gas oils ($\text{C}_{25} - \text{C}_{33}$)
FBP \leq 370	Long residue ($> \text{C}_{33}$)

2.4.4 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งานซีโอไลต์ [17]

ซีโอไลต์มีประโยชน์และบทบาทในงานอุตสาหกรรมหลายด้าน เช่น

1. การใช้ซีโอไลต์สำหรับการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchanger) ไอออนบวกภายในซีโอไลต์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนกับไอออนบวกอื่นได้ จึงสามารถนำมาใช้ในกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน สามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมผงซักฟอก ไอออนบวกในซีโอไลต์จะแลกเปลี่ยนกับไอออนบวกของแคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ที่ผสมอยู่ในผงซักฟอกได้ ไอออนของแคลเซียมหรือแมกนีเซียมที่เข้าไปอยู่ในโพรงของซีโอไลต์จะช่วยลดแรงดึงผิวของน้ำ นอกจากนี้ซีโอไลต์ยังใช้ในการบำบัดน้ำเสียหรือการกำจัดโลหะต่างๆ

2. ใช้เป็นตัวดูดซับ เมื่อทำการไล่น้ำออกจากโพรงของซีโอไลต์จะเกิดช่องว่างในโพรงของซีโอไลต์ขึ้น ซึ่งโพรงนี้จะมีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลได้มากยิ่งขึ้น ทั้งนี้โมเลกุลต่างๆ ที่สามารถเข้าและออกจากโพรงของซีโอไลต์ได้จะถูกกำหนดโดยลักษณะและขนาดของหน้าตาของโพรง จากสมบัตินี้จึงนำซีโอไลต์มาใช้ประโยชน์ดังนี้

- Drying agent เช่น ในการผลิตตู้เย็นจะใช้ซีโอไลต์ในการทำให้สารทำความเย็นประเภท ฮาโลคาร์บอน (Halocarbon) แห้ง หรือใช้กำจัดน้ำออกจากแก๊สผสมของไฮโดรเจนและออกซิเจน

- Gas purification ใช้กำจัดสารปนเปื้อนออกจากแก๊สผสม ได้แก่ กำจัดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ออกจากแก๊สปิโตรเลียมเหลว และใช้บำบัดอากาศให้บริสุทธิ์โดยซีโอไลต์จะเข้าไปจับกับไอปรอท ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Liquid - phase separation เป็นการแยกของผสมที่เป็นของเหลวโดยใช้ซีโอไลต์ที่มีขนาดของโพรงต่างๆ กัน โดยนำซีโอไลต์มาเรียงเป็นชั้นๆ ตามขนาดของรูพรุนในเบดนิ่ง (Fixed bed) เพื่อแยกของเหลวขนาดโมเลกุลต่างกันอย่างที่ผสมกันอยู่

3. การเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Acid site เกิดขึ้นในซีโอไลต์ที่มีปริมาณซิลิกาอยู่มากๆ หรือมีอัตราส่วนของซิลิกาต่ออะลูมินาสูงๆ Transition metal site เป็นซีโอไลต์ที่มีโลหะทรานซิชันอยู่ภายในโพรงของซีโอไลต์ ซึ่งมีการประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น ปฏิกิริยา Hydrocracking จะใช้ซีโอไลต์ X หรือ Y ที่มี Co, Mo, W และ Ni เป็น Active site

ปฏิกิริยาที่ใช้ซีโอไลต์เร่งปฏิกิริยา เช่น

- Hydrocracking
- Benzene alkylation
- Xylene isomerization

2.5 การแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal cracking) [3, 8, 13]

การแตกตัวด้วยความร้อนเป็นกระบวนการที่โมเลกุลของสารแตกตัวออกเป็นโมเลกุลขนาดเล็กเนื่องจากได้รับพลังงานเกินพลังงานที่ใช้ในการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล หากควบคุมให้การแตกตัวเกิดอย่างพอดีจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ แต่ถ้าให้ความร้อนมากเกินไปจนเกินพอดี จะเกิดโมเลกุลจะมีขนาดเล็กเกินไปประเภทแก๊สไฮโดรคาร์บอน

การแตกตัวด้วยความร้อนเป็นปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical) แบบห่วงโซ่ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน

1. ขั้นเริ่มต้น (Initiation step) เป็นขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ ความร้อนจะไปทำให้พันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนแตกออกจากกัน และเกิดเป็นอนุมูลอิสระที่เป็นต้นกำเนิดของปฏิกิริยาขั้นต่อไป

2. ขั้นการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องแบบลูกโซ่ (Propagation step) เกิดจากอนุมูลอิสระในขั้นเริ่มต้นทำปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง การแตกตัวเริ่มจากอนุมูลอิสระเข้าไปยังพันธะคาร์บอนที่ตำแหน่งเบต้า (β) เกิดอนุมูลอิสระใหม่ (β - fission) ทำให้ภายในสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนเกิดความไม่เสถียร ส่งผลให้เกิดขั้นตอนการเคลื่อนที่ของไฮโดรเจน (Chain transfer) เพื่อให้โมเลกุลมีความเสถียร และเกิดเป็นสารต่างๆ ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงจากพอลิเมอร์เดิม พร้อมกับเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้น เพื่อเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องไปเรื่อยๆ

3. ขั้นหยุดปฏิกิริยา (Termination step) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะหยุดปฏิกิริยาต่อเนื่อง โดยการทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยอาจเกิดเป็น โมเลกุลใหม่ โมเลกุลเดี่ยว หรือเกิดเป็น โมเลกุลย่อย 2 โมเลกุล

2.6 การแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking) [8, 11-12]

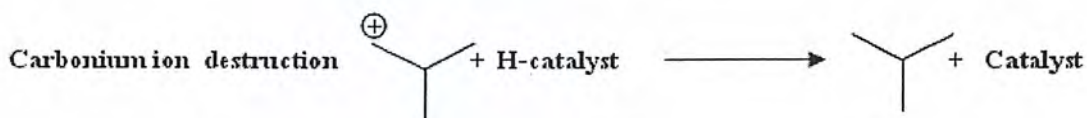
การแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา คือ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการแตกสลายพันธะระหว่างคาร์บอนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำหน้าที่ปรับปรุงและควบคุมให้เกิดการแตกสลายไปในแนวทางที่ต้องการ กระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นกรดจะเกิดขึ้นผ่านปฏิกิริยาของคาร์โบเนียมไอออน (Carbonium ion) ซึ่งตรงกันข้ามกับกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านอนุมูลอิสระ กลไกของปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด แสดงดังต่อไปนี้



เริ่มแรกโปรตอนจากตัวเร่งปฏิกิริยา จะเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเกิดเป็นคาร์โบเนียมไอออน จากนั้นมีการเปลี่ยนที่ระหว่างประจวบกับกลุ่มเมทิล (Me - shift) และระหว่างประจวบกับไฮโดรเจน (H - shift) เพื่อให้ได้คาร์โบเนียมไอออนที่เสถียรกว่า หลังจากนั้น จะเกิดการแตกตัวที่ตำแหน่งเบต้า ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบโอเลฟินส์และคาร์โบเนียมไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีขนาดเล็กลง ปฏิกิริยาจะหยุดเมื่อคาร์โบเนียมไอออนทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยา และอาจเกิดการแตกตัวต่อไปได้อีกถ้าตัวเร่งปฏิกิริยานั้นยังคงมีความว่องไวอยู่

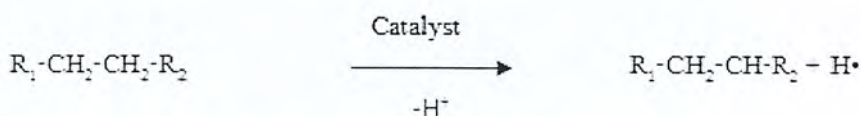


ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการแตกสลายนี้ นิยมใช้สารประกอบซิลิกา - อะลูมินา รวมทั้งซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีโครงสร้างรูพรุนขนาดเล็ก (Microporous catalysts) เช่น ซีโอไลต์ในกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนเนื่องจากมีความแตกต่างจากตัวเร่งปฏิกิริยาสามัญทั่วไปคือสามารถดูดซับสารที่มีความดันต่ำ และลักษณะของการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเฉพาะเจาะจงกับรูปร่าง (Shape selectivity) ซึ่งเพิ่มขึ้นตาม Active sites ที่มีรูพรุนนั้น และยังสามารถจำกัดการเกิดสารมัธยันต์ (Intermediates) ระหว่างการเกิดปฏิกิริยา หรือการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในรูพรุนได้

จากสมบัติต่างๆ ของซีโอไลต์นี้ ทำให้ซีโอไลต์ถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะปฏิกิริยาการแตกสลายพันธะด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด Y ร่วมกับซีโอไลต์ชนิด H-ZSM-5 เพื่อเพิ่มปริมาณสารอะโรมาติกส์ในส่วนของน้ำมันแกโซลีน

2.7 การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking) [8, 11-13]

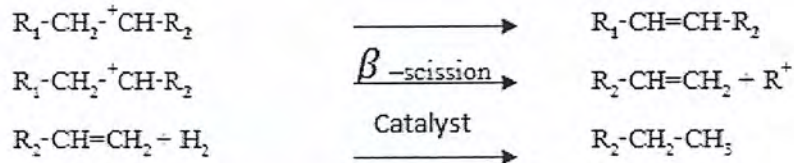
การแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมเป็นกระบวนการที่รวมระหว่างการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและการเติมไฮโดรเจน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มี 2 ชนิด คือ จักรูปแบบใหม่และสลายพันธะของไฮโดรคาร์บอน มักประกอบด้วยสารประเภทซิลิกา - อะลูมินาที่สามารถช่วยในการแตกพันธะคาร์บอนได้พร้อมกับการเติมไฮโดรเจน หน้าที่ของไฮโดรเจนคือการทำให้สายของคาร์บอนบริสุทธิ์ปราศจากกำมะถันและไนโตรเจนได้ผลิตภัณฑ์ที่แตกแขนงจำนวนมาก เกิดเป็นพาราฟินและเนฟทีน



คาร์โบเนียมไอออนอาจมีการจัดเรียงตัวใหม่ โดยการกำจัดโปรตอนออกจากโอเลฟินส์ หรือเกิดการแตกตัวที่ตำแหน่งเบต้า (β -scission) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโอเลฟินส์และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์โบเนียมไอออนตัวใหม่ จากนั้นเกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนและการดึงไฮโดรเจน โอเลฟินส์ ที่ผ่านการเติมไฮโดรเจนจะกลายเป็นสารประกอบพาราฟิน



หากปฏิกิริยาเกิดในภาวะที่อุณหภูมิ 400 - 480 องศาเซลเซียส ความดัน 35 - 170 บรรยากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นสารประกอบอิ่มตัวค่อนข้างมาก ซึ่งทำให้แกโซลีนที่ได้จากกระบวนการนี้มีค่าออกเทนต่ำกว่ากระบวนการแตกตัวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีปริมาณสารประกอบอะโรมาติกส์น้อย เพราะเกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนมากกว่า สารที่ได้จึงมักนำไปใช้เป็นแก๊สปิโตรเลียมเหลว และเชื้อเพลิงในเครื่องบิน กระบวนการการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมนี้เป็นปฏิกิริยาควบคุมความร้อน ทำให้อุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์เพิ่มขึ้นจึงจำเป็นต้องควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างดี เพราะหากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดโค้ก และทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสูญเสียความสามารถ หรือทำให้เครื่องปฏิกรณ์ได้รับความเสียหาย รวมทั้งได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการ อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ใดๆ นั้นต้องอาศัยปัจจัยอื่นๆ ควบคู่กันไปด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นกับอุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ต่อการแตกตัว

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประชารัตน์ แต่ภักดี [3] ศึกษากระบวนการแตกตัวของพอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ขนาด 70 มิลลิลิตร พบว่าภาวะที่เหมาะสมของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วบนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างพอลิโพรพิลีนต่อพอลิสไตรีนต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 28 : 12 : 60 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 5 wt% อุณหภูมิในการทดลอง 430°C เวลาการทำปฏิกิริยา 75 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 75.65 แก๊ส 17.37 และของแข็งที่ไม่ทำปฏิกิริยา 6.98 เมื่อวิเคราะห์การกระจายตัวตามคาบจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ของเหลว พบว่ามีปริมาณของแกโซลีนร้อยละ 61.25 เคโรซีน 13.25 แก๊สออยล์เบา 15.84 แก๊สออยล์หนัก 3.65 และกากน้ำมันหนัก 6.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธราพงษ์ วิทิตสานต์ [11] ศึกษาการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนและพอลิสไตรีนภายใต้ความดันแก๊สไฮโดรเจน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน พบว่าพอลิสไตรีนแตกตัวเป็นของเหลวร้อยละ 89.98 ภายใต้ความดันไฮโดรเจน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อพลาสติก 3 wt% องค์ประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟีมีเนฟทา ร้อยละ 23.83 เคโรซีน 1.80 แก๊สออกไซด์ 25.18 และโมเลกุลสายโซ่ยาวร้อยละ 39.12 ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นโทลูอีน เอทิลเบนซีน ไดฟีนิลโพรเพน และคิวมีน

สมสุข ไตรศุกิตติ [20] ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพอลิเอทิลีนไปเป็นแกโซลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์แกโซลีน ที่อุณหภูมิ 400 - 480 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 10 - 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 - 60 นาที ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ต่างๆ พบว่าภาวะที่ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุด คือ อุณหภูมิ 450 °C ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เวลา 45 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ที่มีอัตราส่วนเชิงโมลของซิลิกาต่ออะลูมินา (Si/Al = 44) ได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลว 69.20 และค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่เป็นเนฟทา ร้อยละ 43.60

R. van Grieken, D.P. Serrano, J. Aguado, R. Garcı, C. Rojo [21] ศึกษาการแตกตัวด้วยความร้อนและการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของพอลิเอทิลีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ อุณหภูมิ 380°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 360 นาที ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา Mesoporous aluminosilicate materials (MCM-41) ภายใต้ความดันแก๊สไฮโดรเจน พบว่าการแตกตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำด้วยความร้อนได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 2.50 แก๊ส 7.30 และของแข็ง 90.20 ส่วน การแตกตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำด้วยความร้อนภายใต้ภาวะของการทำปฏิกิริยาเดียวกันร่วมกับการใช้ MCM-41 ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 23.20 แก๊ส 37.30 และของแข็ง 39.50 สำหรับการแตกตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วยความร้อนภายใต้ภาวะของการทำปฏิกิริยาเดียวกันกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำไม่เกิดผลิตภัณฑ์ของเหลว ได้แก๊สร้อยละ 2.5 และของแข็ง 97.5 ในกรณีการแตกตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วยความร้อนร่วมกับการใช้ MCM-41 ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 22.90 แก๊ส 35.90 และของแข็ง 41.20

Congxia Xie, Fusheng Liu, Shitao Yu, Fangfei Xie, Lu Li, Shufen Zhang, Jinzong Yang [22] พบว่าการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนด้วยเซอร์โคเนียม (Zr) และโมลิบดีนัม (Mo) บน Mesoporous aluminosilicate materials (MCM-41) ภายใต้ความดันแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 400°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อพอลิโพรพิลีน 1 wt% พบว่า ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 90.71 แก๊ส 7.89 และของแข็ง 1.40 เพราะการเติม เซอร์โคเนียม และโมลิบดีนัมบน MCM-41 จะช่วยเพิ่ม Acidity และ Active site ตามลำดับ นอกจากนี้ยังแสดงผลการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนด้วยความร้อนภายใต้ความดันแก๊สไนโตรเจน พบว่า ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 23.16 แก๊ส 7.24 และของแข็ง 69.60

จากงานวิจัยนี้จะเห็นว่าการแตกตัวของพลาสติกพอลิโพรพิลีนที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิด ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากกว่าการแตกตัวด้วยความร้อนอย่างชัดเจน



บทที่ 3

เครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 3.1 ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ด้านบนมีชุดฝาปิดทำจากสแตนเลสเหนียวอย่างดี มีชุดอุปกรณ์สำหรับอัดแก๊สและวาล์วনিรภัย สามารถทำการทดลองภายใต้อุณหภูมิถึง 500 °C ความดัน 10 MPa มีชุดเทอร์โมคัปเปิล แบบเค (K type) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างทำการทดลอง

