

รายงานฉบับสมบูรณ์ทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2547

เรื่อง

เชื้อเพลิงสังเคราะห์จากปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทีลีนที่
ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้า
ในกระบวนการแบบต่อเนื่อง

คณะผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. ตะวัน สุขน้อย

นายธีระวัฒน์ เกลิมสุขศรี

นายบุญสืบ สนธยามาลัย

RCH

TP

1180

P65

๓๒๕๘๗

เลขหมู่.....

75516

เลขทะเบียน.....

- 6 พ.ย. 2550

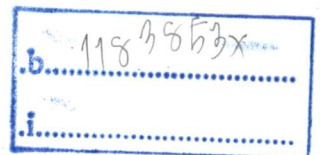
วัน,เดือน,ปี.....

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงชุดปฏิกรณ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการแบบต่อเนื่อง เพื่อศึกษา
การแตกตัวของพอลิเอทิลีนเป็นเชื้อเพลิงสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์บีต้า ชุดปฏิกรณ์
ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ ส่วนป้อนสาร ถังปฏิกรณ์ ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์และส่วนเก็บกากที่เหลือจาก
การแตกตัว โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้แล้วสามารถแยกออกจากส่วนล่างของถังปฏิกรณ์ การศึกษา
การแตกตัวของพอลิเอทิลีนเป็นเวลามากกว่า 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส โดยใช้ก๊าซ
ไฮโดรเจนเป็นก๊าซตัวพาด้วยอัตราคงที่ในค่า 10, 20, 50 และ 100 มิลลิลิตรต่อวินาที อัตราการป้อนสาร
สารประมาณ 120, 200, 280, 400 และ 600 กรัมต่อชั่วโมง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0, 0.25, 0.5, 1, 2
และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ จากการศึกษพบว่า ได้ผลิตภัณฑ์ก๊าซ 4-35 เปอร์เซ็นต์
ผลิตภัณฑ์ของเหลว 40-73 เปอร์เซ็นต์ และกากที่เหลือ 0-56 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการ
เกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราการไหลของก๊าซตัวพาอย่างไร้ที่
ตามการเพิ่มอัตราการป้อนสารทำให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาลดลง ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถ
ควบคุมการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในช่วงแคบซึ่งอยู่ในช่วงของแก๊สโซลีน มีค่าการเลือกสรร
ของผลิตภัณฑ์ของเหลวประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักซึ่งมีการเลือกสรรของแก๊สโซลีน
มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ของเหลว โดยการเลือกสรรของแก๊สโซลีนลดลง
ด้วยการลดอัตราการไหลของก๊าซตัวพา เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 2 เปอร์เซ็นต์โดย
น้ำหนักของพอลิเมอร์ พบว่าเกิดปฏิกิริยาคิสโพร พอร์ซันเนชันขึ้น อัตราเร็วในการเกิดการถ่าย
โอนไฮโดรเจนสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และการลดอัตราการไหล
ของก๊าซตัวพา จากการศึกษการแตกตัวของพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว พบว่าสามารถแตกตัวได้ง่ายและ
ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซมากกว่าเปรียบเทียบกับ พอลิเอทิลีนที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน การ
วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (NMR) พบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวมี
ค่าออกเทนประมาณ 90-102 และมีองค์ประกอบของไอโซพาราฟินและโอเลฟินมาก ส่วนอะโร
แมติกมีน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแก๊สโซลีนทางการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

In this thesis, development of a reactor for continuous catalytic cracking of polyethylene was studied for production of liquid fuel. The apparatus consisted of four sections: a feeder (single screw extruder), a reactor, a product collector, and a residue chamber. Used catalysts can be separated from the bottom of the reactor chamber. Catalytic cracking of polyethylene was carried out at 430°C for over 8 hours time on stream. Zeolite beta was used as a catalyst and nitrogen was fed as carrier gas with flow rate of a 10, 20, 50 and 100 ml/min. The polymer feed rate of 120, 200, 280, 400 and 600 g/h and catalyst content of 0, 0.25, 0.5, 1, 2 and 5 %wt. were investigated. It was found that 4-35 % gas products, 40-73 % liquid products and 0-56 % residue were produced. The catalytic activity was increased with an increase in catalyst loading and carrier gas flow rate. However, an increase in polymer feeding rate leads to a reduced activity. The results showed that the catalyst can significantly control the product distribution within a narrow range of gasoline fraction. The high liquid selectivity (70-80 %wt) was obtained with over 80 %wt gasoline selectivity. It was also found that the gasoline selectivity was decreased with a decrease in carrier gas flow rate. In addition, disproportionation can occur when the catalyst content increases to 2 %wt. Rate of hydrogen transfer can be increased by increasing catalyst loading or decreasing carrier gas flow rate. The waste polyethylene can be easily cracked, leading to higher gas yield, as compared with the virgin polyethylene. From Nuclear Magnetic Resonance results, cracked liquid products possessed an estimate octane number of 90-102 and contained large amounts of isoparaffins and olefins, with small amounts of aromatics, as compared to those of the commercial gasoline.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่ายที่เป็นประโยชน์เป็นอย่างยิ่งในงานวิจัยนี้ ทางผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณในความช่วยเหลือดังระยนวนต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ธีรวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม , ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ และ ผศ.ดร.เมตตา เจริญพาณิชย์ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมและคำติชมที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้อย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกฝ่ายของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้ออำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือการเบิกจ่ายสารเคมีและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยนี้

และสุดท้ายขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในงานวิจัยนี้ให้ดำเนินไปได้ถึงขั้นฉบับนี้ อย่างดีทั้งที่ได้กล่าวมาแล้วและที่ไม่ได้กล่าวในที่นี้ มา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	
สัญลักษณ์และคำย่อ	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 ซีโอไลท์	4
2.1.1 การประยุกต์ใช้ซีโอไลท์	5
2.1.1.1 การแลกเปลี่ยนไอออน	5
2.1.1.2 การดูดซับ	5
2.1.1.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา	6
2.1.2 ซีโอไลท์ปีต้า	7
2.2 ปฏิกิริยาการแตกสลาย	7
2.2.1 ปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยความร้อน	8
2.2.2 ปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา	9
2.3 พอลิเอทีลิน	10
2.3.1 โครงสร้างและคุณสมบัติ	11
2.3.2 การประยุกต์ใช้พอลิเอทีลิน	11
2.4 น้ำมันเชื้อเพลิง	12
2.4.1 ก๊าซและก๊าซเหลว	12
2.4.2 ก๊าซโซลีน	12
2.4.3 แครโธซีน	14
2.4.4 ดีเซล	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบัญชี (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมี	16
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	17
3.3 รายละเอียดในงานวิจัย	18
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย	
4.1 การตรวจสอบคุณสมบัติของซีโอไลต์ที่บดและพอลิเอทีลีน	26
4.2 พัฒนาปรับปรุงและจัดสร้างชุดปฏิบัติการ	28
4.3 ศึกษาปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทีลีนโดยใช้เทคนิคโดยใช้ เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอินฟราเรดเพื่อหาโมดอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA)	30
4.4 ศึกษาปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทีลีนในกระบวนการ แบบต่อเนื่อง	32
4.4.1 การเกิดปฏิกิริยาแตกสลายของพอลิเอทีลีนใน กระบวนการแบบต่อเนื่อง	33
4.4.2 อิทธิพลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา	38
4.4.3 อิทธิพลของก๊าซตัวพา	45
4.4.4 อิทธิพลของอัตราการป้อนพอลิเอทีลีน	50
4.5 ศึกษาปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทีลีนที่ใช้แล้วใน กระบวนการแบบต่อเนื่อง	55
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	60
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และคำย่อ

DSC	ดิสเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter)
FID	แฟลมไอออไนท์เซชันดีเทคเตอร์ (Flame Ionization Detector)
GC	เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph)
GC/MS	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph/Mass Spectrometer)
HCL	ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy Cracked Liquid Products)
LCL	ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light Cracked Liquid Products)
MFI	ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index)
NMR	เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance)
PE	Polyethylene (พอลิเอทิลีน)
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)
TGA	เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric Analyzer)
XRD	เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Powder Diffractometer)
XRF	เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray Fluorescence Spectroscopy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัญหาขยะนับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นตามการขยายตัวของชุมชนเมืองและการเพิ่มขึ้นของประชากร โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติหรือต้องใช้ใช้ระยะเวลาอันนานในการย่อยสลาย เช่น โฟม พลาสติก ยางรถยนต์ ฯลฯ ซึ่งล้วนแต่เป็นขยะที่เหลือทิ้งจากการอุปโภค บริโภค สินค้าและบริการต่างๆของมนุษย์ ทำให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมตามมา

หากพิจารณาให้ลึกซึ้งกับขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติส่วนใหญ่คือพลาสติกและขยะพลาสติก ซึ่งนับวันจะปริมาณเพิ่มสูงขึ้น เพราะพลาสติกมีข้อดีหลายประการ เช่น มีน้ำหนักเบาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อน โดยอาศัยกระบวนการที่ไม่ยุ่งยาก มีความแข็งแรงสูง และสามารถปรับปรุงสมบัติต่างๆให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภทได้ง่าย เป็นต้น จนทำให้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายจนมีผลกระทบต่อตามมาคือ การกำจัดพลาสติกที่เหลือใช้ แต่เนื่องจากพลาสติกเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ดังนั้นจึงได้มีผู้สนใจทำการทดลองเกี่ยวกับการเปลี่ยนพลาสติกให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลงในช่วงก๊าซโซลีน ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์โดยอาศัยกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน แต่พบว่าจะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงมากในการเกิดปฏิกิริยา จึงได้มีการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์เพื่อช่วยลดอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาให้ลดต่ำลง ข้อดีของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์ที่ต่างจากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆคือการเลือกสรร เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์ แต่ละชนิดมีรูพรุนที่มีขนาดแน่นอน และปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในรูพรุนเท่านั้น ดังนั้นสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะต้องมีขนาดไม่ใหญ่เกินกว่าขนาดของรูพรุน จึงเป็นการจำกัดสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

การศึกษาการย่อยสลายพลาสติกส่วนใหญ่ทำในถังปฏิกรณ์แบบกะ (Batch Reactor) ทำให้ไม่สามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เสื่อมสภาพ (Deactivation) กลับมาปรับสภาพใหม่ (Regeneration) ได้ งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาปฏิกิริยาการสลายตัวและปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อปฏิกิริยาการสลายตัวของพอลิเอทิลีน โดยใช้ซีโอไลท์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง (Continuous Reactor) สำหรับการศึกษาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนด้วยความร้อนจะศึกษาโดยใช้เครื่องเทอร์โมกราวิเมทรี (Thermogravimetric Analyzer , TGA) โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลองจะทำภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ส่วนการศึกษาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์จะศึกษาโดยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph , GC)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตและเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากพอลิเอทีลีนที่ใช้แล้วในระดับอุตสาหกรรมต่อไป นอกจากนี้ยังเป็นการลดปัญหาการจัดขยะพลาสติกจำพวกพอลิเอทีลีนได้อีกทางหนึ่งอีกด้วย

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อให้ทราบปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติกในกระบวนการแบบต่อเนื่อง
2. สามารถพัฒนา กระบวนการแบบต่อเนื่องให้เหมาะสมกับกระบวนการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติก
3. เพื่อเป็นแนวทางในการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ให้เป็นพลังงานอย่างคุ้มค่าโดยมีการเลือกสรรที่ดี

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. สามารถสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากการแตกสลายของพอลิเอทีลีนที่ใช้แล้วในกระบวนการแบบต่อเนื่อง
2. ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะพลาสติกจำพวกพอลิเอทีลีนซึ่งยากต่อการกำจัดและเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงเหลวซึ่งใช้ทดแทนพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงธรรมชาติ
3. อนุรักษ์ทรัพยากรด้านพลังงาน โดยการหมุนเวียนพลาสติกที่ใช้แล้วกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงานได้สูงสุด
4. ได้แนวทางการศึกษาในขั้นต่อไปเพื่อนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้จริงในกระบวนการทางอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. จัดสร้างชุดปฏิกรณ์เพื่อใช้สำหรับ การแตกสลายพอลิเอทีลีนใน กระบวนการแบบต่อเนื่องโดยพัฒนาและปรับปรุงชุดปฏิกรณ์จากถังปฏิกรณ์แบบท่อ (Tube Reactor) ให้เป็นถังปฏิกรณ์แบบท่อที่มีใบพัดกวนอยู่ภายใน และออกแบบให้สามารถเก็บกากพอลิเมอร์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาในภาชนะปิด โดยจะป้อนพอลิเมอร์เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ทางด้านบนด้วยเครื่องป้อนพอลิเมอร์แบบสกรูเดี่ยว (single screw extruder) และเก็บกากพอลิเมอร์ทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ส่วนผลิตภัณฑ์จะผ่านเข้าสู่ตัวควบแน่นและเก็บในภาชนะปิดที่ถูกออกแบบมาสำหรับเก็บผลิตภัณฑ์เหลวได้อย่างต่อเนื่อง
2. การศึกษาการแตกสลายพอลิเอทีลีนในกระบวนการแบบต่อเนื่อง โดยทำปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์ที่ถูกจัดสร้างขึ้นจากข้อที่ 1 ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อพอลิเมอร์ 2-5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์บนด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะศึกษาปัจจัยและสภาวะต่างๆที่มีผลต่อการเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ Contact time โดยศึกษาการป้อนของพอลิเมอร์ในช่วง 80-500 กรัมของพอลิเมอร์ต่อชั่วโมง ศึกษาอัตราการไหลของก๊าซตัวพา (Carrier gas) ในช่วง 30-100 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการหมุนของใบพัดกวนในถังปฏิกรณ์ ในช่วง 50-200 รอบต่อนาที โดยใช้พอลิเมอร์บริสุทธิ์ความหนาแน่นต่ำเป็นสารป้อนในการศึกษา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายขยะพลาสติกประเภทขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดขุ่นที่เก็บได้จากสถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ใช้เป็นสารป้อน ที่มีคุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ซีโอไลต์