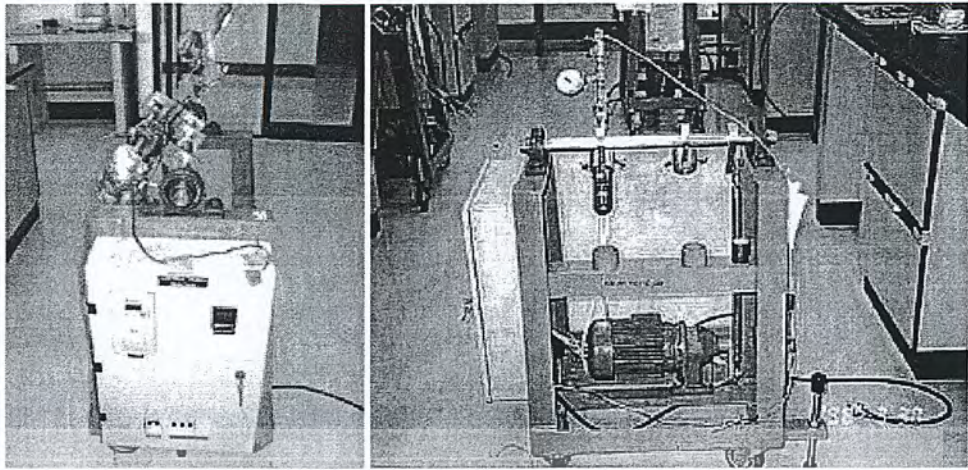


รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะความจุ 250 มิลลิลิตร [13]

3.1.2 ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล (Temperature control) ในรูปที่ 3.2 ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกระแสจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังขดลวดความร้อนแรงดัน 230 โวลต์ กำลัง 350 วัตต์ และตัดการจ่ายกระแสเมื่อภายในเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิตามที่กำหนด ชุดควบคุมสามารถคุมอุณหภูมิได้ระดับ $\pm 10^{\circ}\text{C}$

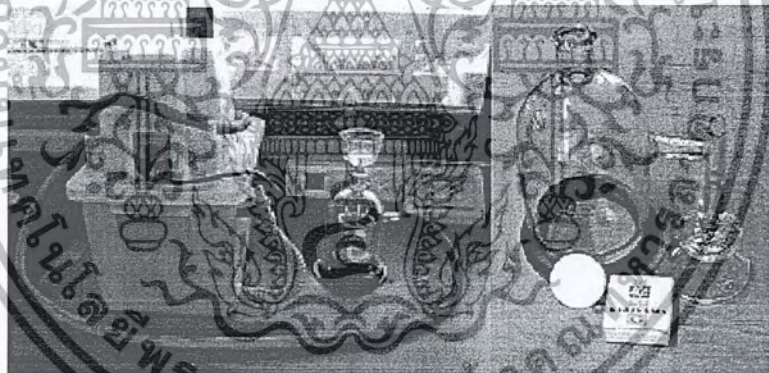
3.1.3 ชุดควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ มีมอเตอร์เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนแกนหมุนให้สามารถแกว่งเครื่องปฏิกรณ์ การปรับความเร็วรอบของการเขย่าทำโดยชุดควบคุมความเร็ว แสดงดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ชุดทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอลและเครื่องเขย่า [13]

3.1.4 ชุดกรองสุญญากาศ ประกอบด้วยชุดเครื่องแก้วต่อกับเครื่องดูดอากาศเพื่อทำการกรองแยกแบบสุญญากาศผ่านกระดาษกรองใยแก้ว สำหรับแยกส่วนของผลิตภัณฑ์ของเหลวออกจากส่วนที่เป็นแก๊สและของแข็ง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ชุดกรองสุญญากาศและกระดาษกรองใยแก้ว [13]

3.1.5 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดทศนิยม 2 และ 4 ตำแหน่ง

3.1.6 ตู้อบ

3.1.7 นาฬิกาจับเวลา

3.1.8 เครื่องแก้ว เช่น ปีกเกอร์ หลอดทดลอง ขวดใส่สารตัวอย่าง เป็นต้น

3.1.9 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatograph) และซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น

(Simulated distillation) Variant CP-3800 พร้อมดีเทคเตอร์แบบ Flame ionize detector (FID)

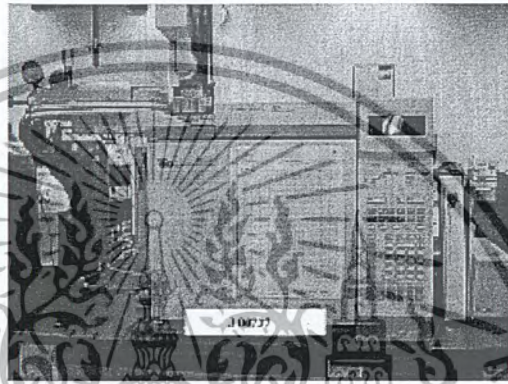
และคอลัมน์ CP-SIL 5 CP แสดงดังรูปที่ 3.4 สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามจุดเดือด มาตรฐาน ASTM D2887 หลักการหาช่วงจุดเดือด (Boiling range distribution) ของตัวอย่างประเภทปิโตรเลียมโดยการแยกด้วยเครื่อง Gas chromatograph ตามมาตรฐาน ASTM 288.3710 CT D-6352 เป็นวิธีที่รวดเร็ว ถูกต้อง และสามารถทวนกลับได้ดีกว่าวิธีการกลั่นแบบเดิม

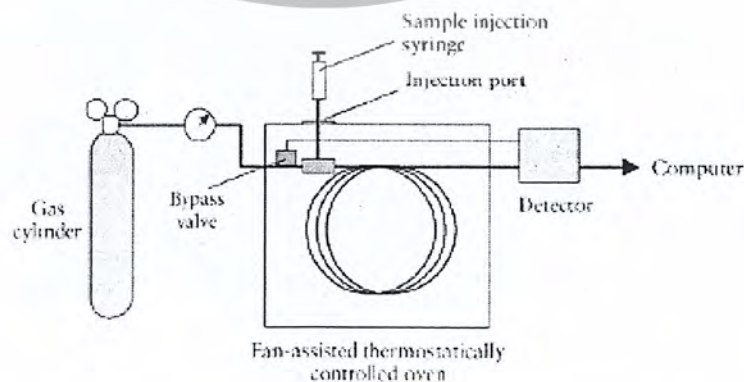
ฟังก์ชันการใช้งาน : การวิเคราะห์หมี 3 ฟังก์ชัน คือ

- การหาช่วงจุดเดือด อุณหภูมิไม่เกิน 260 °C (ASTM D-3710)
- การหาช่วงจุดเดือด อุณหภูมิไม่เกิน 538 °C (ASTM D-2887)
- การหาช่วงจุดเดือด อุณหภูมิไม่เกิน 700 °C (ASTM D-6352)



รูปที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีพร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น [13]

Gas chromatograph ทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบของสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้เมื่อถูกความร้อน กลไกที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่างๆในสารตัวอย่างอาศัยหลักของความชอบที่แตกต่างกันขององค์ประกอบในตัวอย่างที่มีต่อเฟส 2 เฟส คือ Stationary phase และ Mobile phase องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง Gas chromatograph แบ่งได้ 3 ส่วน ดังรูปที่ 3.5 คือ



รูปที่ 3.5 ส่วนประกอบพื้นฐานของ Gas chromatograph [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ส่วนตัวเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Injector คือ ส่วนที่สารตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าเครื่องและระเหยเป็นไอก่อนที่จะเข้าคอลัมน์ อุณหภูมิที่เหมาะสมของ Injector ควรสูงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างสามารถระเหยได้แต่ต้องไม่ทำให้สารสลายตัว ตัวอย่างของ Injector ได้แก่ Split, Splitless on column

2. Oven คือ ส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุคอลัมน์และควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ให้เปลี่ยนไปตามความเหมาะสมกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ การควบคุมอุณหภูมิของ Oven มี 2 แบบ คือ Isocratic temperature และ Gradient temperature ข้อดีของการทำ Gradient temperature คือสามารถใช้ได้กับสารตัวอย่างที่มีจุดเดือดกว้าง (Wide boiling range) และยังช่วยลดเวลาในการวิเคราะห์

3. Detector คือ ส่วนที่จะใช้สำหรับตรวจองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและดูว่าสารตัวอย่างชนิดที่สนใจมีปริมาณอยู่เท่าใด เช่น Mass spectrometer (MS) เป็น Detector ที่ใช้ตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างโดยอาศัยกลไก คือ โมเลกุลขององค์ประกอบที่ถูกแยกออกจากสารตัวอย่างโดยเครื่อง Gas chromatograph จะถูกไอออไนซ์ในภาวะสุญญากาศแล้วตรวจวัดออกมาเป็นเลขมวล (Mass number) เทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิง แล้วแปลผลออกมาเป็นชื่อขององค์ประกอบนั้นๆ

3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี

- 3.2.1 ถูงพลาสติกใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง
- 3.2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ ประเภท USY (ลักษณะเฉพาะดังตารางที่ 3.1)
- 3.2.3 แก๊สไฮโดรเจน 99.99%
- 3.2.4 โทลูอีน

ตารางที่ 3.1 ลักษณะเฉพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา USY ซีโอไลต์ [11]

Properties	USY
BET surface area (m^2/g)	499
Average pore size (nm)	0.74
Acidity ($\text{mmol NH}_3/\text{g}$)	2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ใส่ถุงพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว 20 กรัม ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ และใส่ USY ซีโอไลต์ ตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักที่กำหนด แล้วประกอบเครื่องปฏิกรณ์เข้ากับส่วนประกอบต่างๆ

3.3.2 ไล่อากาศที่อยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์ออกโดยผ่านแก๊สไฮโดรเจน 3 ครั้ง จนได้ความดัน 1 บาร์เกจ ตรวจสอบไม่มีการรั่วของแก๊สตามข้อต่อด้วยน้ำสบู่

3.3.3 ต่อเครื่องปฏิกรณ์เข้ากับชุดควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ เทอร์โมคัปเปิล และขดลวดความร้อน จากนั้นหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน

3.3.4 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 380, 400 และ 420 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 30, 45 และ 60 นาที ที่อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ที่ใช้ต่อพลาสติกใช้แล้ว 1 และ 5 wt% (0.2 และ 1 กรัม USY ซีโอไลต์ ต่อ 20 กรัมพลาสติก) ค่าที่ใช้ทดสอบนี้ได้แนวทางจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา

3.3.5 เมื่อครบเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา ถอดฉนวนและขดลวดความร้อนออก ใช้พัดลมเป่าเครื่องปฏิกรณ์จนอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง

3.3.6 เปิดเครื่องปฏิกรณ์ บันทึกปริมาณแก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยา แยกผลิตภัณฑ์ของเหลวออกจากกากของแข็งด้วยการกรองแบบสุญญากาศ และชั่งน้ำหนัก

3.3.7 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph (DGC) พร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่น เพื่อหาการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด

3.3.8 เลือกอุณหภูมิ A ที่ได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาสูงสุดเมื่อทดสอบกับพอลิโพรพิลีน สำหรับใช้หาเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา B ที่ได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาสูงสุด ทำการทดลองดังตารางที่ 3.2

3.3.9 จากอุณหภูมิ A และเวลา B ที่ได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาสูงสุด ทดสอบด้วยพอลิโพรพิลีน หาอัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ต่อพลาสติกที่ใช้แล้ว C ที่ได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาสูงสุด เพื่อทำการทดลองกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ภาวะที่ใช้ในการทดลองตามลำดับ (ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ)

No.	Temp (°C)	Time (min)	Catalyst (wt%)	Types of plastics
1	380	30	5	PP
2	400	30	5	PP
3	420	30	5	PP
4	A	45	5	PP
5	A	60	5	PP
6	A	B	1	PP
7	A	B	C	HDPE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

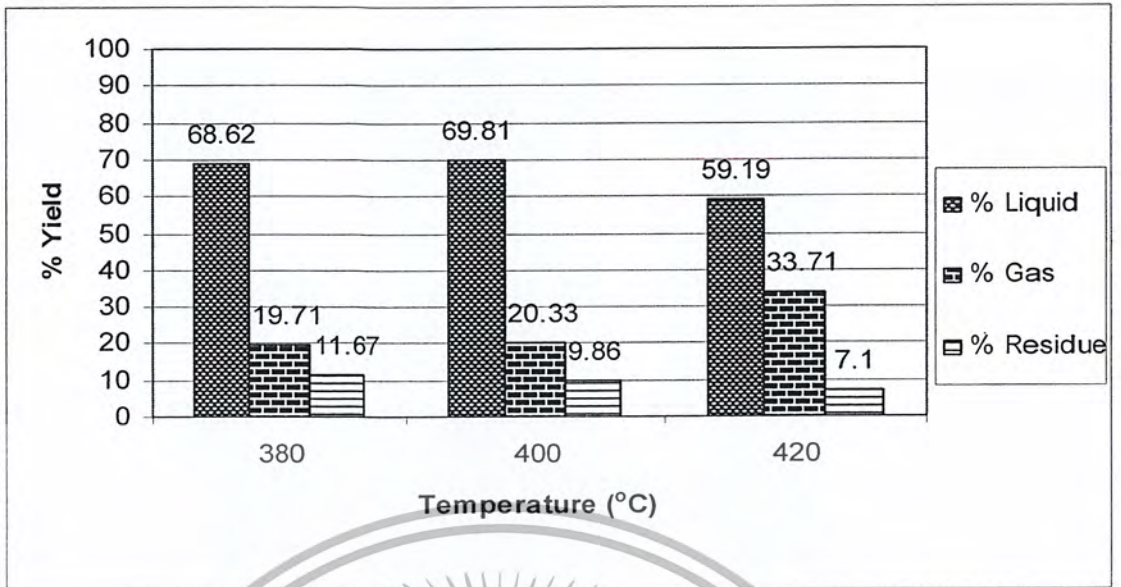
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วย USY ซีโอไลต์ ที่ผ่านการใช้งานแล้วจากโรงกลั่นน้ำมันภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ตัวแปรที่มีผลต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอน ของเหลว ของแข็ง และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด (Boiling distribution) ASTM D2887 ได้แก่ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ต่อพลาสติกที่ใช้แล้วและชนิดของพลาสติกที่ใช้แล้ว ซึ่งองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ต้องการคือเนฟทา (Naphtha)

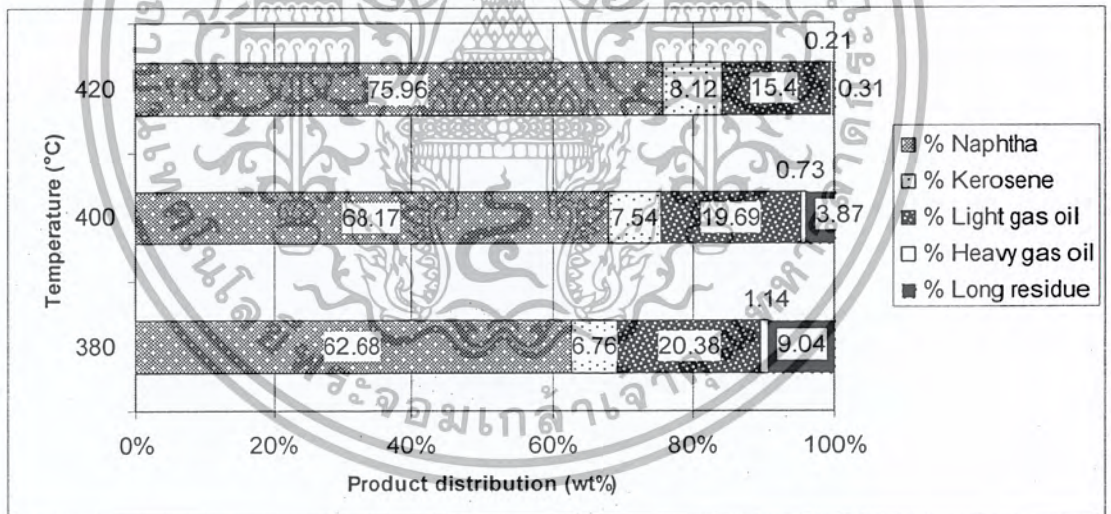
4.1 ผลของอุณหภูมิต่อการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว

การศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 380, 400 และ 420°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และ USY ซีโอไลต์ 5 wt% ที่ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ แสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่าที่อุณหภูมิ 380°C และ 400°C ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวมากใกล้เคียงกันประมาณเกือบร้อยละ 70 แต่เมื่อพิจารณากราฟแสดงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดในรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าที่ 400°C ได้ปริมาณเนฟทาจากการแตกตัวสูงกว่า (ร้อยละ 68.17) สำหรับที่อุณหภูมิ 420°C แม้ว่าจะได้เนฟทาร้อยละ 75.96 แต่ผลิตภัณฑ์ของเหลวทั้งหมดที่ได้เพียงร้อยละ 60 เพราะที่อุณหภูมิสูงขึ้นโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะแตกตัวเป็น โมเลกุลขนาดเล็กในรูปของแก๊สไฮโดรคาร์บอน C₁ - C₄ มากขึ้น จึงเห็นในรูปที่ 4.1 ว่าได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเพิ่มขึ้น และได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวลดลง ดังนั้นจากงานวิจัยนี้อุณหภูมิที่ได้ผลิตภัณฑ์เนฟทาสูงสุด คือ 400°C เกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวแก๊สไฮโดรคาร์บอนและของแข็งร้อยละ 69.81, 20.33 และ 9.86 ตามลำดับ ในผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 69.81 ประกอบด้วยเนฟทาร้อยละ 68.17 เกลโรซีน 7.54 แก๊สออกัลเบน 19.69 แก๊สออกัลหนัก 0.73 และกากน้ำมันหนัก 3.87 นั่นคือ ปริมาณเนฟทาเทียบกับผลิตภัณฑ์ของเหลวทั้งหมดมีค่าสูงสุดร้อยละ 47.59 ดังแสดงในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

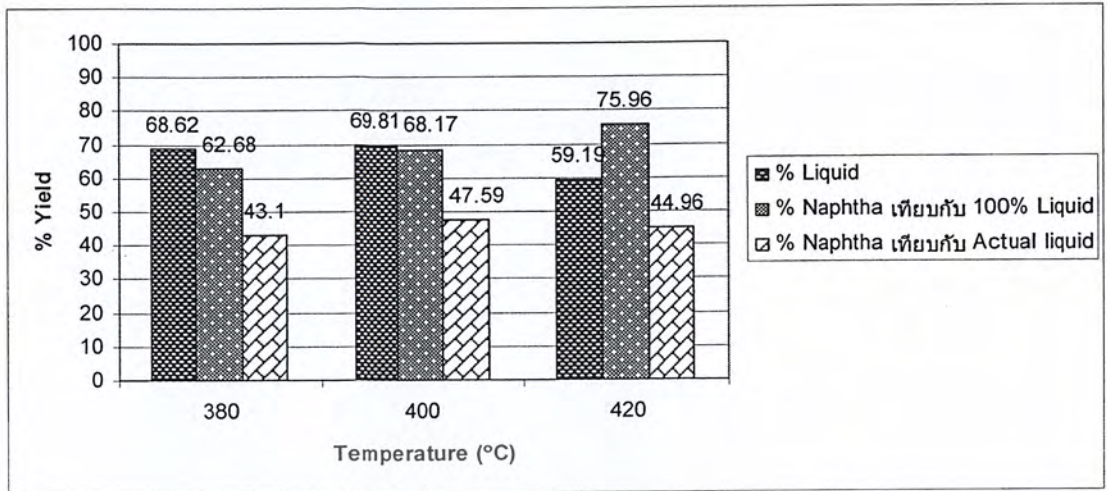


รูปที่ 4.1 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว อุณหภูมิ 380, 400 และ 420°C เวลา 30 นาที ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt%



รูปที่ 4.2 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph: อุณหภูมิ 380, 400 และ 420°C เวลา 30 นาที ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt%

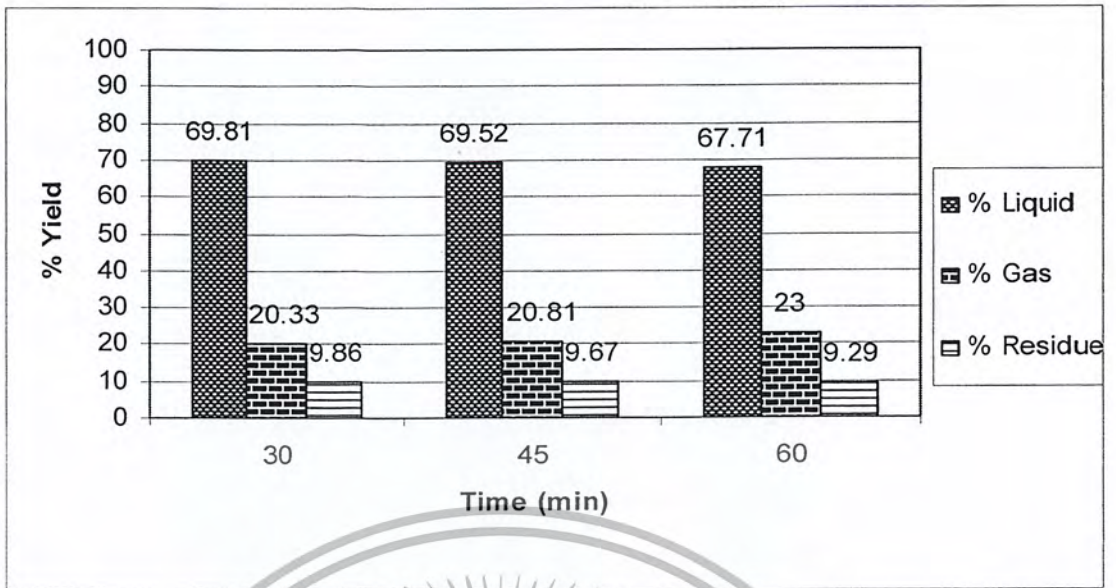
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



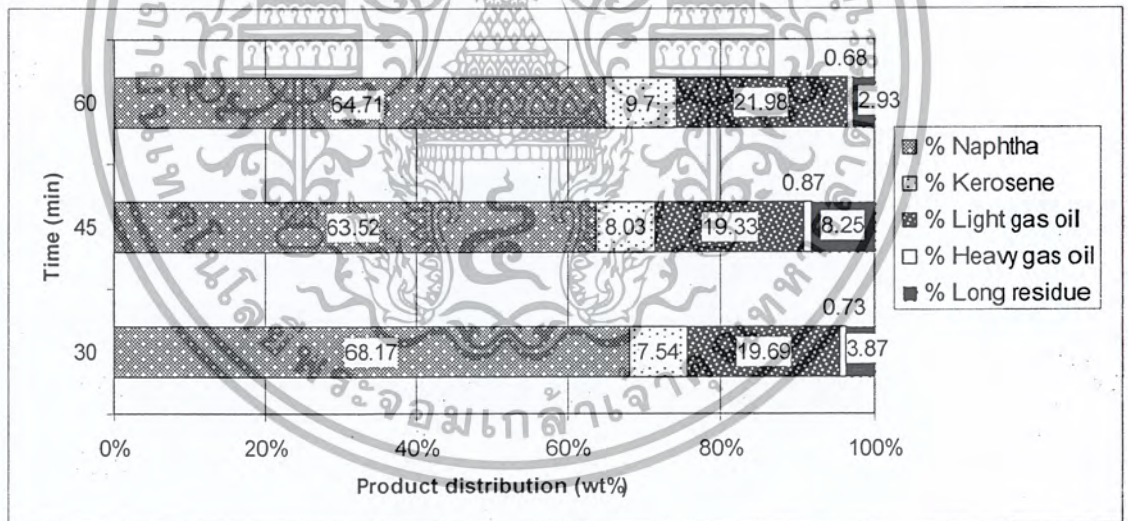
รูปที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ของเหลวกับปริมาณเนฟทารวมของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว อุณหภูมิ 380, 400 และ 420 °C ที่เวลา 30 นาที ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt%

4.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว

การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่ อุณหภูมิ 400 °C ใช้ USY ซีโอไลต์ 5 wt% ที่ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ แสดงดังรูปที่ 4.4 พบว่าที่เวลา 30, 45 และ 60 นาที ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวมากใกล้เคียงกันประมาณเกือบ ร้อยละ 70 แต่เมื่อพิจารณากราฟแสดงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดในรูป ที่ 4.5 พบว่าที่เวลา 30 นาที ได้ปริมาณเนฟทาจากการแตกตัวสูงที่สุด (ร้อยละ 68.17) ร้อยละของ ผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊สไฮโดรคาร์บอน และของแข็งที่ได้เท่ากับ 69.81, 20.33 และ 9.86 ตามลำดับ (รูปที่ 4.4) ผลิตภัณฑ์ของเหลวประกอบด้วยเนฟทาร้อยละ 68.17 เคโรซีน 7.54 แก๊สออล์เบา 19.69 แก๊สออล์หนัก 0.73 และกากน้ำมันหนัก 3.87 นั่นคือปริมาณเนฟทาเทียบกับ ผลิตภัณฑ์ของเหลวทั้งหมดมีค่าสูงสุดร้อยละ 47.59 ดังแสดงในรูปที่ 4.6

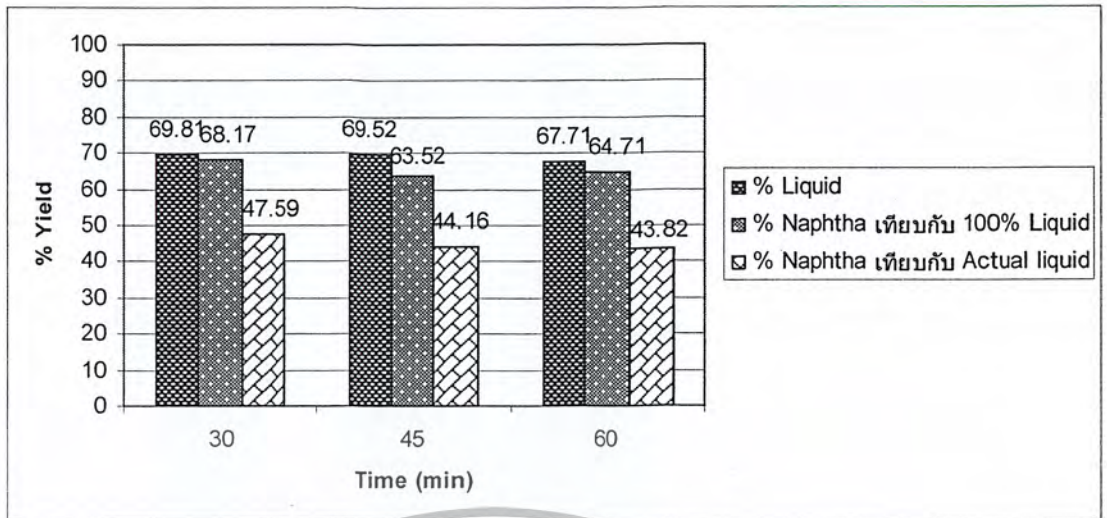


รูปที่ 4.4 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการศึกษาการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว เวลา 30, 45 และ 60 นาที อุณหภูมิ 400 °C ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt%



รูปที่ 4.5 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph: เวลา 30, 45 และ 60 นาที อุณหภูมิ 400 °C ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt%

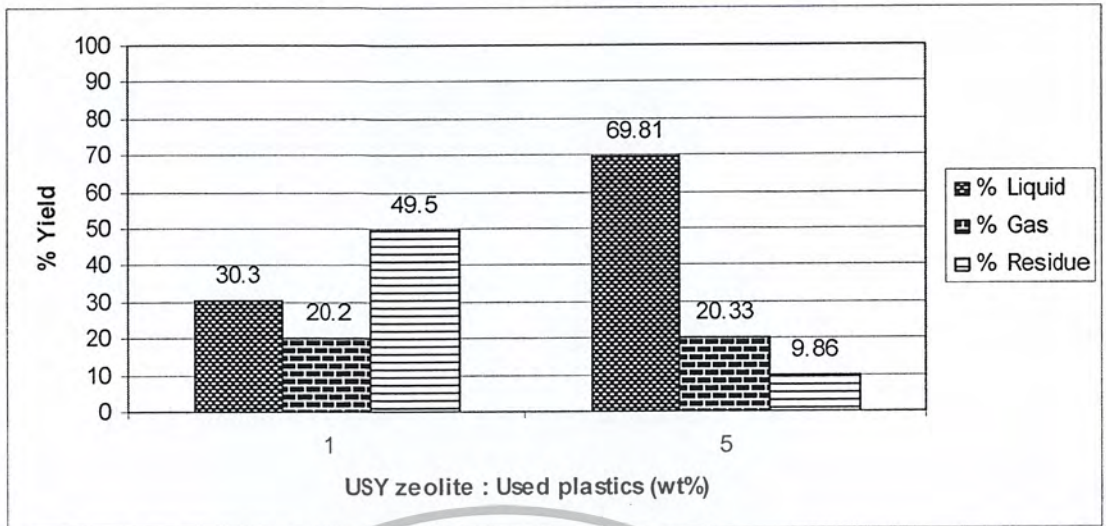
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



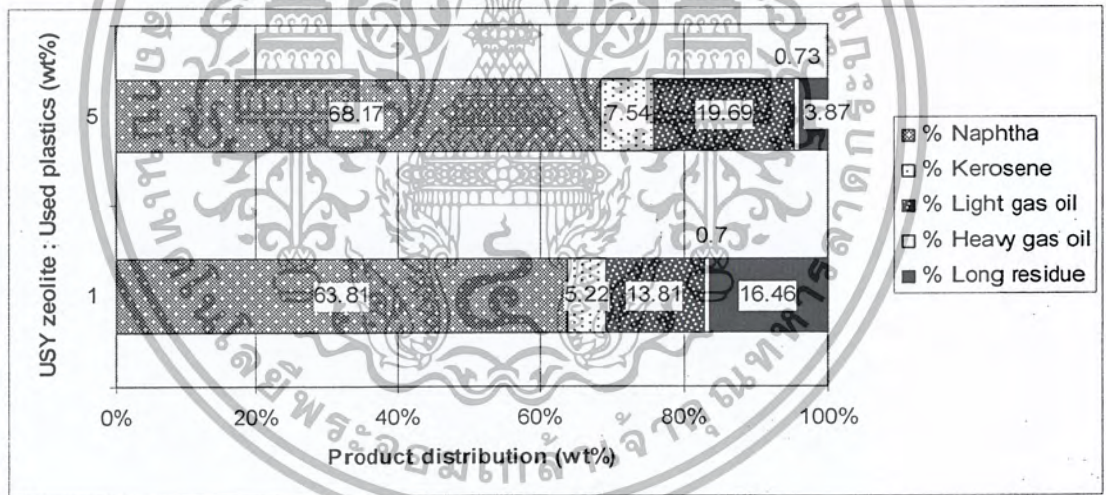
รูปที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ของเหลวกับปริมาณเนฟทารวมของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว เวลา 30, 45 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 400 °C ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt%

4.3 ผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ USY ซีโอไลต์ต่อการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว

การศึกษาผลของอัตราส่วน USY ซีโอไลต์ต่อการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว 1 และ 5 wt% (0.2 และ 1 กรัม USY ซีโอไลต์ ต่อ 20 กรัมพลาสติก) ที่อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ แสดงดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าการใช้ USY ซีโอไลต์ 5 wt% ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 69.81 แก๊สไฮโดรคาร์บอน 20.33 และของแข็ง 9.86 ผลิตภัณฑ์ของเหลวประกอบด้วยเนฟทาร้อยละ 68.17 เคโรซีน 7.54 แก๊สออยล์เบา 19.69 แก๊สออยล์หนัก 0.73 และกากน้ำมันหนัก 3.87 ปริมาณเนฟทาเทียบกับผลิตภัณฑ์ของเหลวทั้งหมดมีค่าสูงสุดร้อยละ 47.59 (รูปที่ 4.9) การเพิ่มปริมาณ USY ซีโอไลต์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นกรด (Acidity = 2.12 mmol NH₃/g) ให้ H⁺ ได้ดี การแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นกรดจะเกิดขึ้นผ่านปฏิกิริยาของคาร์โบเนียมไอออน (Carbonium ion) ช่วยให้พอลิโพรพิลีนแตกตัวได้ดีกว่าการแตกตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 400 °C เพียงอย่างเดียว

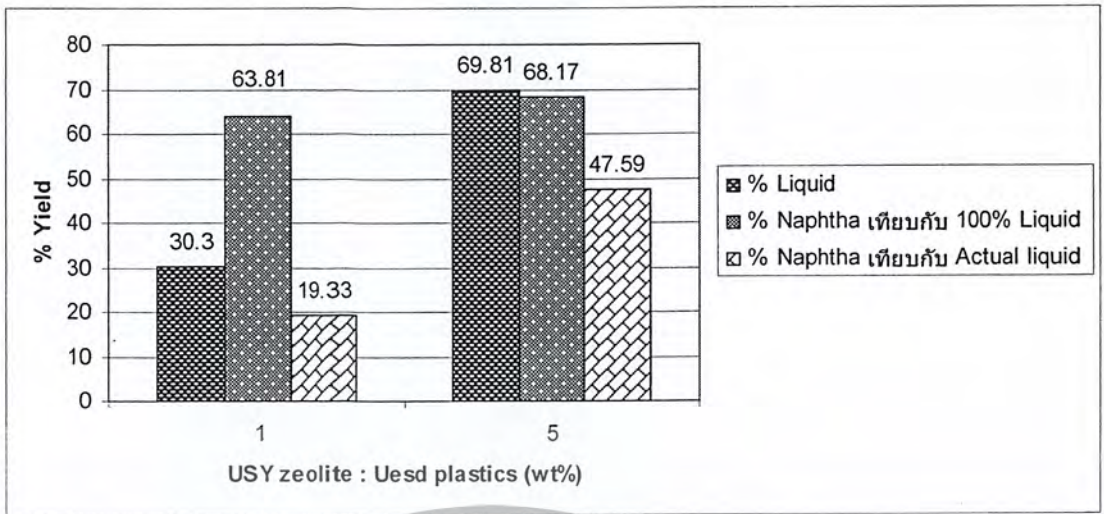


รูปที่ 4.7 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 1 และ 5 wt% อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที



รูปที่ 4.8 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph: อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 1 และ 5 wt% อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