ซีโอไลต์ธรรมชาติเป็นแร่อลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicates) ถูกค้นพบโดยนักแร่วิทยาชาวสวีเดนเมื่อกว่า 200 ปีมาแล้ว รากศัพท์เดิมของคำว่าซีโอไลต์นั้นมาจากภาษากรีก 2 คำ คือคำว่า Zeo ที่แปลว่าเดือดและคำว่า Litho ที่แปลว่าหินเมื่อรวมกันแล้วจึงหมายความว่าหินที่เดือดได้ เนื่องจากแร่ใหม่ที่ถูกค้นพบนี้เมื่อถูกให้ความร้อนจะเกิดการคายน้ำเป็นไอ ฟูขึ้นมากคล้ายกับว่าแร่ นั้นเดือดเองได้ โครงสร้างของซีโอไลต์ทั้งที่เกิดจากธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ต่างมีสมบัติ ในการแลกเปลี่ยนไอออน , ดูดซับ และการเป็นตะแกรงระดับโมเลกุล

ซีโอไลต์คือ สารประกอบจำพวกอลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicates) ที่มีโครงสร้างเป็น ผลึกทรูพูนแบบ 3 มิติประกอบด้วย Tetrahedral ของ ซิลิเกต $[SiO_4]^{4-}$ และอลูมิเนต $[AlO_4]^{5-}$ ซึ่งถูก เชื่อมต่อกันโดยการสร้างพันธะกับอะตอมออกซิเจน ใน โครงสร้างที่มีองค์ประกอบเป็นซิลิเกตเพียง อย่างเดียวโครงสร้างนั้นไม่มีความเป็นขั้ว แต่ถ้ามี อลูมิเนต $[AlO_4]^{5-}$ เป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง ประจุ $3+$ ของ Al จะทำให้โครงสร้างนั้นมีความเป็นขั้วลบซึ่งจำเป็นจะต้องมี ไอออนบวกเข้ามาดุล ประจุ โครงสร้างของซีโอไลต์ทั่วไปต่างพื้นฐาน คือผลึกหน่วยเซลล์ (Unit cell) ซึ่งเป็นหน่วยที่เล็ก ที่สุดในโครงสร้าง มีสูตรดังนี้



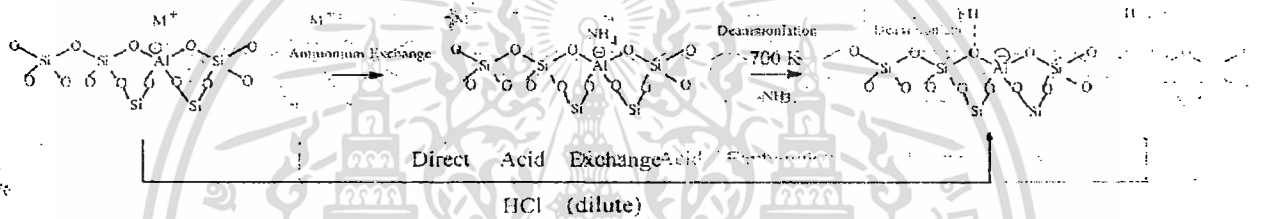
การที่ซีโอไลต์มีไอออนบวกที่เข้าไปดุลประจุของโครงสร้างไว้ นอกจากนี้ ซีโอไลต์ยังมีขนาดของรูพรุนที่เล็กซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวของโครงสร้างจึงทำให้ซีโอไลต์มี คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดี

สารเริ่มต้นต่างๆไปของการสังเคราะห์ซีโอไลต์จะเป็น โซเดียมอลูมิเนต (Sodium Aluminate) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และคอลลอยด์ของซิลิกา (Silica sol . a collodal silicasuspension) การสังเคราะห์จะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 300-450 เคลวิน ตัวแปรสำคัญที่กำหนด ชนิดของซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นคือความเข้มข้นของสารตั้งต้น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-เบส สารประกอบเทมเพลตอินทรีย์ และเวลา หลังจากสังเคราะห์ซีโอไลต์ได้แล้วภายในรูพรุนของซี โอไลต์จะมีน้ำอยู่ปริมาณหนึ่งเนื่องจากความมีขั้วภายในโครงสร้างของซีโอไลต์ น้ำสามารถถูกขับ ออกโดยการให้ความร้อน ก่อนที่ซีโอไลต์จะถูกนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวดูดซับ ซีโอไลต์

แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะถูกนำไปกำจัดน้ำและสารประกอบแทนเฟลทอนหรือออกก่อน โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 600-700 เคลวิน

เราอาจจะแบ่งซีโอไลต์ได้หลายแบบตามปัจจัยต่างๆ เช่น การแบ่งซีโอไลต์ตามอัตราส่วนซิลิกอนต่ออลูมิเนียมหรือซิลิกาต่ออะลูมินา ซึ่งจะอยู่ในช่วง 1-∞ (ค่า Si/Al จะมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1 เนื่องจาก $[AlO_4]^-$ ไม่สามารถที่อยู่ติดกันได้ซึ่งจะทำให้เกิดการผลักกันระหว่างประจุลบด้วยตัวเอง โครงสร้างของซีโอไลต์ที่มีค่า Si/Al ต่ำๆ จะมีความเป็นกรดมากโดยที่การปรับปรุงสมบัติของซีโอไลต์ให้เป็นกรดทำได้หลายวิธี เช่น การแลกเปลี่ยนไอออนบวกซึ่งอยู่ในโครงสร้างของซีโอไลต์ด้วยแอมโมเนียมแล้วทำการเผาล้างที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดเป็นกรดบรอนซ์ (H^+) ซึ่งทำหน้าที่เป็นไอออนบวกที่คู่กับประจุลบในโครงสร้างของซีโอไลต์เป็นวิธีที่เป็นที่นิยมเพราะไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ดังรูป



ซีโอไลต์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในปัจจุบันเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 100-160 องศาเซลเซียส ภายใต้ระบบปิดที่มีการควบคุมสภาวะ อุณหภูมิ ความดัน เวลา ชนิด และความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่มีความเฉพาะเจาะจง ซีโอไลต์ที่ได้จากการสังเคราะห์เป็นสารเคมีบริสุทธิ์สูงและมีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย

2.1.1 การประยุกต์ใช้ซีโอไลต์

2.1.1.1 การแลกเปลี่ยนไอออน

ซีโอไลต์ถูกนำมาใช้เพื่อลดความกระด้างของน้ำในอุตสาหกรรมผงซักฟอกกันอย่างแพร่หลายและยังถูกนำมาใช้แทนฟอสเฟตอีกด้วย ไอออนบวกที่อยู่ภายในโครงสร้างของซีโอไลต์มีแรงเหนี่ยวกับโครงสร้างของซีโอไลต์ไม่สูงมากจึงทำให้สามารถนำมาแลกเปลี่ยนกับไอออนบวกอื่นๆ ได้ โดยที่ซีโอไลต์ A จะมีความเฉพาะเจาะจงกับ Ca^{2+} และพบว่าซีโอไลต์ที่ได้จากธรรมชาติสามารถแยกไอออนที่เป็นสารกัมมันตภาพรังสีซึ่งเป็นไอโซโทปกันออกจากกันได้ (Cs^+ , Sr^{2+})

2.1.1.2 การดูดซับ

ช่องว่างภายในโครงสร้างของซีโอไลต์สามารถแยกสารผสมออกจากกันได้ทั้งในสถานะของเหลวและสถานะก๊าซ โดยอาศัยคุณสมบัติการเป็นตะแกรงขนาดโมเลกุลของซีโอไลต์ ซึ่งโมเลกุลที่ถูกดูดซับจะต้องมีขนาดของโมเลกุลที่เหมาะสมกับรูพรุนของซีโอไลต์ เช่น การแยกพาราฟิน โครโตรงออกจากไอโซพาราฟิน โดยอาศัยความเกะกะของ ไอโซพาราฟินซึ่งไม่สามารถเข้าไปภายในรูพรุนของซีโอไลต์ได้

งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ซีโอไลต์สามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในหลายๆปฏิกิริยารวมถึงปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ โดยที่ซีโอไลต์สามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปของกรดและยังสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาที่มีโลหะเข้ามาเกี่ยวข้องได้อีกด้วย ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นภายในรูพรุนของซีโอไลต์ดังนั้นทำให้เราสามารถควบคุมสารผลิตภัณฑ์ที่เราต้องการได้ โดยทั่วไปซีโอไลต์จะถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยากรดในปฏิกิริยาการแตกสลายในอุตสาหกรรม เนื่องจากซีโอไลต์มีความหนาแน่นของ Catalytic site สูงและทนความร้อนสูง ดังนั้นปฏิกิริยาเกือบทุกปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดจะใช้ซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการทางอุตสาหกรรมต่างๆไปทีนิยมใช้ซีโอไลต์ดังตาราง 2.1

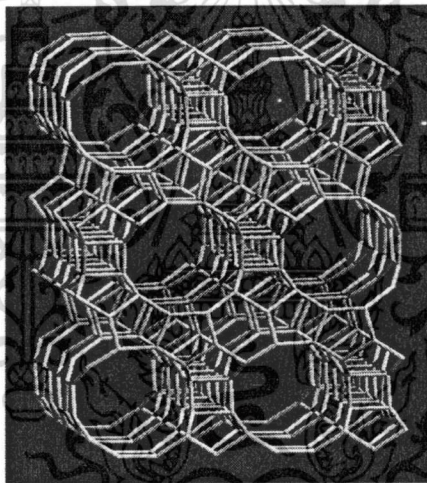
ตาราง 2.1 กระบวนการทางอุตสาหกรรมต่างๆที่ใช้ซีโอไลต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา[9]

Process	Catalysts	Advantage in using zeolite-based catalysts
Catalytic cracking	REY (REX, REHY, REMgY, HY)	Selectivity and high conversion rates
Hydrocracking	X, Y, mordenite, erionite loaded with Co, Mo, W, Ni, also HY, US-Y, Ca MgY and H-ZSM-5	High conversion rates
Selectoforming	Ni erionite, clinoptilolite	Increase in octane number via LPG production
Hydroisomerization	Pt mordenite	Converts low octane, pentane and hexane feeds to higher octane yields
Dewaxing	Pt mordenite, ZSM-5	Improved pour points
Benzene Alkylation	ZSM-5	Ethylbenzene and styrene production with low by-product yield
Xylene isomerization	ZSM-5	Increase in p-xylene yield with low by-product yield
Methanol to gasoline conversion	ZSM-5	High gasoline yield with high octane rating
No _x reduction	H-mordenite	Effluent clean-up in nitric acid and nuclear reprocessing plants

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ซีโอไลท์บีต้า

ซีโอไลท์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในกระบวนการอุตสาหกรรมคือ ซีโอไลท์บีต้า ซึ่งเป็นผลึกของสารประกอบจำพวกอลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicates) และถูกนำมาใช้ในปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงขนาดของโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง และ ปฏิกิริยาไฮโดรไอโซเมอไรเซชัน ซีโอไลท์บีต้าถูกจัดเป็นซีโอไลท์ชนิดที่มีรูพรุน 3 ทาง (Three dimensional) มีขนาดหน้าตาต่าง 12 T-ring ซึ่งซีโอไลท์บีต้าสามารถที่ได้จากการสังเคราะห์ อาจจะมีค่า $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ อยู่ในช่วง 10-200 ซึ่งวิธีการสังเคราะห์ไม่ได้แตกต่างจากซีโอไลท์ชนิดอื่นๆ ในกระบวนการ Alkylation ซีโอไลท์บีต้าถูกนำมาใช้ในการสังเคราะห์ Ethylbenzene จาก Benzene และ Ethylene และใช้ในการสังเคราะห์ Cumen จาก Benzene และ propylene นอกจากนี้ยังสามารถใส่โลหะไปในโครงสร้างของซีโอไลท์บีต้าซึ่งได้แก่ โลหะ หมู่ VIB และ VIII ของตารางธาตุ โลหะที่นิยมใช้เช่น โครเมียม ทังสแตน เหล็ก นิกเกิล แพลทินัม เป็นต้น



รูป 2.1 โครงสร้างของซีโอไลท์ [13]

2.2 ปฏิกิริยาการแตกสลาย

ปฏิกิริยาการแตกสลายคือ การทำให้สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากเกิดการแตกสลายได้สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่น้อยกว่าเดิม ปฏิกิริยาการแตกสลายเป็นการทำลายพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนซึ่งจากกฎเทอร์โมไดนามิกจะต้องทำให้อุณหภูมิสูง แต่อย่างไรก็ตามสารผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจจะเกิดการรวมตัวกันทำให้ได้สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่มากกว่าว่าสารตั้งต้นก็ได้ ซึ่งสารผลิตภัณฑ์หลักในกระบวนการปฏิกิริยาการแตกสลายคือ ก๊าซโซลีน และก๊าซโซลีนที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายจะมีค่าออกเทนสูง โดยที่มีหลากหลาย กระบวนการในการทำปฏิกิริยาการแตกสลายเช่น ปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยความร้อน, ปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา และ ปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง เป็นต้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

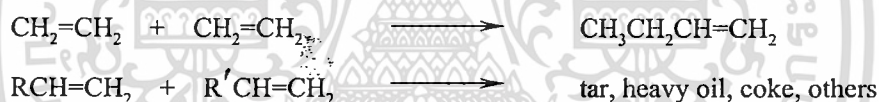
2.2.1 ปฏิริยาการแตกสลายด้วยความร้อน

กระบวนการต่างๆไปในกระบวนการปิโตรเลียม นอกเหนือจาก กระบวนการกลั่น คือกระบวนการเปลี่ยนสารที่มีจุดเดือดสูงให้เป็นสารที่มีจุดเดือดต่ำซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า ปฏิริยาการแตกสลายด้วยความร้อน โดยที่กลไกของการเกิดกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน จะเกิดผ่านสารมัธยันตร์ประเภทฟรีเรดิคัล (Free radical) ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถควบคุมสารผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนี้ก็อาจจะเกิดสารผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนัก โมเลกุลมากขึ้นจากเดิมอีกด้วย ปฏิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการแตกสลายมีดังนี้

1. ปฏิริยาการแตกสลายจากสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก

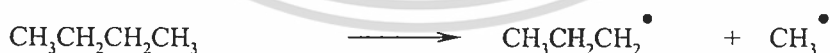


2. ปฏิริยาการรวมตัวระหว่างสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิริยาการแตกสลายซึ่งยังมีความว่องไวในการทำปฏิริยาด้วยตัวเองได้เป็นสารที่มีน้ำหนัก โมเลกุลมากขึ้น

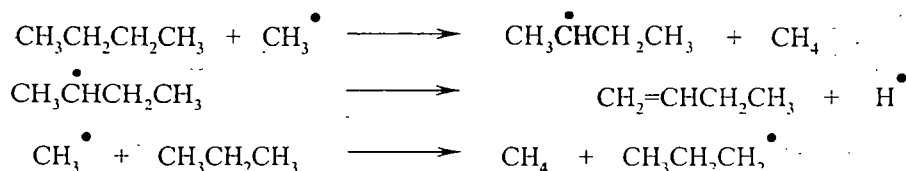


ฟรีเรดิคัล (Free radical) เป็นสารมัธยันตร์ที่มีความว่องไวในการทำปฏิริยาสูงจึงทำให้ฟรีเรดิคัล (Free radical) สามารถทำปฏิริยากับสารไฮโดรคาร์บอนอื่นๆได้ด้วยการรับเอาอะตอมของไฮโดรเจนไว้ทำให้เกิดเป็นฟรีเรดิคัล (Free radical) ใหม่ขึ้นได้

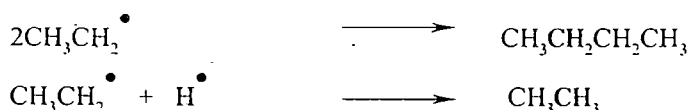
Initiation



Propagation

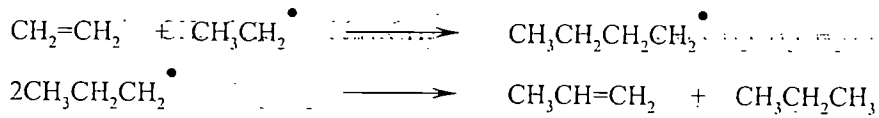


Termination

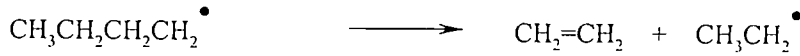


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Disproportionation reaction



Other reactions, such as

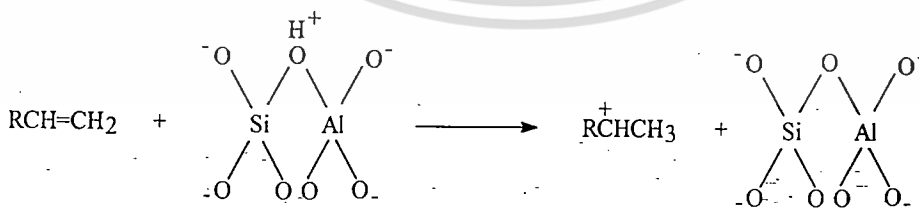


โดยที่ในการเพิ่มปริมาณจะทำให้ช่วยทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นไปข้างหน้ามากขึ้นคือปฏิกิริยาพ้องปฏิกิริยาหรือปฏิกิริยา
ลิเมอร์ไรเซชันของโอเลฟินและปฏิกิริยาการเติมหมู่ฮัลลิดให้กับพาราฟิน เนื่องจากการเพิ่มความ
ดันจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการแตกสลายได้ยาก จึงทำให้ไปยับยั้งการเกิดสารผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนัก
โมเลกุลน้อยและยังทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก

2.2.2 ปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกระบวนการที่สำคัญในโรงกลั่นเพื่อนำไปใช้กระบวนการ
ในกระบวนการเปลี่ยนน้ำมันที่ประกอบด้วยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากให้เป็น น้ำมันเบนซินและ
สารผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยๆที่มีมูลค่ามากขึ้น โดยสามารถทำให้ได้น้ำมันเบนซิน
ค่าออกเทนสูงในปริมาณมากกว่าปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยความร้อนเนื่องจาก ปฏิกิริยาการแตก
สลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดผ่านสารมัธยंतरประเภทคาร์โบเนียมไอออน (Carbocation) ซึ่ง
จะมีความเฉพาะเจาะจงมากกว่าฟรีเรดิคัล (Free radical) จึงทำให้สารผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการกระจาย
ตัวของจำนวนคาร์บอนที่แคบกว่าการแตกสลายด้วยความร้อน กลไกการเกิดคาร์โบเนียมไอออน
(Carbocation) ในปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในรูป

1. โปรตอน (H^+) ที่ตำแหน่งกรดของบรอนสเตดในโครงสร้างของซีโอไลต์ถูกให้กับ
โอเลฟินเกิดเป็นคาร์โบเนียมไอออน (Carbocation)



2. ตำแหน่งกรดของลิวอิสภายในโครงสร้างของซีโอไลต์รับไฮโดรเจน (H^+) จาก
ไฮโดรคาร์บอนทำให้เกิดคาร์โบเนียมไอออน (Carbocation) ตัวใหม่



3. จากคาร์โบเนียมไอออน (Carbocation) ที่เกิดจากสองขั้นตอนแรกแล้วเอา ไฮโดรเจน (H⁺) จากไฮโดรคาร์บอนตัวอื่นทำให้เกิดคาร์โบเนียมไอออน (Carbocation) ตัวใหม่ขึ้น



แต่อย่างไรก็ตามคาร์โบเนียมไอออน (Carbocation) ตัวใหม่ไม่สามารถเกิดขึ้นจากการแตกพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนได้

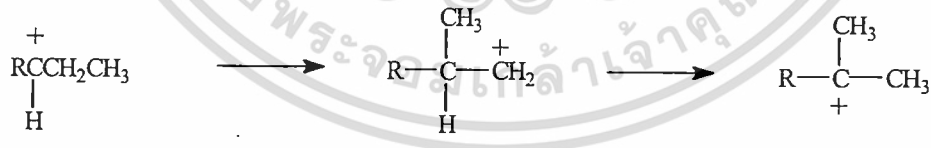


คาร์โบเนียมไอออน (Carbocation) ที่เกิดขึ้นสามารถเกิด การย้ายไฮโดรเจน (Hydride shift) และการย้ายเมทิล (Methyl shift) ได้

1,2 Hydride shift :



Methyl shift-hydride shift :



ปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นอีกทางเลือกในการทำปฏิกิริยาการแตกสลาย ซึ่งใช้พลังงานในการทำปฏิกิริยาที่ต่ำกว่า

2.3 พอลิเอทิลีน

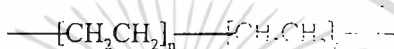
พอลิเอทิลีนเป็นสารประกอบโอเลฟินที่เป็นที่รู้จักกันและถูกนำมาใช้เป็นเทอร์โมพลาสติกกันอย่างกว้างขวาง อันเนื่องจากเป็นมี องค์ประกอบ และ โครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนนักเช่น พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) นอกจากนี้ยังมีราคาต่ำอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปการสังเคราะห์พอลิเอทีลีนทำได้ด้วยการทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของก๊าซเอทีลีนภายใต้ความดันสูง (1400-2400 bar) และที่อุณหภูมิสูง (200-250 องศาเซลเซียส) ซึ่งในการทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่ความดันสูงจะส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นและลดลงปริมาณของไฮโดรคาร์บอนสายโซ่กิ่งลง ดังนั้นในปี 1954 ได้มีพัฒนาปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันโดยการนำโลหะออกไซด์มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งสามารถสังเคราะห์พอลิเอทีลีนได้ในสภาวะความดันและอุณหภูมิต่ำ

2.3.1 โครงสร้างและคุณสมบัติ

พอลิเอทีลีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวๆ ซึ่งจัดว่าเป็นเทอร์โมพลาสติก ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนจะหลอมละลายได้ โครงสร้างทั่วไปของพอลิเอทีลีนดังรูป



ในปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของพอลิเอทีลีนอาจจะเกิดสายโซ่กิ่งขึ้นได้แต่จะเกิดขึ้นน้อยและเกิดขึ้นน้อย และจะเพียงเป็นสายโซ่สั้นๆ และเมื่อสายโซ่หลักของพอลิเอทีลีนจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่น จะเรียกว่าเป็นพอลิเอทีลีนที่มีความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, polyethylene, HDPE) ซึ่งเรียกทั่วไปว่า พอลิเอทีลีน (PE, ความหนาแน่นประมาณ 0.941 g/cm^3) และในทางกลับกัน ถ้าปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของพอลิเอทีลีนเกิดสายโซ่กิ่งที่มีความยาวมาก จะทำให้พอลิเอทีลีนที่ได้จะมีความเป็นผลึกและความหนาแน่นต่ำซึ่งเรียกว่า พอลิเอทีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) ซึ่งมีความหนาแน่นประมาณ $0.910\text{-}0.925 \text{ g/cm}^3$

ความยืดหยุ่นของพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนส่งผลให้พอลิเอทีลีนมี อุณหภูมิสภาพแก้ว (Glass Transition Temperature (Tg)) ต่ำซึ่งที่อุณหภูมินี้พอลิเมอร์จะเปลี่ยนรูปร่างได้ง่ายขึ้น และสามารถค้ำให้โค้งงอได้ มีอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature(Tm)) อยู่ในช่วง 108-132 องศาเซลเซียส โดยจะขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นของ โครงสร้างของและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ด้วย

2.3.2 การประยุกต์ใช้พอลิเอทีลีน

พอลิเอทีลีนสามารถนำไปผลิตเป็นชิ้นงานเพื่อการประยุกต์ใช้กับลักษณะต่างๆ ได้หลายหลากลักษณะมาก ตั้งแต่สิ่งของเครื่องใช้เครื่องประดับ อุปกรณ์เครื่องใช้ในครัวเรือนในสำนักงาน ทำเป็นวัสดุกันน้ำ เป็นอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนต่างๆ ในงานทางไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ งานด้านการก่อสร้าง และอื่นๆอีกหลายลักษณะ ซึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเช่น ถุงพลาสติกและการขึ้นรูปเป็นขวดพลาสติก

2.4 น้ำมันเชื้อเพลิง

ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมมีหลากหลายมาก ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมากที่สุด กล่าวคือประมาณ 85% ของน้ำมันที่ผลิตได้ ถูกนำมาทำผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เพื่อนำมาเผาไหม้ให้เกิดพลังงานขับเคลื่อน เครื่องยนต์ และให้ความร้อนสำหรับ โรงงาน อุตสาหกรรมและบ้านเรือนการเผาไหม้น้ำมันทำได้สะดวกมีประสิทธิภาพสูง ได้พลังงานต่อหน่วยน้ำหนักมากกว่าเชื้อเพลิงอื่น เก็บง่ายขนย้ายสะดวก จัดเป็นเชื้อเพลิงที่ดีมากและได้รับความนิยมทั่วไป

2.4.1 ก๊าซและก๊าซเหลว

ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้องภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ อันได้แก่ ก๊าซออยล์ ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas, LPG) ในกระบวนการผลิตก๊าซจะมีการผสม ก๊าซธรรมชาติและก๊าซปิโตรเลียมเหลว เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้น

ในการจัดเก็บก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas, LPG) ซึ่งจะมีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้องภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ เราสามารถทำให้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas, LPG) มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องได้ด้วยการเพิ่มความดัน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas, LPG) ประกอบด้วยโพรเพน และบิวเทนเป็นส่วนใหญ่ซึ่งได้จากก๊าซธรรมชาติ (Natural gas) และน้ำมันปิโตรเลียม

2.4.2 ก๊าซโซลีน

ก๊าซโซลีน (น้ำมันเบนซินรถยนต์) เป็นเชื้อเพลิงประเภทระเหยง่ายมีจุดเดือดอยู่ในช่วงประมาณ 25-185 องศาเซลเซียส ก๊าซโซลีนประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่ $C_4 - C_{12}$ ซึ่งอยู่ในรูปของพาราฟิน ไอเลฟิน และอะโรมาติก ก๊าซโซลีนถูกนำไปใช้สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยมีหัวเทียนเป็นเครื่องจุดระเบิดและใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับน้ำมันและไขมันอีกด้วย เนื่องจากก๊าซโซลีนให้พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้สูง กระบวนการผลิตก๊าซโซลีนในปัจจุบันได้มีการออกแบบให้ได้ปริมาณของก๊าซโซลีนที่มากขึ้น (การแตกสลายไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (Cracking) และเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของก๊าซโซลีนให้ใช้งานได้ดีมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังตาราง

ตาราง 2.2 กระบวนการที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของก๊าซโซลีน

Technology	Objective
Catalytic reformer, prefractionation	Reduce benzene
Reformate fractionation	Reduce benzene
Isomerization	Increase octane
Aromatics saturation	Reduce total aromatics
Isobutane dehydrogenation	Feedstock for oxygenate synthesis
Catalytic cracker, naphtha fractionation	Increase alkylate and oxygenates Reduce olefins and sulfur

สำหรับการนำก๊าซโซลีนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ทั้งทางเคมีและฟิสิกส์เพื่อให้เหมาะสมกับห้องเผาไหม้แต่ละหัวฉีดน้ำมันของเครื่องยนต์ คุณลักษณะของก๊าซโซลีนที่ต้องทดสอบมีดังนี้

1. **ค่าพลังงานความร้อน** ก๊าซโซลีนที่เหมาะสมเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จะต้องให้ค่าพลังงานความร้อนต่อหน่วยสูงๆ โดยที่จะต้องให้พลังงานความร้อนที่มากเพียงพอเมื่อถูกเผาไหม้เพื่อให้รถยนต์เคลื่อนที่ไปได้ ดังนั้นก๊าซโซลีนที่เหมาะสมจะต้องมีความหนาแน่นสูงและมีการระเหยเป็นไอต่ำ

2. **ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ** ก๊าซโซลีนที่มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูงจะเป็นสาเหตุทำให้มีความความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น เมื่อผสมกับอากาศและถูกฉีดเข้ากระบอกสูบเพื่อเผาไหม้ จะให้ค่าพลังงานความร้อนที่สูง แต่อย่างไรก็ตามการที่มีน้ำปนอยู่ในก๊าซโซลีนก็จะทำให้มีผลเสียต่อเครื่องยนต์อย่างมาก