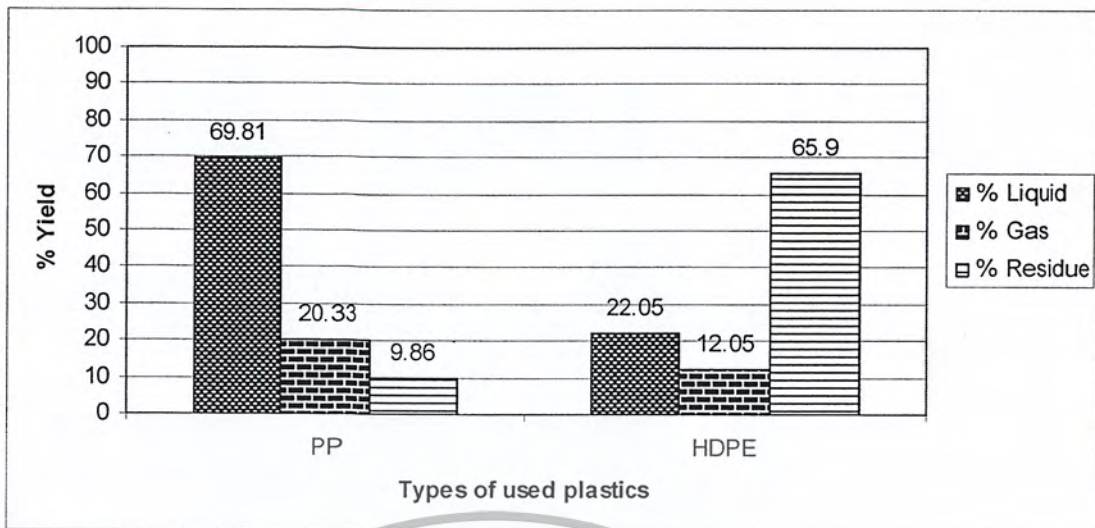
รูปที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ของเหลวกับปริมาณเนฟทารวมของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 1 และ 5 wt% ที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที

4.4 ผลการแตกตัวของชนิดพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน ความหนาแน่นสูง

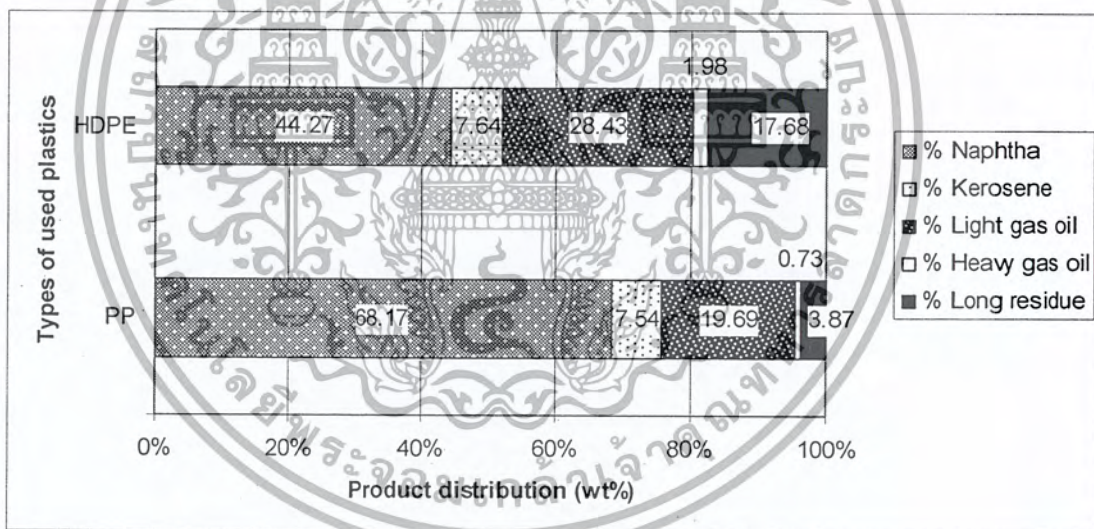
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบการแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ที่ภาวะเดียวกัน คือ อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที และ USY ซีโอไลต์ 5 wt% ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์ กัง พบว่าการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วจะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวมากกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงร้อยละ 37.76 พอลิโพรพิลีนแตกตัวได้ดีกว่าเพราะมีหมู่เมทิลเกาะอยู่บนสายโซ่หลักจึงเป็นโครงสร้างแบบหลวมได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊สไฮโดรคาร์บอน และของแข็งจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเท่ากับ 22.05, 12.05 และ 65.90 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณารูปแสดงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดในรูปที่ 4.11 จะเห็นว่า การแตกตัวของพอลิโพรพิลีนได้เนฟทามากกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (ร้อยละ 68.17 และ 44.27 ตามลำดับ) เมื่อใช้ภาวการณ์ทดลองเดียวกันกับพอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงจะให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ประกอบด้วยเนฟทาร้อยละ 44.27 เคนซีน 7.64 แก๊สออยล์เบา 28.43 แก๊สออยล์หนัก 1.98 และกากน้ำมันหนัก 17.68 ดังรูปที่ 4.11 สำหรับปริมาณร้อยละของเนฟทาที่เทียบกับผลิตภัณฑ์ของเหลวทั้งหมดเท่ากับ 9.76 (รูปที่ 4.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

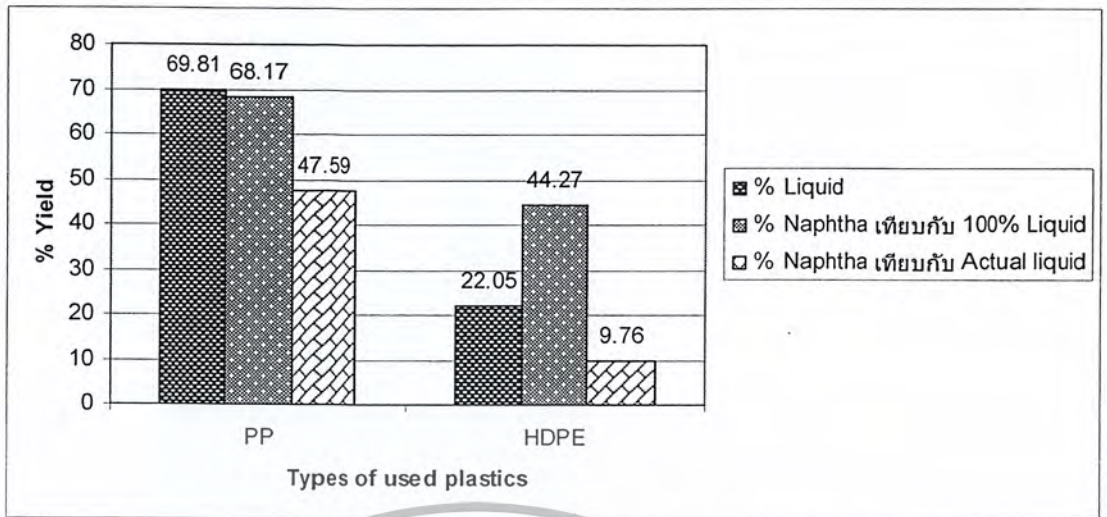


รูปที่ 4.10 ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt%



รูปที่ 4.11 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph : อุณหภูมิ 400 °C เวลา 30 นาที ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ของเหลวกับปริมาณเนฟทารวมของพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที ด้วย USY ซีโอไลต์ 5 wt%

4.5 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยอื่น

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนกับงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน Congxia Xie และคณะ [22] ศึกษาการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนด้วยความร้อนและด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเซอร์โคเนียม (Zr) โมลิบดีนัม (Mo) และเซอร์โคเนียม/โมลิบดีนัม บน Mesoporous aluminosilicate materials (MCM-41) ภายใต้ความดันแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อพอลิโพรพิลีน 1 wt% พบว่าการแตกตัวที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวมากกว่าการแตกตัวด้วยความร้อนอย่างชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบผลของงานวิจัยนี้ที่ใช้ USY ซีโอไลต์กับงานวิจัยโดย Congxia Xie และคณะ [22] ยืนยันได้ว่าการแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากกว่าการแตกตัวด้วยความร้อนอย่างชัดเจน (ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลวเท่ากับ 69.81 และ 23.16 ตามลำดับ) แม้ว่าร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลวจาก Zr-Mo-MCM-41 จะสูงกว่าที่ได้จาก USY ซีโอไลต์ (ร้อยละ 90.71 และ 69.81 ตามลำดับ) แต่เพราะ USY ซีโอไลต์ที่ใช้ผ่านการใช้งานมาแล้วจากโรงกลั่นน้ำมัน ดังนั้นจุดเด่นของงานวิจัยนี้คือนอกจากสร้างมูลค่าเพิ่มของขยะพลาสติกและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังสามารถใช้ประโยชน์ สร้างมูลค่าเพิ่ม และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เลิกใช้แล้วจากโรงกลั่นน้ำมันด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนกับงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

การทดลอง	ประชาติน์ แต่กักดี [3]	Congxia Xie, Fusheng Liu, Shitao Yu, Fangfei Xie, Lu Li, Shufen Zhang, Jinzong Yang [22]			งานวิจัยนี้
สารตั้งต้น	PP, PS และน้ำมันหล่อลื่น ไซ้แล้ว อัตราส่วนของพลาสติกต่อน้ำมันหล่อลื่น 28:12:60	PP	PP	PP	PP
เครื่องปฏิกรณ์	แบบกะ	แบบกะ	แบบกะ	แบบกะ	แบบกะ
ตัวเร่งปฏิกิริยา	เหล็กบนถ่านกัมมันต์	-	Mo-MCM-41	Zr-Mo-MCM-41	USY ซีโอไลต์
อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อพลาสติก (wt%)	5	-	1	1	5
อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง (°C)	430	400	400	400	400
เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (min)	75	30	30	30	30
ภายใต้ความดันแก๊ส	H ₂	N ₂	N ₂	N ₂	H ₂
ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ของเหลว	75.65	23.16	51.75	90.71	69.81
แก๊สไฮโดรคาร์บอน	17.37	7.24	5.75	7.89	20.33
ของแข็ง	6.98	69.60	42.50	1.40	9.86
รวม	100	100	100	100	100

สำหรับตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการแตกตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงกับงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน พบว่าการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา USY ซีโอไลต์ ได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลว 22.05 แต่การแตกตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 380°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 360 นาที ภายใต้ความดันแก๊สไนโตรเจนไม่ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว R. van Grieken และคณะ [21] นอกจากนี้ USY ซีโอไลต์ สามารถเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงได้ใกล้เคียงกับ MCM-41 (ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลวเท่ากับ 22.05 และ 22.90 ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการแตกตัวของของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงกับงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

การทดลอง	R. van Grieken , D.P. Serrano , J. Aguado, R. Garci, C. Rojo [21]				งานวิจัยนี้
	LDPE	LDPE	HDPE	HDPE	
สารตั้งต้น	LDPE	LDPE	HDPE	HDPE	HDPE
เครื่องปฏิกรณ์	แบบกะ	แบบกะ	แบบกะ	แบบกะ	แบบกะ
ตัวเร่งปฏิกิริยา	-	MCM-41	-	MCM-41	USY ซีโอไลต์
อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อพลาสติก (wt%)	-	N/A	-	N/A	1
อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง (°C)	380	380	380	380	400
เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (min)	360	360	360	360	30
ภายใต้ความดันแก๊ส	N ₂	N ₂	N ₂	N ₂	H ₂
ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้					
ขอเหลว	2.50	23.20	0.00	22.90	22.05
แก๊สไฮโดรคาร์บอน	7.30	37.30	2.50	39.50	12.05
ของแข็ง	90.20	39.50	97.50	41.20	65.90
รวม	100	100	100	100	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้คือนอกจากสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มของขยะพลาสติกและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังใช้ประโยชน์ สร้างมูลค่าเพิ่ม ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เลิกใช้แล้วจากโรงกลั่นน้ำมัน จากงานวิจัยนี้และงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการแตกตัวของขยะพลาสติกด้วยการเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการหาพลังงานทางเลือกทดแทนพลังงานจากปิโตรเลียมที่นับวันจะหมดไป การแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากกว่าการแตกตัวด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียวอย่างชัดเจน

ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วด้วย USY ซีโอไลต์ ที่ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงที่สุดคือร้อยละ 69.81 (ประกอบด้วยเนฟทาร้อยละ 47.59 เคโรซีน 5.26 แก๊สออยล์เบา 13.75 แก๊สออยล์หนัก 0.51 และกากน้ำมันหนัก 2.70) และมีปริมาณเนฟทาเทียบกับผลิตภัณฑ์ของเหลวทั้งหมดสูงสุดที่ร้อยละ 47.59 คือ อุณหภูมิ 400 °C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และอัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% ที่ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ

เมื่อใช้ภาวะการทดลองเดียวกันนี้กับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงจะได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวร้อยละ 22.05 (ประกอบด้วยเนฟทาร้อยละ 9.76 เคโรซีน 1.68 แก๊สออยล์เบา 6.27 แก๊สออยล์หนัก 0.44 และกากน้ำมันหนัก 3.90)

เนฟทาเบา (C₅-C₆) ใช้เป็นทำตัวทำละลาย สำหรับเนฟทาหนัก (C₆-C₁₀) อยู่ในเกณฑ์ของน้ำมันเบนซินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงรถยนต์ เคโรซีน (C₁₀-C₁₄) ใช้ทำน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องบินไอพ่น แก๊สออยล์เบา (C₁₄-C₁₉) ใช้ทำเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล แก๊สออยล์หนัก (C₁₉-C₃₅) ใช้ทำน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ ส่วนกากน้ำมันหนัก (>C₃₅) ใช้ทำเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม หรือทำยางมะตอย

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาหาภาวะการแตกตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วย USY ซีโอไลต์ในช่วงอุณหภูมิ 400, 420 และ 440°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30, 45 และ 60 นาที และอัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%

2. USY ซีโอไลต์ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็น USY ซีโอไลต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วจาก Fluid catalytic cracking unit ของโรงกลั่นน้ำมัน ทำให้ Acidity ลดลง (2.12 mmol NH₃/g) จึงควรหาวิธีง่ายๆ เช่น เติมสารบางชนิดเพื่อปรับปรุงสมบัติของ USY ซีโอไลต์ ให้ Acidity เพิ่มขึ้น ก็อาจทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นได้อีก



เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมส่งเสริมการส่งออก. ข้อมูลอุตสาหกรรมพลาสติก.กระทรวงอุตสาหกรรม, 2541.
- [2] สำนักนโยบายอุตสาหกรรมรายสาขา 1. ข้อมูลและการคาดการณ์การบริโภคผลิตภัณฑ์พลาสติกภายในประเทศ, กระทรวงอุตสาหกรรม, 2546.
- [3] ประชารัตน์ แต่ภักดี. “การแตกตัวพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์.” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [4] ปราโมทย์ ไชยเวช. *ปิโตรเลียมเทคโนโลยี*. กรุงเทพฯ : สุนทรออฟเซต, 2537.
- [5] รศ.ดร. ศิริรัตน์ จิตการคำ. จากขยะน้ำมัน เทคโนโลยีผลิตพลังงานทางเลือกที่ดูแล้วดีเยี่ยม. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [6] พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) ที่มา : http://www.vickerpigment.com/knowledge_th2.html (21/07/2553)
- [7] พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) ที่มา : [http://www.intania.com/upload/CA06.pdf\(21/07/2553\)](http://www.intania.com/upload/CA06.pdf(21/07/2553))
- [8] สรินทร ศรีธาดาวดี, สุรย์พร อุดเจริญ และอภิชัย ชาญพานิชย์การ. “การสลายตัวทางความร้อนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์.” ปรินญา นินทร์ โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา, 2541.
- [9] นพวรรณ พันธุ์นา สุติมา ฉัตรภูติ และ อุษณีย์ คอนสกุล. “การนำพอลิเอทิลีนกลับมาใช้ใหม่โดยมีขี้เถ้าจากไม้เต็งและไม้สักเป็นสารตัวเติม”. หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [10] บรรณเรง สรนิล. *เทคโนโลยีพลาสติก (ฉบับปรับปรุง)*. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น). 2546.
- [11] ธราพงษ์ วิทิตสานต์. “การแตกตัวพอลิพรอพิลีนและพอลิสไตรีนภายใต้บรรยากาศไฮโดรเจนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมัน.” รายงานการวิจัยกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช, 2544.
- [12] ศิลปীดารา ทศนปรีชญานนท์. “การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของพอลิพรอพิลีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง.” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] กรกช จันทร์โสภาพิศ. “การแตกตัวเชิงเร่งปฏิกิริยาของไซว๊วบนเหล็ก/ถ่านกัมมันต์.” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [14] Charles N. Satterfield, “**Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice,**” New York : McGraw-Hill, 1991.
- [15] Jacob. Moulijn, Michel Makkee, “**Chemical Process Technology,**” John Wiley & Sons, 2007.
- [16] Scott M. Auerbach, Kathleen A. Carrado, Prabir K. Dutta, “**Handbook of Zeolite Science and Technology,**” New York : Marcel Dekker, 2003.
- [17] ชันชรรัตน์ หิรัญชนะ โขก และจตุพร ธีระกุล. “การสังเคราะห์สารอินทรีย์โดยใช้ซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.” วิทยานิพนธ์โครงการพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.
- [18] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. “เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์ : ทฤษฎีและหลักการดำเนินงานเบื้องต้น.” โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : กรุงเทพฯ, 2543.
- [19] John Scheirs and Walter kaminsky, “**Feedstock recycling and pyrolysis of waste plastics,**” John Wiley & Sons, 2006.
- [20] สมสุข ไตรศุกกิตติ. “การเปลี่ยนแปลงของพอลิเอทิลีนไปเป็นแก๊สโซลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5.” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- [21] R. van Grieken, D.P. Serrano, J. Aguado, R. Garci, C. Rojo. “**Thermal and catalytic cracking of polyethylene under mild conditions**”, 58-59 (2001) : 127-142, 2000.
- [22] Congxia Xie, Fusheng Liu, Shitao Yu, Fangfei Xie, Lu Li, Shufen Zhang, Jinzong Yang. “**Catalytic cracking of polypropylene into liquid hydrocarbons over Zr and Mo modified MCM-41 mesoporous molecularsieve**”, 10(2008) : 79-82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองจากการแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงด้วย USY ซีโอไลต์

ตารางที่ ก.1 ผลการแตกตัวของพลาสติกที่ใช้แล้วชนิดพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน ความหนาแน่น
สูงด้วย USY ซีโอไลต์ (ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ)

No.	Parameters				Product yield (%)			Product distribution in liquid (%)				
	Temp (°C)	Time (mins)	Catalyst (wt%)	Types of plastics	Liquid fuels	Gas	Solid residue	Naphtha	Kerosene	Light gas oils	Heavy gas oils	Long residue
1	380	30	5	PP	68.62	68.08	46.72	43.01	4.64	13.99	0.78	6.2
2	400	30	5	PP	69.81	70	48.87	47.59	5.26	13.75	0.51	2.7
3	420	30	5	PP	59.19	75.70	44.81	44.96	4.81	9.12	0.12	0.18
4	400	45	5	PP	69.52	20.81	9.67	44.16	5.58	13.44	0.6	5.74
5	400	60	5	PP	67.71	23	9.29	43.82	6.57	14.88	0.46	1.98
6	400	30	1	PP	30.30	20.20	49.50	19.33	1.58	4.19	0.21	4.99
7	400	30	5	HDPE	22.05	12.05	65.90	9.76	1.68	6.27	0.44	3.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลว

ตัวอย่างที่ ข.1 การคำนวณปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลว

ที่อุณหภูมิ 400°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% ภายใต้ความดันไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ

- น้ำหนักของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว = 20.00 กรัม
- น้ำหนัก USY ซีโอไลต์ = 1.00 กรัม

คิดเป็นอัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ต่อพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว เท่ากับ 5 wt%

- น้ำหนักเปล่าของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะก่อนการทดลอง = 1,783.14 กรัม
- น้ำหนักของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะหลังการทดลอง = 1,799.87 กรัม
- น้ำหนักกระดาษกรองและกระดาษทิชชูรวมกันก่อนการทดลอง = 8.08 กรัม
- น้ำหนักกระดาษกรองและกระดาษทิชชูรวมกันหลังการทดลอง = 10.15 กรัม

วิธีทำ

น้ำหนักของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะทั้งหมดก่อนการทดลอง

$$\begin{aligned}
 &= \text{น้ำหนักเปล่าของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะก่อนการทดลอง} \\
 &+ \text{น้ำหนักของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว} \\
 &+ \text{น้ำหนัก USY ซีโอไลต์} \\
 &= 1,783.14 + 20 + 1 \\
 &= 1,804.14 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

น้ำหนักของแก๊สไฮโดรคาร์บอน = น้ำหนักเครื่องปฏิกรณ์แบบกะทั้งหมดก่อนการทดลอง
- น้ำหนักของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะหลังการทดลอง

$$\begin{aligned}
 &= 1,804.14 - 1,799.87 \\
 &= 4.27 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

น้ำหนักของของแข็ง

$$\begin{aligned}
 &= \text{น้ำหนักกระดาษกรองและกระดาษทิชชูรวมกันหลังการ} \\
 &\text{ทดลอง} - \text{น้ำหนักกระดาษกรองและกระดาษทิชชูรวม}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 10.15 - 8.08$$

$$= 2.07 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลว} &= [\text{น้ำหนักของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว} \\ &+ \text{น้ำหนัก USY ซีโอดี}] - [\text{น้ำหนักของแก๊ส} \\ &\text{ไฮโดรคาร์บอน} + \text{น้ำหนักของของแข็ง}] \end{aligned}$$

$$= [20.00 + 1.00] - [4.27 + 2.07]$$

$$= 14.66 \text{ กรัม}$$

$$\text{ดังนั้น \% ผลิตภัณฑ์ของเหลว} = \frac{14.66 \times 100}{21.00} = 69.81\%$$

$$\% \text{แก๊สไฮโดรคาร์บอน} = \frac{4.27 \times 100}{21.00} = 20.33\%$$

$$\% \text{ของแข็ง} = \frac{2.07 \times 100}{21.00} = 9.86\%$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือด

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph (DGC) พร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นตามคาบจุดเดือดของสาร ดังนี้

IBP \leq 200 °C	=	Naphtha
200 °C \leq 250 °C	=	Kerosene
250 °C \leq 350 °C	=	Light gas oils
350 °C \leq 370 °C	=	Heavy gas oils
370 °C \leq FBP	=	Long residue

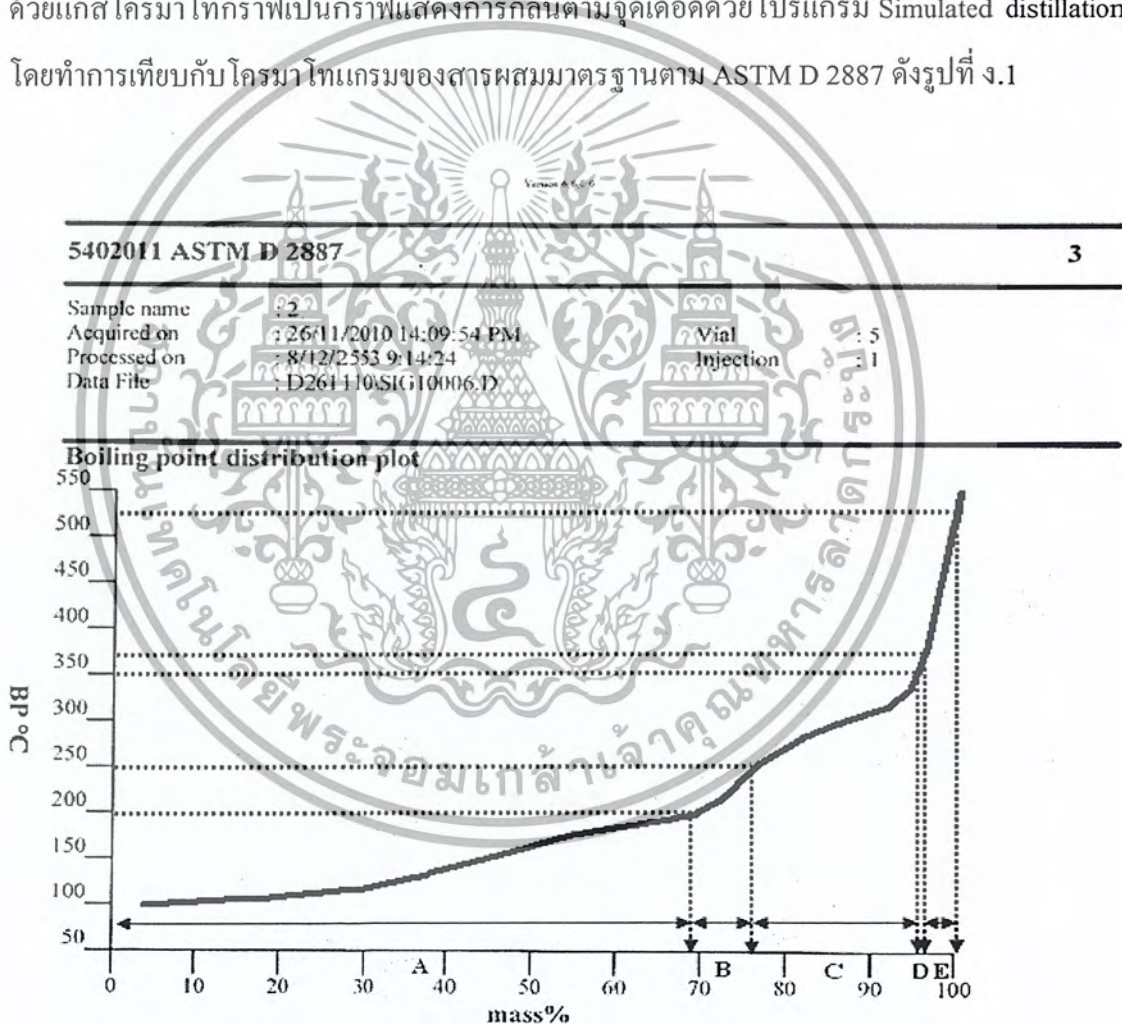
ละลายผลิตภัณฑ์ของเหลวในคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS₂) ในอัตราส่วน 1:100 โดยปริมาตร วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟียี่ห้อ Variant รุ่น Star simulated distillation version 5.5 คอลัมน์ที่ใช้เป็น Capillary column มี Stationary phase คือ CP – SIL 5CB ยาว 15 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร และความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมครอน ภาวะที่ใช้ คือ อุณหภูมิหัวฉีด (Injector temperature) = 298 °C อุณหภูมิคอลัมน์ (Column temperature or oven temperature) ซึ่งจะให้เป็น โปรแกรมอุณหภูมิ (Temperature program) และมีไนโตรเจนเหลวเป็นตัวให้ความเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิ เริ่มต้น โปรแกรมที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 0.01 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 °C /min จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 320 °C แล้วคงที่เป็นเวลา 8 นาที 30 วินาที อุณหภูมิดีเทคเตอร์ (Detector temperature) = 320 °C แก๊สพา (Carrier gas) เป็นแก๊สฮีเลียม โดยมีอัตราการไหล 1.5 มิลลิเมตรต่อนาที ด้วย Split ratio เท่ากับ 2

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง

Simulated distillation gas chromatograph

ตัวอย่างที่ ง.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 400°C ภายใต้ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที โดยใช้อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% จะเปลี่ยนโครมาโทแกรมที่ได้จากการแยกสารด้วยแก๊สโครมาโทกราฟีเป็นกราฟแสดงการก่อกำตามจุดเดือดด้วยโปรแกรม Simulated distillation โดยทำการเทียบกับโครมาโทแกรมของสารผสมมาตรฐานตาม ASTM D 2887 ดังรูปที่ ง.1



รูปที่ ง.1 การก่อกำตามจุดเดือดขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวจากเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณน้ำหนักผลิตภัณฑ์ของเหลวทั้งหมดที่ได้ (W)	= 69.81%
- ปริมาณ Naphtha ที่อ่านได้จากกราฟ	= A%
ดังนั้น % Naphtha ของผลิตภัณฑ์ของเหลวทั้งหมด	= $\frac{A \times W}{100}$
	= $\frac{68.17 \times 69.81}{100}$
	= 47.59%
- ปริมาณ Kerosene ที่อ่านได้จากกราฟ	= B%
ดังนั้น % Kerosene ของผลิตภัณฑ์ของเหลวทั้งหมด	= $\frac{B \times W}{100}$
	= $\frac{7.54 \times 69.81}{100}$
	= 5.26%
- ปริมาณ Light gas oils ที่อ่านได้จากกราฟ	= C%
ดังนั้น % Light gas oils ของผลิตภัณฑ์ของเหลวทั้งหมด	= $\frac{C \times W}{100}$
	= $\frac{19.69 \times 69.81}{100}$
	= 13.75%
- ปริมาณ Heavy gas oils ที่อ่านได้จากกราฟ	= D%
ดังนั้น % Heavy gas oils ของผลิตภัณฑ์ของเหลวทั้งหมด	= $\frac{D \times W}{100}$
	= $\frac{0.73 \times 69.81}{100}$
	= 0.51%
- ปริมาณ Long residue ที่อ่านได้จากกราฟ	= E%
ดังนั้น % Heavy gas oils ของผลิตภัณฑ์ของเหลวทั้งหมด	= $\frac{E \times W}{100}$
	= $\frac{3.87 \times 69.81}{100}$
	= 2.70%

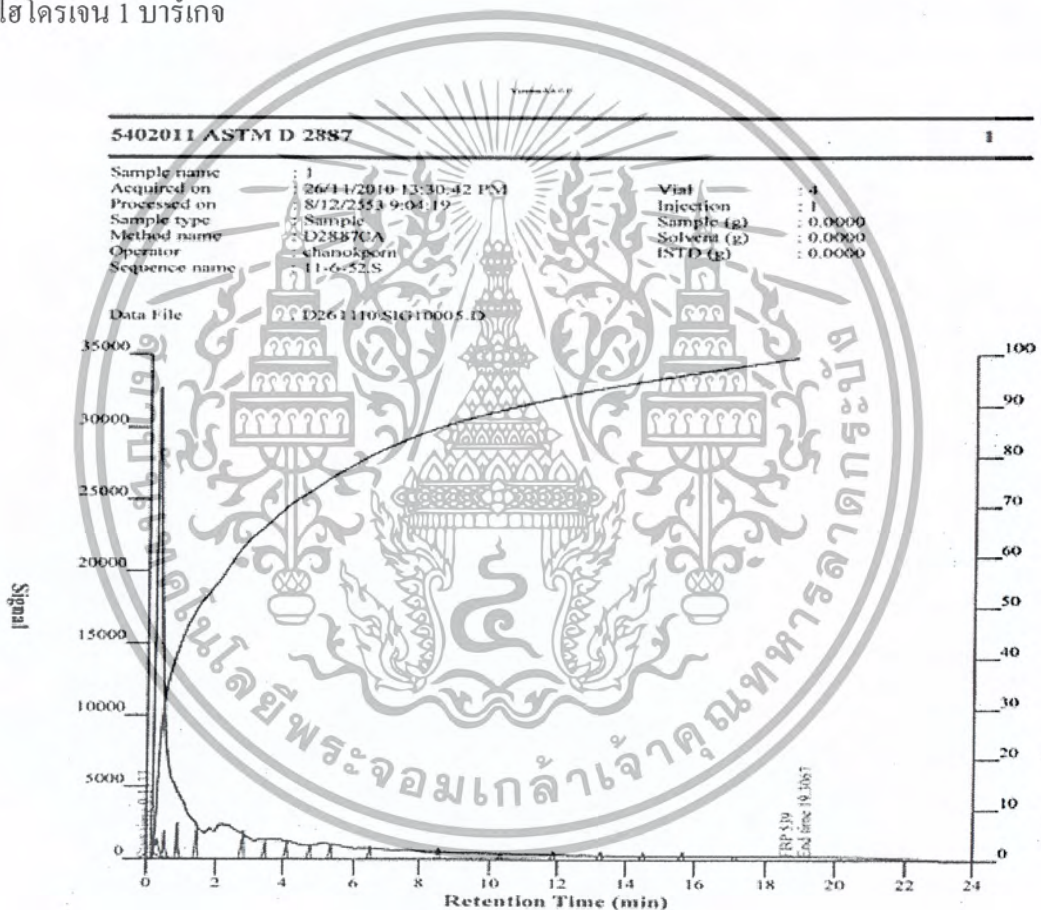
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง

Simulated distillation gas chromatograph

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph พร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 380°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ



รูปที่ จ.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Signal กับ Retention time (min) ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 380°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่จ.1 BP distribution table – cut points ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่ อุณหภูมิ 380°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโโอลต์ 5 wt%

Version 6,6,0,0

5402011 ASTM D 2887

2

Sample name	: 1	Vial	: 4
Acquired on	: 26/11/2010 13:30:42 PM	Injection	: 1
Processed on	: 8/12/2553 9:04:19		
Data File	: D261110\SIG10005.D		

General Variables

Used Blank	D261110\SIG10002.D
Used BP calibrant	D261110\SIG10003.D
Used Start elution (min)	0.113
Used End elution (min)	19.307
Total area	6711079

BP Distribution table – Percent

Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C
3.3	98.0	30.0	121.6	60.0	190.8	90.0	354.6
10.0	103.6	40.0	144.2	70.0	248.8	FBP	539.4
20.0	110.0	50.0	172.8	80.0	299.8		