3. **จุดเดือด** ก๊าซโซลีนประกอบด้วยของเหลวความดันไอดำผสม ซึ่งเรียกแบ่งออกเป็นแฟรคชัน (Fraction) โดยที่แต่ละแฟรคชัน (Fraction) จะมีจุดเดือดที่แตกต่างกันแต่ไม่เกิน 185 องศาเซลเซียส ภายใต้อุณหภูมิบรรยากาศซึ่งถ้าก๊าซโซลีนมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแฟรคชัน (Fraction) ที่มีจุดเดือดต่ำก็จะทำให้เกิดการกลายเป็นไอของก๊าซโซลีนขึ้นในเครื่องยนต์ (Vapor lock)

4. **ค่าออกเทน** ค่าออกเทนมีความสำคัญมากสำหรับการทำงานของก๊าซโซลีนมาก ก๊าซโซลีนที่มีค่าออกเทนต่ำเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า Pre-Flame Reaction เป็นปฏิกิริยาที่น้ำมันจะจุดระเบิดด้วยตัวเองโดยที่เปลวไฟยังไม่ถึงทำให้เครื่องยนต์เกิดการน็อค โดยที่ปฏิกิริยา Pre-Flame Reaction นี้ขึ้นอยู่กับชนิดและโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอน พวกอะโรเมติก และไอโซพาราฟินที่มีกิ่งมากๆ และโอเลฟิน จะต้านการน็อคได้สูง ไอโซพาราฟินที่มีกิ่งน้อยๆ และเนฟทาลินจะเป็นกลุ่มกลางๆ ส่วนพาราฟินโซตรงจะมีสมบัติด้านนี้ต่ำสุด วิธีการวัดค่าออกเทนมีหลายวิธีใช้สถานะการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆกันแล้วแต่จุดประสงค์ และประเภทของน้ำมันซึ่งมีชื่อเรียกต่างๆกัน เช่น Research Octane Number (RON) ซึ่งวัดด้วยเครื่องยนต์มาตรฐานสูบเดียวเรียกว่า เครื่องยนต์ CFR (Cooperative Fuels Research) แต่อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงเป็นเครื่องยนต์ที่มีหลายลูกสูบ ดังนั้นจึงมีวิธีการวัดค่าออกเทนซึ่งเรียกว่า Motor Octane Number (MON) โดยกำหนดให้ ไอโซออกเทน มีค่าออกเทนเท่ากับ 100 และเฮปเทนมีค่าออกเทนเท่ากับ 0 เพื่อทำการเปรียบเทียบกับน้ำมันตัวอย่าง

2.4.3 แคลโรซีน แคลโรซีนหรือที่รู้จักกันคือ น้ำมันก๊าด ในปัจจุบันน้ำมันก๊าดนอกจากใช้จุดตะเกียงให้แสงสว่างแล้ว ยังใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องบินอากาศยานไอพ่น แคลโรซีนได้จากกระบวนการทางปิโตรเลียมโดยตรงประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่ $C_{12}-C_{26}$ จะมีจุดเดือดอยู่ในช่วง 205-260 องศาเซลเซียส ซึ่งก็มีทั้ง พาราฟิน , แนฟทาซีน และอะโรแมติกผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆกันแล้วแต่ที่มาของน้ำมันดิบ นอกจากนี้ยังมีสิ่งสกปรกเจือปนเช่น สารประกอบกำมะถัน ไนโตรเจน ฟีนอล และกรดอินทรีย์อื่นๆซึ่งทำให้คุณสมบัติของน้ำมันก๊าดเสื่อม

น้ำมันก๊าดจุดตะเกียงที่ให้แสงสว่างสูงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำมันพวกพาราฟินให้เปลวสว่างใสและไม่มีเขม่า พวกแนฟริน และอะโรแมติก จะให้เปลวไฟแดงมัวและมักมีเขม่า

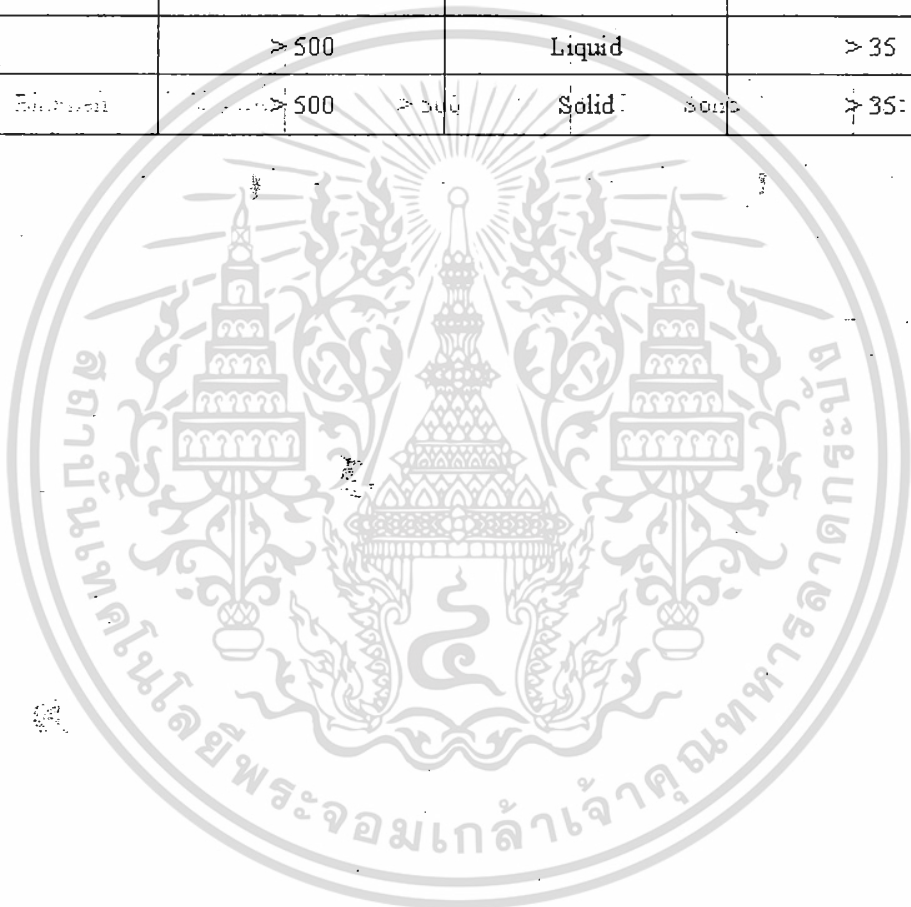
2.4.4 ดีเซล

น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาถูกและสามารถผลิตได้จากน้ำมันกึ่งสำเร็จรูปหลายอย่างนำมาผสมเข้าด้วยกันจัดเป็นน้ำมันที่มีองค์ประกอบมากที่สุด และมีช่วงจุดเดือดกว้าง (175-345 องศาเซลเซียส) น้ำมันดีเซลได้จากน้ำมันผสมคือ โป้นี้ น้ำมันก๊าด น้ำมันแก๊ซออยล์ที่ได้จากหอกลิ้น น้ำมันดิบ น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกสลาย เป็นต้น แต่น้ำมันที่ได้จากกระบวนการแตกสลายจะมีปริมาณของอะโรแมติกมากซึ่งจะทำให้ค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลลดลง

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์แรงอัดสูงและจุดระเบิดเอง ซึ่งการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเกิดจากความร้อนจากแรงอัดสูงของอากาศในกระบอกสูบ ไม่ต้องใช้หัวเทียน การจุดระเบิดหรือติดไฟเองจะเกิดขึ้นเร็วช้าขึ้นอยู่กับประเภทของไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำมันดีเซล โดยที่ พาราฟินจะติดไฟได้เร็วที่สุด หรือมี Ignition Delay ต่ำมากตรงกันข้ามกับพวกอะโรแมติกจะติดไฟช้า โดยเฉพาะอะโรแมติกที่มีจำนวนวงแหวนมาก การวัดค่าซีเทนจึงใช้ไฮโดรคาร์บอนสองประเภทดังกล่าวเพื่อเปรียบเทียบโดยใช้หลักการทำนองเดียวกับค่าออกเทนของน้ำมันเบนซิน จุดเดือด จำนวนคาร์บอน สถานะ ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมดังแสดงในตาราง

ตาราง 2.3 แสดงจุดเดือด จำนวนคาร์บอน สถานะ ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

Product	Boiling range, °C	Phase	Carbon atoms
Gas petroleum	< 10	Gas	1-4
Gasoline	30-185	Liquid	4-13
Kerosene	170-250	Liquid	10-14
Diesel	175-350	Liquid	14-19
Lubricant	350-500	Liquid	19-35
Wax	350-500	Solid	19-35
Fuel oil	> 500	Liquid	> 35
Bitumen	> 500	Solid	> 35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. อะซิโตน
2. เบนซีน
3. ออกซิเจนแก๊ซ
4. ไซโครเฮกเซน
5. ไซโครเฮกซีน
6. คิวมีน
7. ก๊าซเอธิลีน
8. น้ำมันเบนซิน 91 , 95
9. ก๊าซฮีเลียม
10. ไอโซออกเทน
11. ไนโตรเจนเหลว
12. ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
13. เมทาไซลีน
14. ก๊าซไนโตรเจน
15. นอร์มอลเฮปเทน
16. นอร์มอลเฮกเทน
17. เมธิลไซโครเพนเทน
18. นอร์มอลโนเนน
19. พาราไซลีน
20. พาราฟินเหลว
21. พอลิเอธิลีน
22. ถุงพลาสติกพอลิเอธิลีน
23. ปิโตรเลียมอีเทอร์
24. โทลูอิน
25. ซีโวลท์บีต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตะเกียงเบนเซน
2. คอนเดนเซอร์
3. มอเตอร์
4. ถังปฏิกรณ์
5. บริเวณที่เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการ
6. บริเวณที่พลาสติกในห้องปฏิบัติการ
7. แผ่นให้ความร้อน
8. เครื่องให้ความร้อน
9. เตาเผาแบบท่อ
10. ถ้วยครุชเชิล
11. เครื่องให้ความเย็น
12. เครื่องอัดรีดพอลิเมอร์แบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder)
13. เครื่องวิเคราะห์การดูดซับก๊าซ (Gas Adsorption Analyzer; Autosorb-1C)
14. เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (Gas Chromatographer , GC)
15. เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ แมสสเปกโตรมิเตอร์
(Gas Chromatograph Mass Spectrometer , GC-MS)
16. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซโซลีน (IROX 2000)
17. เครื่องกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมแบบอัตโนมัติ (Automatic Distillation Analyzer)
18. เครื่องวิเคราะห์ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์
(Melt Flow Indexer , ASTM D1238)
19. เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer , TGA)
20. เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray powder Diffractometer , XRD)
21. เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์
(Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy , NMR)
22. เครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-Ray Fluorescence Spectrometer , XRF)
23. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
(scanning electron microscope , SEM)

3.3 รายละเอียดในงานวิจัย

3.3.1 การทดสอบสมบัติต่างๆของซีโอไลต์และพอลิเมอร์

3.3.1.1 การตรวจสอบโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์บีต้าโดยใช้เครื่องวัด

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray powder Diffractometer , XRD)

เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ลงบนภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่าง (sample holder) ทำการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray powder Diffractometer , XRD) โดยใช้องศา 2θ ในช่วง 5-50 แหล่งกำเนิดแสง $\text{CuK}\alpha$ ที่ 40 กิโลโวลต์และ 40 มิลลิแอมแปร์ และนำรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ที่ได้ ทำการเปรียบเทียบกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์มาตรฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์บีต้า

3.3.1.2 การตรวจสอบรูปร่างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์บีต้าโดยใช้กล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope , SEM)

เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ลงบนแท่นรองรับ (support) ให้มีการกระจายตัวที่ดี นำไปเคลือบทอง 3 นาที่ นำชิ้นงานที่เตรียมได้ใส่ในที่วางชิ้นงานในเครื่อง SEM โดยใช้กำลังขยาย 6,000-10,000 เท่า

3.3.1.3 การตรวจสอบพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์บีต้าโดยใช้เครื่อง

วิเคราะห์การดูดซับก๊าซ (Gas Adsorption Analyzer , Autosorb-1C)

เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ประมาณ 20 กรัมลงในเซลล์ที่สะอาดและแห้ง นำเซลล์ใส่ในที่วางเซลล์ในเครื่อง Autosorb-1C ซึ่งเป็นส่วนทางออกของก๊าซที่ต้องการให้ถูกดูดซับ หุ้มด้วยแถบให้ความร้อน และให้ความร้อนจนอุณหภูมิเท่ากับ 350 องศาเซลเซียส ภายใต้สุญญากาศ ทำการดูดซับไนโตรเจนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเซลล์ไปใส่ในส่วนสำหรับทำการวิเคราะห์เพื่อทำการวิเคราะห์การดูดซับของไนโตรเจนบนตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์บีต้า

3.3.1.4 การหาค่าอัตราส่วนของซิลิกอนต่ออลูมิเนียม (Si/Al) ด้วยเครื่องเอกซเรย์

ฟลูออเรสเซนส์ (X-Ray Fluorescence Spectrometer , XRF)

ทำการผสมตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์บีต้า 0.5 กรัมกับกรดบอริก 4.5 กรัม เทตัวอย่างที่ได้ลงในภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่าง และนำไปอัดที่ความดัน 150 กิโลนิวตัน นำชิ้นงานที่ได้ใส่ในที่วางชิ้นงานในเครื่อง XRF โดยใช้ธาตุเรเดียมเป็นแหล่งกำเนิดที่ 50 กิโลโวลต์ 60 มิลลิแอมแปร์และ WDX ในช่วง 0.3-188.5

3.3.1.5 การวิเคราะห์ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index) ด้วยเครื่อง

วิเคราะห์ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Indexer , ASTM D1238)

พอลิเมอร์ตัวอย่างจะนำมาวิเคราะห์คือ พอลิเอธิลีนบริสุทธิ์ และ ขยะถุงพลาสติกที่ทำจาก พอลิเอธิลีน ด้วยเครื่องวิเคราะห์ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Indexer) โดยทำการให้ความร้อนจนเครื่องมืออุณหภูมิเท่ากับ 190 องศาเซลเซียส นำพอลิเอธิลีนที่ต้องการวิเคราะห์ใส่ลงในช่องใส่พอลิเมอร์ทางด้านบนของเครื่อง อัดด้วยลูกสูบน้ำหนัก 2.16 กิโลกรัม ทำการจับเวลาเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของพอลิเอธิลีนที่ไหลออกมา ในหน่วย กรัม/10 นาที