BP Distribution table – cut points

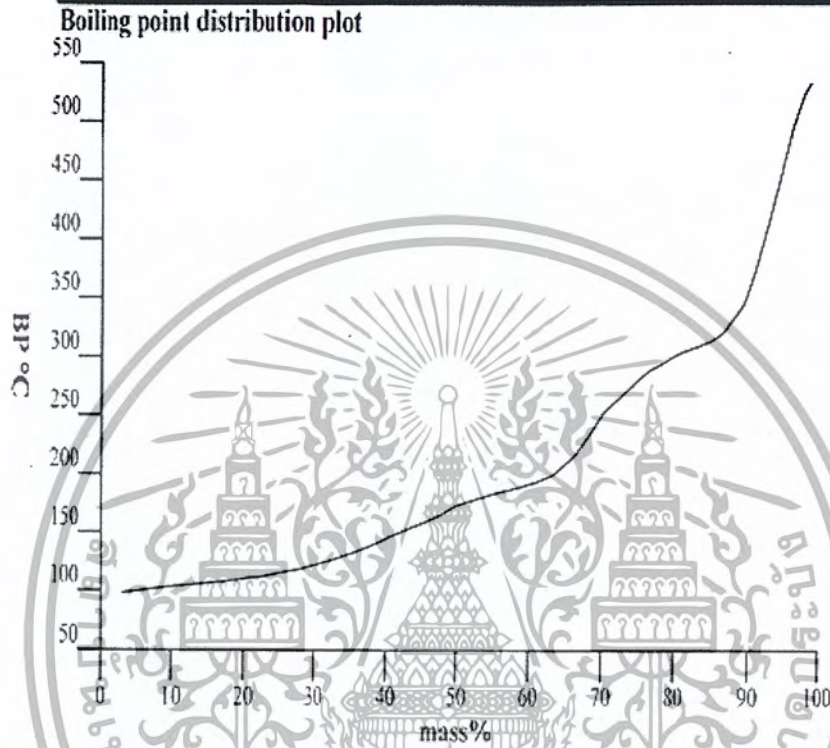
BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%	BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%	BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%
98.0	IBP	3.3	250.0	70.1	1.0	410.0	92.7	0.4
100.0	5.6	2.4	260.0	71.7	4.6	420.0	93.1	0.4
110.0	20.0	14.4	270.0	73.3	1.7	430.0	93.5	0.4
120.0	29.1	9.1	280.0	75.0	1.7	440.0	93.9	0.4
130.0	34.4	5.3	290.0	77.3	2.3	450.0	94.4	0.4
140.0	38.5	4.1	300.0	80.0	2.7	460.0	94.8	0.4
150.0	41.9	3.4	310.0	84.0	3.9	470.0	95.2	0.4
160.0	46.1	4.3	320.0	86.6	2.7	480.0	95.6	0.4
170.0	49.3	3.1	330.0	87.8	1.2	490.0	96.0	0.4
180.0	53.5	4.2	340.0	89.0	1.1	500.0	96.5	0.5
190.0	59.6	6.1	350.0	89.7	0.8	510.0	97.1	0.6
200.0	63.6	4.0	360.0	90.3	0.5	520.0	97.7	0.6
210.0	65.5	1.9	370.0	90.8	0.5	530.0	98.6	0.9
220.0	67.0	1.6	380.0	91.3	0.5	539.4	FBP	0.9
230.0	68.1	1.1	390.0	91.7	0.5			
240.0	69.1	1.0	400.0	92.2	0.5			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5402011 ASTM D 2887

3

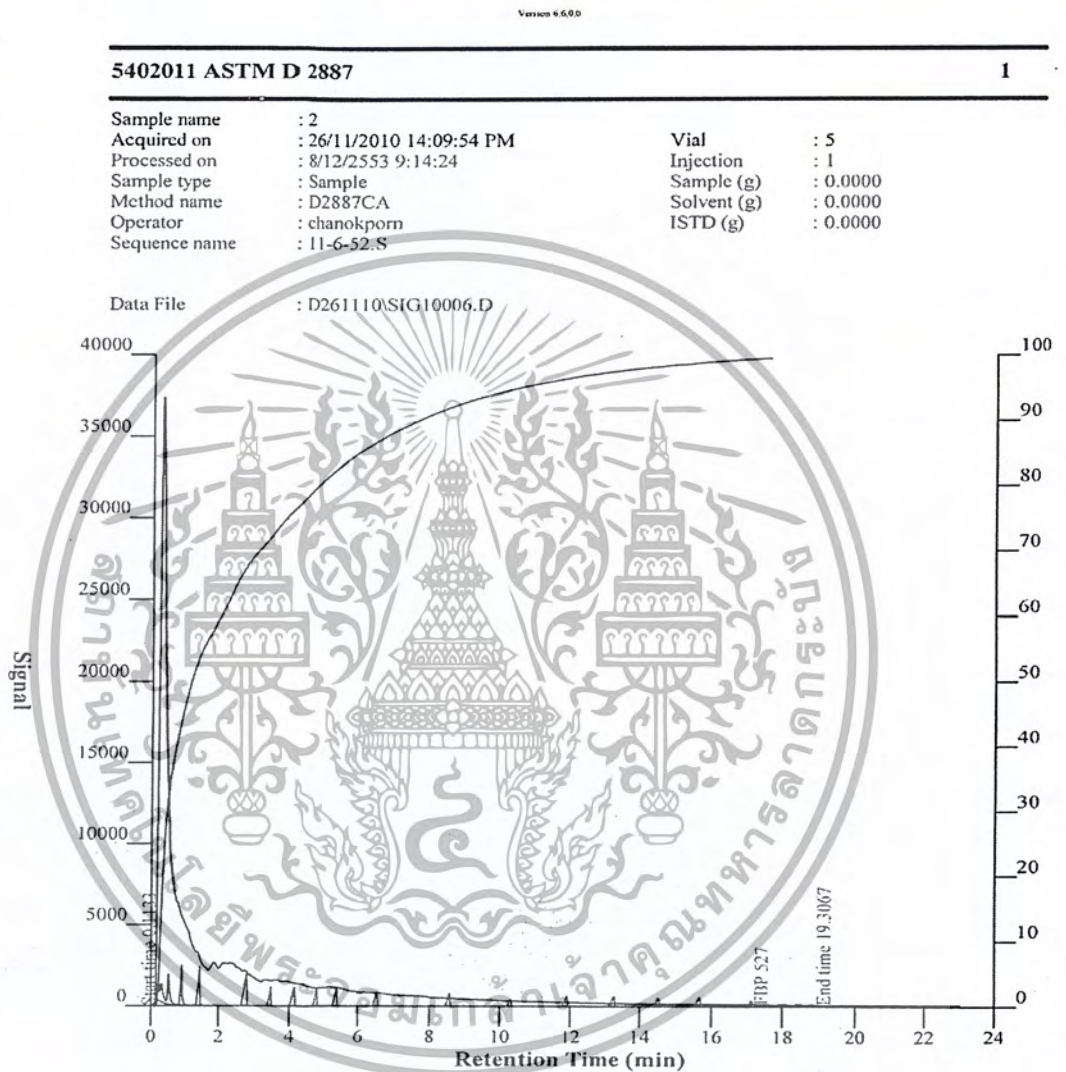
Sample name	: I	Vial	: 4
Acquired on	: 26/11/2010 13:30:42 PM	Injection	: 1
Processed on	: 8/12/2553 9:04:19		
Data File	: D261110\SIG10005.D		



รูปที่ จ.2 องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามจุดเดือดของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 380 °C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% จากเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph พร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 400°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ



รูปที่ จ.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Signal กับ Retention time (min) ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.2 BP distribution table – cut points ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่
อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%

Version 6.6.0.0

5402011 ASTM D 2887

2

Sample name	: 2	Vial	: 5
Acquired on	: 26/11/2010 14:09:54 PM	Injection	: 1
Processed on	: 8/12/2553 9:14:24		
Data File	: D261110\SIG10006.D		

General Variables

Used Blank	D261110\SIG10002.D
Used BP calibrant	D261110\SIG10003.D
Used Start elution (min)	0.113
Used End elution (min)	19.307
Total area	7240690

BP Distribution table - Percent

Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C
4.0	98.0	30.0	118.6	60.0	183.0	90.0	309.4
10.0	102.4	40.0	137.4	70.0	203.8	FBP	526.8
20.0	108.8	50.0	161.0	80.0	271.4		

BP Distribution table - cut points

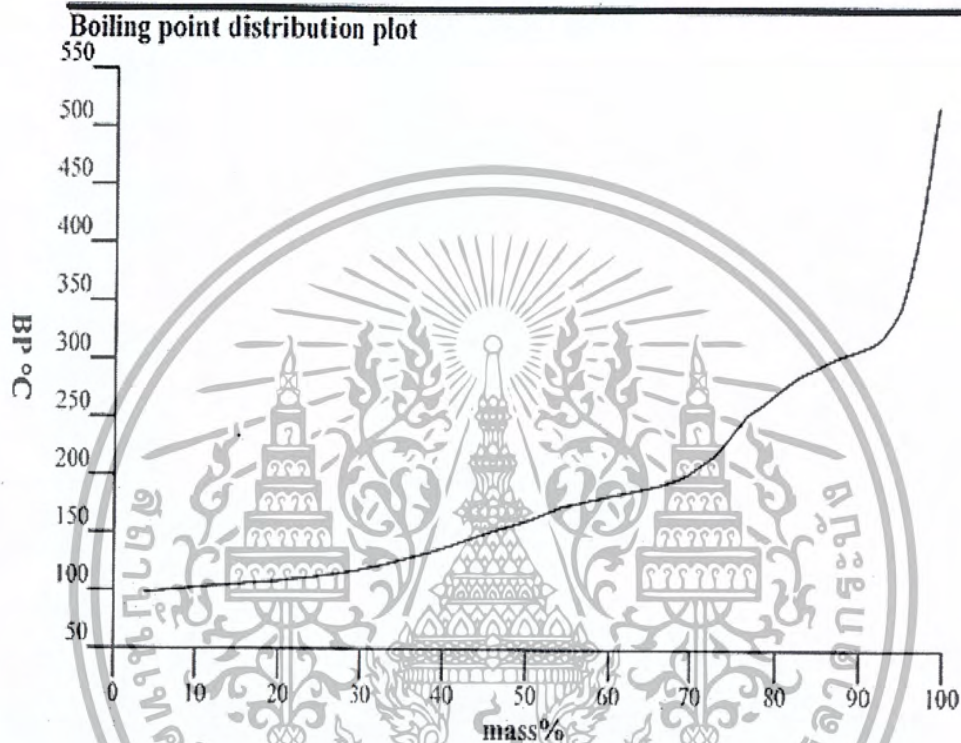
BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%	BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%	BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%
98.0	IBP	4.0	240.0	75.2	1.1	390.0	96.4	0.3
100.0	6.8	2.8	250.0	76.3	1.4	400.0	96.7	0.3
110.0	22.0	15.2	260.0	78.0	1.7	410.0	97.0	0.3
120.0	31.0	9.1	270.0	79.8	1.8	420.0	97.3	0.3
130.0	36.6	5.6	280.0	81.5	1.7	430.0	97.5	0.2
140.0	41.1	4.5	290.0	83.8	2.3	440.0	97.7	0.2
150.0	44.8	3.7	300.0	86.5	2.7	450.0	97.9	0.2
160.0	49.6	4.8	310.0	90.2	3.7	460.0	98.1	0.2
170.0	53.2	3.6	320.0	92.6	2.3	470.0	98.3	0.2
180.0	58.1	4.9	330.0	93.6	1.0	480.0	98.5	0.2
190.0	64.7	6.5	340.0	94.5	0.9	490.0	98.7	0.2
200.0	69.1	4.5	350.0	95.1	0.6	500.0	98.9	0.2
210.0	71.3	2.1	360.0	95.4	0.4	510.0	99.1	0.2
220.0	73.0	1.7	370.0	95.8	0.4	520.0	99.3	0.2
230.0	74.1	1.1	380.0	96.1	0.3	526.8	FBP	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5402011 ASTM D 2887

3

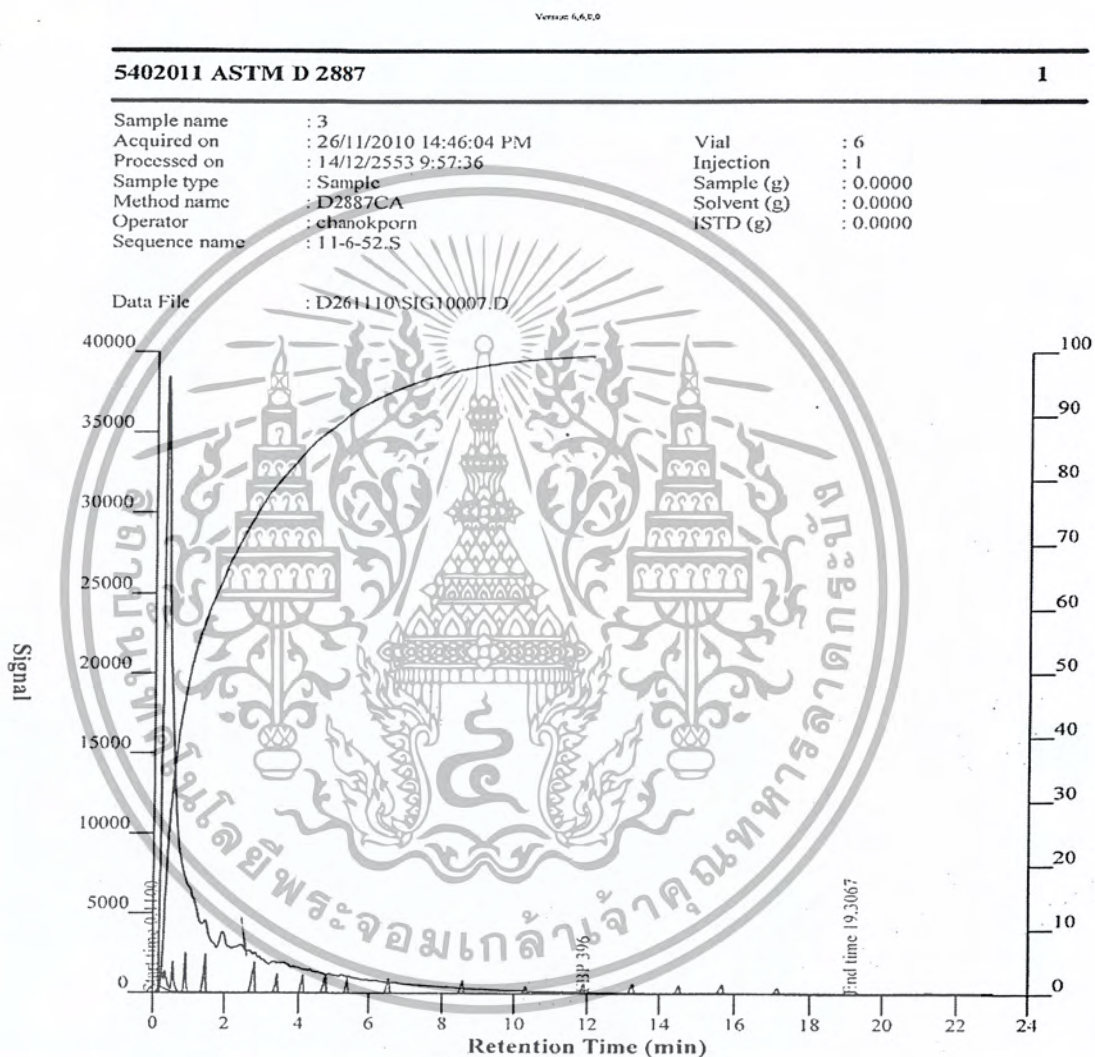
Sample name	: 2	Vial	: 5
Acquired on	: 26/11/2010 14:09:54 PM	Injection	: 1
Processed on	: 8/12/2553 9:14:24		
Data File	: D261110\SIG10006.D		



รูปที่ จ.4 องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดของการแตกตัวของพอลิพรพิลีนที่ใช้
แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% จากเครื่อง
Simulated distillation gas chromatograph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph พร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 420°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ



รูปที่ จ.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Signal กับ Retention time (min) ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 420°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.3 BP distribution table – cut points ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่ อุณหภูมิ 420°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%

Version 6.6.0.0

5402011 ASTM D 2887

2

Sample name	: 3	Vial	: 6
Acquired on	: 26/11/2010 14:46:04 PM	Injection	: 1
Processed on	: 14/12/2553 9:57:36		
Data File	: D261110\SIG10007.D		

General Variables

Used Blank	D261110\SIG10002.D
Used BP calibrant	D261110\SIG10003.D
Used Start elution (min)	0.110
Used End elution (min)	19.307
Total area	7783577

BP Distribution table - Percent

Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C
3.4	98.0	30.0	119.8	60.0	174.6	90.0	284.2
10.0	103.0	40.0	134.4	70.0	188.0	FBP	395.6
20.0	109.6	50.0	154.6	80.0	215.0		

BP Distribution table - cut points

BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%	BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%	BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%
98.0	IBP	3.4	200.0	76.4	4.9	310.0	96.3	2.7
100.0	6.0	2.6	210.0	78.8	2.4	320.0	97.7	1.4
110.0	20.7	14.7	220.0	80.7	1.9	330.0	98.3	0.6
120.0	30.3	9.6	230.0	82.0	1.3	340.0	98.7	0.4
130.0	37.3	7.0	240.0	83.1	1.1	350.0	99.0	0.2
140.0	42.9	5.6	250.0	84.2	1.1	360.0	99.1	0.1
150.0	47.4	4.5	260.0	85.8	1.6	370.0	99.2	0.1
160.0	53.2	5.9	270.0	87.7	1.9	380.0	99.4	0.1
170.0	57.8	4.6	280.0	89.3	1.6	390.0	99.5	0.1
180.0	64.1	6.3	290.0	91.3	2.0	395.6	FBP	0.0
190.0	71.4	7.4	300.0	93.6	2.3			

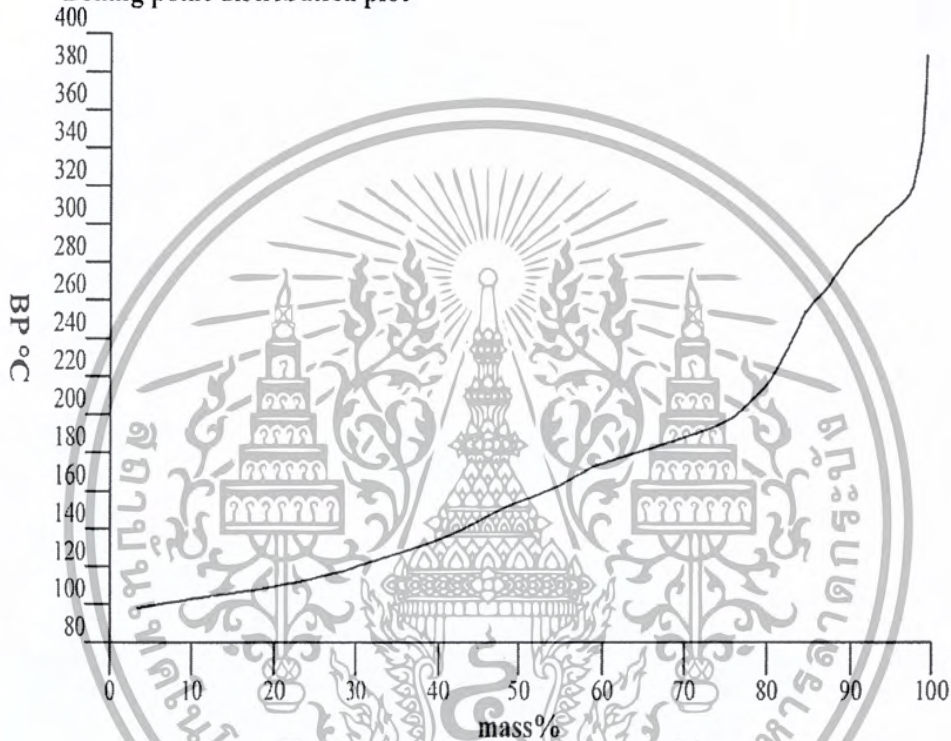
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5402011 ASTM D 2887

3

Sample name	: 3	Vial	: 6
Acquired on	: 26/11/2010 14:46:04 PM	Injection	: 1
Processed on	: 14/12/2553 9:57:36		
Data File	: D261110\SIG10007.D		

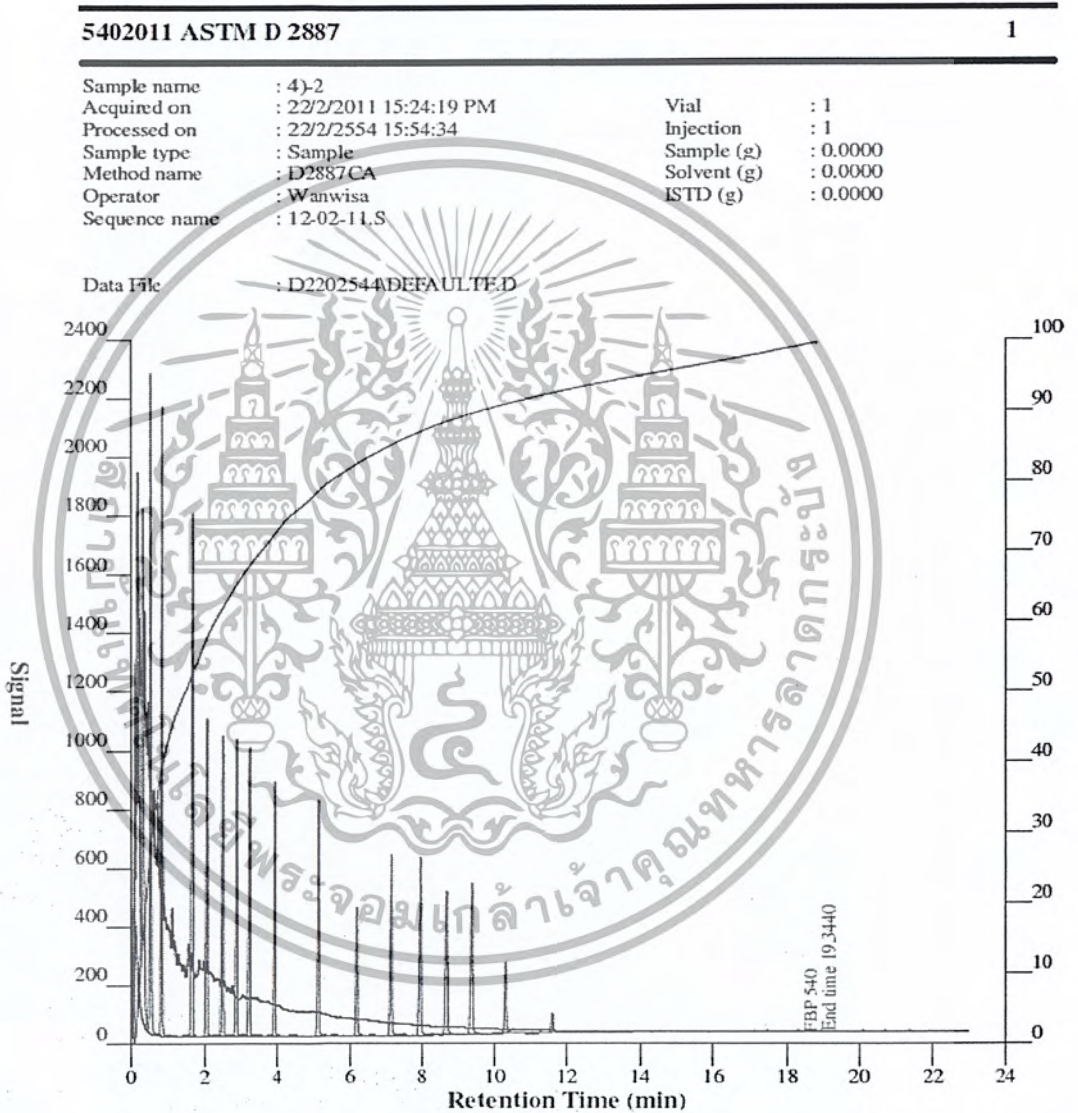
Boiling point distribution plot



รูปที่ จ.6 องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามจุดเดือดของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้
แล้วที่อุณหภูมิ 420 °C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% จากเครื่อง
Simulated distillation gas chromatograph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph พร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 400°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 45 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ



รูปที่ จ.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Signal กับ Retention time (min) ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 45 นาที อัตราส่วนของ USYซีโอไลต์ 5 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.4 BP distribution table – cut points ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่
อุณหภูมิ 400°C เวลา 45 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%

5402011 ASTM D 2887

2

Sample name : 4)-2
 Acquired on : 22/2/2011 15:24:19 PM Vial : 1
 Processed on : 22/2/2554 15:54:34 Injection : 1
 Data File : D2202544\DEFAULT.F.D

General Variables

Used Blank D211053\SIG10001.D
 Used BP calibrant D211053\SIG10003.D
 Used Start elution (min) 0.000
 Used End elution (min) 19.344
 Total area 940304

BP Distribution table - Percent

Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C
7.4	36.0	30.0	129.8	60.0	187.2	90.0	334.2
10.0	71.2	40.0	149.6	70.0	219.2	FBP	539.8
20.0	105.8	50.0	174.2	80.0	288.4		

BP Distribution table - cut points

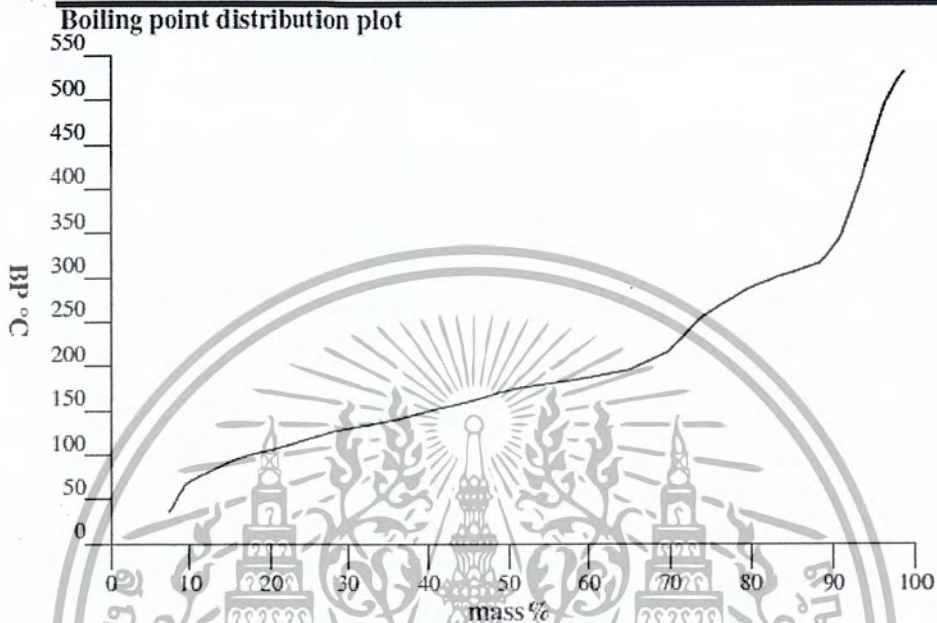
BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%	BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%	BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%
36.0	IBP	7.4	210.0	68.3	2.3	390.0	92.7	0.4
40.0	7.7	0.3	220.0	70.1	1.8	400.0	93.1	0.4
50.0	8.4	0.7	230.0	71.2	1.1	410.0	93.4	0.4
60.0	9.0	0.6	240.0	72.3	1.1	420.0	93.8	0.3
70.0	9.8	0.9	250.0	73.3	1.0	430.0	94.1	0.3
80.0	12.0	2.2	260.0	74.9	1.5	440.0	94.5	0.3
90.0	14.4	2.4	270.0	76.6	1.8	450.0	94.8	0.3
100.0	17.2	2.8	280.0	78.4	1.8	460.0	95.1	0.3
110.0	21.7	4.5	290.0	80.4	2.0	470.0	95.5	0.3
120.0	25.6	4.0	300.0	83.0	2.6	480.0	95.8	0.3
130.0	30.2	4.5	310.0	86.4	3.4	490.0	96.2	0.4
140.0	35.7	5.5	320.0	88.6	2.2	500.0	96.6	0.4
150.0	40.2	4.5	330.0	89.6	1.0	510.0	97.1	0.5
160.0	44.9	4.7	340.0	90.5	0.9	520.0	97.7	0.6
170.0	48.7	3.8	350.0	91.1	0.6	530.0	98.6	0.9
180.0	54.6	5.9	360.0	91.5	0.4	539.8	FBP	0.9
190.0	61.7	7.2	370.0	91.9	0.4			
200.0	65.9	4.2	380.0	92.3	0.4			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5402011 ASTM D 2887

3

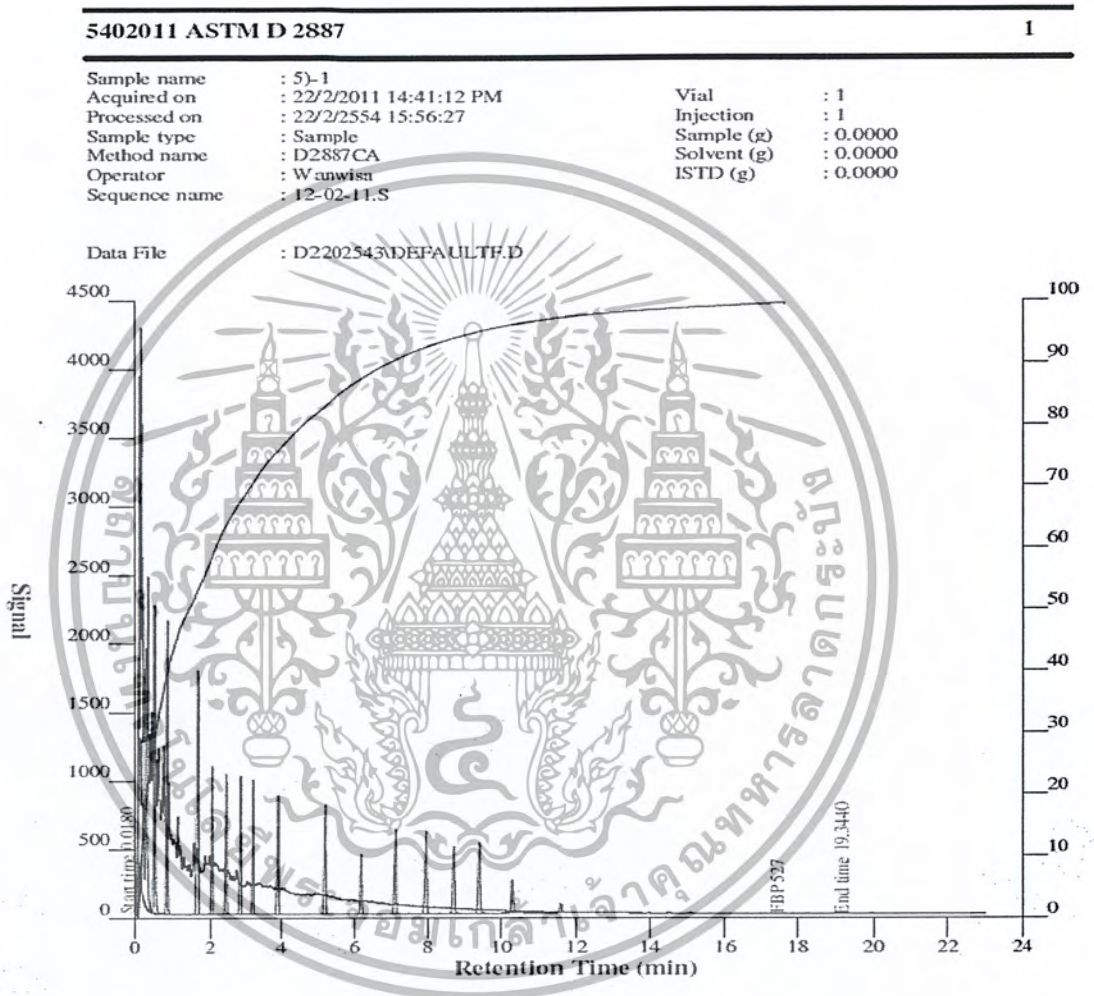
Sample name	: 4)-2	Vial	: 1
Acquired on	: 22/2/2011 15:24:19 PM	Injection	: 1
Processed on	: 22/2/2554 15:54:34		
Data File	: D2202544\DEFAULT.FID		



รูปที่ ๖.8 องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามกาบจุดเดือดของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้
แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 45 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% จากเครื่อง
Simulated distillation gas chromatograph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph พร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 400°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ



รูปที่ ๑.๙ ความสัมพันธ์ระหว่าง Signal กับ Retention time (min) ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 60 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๖.5 BP distribution table – cut points ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่ อุณหภูมิ 400°C เวลา 60 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%

5402011 ASTM D 2887

2

Sample name	: 5-1	Vial	: 1
Acquired on	: 22/2/2011 14:41:12 PM	Injection	: 1
Processed on	: 22/2/2554 15:56:27		
Data File	: D2202543\DEFAULT.D		

General Variables

Used Blank	D211053\SIG10001.D
Used BP calibrant	D211053\SIG10003.D
Used Start elution (min)	0.018
Used End elution (min)	19.344
Total area	1386152

BP Distribution table - Percent

Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C
10.8	36.0	40.0	149.2	70.0	207.0	FBP	526.8
20.0	98.6	50.0	173.2	80.0	267.0		
30.0	127.8	60.0	185.6	90.0	305.0		