3.3.1.6 การวิเคราะห์หาพลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวและจุด

หลอมเหลวของพอลิเมอร์ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry , DSC

นำพอลิเมอร์ตัวอย่างประมาณ 5-10 กรัมใส่ลงในแคปซูลที่ทำจากอลูมิเนียม นำแคปซูลใส่ลงในเตาสำหรับใส่ตัวอย่าง และใส่สารมาตรฐานลงในเตาสำหรับสารอ้างอิง ทำการให้ความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส ถึง 200 องศาเซลเซียสด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.3.2 พัฒนาปรับปรุงและจัดสร้างชุดอุปกรณ์

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในปฏิบัติการแตกสลายของพอลิเอธิลีนในกระบวนการแบบต่อเนื่องนี้ ได้ถูกพัฒนามาจากชุดอุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ในงานวิจัยเกี่ยวกับปฏิบัติการแตกสลายของพอลิเอธิลีนในกระบวนการแบบต่อเนื่อง [35] เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปฏิบัติการแตกสลายของพอลิเอธิลีนในอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนที่เพิ่มมากขึ้น และทำให้ได้ของเหลวจากปฏิบัติการมากขึ้นจากงานวิจัยเดิมมาก จึงทำให้เครื่องควบแน่น (Condenser) ไม่สามารถเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสถานะก๊าซกลายเป็นของเหลวได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ ดังนั้นจึงได้ทำการเพิ่มจำนวนของเครื่องควบแน่นและทำการติดตั้งให้มีความสูงมากกว่าเครื่องควบแน่นเครื่องแรก โดยเครื่องควบแน่นที่ติดตั้งเพิ่มจะควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ -5 องศาเซลเซียสด้วยการใช้ เอธิลีน ไกลคอลกับน้ำในการหล่อเย็น

นอกจากนี้ในส่วนทางออกของกากที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาซึ่งจะถูกขับออกทางด้านล่างของชุดอุปกรณ์ต้นแบบนั้นทำให้เกิดการร่วงไหลของผลิตภัณฑ์ก๊าซได้ โดยจะทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศและการสูญเสียผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้นจึงได้มีการติดตั้งภาชนะแก้ว (Chamber) เพื่อป้องกันการรั่วของสารที่ได้จากปฏิกิริยา และทำการติดตั้งท่อนำก๊าซตัวพา (Carrier gas , Nitrogen) เพื่อพาเอาผลิตภัณฑ์ก๊าซในภาชนะแก้ว (Chamber) กลับขึ้นไปรวมกับสารผลิตภัณฑ์ที่ออกจากชุดอุปกรณ์ทางด้านบน และได้ทำการติดตั้งใบพัดภายในชุดอุปกรณ์เพื่อลดปัญหาไหลของพอลิเมอร์ภายในชุดอุปกรณ์ที่เข้าเกินไปทำให้ประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาลดลง

3.3.3 การศึกษาปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทีลีน

3.3.3.1 การศึกษาปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทีลีนด้วยความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โม

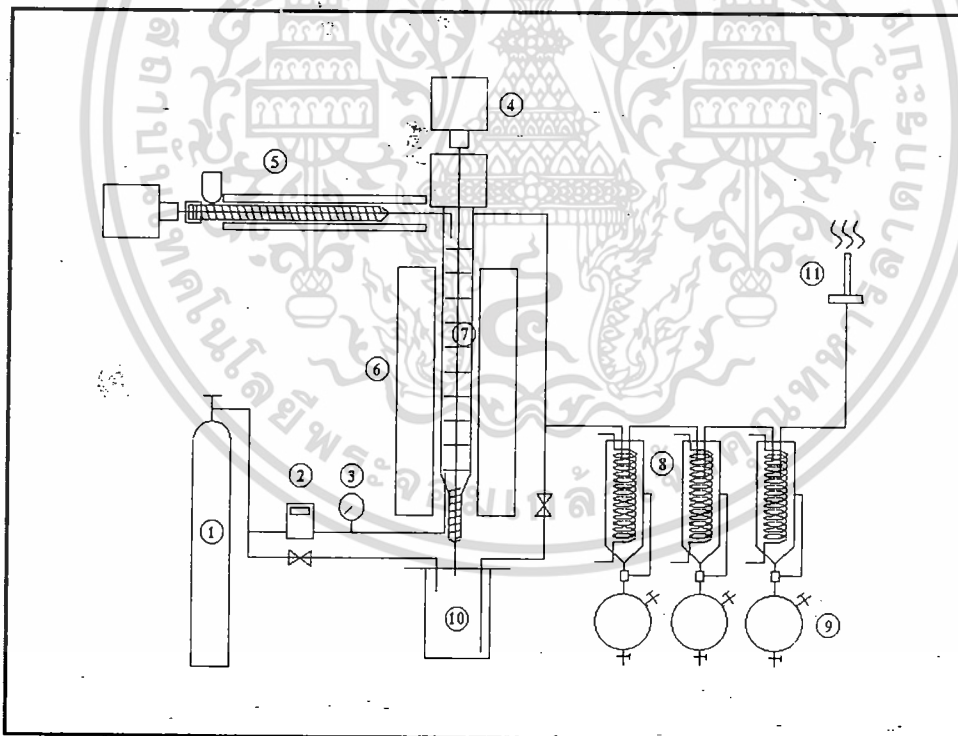
กราวิเมตริกอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer , TGA)

ซึ่งพอลิเอทีลีนบริสุทธิ์, พอลิเอทีลีนที่ใช้แล้ว หรือ พอลิเอทีลีนผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยา (อัตราส่วนอยู่ในช่วง 0-5% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์) ที่ต้องการทดสอบประมาณ 30 มิลลิกรัม วางบนที่ใส่ตัวอย่างของเครื่อง TGA โดยใช้ ไนโตรเจนเป็นก๊าซตัวพาด้วยอัตรา 50 มิลลิลิตรต่อนาที และทำการให้ความร้อนโดยให้มีอุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียส และเพิ่มอุณหภูมิขึ้นด้วยการให้ความร้อนด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนมีอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 800 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่หายไปของพอลิเมอร์จะทำให้ทราบถึงการแตกสลายตัวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ

3.3.3.2 การศึกษาปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทีลีนในกระบวนการ

แบบต่อเนื่อง

แผนผังแสดงชุดปฏิกิริยาในกระบวนการแบบต่อเนื่องประกอบไปด้วย ส่วนประกอบหลักๆ 4 ส่วน คือ 1. ส่วนป้อนพอลิเมอร์ 2. ถังปฏิกิริยา 3. ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ 4. ส่วนเก็บกากที่เหลือจากการแตกสลาย



รูป 3.1 ส่วนประกอบต่างๆในกระบวนการแบบต่อเนื่องได้แก่ 1.ก๊าซไนโตรเจน 2. อุปกรณ์จ่ายก๊าซตัวพา 3. มิเตอร์วัดความดัน 4. มอเตอร์ 5. เครื่องอัดรีดพอลิเมอร์เกลียวท่อนเดียว 6. เตาเผา 7. ถังปฏิกิริยา 8. เครื่องควบแน่น 9. ภาชนะเก็บผลิตภัณฑ์ 10. ภาชนะเก็บกากที่เหลือจากการแตกสลาย 11. ผลิตภัณฑ์ก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมพอลิเอธิลีน โดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง และนำตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีด้าอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสในเตาอบสูญญากาศเป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง นำพอลิเอธิลีนที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว (Melt Flow Index = 45 กรัม ต่อ 10 นาที) ใสลงในเครื่องอัดรีดพอลิเมออร์เกลียวหนอนเดี่ยว โดยจะควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 100 , 150 , 200 และ 250 องศาเซลเซียสในส่วนป้อนสาร , ส่วนผสมสาร , ส่วนหลอมเหลว และส่วนอัดรีด ตามลำดับ โดยที่พอลิเอธิลีนจะหลอมเหลวและถูกป้อนเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ทางด้านบน ด้วยอัตราเร็วของเกลียวหนอนเดี่ยวในช่วง 3-15 รอบต่อนาที (rpm) ใบพัดที่ถูกติดตั้งในถังปฏิกรณ์ประกอบด้วยใบพัด 8 ช่วงแต่ละช่วงประกอบด้วยใบพัด 4 ใบ และที่ปลายของแกนใบพัดมีลักษณะเป็นเกลียวหนอนเดี่ยวเล็กๆ ซึ่งทำหน้าที่จับเอากากที่เหลือออกจากถังปฏิกรณ์ทางด้านล่าง และจะควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 430 องศาเซลเซียส โดยจะให้ความร้อนให้มีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 300 องศาเซลเซียสจากนั้นทำการป้อนก๊าซไนโตรเจนซึ่งทำหน้าที่เป็นก๊าซตัวพาเป็น เวลาประมาณ 20 นาที เพื่อไล่เอาก๊าซออกซิเจนที่อยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์ออกด้วยอัตราป้อน 100 มิลลิลิตรต่อนาที และผลิตภัณฑ์ก๊าซที่ออกทางด้านบนของถังปฏิกรณ์จะเข้าสู่เครื่องควบแน่น โดยที่เครื่องแรกจะควบคุมให้มีอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส และ -5 องศาเซลเซียสในเครื่องควบแน่นที่เหลือ ส่วนก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ไม่ถูกควบแน่นที่เครื่องควบแน่นจะถูกเผาทิ้งด้วยตะเกียงบูนเซน และกากที่เหลือจะถูกขับออกทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ในภาชนะแก้ว

(Chamber) ในระบบปิด

1. อิทธิพลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

การศึกษาอิทธิพลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนด้วยการทำปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนต่างๆ (0.25 % , 0.5 % , 1 % , 2 % และ 5 % โดยน้ำหนักของพอลิเมออร์) ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส และใช้อัตราเร็วของเกลียวหนอนเดี่ยว 3 และ 10 รอบต่อนาทีในการป้อนพอลิเมออร์ (120 และ 400 กรัมต่อชั่วโมงตามลำดับ) และทำการเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนด้วยความร้อนในสภาวะเดียวกัน

2. อิทธิพลของอัตราการไหลของก๊าซตัวพา

การศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของก๊าซตัวพาด้วยการใช้อัตราการไหลของก๊าซตัวพาเท่ากับ 10 , 20 , 50 และ 100 มิลลิลิตรต่อนาทีที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการป้อนพอลิเมออร์ 400 กรัมต่อชั่วโมงด้วยอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อพอลิเอธิลีนเท่ากับ 1 % โดยน้ำหนักของพอลิเมออร์

3. อิทธิพลของอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีน

การศึกษาอิทธิพลของอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนด้วยอัตราเร็วของเกลียวหนอนเดี่ยว 3 , 5 , 7 , 10 , และ 15 รอบต่อนาที (120 , 200 , 280 , 400 , และ 600 กรัมต่อชั่วโมงตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อพอลิเอทีลีนเท่ากับ 1 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์

3.3.3.3 การศึกษาปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทีลีนที่ใช้แล้วในกระบวนการแบบต่อเนื่อง

เตรียมพอลิเอทีลีนที่ใช้แล้วด้วยการใช้เครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยวทำการขึ้นรูปพอลิเอทีลีนที่ใช้แล้วให้อยู่ในรูปของเม็ดพอลิเอทีลีนที่ใช้แล้วและทำปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อพอลิเอทีลีนเท่ากับ 1 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ ด้วยอัตราเร็วของเกลียวหนอนเดี่ยว 10 รอบต่อนาที (อัตราป้อนพอลิเมอร์ 400 กรัมต่อชั่วโมง)

3.3.4 การวิเคราะห์สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทีลีน

3.3.4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา

ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (Gas Chromatographer , GC

ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารผลิตภัณฑ์ทั้งที่เป็นของเหลวและก๊าซที่ได้จากเครื่องควบแน่นที่อุณหภูมิ - 5 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (Gas Chromatographer , GC) คอลัมน์ (Equity-1) ความยาว 30 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.53 เมตร และเฟลม ไอออไนเซชันดีเทกเตอร์ (Flame Ionization Detector , FID) โดยใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นก๊าซตัวพา ด้วยอัตราเร็ว 20 เซนติเมตรต่อวินาที สารผลิตภัณฑ์ประมาณ 5 มิลลิลิตรจะถูกฉีดเข้าเครื่อง GC ทางช่องฉีดตัวอย่างที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการแยกสารเท่ากับ 200 เตาจะมีอุณหภูมิเริ่มต้น เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส 10 นาทีก่อนที่จะทำการเพิ่มอุณหภูมิด้วยการให้ความร้อนด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนมีอุณหภูมิเท่ากับ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาทีก่อนจะทำการฉีดสารตัวอย่าง ในส่วนของผลิตภัณฑ์ของเหลว (ผลิตภัณฑ์ที่ควบแน่นที่อุณหภูมิ - 5 องศาเซลเซียส) จะทำการฉีดในปริมาณ 0.1 ไมโครลิตรเข้าเครื่อง GC ทางช่องฉีดตัวอย่างที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการแยกสารเท่ากับ 100 เตาจะมีอุณหภูมิเริ่มต้น เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส 5 นาทีก่อนที่เพิ่มอุณหภูมิด้วยการให้ความร้อนด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนมีอุณหภูมิเท่ากับ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาทีหลังจากนั้นทำการเพิ่มอุณหภูมิด้วยการให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่งด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนมีอุณหภูมิเท่ากับ 220 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 11 นาทีก่อนจะทำการฉีดสารตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์ด้วยสภาวะเดียวกันในผลิตภัณฑ์ของเหลว (ผลิตภัณฑ์ที่ควบแน่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส) แต่อุณหภูมิสุดท้ายที่ใช้เท่ากับ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 นาทีก่อนจะทำการฉีดสารตัวอย่าง

3.3.4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาด้วยเครื่อง

แก๊สโครมาโตกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph Mass Spectrometer , GC-MS)

ทำการยืนยันโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ของเหลว (ผลิตภัณฑ์ที่ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส) ด้วย เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph Mass Spectrometer , GC-MS) ความยาว 30 เมตรเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 เมตร โดยใช้ก๊าซฮีเลียม เป็นก๊าซตัวพา ด้วยอัตราเร็วเริ่มต้น 0.6 มิลลิลิตรต่อนาทีและอัตราเร็วเฉลี่ย 20 เซนติเมตรต่อวินาที สารผลิตภัณฑ์ 0.1 ไมโครลิตรจะถูกฉีดเข้าเครื่อง GC ทางช่องฉีดสารตัวอย่างที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการแยกสารเท่ากับ 200. โดยใช้การควบคุมอุณหภูมิเหมือนคัมเฟลมิไฮโอไนท์ เซนซิติเวเตอร์แก๊สโครมาโตกราฟี (FID-GC)

3.3.4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบและทำนายค่าออกเทนของผลิตภัณฑ์ของเหลว

(ก๊าซโซลีน) ด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy ,NMR) (scopy,NMR) (scopy,NMR)

การวิเคราะห์ปริมาณของพาราฟิน,โอเลฟินและอะโรเมติกของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วย เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy,NMR) (scopy,NMR) (scopy,NMR) ผลิตภัณฑ์ของเหลวเชื้อเพลิงในตัวอย่างที่วัด คล้อโรฟอร์ม โดยใช้ TMS เป็นสารอ้างอิงที่มีความถี่ 300 MHz จากนั้นทำการคำนวณหาค่าออกเทน (RON , MON) จากสมการดังนี้

$$\text{ดัชนีไอโซพาราฟิน (Isoparaffin index)} = \text{CH}_3/\text{CH}_2$$

$$\text{RON} = 80.2 + 8.90 (\text{Isoparaffin index}) + 0.107 \text{ aromatic (vol\%)}$$

$$\text{MON} = 70.8 + 10.0 (\text{Isoparaffin index}) + 0.101 \text{ aromatic (vol\%)}$$

3.3.4.4 การวิเคราะห์หาปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาในกากที่เหลือจากการแตกสลายด้วย

เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer , TGA)

ทำการตัดกากที่เหลือจากการแตกสลายให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6 มิลลิเมตร นำกากที่เหลือจากการแตกสลายประมาณ 30 มิลลิกรัมวางบนที่วางตัวอย่างของเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ โดยใช้ไนโตรเจนเป็นก๊าซตัวพา (50 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง) และให้ความร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียสจนถึง 800 องศาเซลเซียสด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.3.4.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง

วิเคราะห์แก๊ซโซลีน (IROX 2000)

การวิเคราะห์ปริมาณของพาราฟิน,โอเลฟิน,อะโรเมติกและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ซโซลีน (IROX 2000) โดยใช้ผลิตภัณฑ์ของเหลว 10 มิลลิลิตร และนำอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้ทำการเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาตรฐาน จากนั้นนำองค์ประกอบที่วิเคราะห์ได้มาทำนายค่า MON และ RON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.6 การวิเคราะห์หาปริมาณของก๊าซโซลีนที่ได้และคุณลักษณะการกลั่นของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่องกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมแบบอัตโนมัติ (Automatic Distillation Analyzer, ASTM D 86)

การวิเคราะห์คุณลักษณะการกลั่นของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่องกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมแบบอัตโนมัติ โดยทำการกลั่นผลิตภัณฑ์ของเหลว 100 มิลลิลิตรภายใต้สภาวะที่ถูกระบุในตารางแสดงการกลั่นของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ควบแน่นที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ควบแน่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในตาราง 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ.

ตาราง 3.1 แสดงการเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการกลั่น

	Program A	Program B
Temp. of Stored Sample, °C	0 to 4.5	0 to 10
Flask, ml	100	125
Distillation Thermometer	SC	SC
Flask Support	A	B
Diameter of hole, mm	32	38
Flask and thermometer, °C	0 to 4.5	13 to 18
Flask support and shield	Not above ambient	Not above ambient
Graduate and 10 ml-charge, °C	0 to 4.5	13 to 18

ตาราง 3.2 แสดงสภาวะที่ใช้ที่ใช้ในการทดลอง

	Program A	Program B
Method	ASTM D86	ASTM D86
Group	0	2
Distillation rate, %/min	4.5	4.5
Condenser setpoint, °C	1	2
Bath temperature delta, °C	0	0
Graduate setpoint, °C	2	15
First level heating, W	125	18
First level heating time, min	1.5	3.0
Second level heating, W	29	39
Final heating adjustment, W	0	40
Barometric correction	1 (1=yes, 0=no)	1 (1=yes, 0=no)
Coefficient	0	0
Rounded temperature, °C	0	0
Expected volume – Hold up, %	97	98
FBP detection, °C	-1.0	-5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

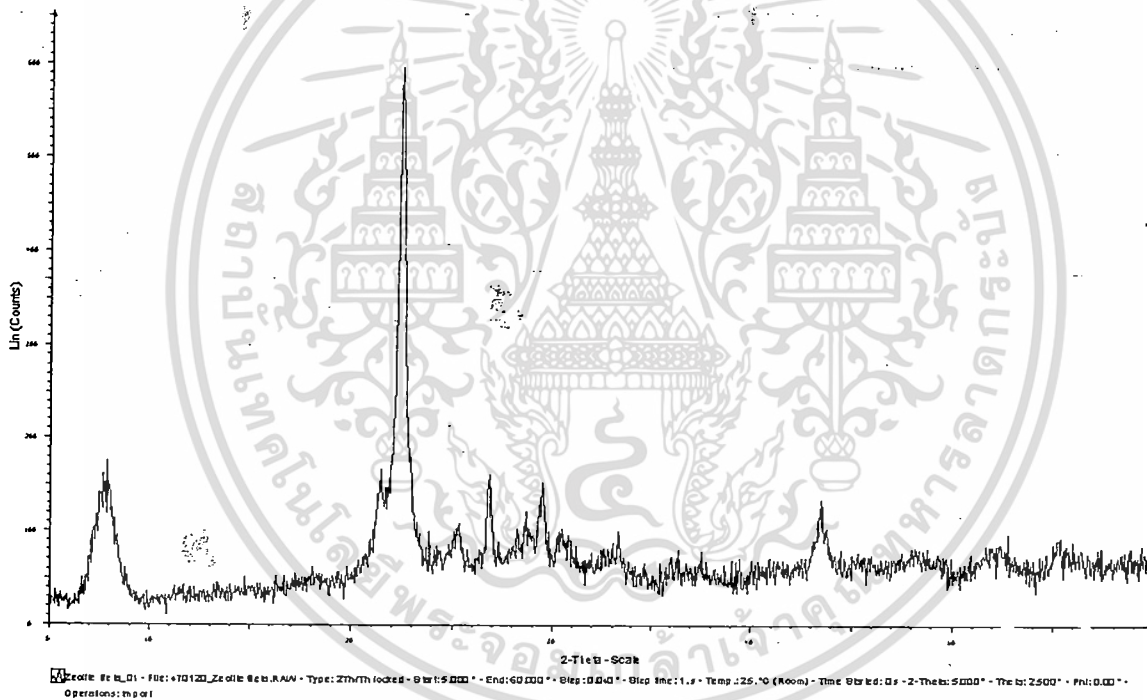
บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

4.1 การตรวจสอบคุณสมบัติของซีโอไลท์บีต้าและพอลิเอทีลีน

4.1.1 การตรวจสอบโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้าโดยใช้เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray powder Diffractometer, XRD)

จากตรวจสอบโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้าด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray powder Diffractometer, XRD) จะได้รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ดังรูป 4.1



รูป 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้า

จากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้าที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์มาตรฐานของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้าพบว่า มีพีคขององศา 2θ ขึ้นที่ตำแหน่ง 7.68 ; 21.42 , 22.50 , 25.27 , 26.93 , 29.51 ซึ่งรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้ามีลักษณะเหมือนกับรูปแบบการเลี้ยวเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของรังสีอิเล็กซ์มาตรฐานทำให้สรุปได้ว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์ที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้า

4.1.2 การตรวจสอบรูปร่างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้าโดยใช้กล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope , SEM)

จากการตรวจสอบรูปร่างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope , SEM) ดังแสดงในรูป 4.2 จากรูป แสดงให้เห็นว่า ผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้ามีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดเล็ก มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.2 ไมโครเมตร ทำให้ซีโอไลท์บีต้ามีพื้นที่ผิวมาก



รูป 4.2 ภาพถ่ายซีโอไลท์บีต้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

4.1.3 การตรวจสอบพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้าโดยใช้เครื่องวิเคราะห์การดูด

ซับก๊าซ (Gas Adsorption Analyzer , Autosorb-1C)

การดูดซับของก๊าซไนโตรเจนบนตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้าที่อุณหภูมิคงที่ ด้วยเครื่องวิเคราะห์การดูดซับก๊าซ (Autosorb-1C) และใช้สมการของ Brunauer-Emmet-Teller (BET) ดังได้ปริมาณของพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้าในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 แสดงขนาดผลึก พื้นที่ผิว และ Si/Al ของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้า

Catalyst	Crystal size (μm)	BET area (m^2/g)	Si/Al ratio
Zeolite Beta	0.2	644	12.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ Zeolite Beta มิได้ดัดแปลง 0.2 และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสาร 644 ที่มีกรรมสิทธิ์

4.1.4 การหาค่าอัตราส่วนของซิลิกอนต่ออลูมิเนียม (Si/Al) ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-Ray Fluorescence Spectrometer , XRF)

ค่าอัตราส่วนซิลิกอนต่ออลูมิเนียม (Si/Al) ของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต่ำดังแสดงในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต่ำจัดอยู่ในซีโอไลท์ประเภทที่มีปริมาณซิลิกาสูง ซึ่งทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต่ำมีความคงทนต่ออุณหภูมิสูงและมีความแรงของกรดสูง

4.1.5 การวิเคราะห์ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Indexer , ASTM D1238)

การวิเคราะห์ดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ พบว่าพอลิเอธิลีนบิสูทรีมีดัชนีการไหล (Melt Flow Index) สูง (43.12 กรัมต่อ10นาที) เมื่อทำการเปรียบเทียบกับพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้ว (3.68 กรัมต่อ10นาที) แสดงให้เห็นว่าพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้ว มีปริมาณของสายโซ่กิ่งสูงและสายโซ่พอลิเมอร์เกี่ยวพันกันจึงทำสายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้ยาก

4.1.6 การวิเคราะห์หาพลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวและจุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry , DSC

การวิเคราะห์หาพลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวของพอลิเอธิลีนบิสูทรีและพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้วด้วย เครื่อง Differential Scanning Calorimetry , DSC พบว่าพอลิเอธิลีนบิสูทรีมี พลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวสูง (62.89 จูลต่อกรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้ว (38.27 จูลต่อกรัม) และจุดหลอมเหลวของพอลิเอธิลีนบิสูทรีและพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้ว เท่ากับ 102.8 องศาเซลเซียส และ 101.3 องศาเซลเซียสตามลำดับแสดงให้เห็นว่าพอลิเอธิลีนบิสูทรีมีความเป็นผลึกสูง จึงทำให้ ต้องใช้พลังงานใน การหลอมเหลวสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้ว

4.2 พัฒนาปรับปรุงและจัดสร้างชุดปฏิกรณ์

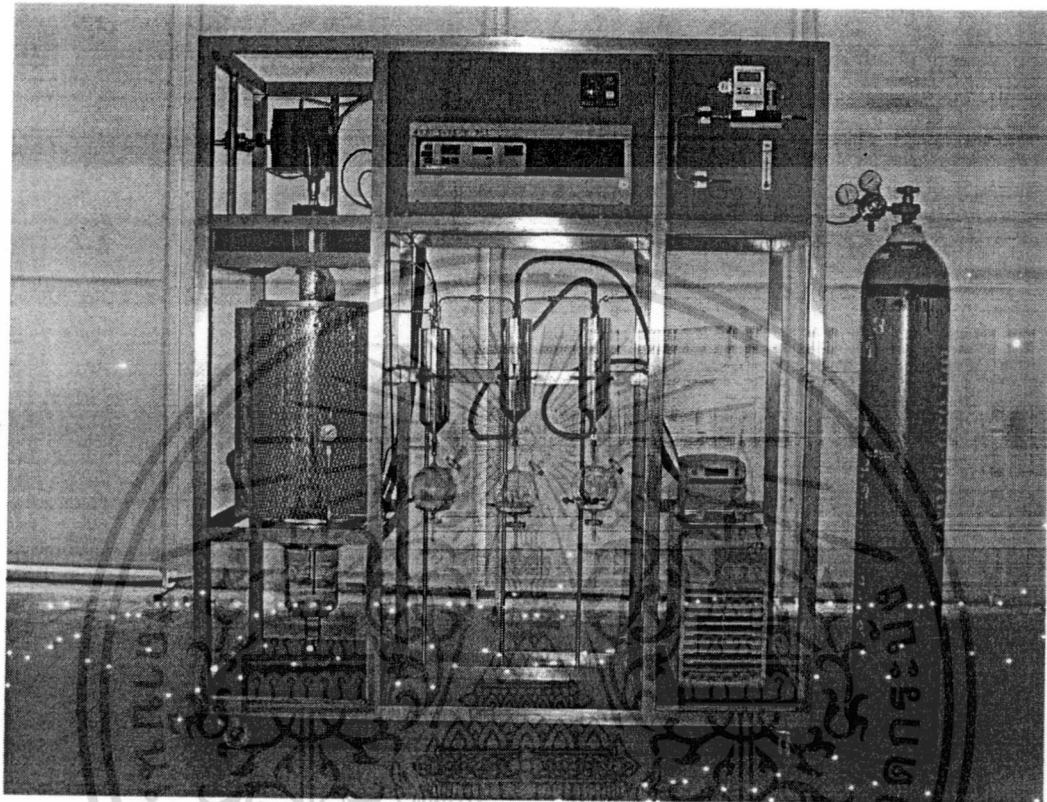
จากปัญหาที่พบในงานวิจัยเดิม ชุดปฏิกรณ์ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนในกระบวนการแบบต่อเนื่องดังนี้

1. เครื่องควบคุมแรงดันซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่ -5 องศาเซลเซียสจะถูกติดตั้งในตำแหน่งที่สูงกว่าเครื่องควบคุมแรงดันซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เพื่อควบคุมแรงดันสารผลิตภัณฑ์ที่จุดเดือดสูงๆ
2. ทำการติดตั้งภาชนะแก้ว (Chamber) ในส่วนทางออกของกากที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

ซึ่งจะถูกขับออกทางด้านล่างของชุดปฏิกรณ์ เพื่อป้องกันการรั่วของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา

3. ทำการติดตั้งใบพัดภายในชุดปฏิกรณ์เพื่อช่วยพาพอลิเมอร์ที่หลอมเหลวเข้าสู่ชุดปฏิกรณ์

ได้

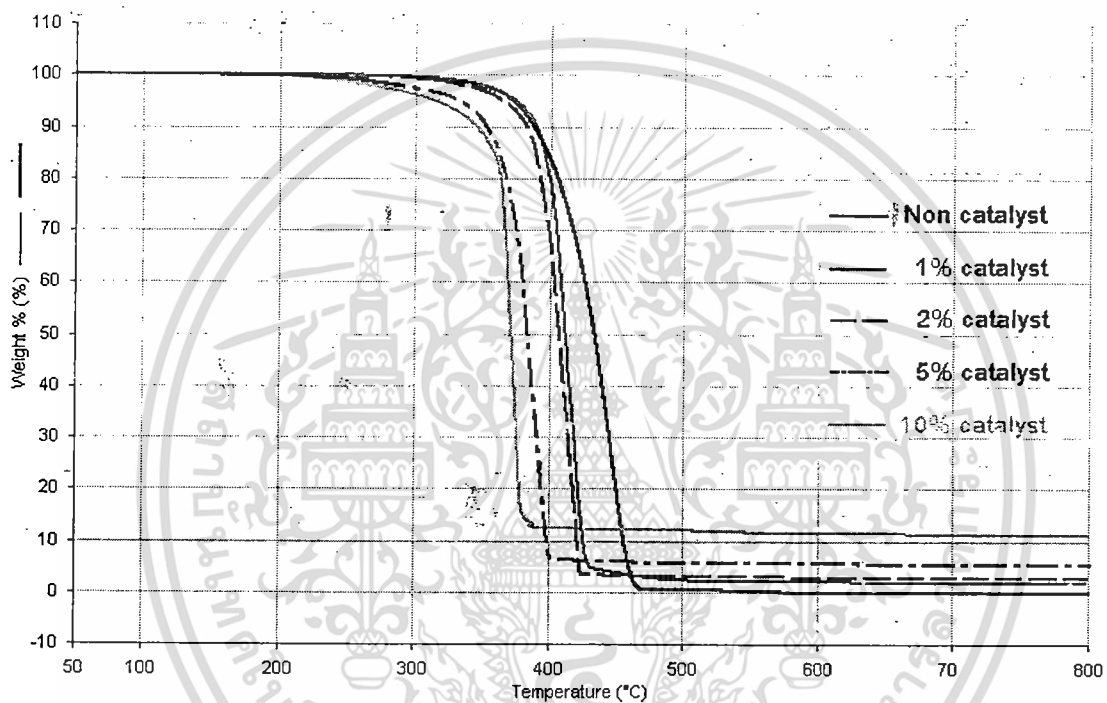


รูป 4.3 ชุดปฏิกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทีลีนด้วยความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer , TGA)

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer , TGA) เป็นการศึกษาการแตกสลายของพอลิเอทีลีน โดยจะทำการปฏิกิริยาแตกสลายพอลิเอทีลีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้าที่อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อพอลิเอทีลีนต่างๆ (0-10 %) ดังแสดงรูปแบบการแตกสลายของพอลิเอทีลีนและอุณหภูมิเริ่มต้นในการแตกสลายในรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.2 ตามลำดับ



รูป 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของพอลิเมอร์และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาแตกสลายของพอลิเอทีลีนด้วยความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณต่างๆ

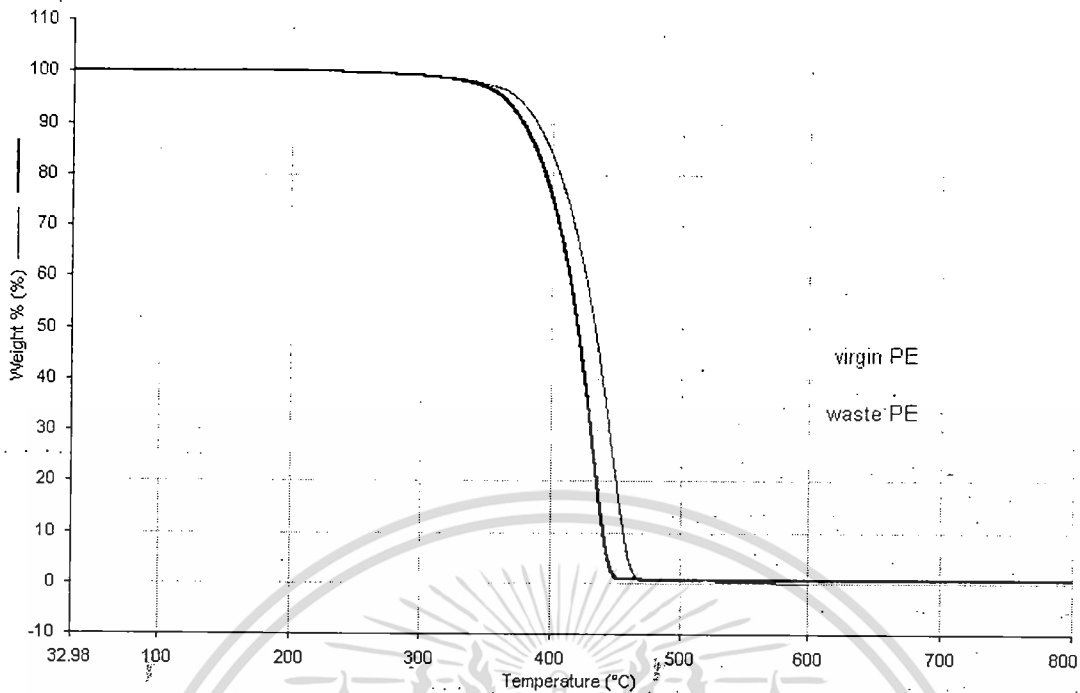
จากการวิเคราะห์การแตกสลายด้วยเครื่อง TGA พบว่าการแตกสลายที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีตานั้นจะทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการแตกสลายต่ำ (376-413 องศาเซลเซียส) เมื่อเปรียบเทียบกับ การแตกสลายที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (448 องศาเซลเซียส) เนื่องจากในปฏิกิริยาการแตกสลายที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีตานั้นจะเกิดผ่านสารมัธยันตร์ประเภทคาร์โบแคทไอออน (Carbocation) ซึ่งใช้พลังงานต่ำ ทำให้เห็นได้ว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้าที่มีความเป็นกรดสูงในปฏิกิริยาการแตกสลายนั้นจะทำให้ได้สารผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยในปริมาณที่มากกว่าการทำปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยความร้อน โดยที่ขั้นเริ่มต้นของปฏิกิริยาการแตกสลายที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีตานั้นสายโซ่พอลิเอทีลีนจะรับเอาโปรตอนเข้าไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(protonation) และเกิดการแตกพันธะที่ตำแหน่งบีต้า (β -scission) ทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ การแตกพันธะคาร์บอน-คาร์บอนของพอลิเอธิลีนนั้นจะเกิดขึ้นภายในรูพรุนของซีโอไลท์บีต้า แต่ขนาดของสายโซ่พอลิเอธิลีนมีขนาดใหญ่มากกว่ารูพรุนของซีโอไลท์บีต้า ดังนั้นในขั้นเริ่มต้นสายโซ่ของพอลิเอธิลีนจะแตกสลายที่บริเวณผิวด้านนอกของซีโอไลท์บีต้า โดยตำแหน่งที่แสดงความเป็นกรดซึ่งอยู่บนผิวด้านนอกของซีโอไลท์นั้นจะทำให้สายโซ่ของพอลิเอธิลีนมีขนาดเล็กถึงที่สามารถเข้าไปในรูพรุนของซีโอไลท์ได้ และจึงเกิดการแตกสลายให้ขนาดของสายโซ่พอลิเอธิลีนเล็กลงอีกภายในรูพรุน การทำปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยความร้อนจำเป็นต้องใช้พลังงานสูงในการทำลายพันธะคาร์บอน-คาร์บอน ดังนั้นการที่ซีโอไลท์บีต้ามีขนาดผลึกเล็ก พื้นที่ผิวมาก จึงทำให้สามารถเร่งปฏิกิริยาการแตกสลายได้ดี ซึ่งการมีตำแหน่งที่แสดงความเป็นกรด (acid site) มาก โดยเฉพาะตำแหน่งที่แสดงความเป็นกรดซึ่งอยู่บนผิวด้านนอกของซีโอไลท์นั้นจะทำให้การแตกสลายของสายโซ่พอลิเอธิลีนเกิดได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และการที่ซีโอไลท์บีต้ามีขนาดผลึกเล็ก ทำให้มีภัยต่อผลกระทบเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเอธิลีนเพื่อเข้าไปในรูพรุนของซีโอไลท์ของซีโอไลท์ของซีโอไลท์จากที่กล่าวมาเราสามารถเพิ่มอัตราการทำปฏิกิริยาได้ด้วยควิลิตซ์ขนาดของผลึกซีโอไลท์

ตาราง 4.2 แสดงการแตกสลายของพอลิเอธิลีน ในปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน

Sample	% Catalyst content	Initial degradation temperature (°C)	Degradation temperature (°C)
PE	-	405	448
PE	1 %	392	413
PE	2 %	384	409
PE	5 %	367	388
PE	10 %	354	376
PE (waste)	-	394	434

การทำปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยซีโอไลท์บีต้าในปริมาณ 10 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์จะใช้อุณหภูมิในการเริ่มการแตกสลายที่ต่ำกว่า 5 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ และไม่ได้ใช้ซีโอไลท์ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีต้าจะเป็นการเพิ่มตำแหน่งที่แสดงความเป็นกรด (acid site) จึงให้ปฏิกิริยาการแตกสลายสายโซ่พอลิเอธิลีนเกิดได้เร็วขึ้น



รูป 4.5 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของพอลิเอทิลีนกับอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาแตกสลายของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์และพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว

จากรูป 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของพอลิเอทิลีนที่หายไปกับอุณหภูมิโดยทำการเปรียบเทียบการทำปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์และพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว พบว่าการทำปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิสูง (448 องศาเซลเซียส) เมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว (434 องศาเซลเซียส) แสดงให้เห็นว่าพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วสามารถทำปฏิกิริยาการแตกสลายได้ง่ายกว่าพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ ซึ่งสอดคล้องกับค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลว (วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC) เนื่องจากพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วได้ผ่านกระบวนการต่างๆ ซึ่งใช้อุณหภูมิสูงจึงทำให้ พอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วมีความทนต่อความร้อนน้อยกว่าพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์

4.4 การศึกษาปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนในกระบวนการแบบต่อเนื่อง

ในการศึกษาปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนในกระบวนการแบบต่อเนื่อง โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซตัวพา ด้วยอัตราการไหลของก๊าซตัวพา 50 มิลลิลิตรต่อนาทีที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส โดยใช้ซีโอไลต์บีตัวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนในกระบวนการแบบต่อเนื่อง จะแบ่งออกเป็น 4 ชนิด : 1. ก๊าซ 2. ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) 3. ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL) 4. กากที่เหลือจากปฏิกิริยา (สารผลิตภัณฑ์ที่ถูกขับออกมาทางด้านล่างของชุดปฏิกรณ์) ค่า Yield ของสารผลิตภัณฑ์ที่เป็น

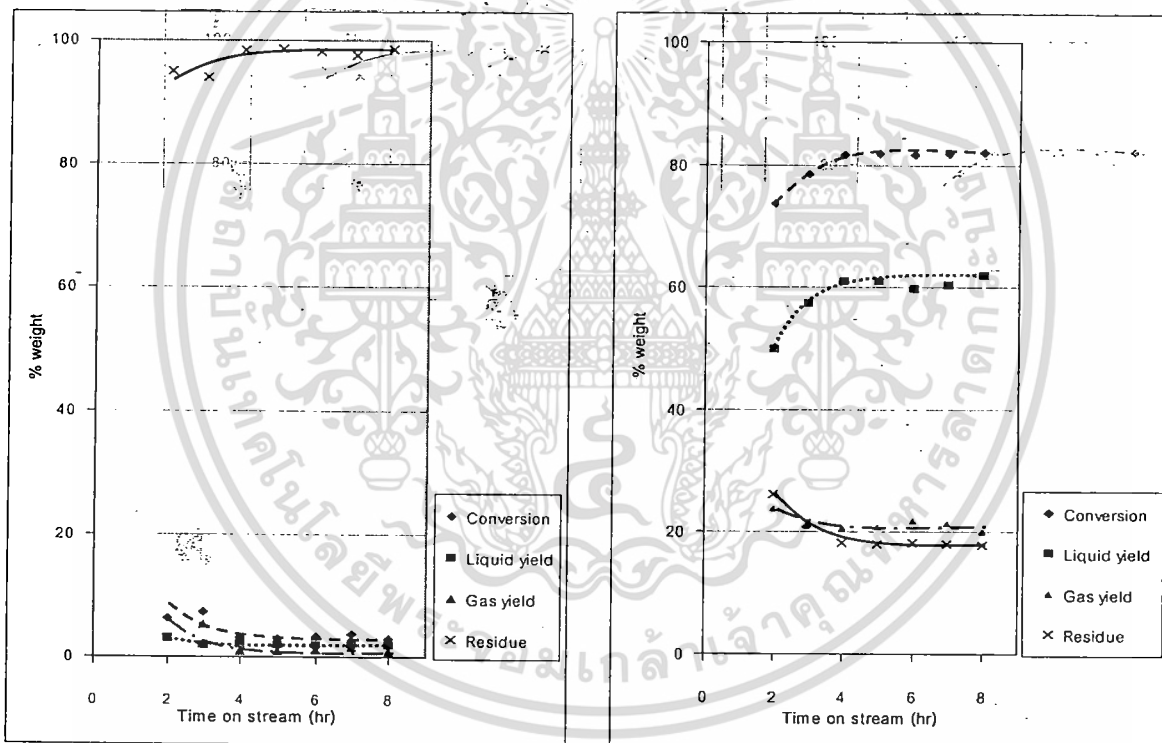
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวคำนวณจากน้ำหนักของของเหลวที่ได้ทั้งหมดหารด้วยน้ำหนักของพอลิเอธิลีนเริ่มต้น และค่า Yield ของสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซคำนวณจากน้ำหนักของพอลิเอธิลีนเริ่มต้นลบด้วยน้ำหนักของของเหลวที่ได้ทั้งหมดและน้ำหนักของกากที่เหลือจากปฏิกิริยา ความเฉพาะเจาะจงในการเกิดสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวคำนวณจากน้ำหนักของของเหลวที่ได้ทั้งหมดหารด้วยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งหมด

4.4.1 รูปแบบในการเกิดปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนในกระบวนการ

แบบต่อเนื่อง

การเกิดปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนบริสุทธิ์ด้วยด้วยแรงปฏิกิริยาซีโอไลท์บีดีเอเอ โอไลท์บีดีเอ (1% โดยน้ำหนัก) โดยใช้ในโตรเจนเป็นก๊าซตัวพา 50 มิลลิลิตรต่อนาทีที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนพอลิเมอร์ 400 กรัมต่อชั่วโมง (อัตราเร็วของเกลียวนอนเดี่ยว 10 รอบต่อนาที) ดังรูป 4.6 ที่ 1) ดังรูป 4.6

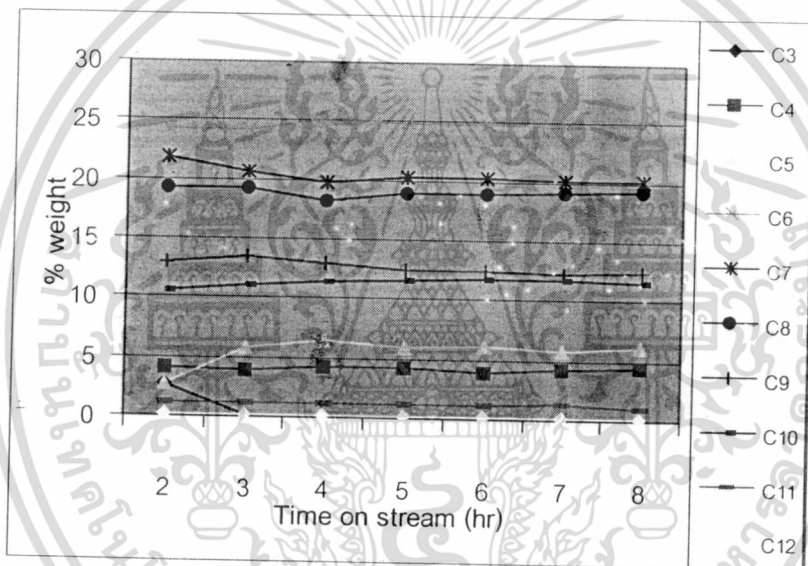


รูป 4.6 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนด้วยความร้อนและด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา

จากปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนบริสุทธิ์ด้วยด้วยแรงปฏิกิริยาซีโอไลท์บีดีเอจะสังเกตเห็นได้ว่าที่เวลาเริ่มต้นจะได้สารผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซและกากที่เหลือจากปฏิกิริยาในปริมาณที่มากและจะค่อยๆลดลงและคงที่เมื่อเวลาผ่านไป แต่ในทางตรงกันข้าม ที่เวลาเริ่มต้นจะได้สารผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวในปริมาณที่น้อยและจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

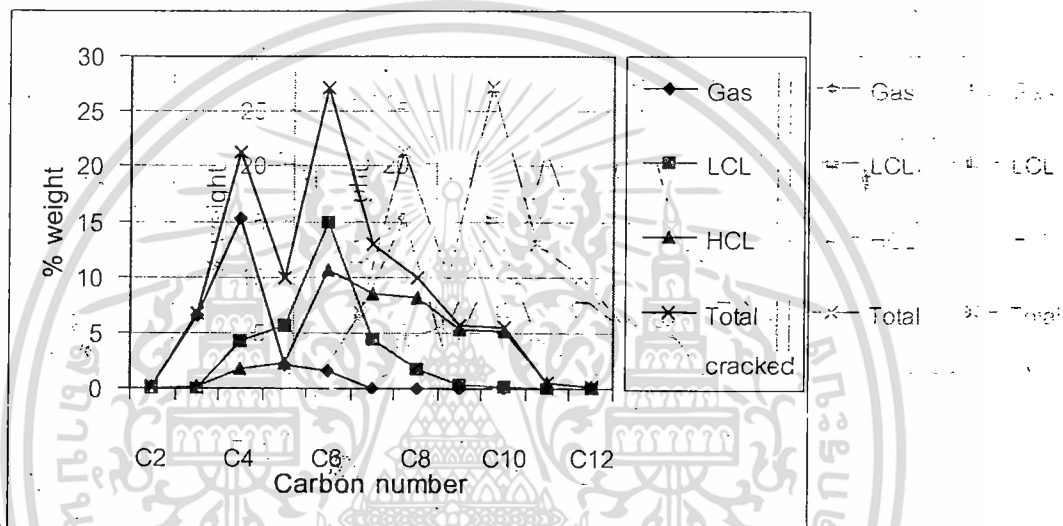
หมายความว่าปฏิกิริยาจะเข้าสู่สมดุล (steady state) เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง เนื่องจากในขั้นเริ่มต้นนั้นจะมีการป้อนพอลิเอธิลีนบริสทุธิ์เข้าไปโดยยังไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสและเมื่อเริ่มทำปฏิกิริยาจึงได้ทำการป้อนพอลิเอธิลีนบริสทุธิ์ที่ผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์ที่บดเข้าไปได้ ดังนั้นในช่วงเริ่มต้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ยังไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์อยู่ และเมื่อพอลิเอธิลีนบริสทุธิ์และตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์ถูกป้อนเข้าไปจะทำให้ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนคงที่เมื่อทำการป้อนอย่างต่อเนื่อง

การกระจายตัวของจำนวนคาร์บอนในของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL) แสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งช่วงเวลาในการทำปฏิกิริยาที่น่าสนใจคือ ชั่วโมงที่ 5-8 เนื่องจากในชั่วโมงที่ 5 ปฏิกิริยาจะเข้าสู่สมดุล (steady state)



รูป 4.7 แสดงองค์ประกอบของของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL) ที่ได้ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2 ถึง 8 ในการทำปฏิกิริยา

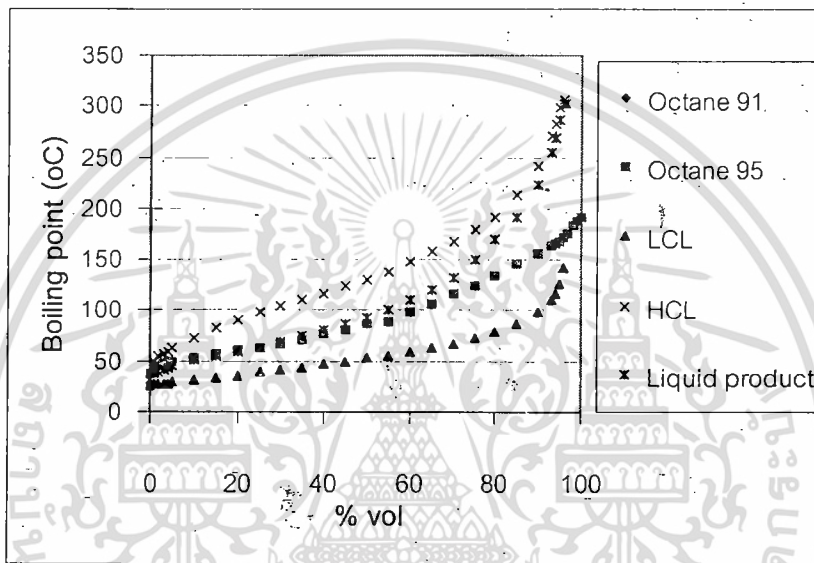
จากรูป 4.8 แสดงจำนวนคาร์บอนของสารผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ในช่วง C_3-C_{12} ซึ่งผลการทดลองนี้เป็นที่น่าสนใจอย่างนี้เนื่องจากมีจำนวนคาร์บอนอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับก๊าซโซลีน (C_3-C_{13}) และเรายังสามารถควบคุมน้ำหนักโมเลกุลของสารผลิตภัณฑ์ด้วยขนาดของรูพรุนของซีโอไลท์ ซึ่งซีโอไลท์บีดำมีขนาดของรูพรุนที่แตกต่างกันคือ 0.55×0.55 นาโนเมตร และ 0.64×0.64 นาโนเมตร โดยสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซมีจำนวนคาร์บอนอยู่ในช่วง C_2-C_6 ซึ่งจะประกอบด้วย C_3 และ C_4 เป็นส่วนมาก และสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวทั้งหมด จำนวนคาร์บอนอยู่ในช่วง C_4-C_{12}



รูป 4.8 แสดงกระจายตัวของจำนวนคาร์บอนของสารผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ชั่วโมงที่ 8 ของการทำปฏิกิริยา

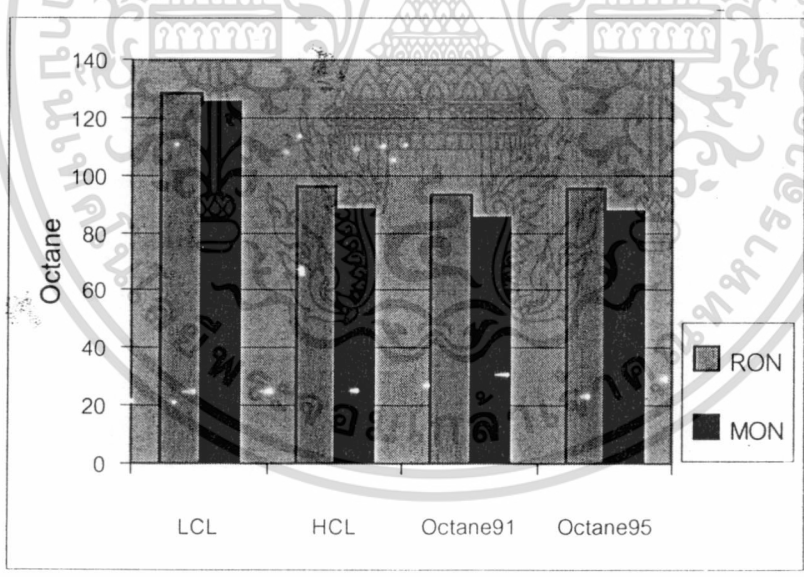
ปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีดำซึ่งมีความเป็นกรดสามารถเกิดผ่านกลไกที่แตกต่างกันคือ 1.ปฏิกิริยาการแตกสลายเกิดขึ้นที่ปลายสายโซ่ของพอลิเอทิลีน 2. ปฏิกิริยาการแตกสลายเกิดขึ้นแบบสุ่มบนสายโซ่ของพอลิเอทิลีน โดยที่สารผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ในช่วง C_2-C_5 เกิดจากปฏิกิริยาการแตกสลายที่เกิดขึ้นที่ปลายสายโซ่ของพอลิเอทิลีน และสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซและของเหลว (LCL) นั้นเกิดจากปฏิกิริยาการแตกสลายที่เกิดขึ้นแบบสุ่มบนสายโซ่ของพอลิเอทิลีน จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า สารผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนมากจะมีจำนวนคาร์บอนอยู่ในช่วง C_6-C_7 ($\sim 40\%$ โดยน้ำหนัก) ซึ่งอาจจะเกิดจากขนาดของรูพรุนของซีโอไลท์มีขนาดเหมาะสมกับไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ในช่วง C_6-C_7 .

ความเฉพาะเจาะจงในการเกิดก๊าซโซลีนของผลิตภัณฑ์สามารถหาจากคุณสมบัติในการกลั่นของสารผลิตภัณฑ์ โดยแสดงคุณสมบัติในการกลั่นของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับก๊าซโซลีนทั่วไปดังรูป 4.9 จุดเดือดของก๊าซโซลีนทั่วไปจะอยู่ในช่วง 25-185 องศาเซลเซียสซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับจุดเดือดของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL) จะมีจุดเดือดอยู่ในช่วงแคโรซีนและดีเซล



รูป 4.9 แสดงคุณสมบัติในการกลั่นของผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับก๊าซโซลีนทั่วไป

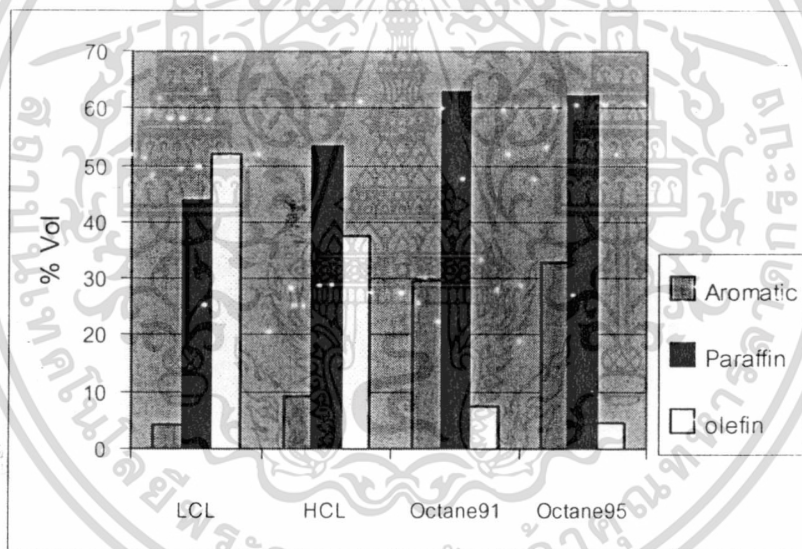
นอกจากนี้สารผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าออกเทน (RON และ MON) ที่ค่อนข้างสูงดังแสดงในรูป 4.10 จากที่