BP Distribution table - cut points

BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%	BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%	BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%
36.0	IBP	10.8	260.0	68.2	4.8	370.0	96.9	0.3
40.0	11.3	0.5	210.0	70.8	2.7	380.0	97.1	0.2
50.0	12.3	1.0	220.0	73.0	2.2	390.0	97.4	0.2
60.0	13.0	0.7	230.0	74.3	1.3	400.0	97.6	0.2
70.0	13.9	0.9	240.0	75.6	1.3	410.0	97.7	0.2
80.0	15.9	2.0	250.0	76.8	1.2	420.0	97.9	0.2
90.0	18.0	2.1	260.0	78.6	1.8	430.0	98.1	0.2
100.0	20.6	2.6	270.0	80.6	2.0	440.0	98.2	0.1
110.0	24.3	3.6	280.0	82.8	2.1	450.0	98.4	0.1
120.0	27.4	3.2	290.0	85.2	2.4	460.0	98.5	0.1
130.0	31.1	3.7	300.0	88.1	2.9	470.0	98.6	0.1
140.0	36.1	5.0	310.0	91.9	3.8	480.0	98.7	0.1
150.0	40.5	4.4	320.0	94.1	2.2	490.0	98.9	0.1
160.0	45.2	4.8	330.0	95.1	0.9	500.0	99.0	0.1
170.0	49.0	3.8	340.0	95.8	0.8	510.0	99.2	0.2
180.0	55.2	6.2	350.0	96.3	0.5	520.0	99.3	0.2
190.0	63.3	8.1	360.0	96.6	0.3	526.8	FBP	0.2

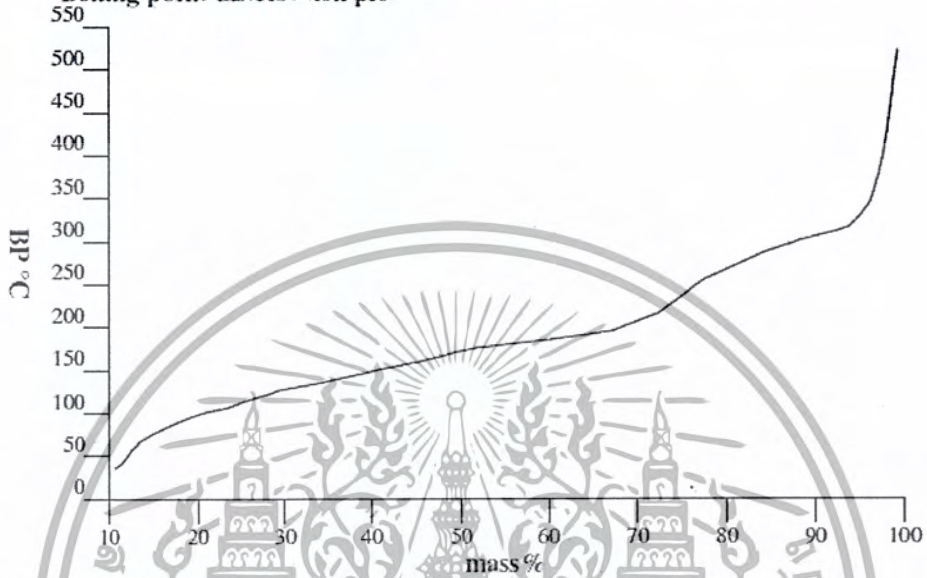
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5402011 ASTM D 2887

3

Sample name	: 5)-1	Vial	: 1
Acquired on	: 22/2/2011 14:41:12 PM	Injection	: 1
Processed on	: 22/2/2554 15:56:27		
Data File	: D2202543\DEFAULT.FID		

Boiling point distribution plot



รูปที่ จ.10 องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามจุดเดือดของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้
แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 60 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% จากเครื่อง
Simulated distillation gas chromatograph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph พร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้ว 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 400°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 1 wt% ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ

5402011 ASTM D 2887

1

Sample name	: 6) Cat 0.2 g PP	Vial	: 1
Acquired on	: 20/2/2011 13:40:03 PM	Injection	: 1
Processed on	: 22/2/2554 15:27:50	Sample (g)	: 0.0000
Sample type	: Sample	Solvent (g)	: 0.0000
Method name	: D2887CA	ISTD (g)	: 0.0000
Operator	: Wanwisa		
Sequence name	: 12-02-11.S		

Data File : D20025-ADIEFAULT.D



รูปที่ จ.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Signal กับ Retention time (min) ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 1 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.6 BP distribution table – cut points ของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่
อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 1 wt%

5402011 ASTM D 2887

2

Sample name	: 6) Cat 0.2 g PP	Vial	: 1
Acquired on	: 20/2/2011 13:40:03 PM	Injection	: 1
Processed on	: 22/2/2554 15:27:50		
Data File	: D200254DEFAULT.F.D		

General Variables

Used Blank	D211053\SIG10001.D
Used BP calibrant	D211053\SIG10003.D
Used Start elution (min)	0.002
Used End elution (min)	19.344
Total area	154781

BP Distribution table - Percent

Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C	Recovered mass%	BP °C
13.3	36.0	40.0	126.4	70.0	212.4	FBP	543.4
20.0	77.0	50.0	144.8	80.0	304.6		
30.0	101.8	60.0	177.2	90.0	499.0		

BP Distribution table - cut points

BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%	BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%	BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%
36.0	IBP	13.3	210.0	69.6	1.4	390.0	85.9	0.3
40.0	13.7	0.5	220.0	70.8	1.2	400.0	86.2	0.3
50.0	14.9	1.2	230.0	71.6	0.7	410.0	86.4	0.3
60.0	15.9	0.9	240.0	72.2	0.6	420.0	86.7	0.3
70.0	17.3	1.4	250.0	72.8	0.6	430.0	87.0	0.3
80.0	21.4	4.1	260.0	73.6	0.9	440.0	87.3	0.3
90.0	25.4	4.0	270.0	74.8	1.1	450.0	87.6	0.3
100.0	29.1	3.7	280.0	76.0	1.2	460.0	88.0	0.3
110.0	33.9	4.8	290.0	77.2	1.2	470.0	88.4	0.4
120.0	37.7	3.8	300.0	79.0	1.8	480.0	88.8	0.5
130.0	42.2	4.5	310.0	81.4	2.4	490.0	89.4	0.5
140.0	47.9	5.7	320.0	82.9	1.5	500.0	90.1	0.8
150.0	52.0	4.1	330.0	83.6	0.7	510.0	91.3	1.2
160.0	55.7	3.7	340.0	84.2	0.6	520.0	92.8	1.5
170.0	57.9	2.2	350.0	84.7	0.5	530.0	95.4	2.6
180.0	61.5	3.6	360.0	85.0	0.3	540.0	98.4	3.0
190.0	65.9	4.4	370.0	85.3	0.3	543.4	FBP	1.1
200.0	68.3	2.3	380.0	85.6	0.3			

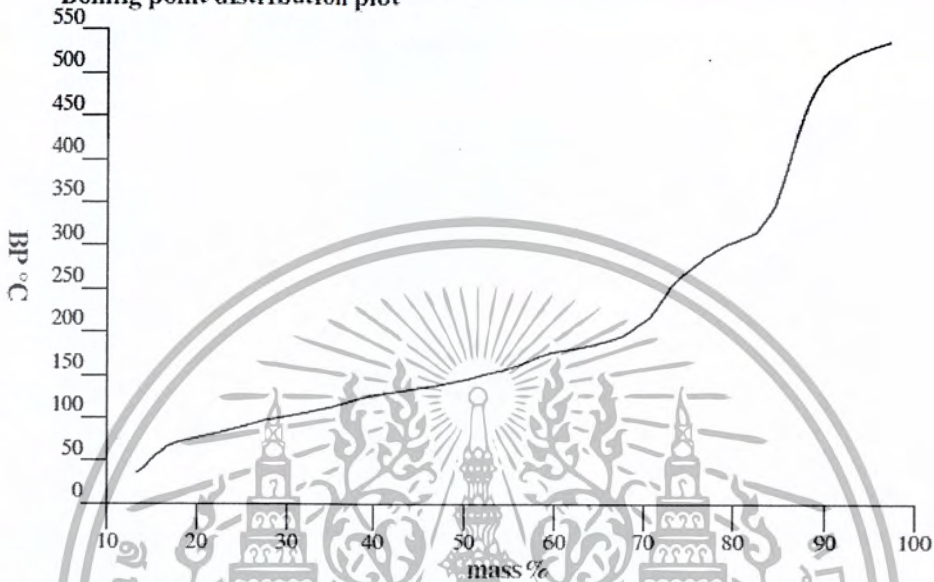
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5402011 ASTM D 2887

3

Sample name	: 6) Cat 0.2 g PP	Vial	: 1
Acquired on	: 20/2/2011 13:40:03 PM	Injection	: 1
Processed on	: 22/2/2554 15:27:50		
Data File	: D200254DEFAULT.FID		

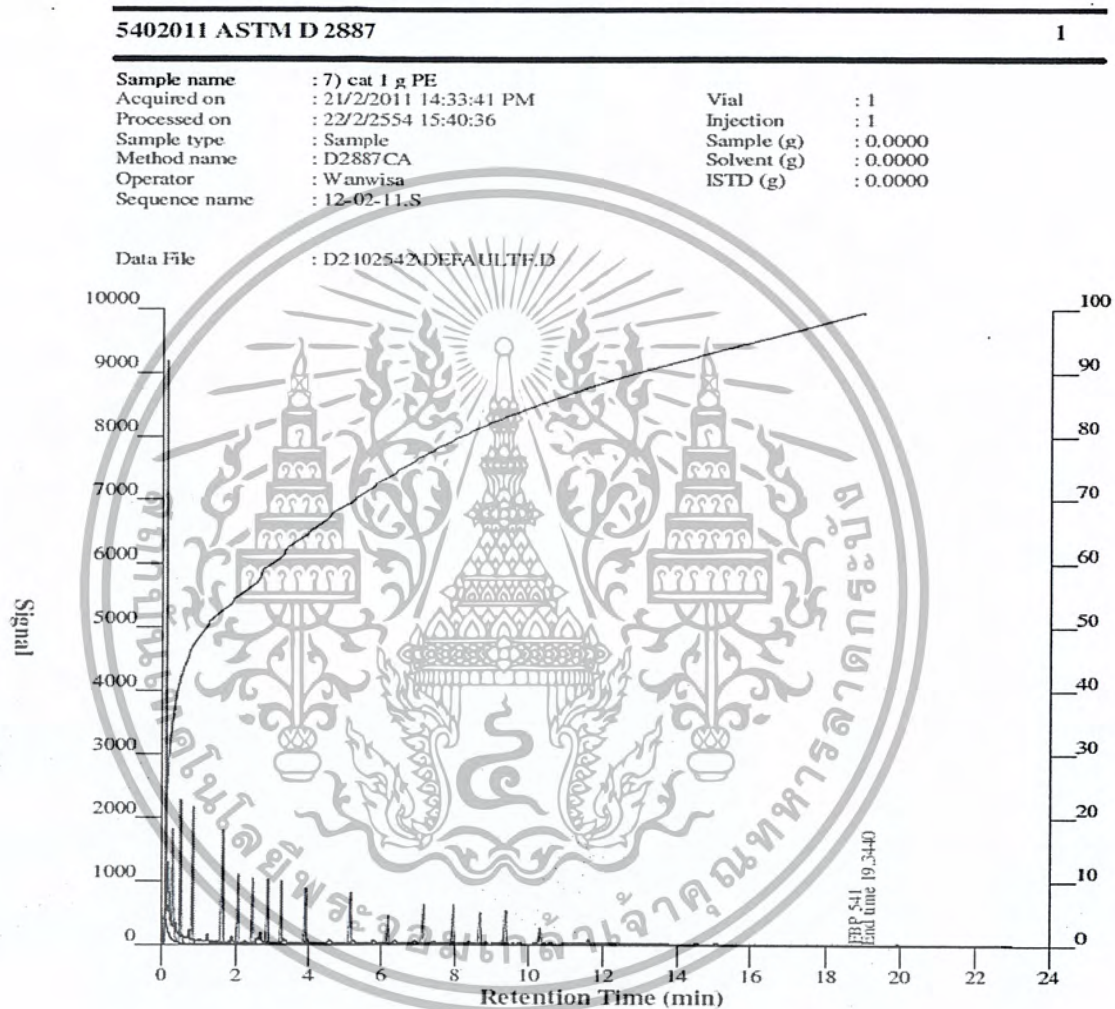
Boiling point distribution plot



รูปที่ จ.12 องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามจุดเดือดของการแตกตัวของพอลิโพรพิลีนที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 1 wt% จากเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph พร้อมซอฟต์แวร์จำลองการกลั่นของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 400°C เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% ความดันแก๊สไฮโดรเจน 1 บาร์เกจ



รูปที่ จ.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Signal กับ Retention time (min) ของการแตกตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว ที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.7 BP distribution table – cut points ของการแตกตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่
ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโโอลิต์ 5 wt%

5402011 ASTM D 2887

2

Sample name	: 7) cat 1 g PE	Vial	: 1
Acquired on	: 21/2/2011 14:33:41 PM	Injection	: 1
Processed on	: 22/2/2554 15:40:36		
Data File	: D2102542DEFAULT.F.D		

General Variables

Used Blank	D211053\SIG10001.D
Used BP calibrant	D211053\SIG10003.D
Used Start elution (min)	0.000
Used End elution (min)	19.344
Total area	339230

BP Distribution table - Percent

Recovered mass%	BP °C
28.8	36.0
30.0	53.0
40.0	111.8
50.0	164.2
60.0	199.2
70.0	282.0
80.0	313.0
90.0	418.6
FBP	541.4

BP Distribution table - cut points

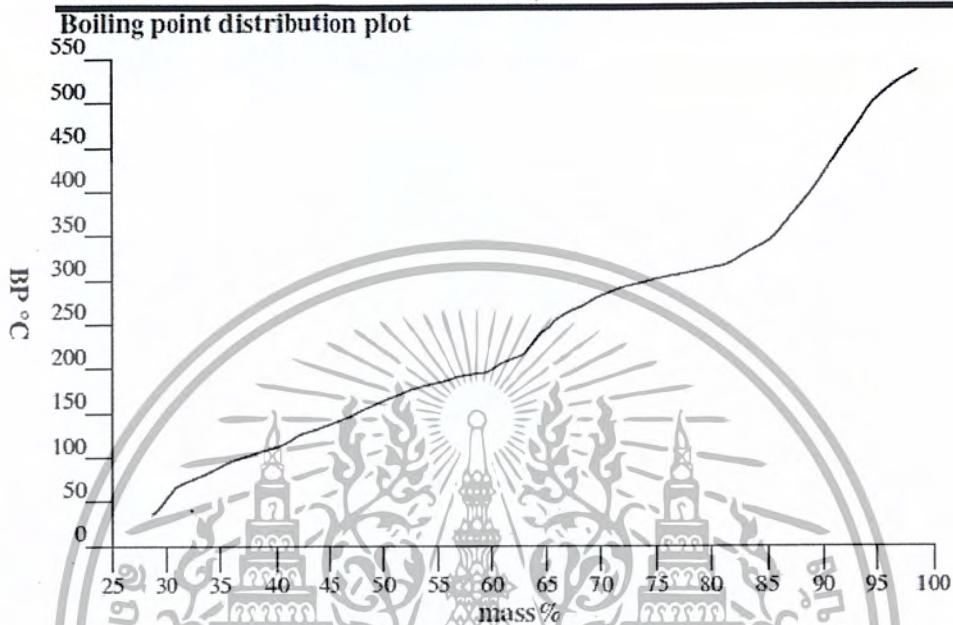
BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%	BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%	BP °C	Recovered mass%	Fraction mass%
36.0	IBP	28.8	210.0	61.5	1.4	390.0	88.3	0.6
40.0	29.1	0.3	220.0	63.1	1.6	400.0	88.9	0.6
50.0	29.9	0.8	230.0	63.8	0.7	410.0	89.5	0.6
60.0	30.5	0.6	240.0	64.4	0.6	420.0	90.1	0.6
70.0	31.4	1.0	250.0	65.5	1.1	430.0	90.6	0.5
80.0	33.4	2.0	260.0	66.5	1.0	440.0	91.2	0.6
90.0	35.2	1.8	270.0	68.3	1.8	450.0	91.7	0.5
100.0	36.9	1.7	280.0	69.6	1.3	460.0	92.3	0.5
110.0	39.5	2.6	290.0	71.5	2.0	470.0	92.9	0.6
120.0	41.4	1.9	300.0	74.6	3.0	480.0	93.5	0.6
130.0	43.4	2.0	310.0	78.8	4.2	490.0	94.0	0.5
140.0	45.6	2.2	320.0	81.8	3.0	500.0	94.7	0.7
150.0	47.6	2.0	330.0	83.3	1.6	510.0	95.5	0.9
160.0	49.4	1.8	340.0	84.7	1.3	520.0	96.5	0.9
170.0	51.3	2.0	350.0	85.6	1.0	530.0	97.8	1.4
180.0	53.6	2.2	360.0	86.3	0.7	540.0	99.3	1.5
190.0	56.6	3.1	370.0	87.0	0.7	541.4	FBP	0.2
200.0	60.1	3.5	380.0	87.7	0.7			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5402011 ASTM D 2887

3

Sample name	: 7) cat 1 g PE	Vial	: 1
Acquired on	: 21/2/2011 14:33:41 PM	Injection	: 1
Processed on	: 22/2/2554 15:40:36		
Data File	: D2102542\DEFAULT.F.D		



รูปที่ จ.14 องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวตามคาบจุดเดือดของการแตกตัวของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 400°C เวลา 30 นาที อัตราส่วนของ USY ซีโอไลต์ 5 wt% จากเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph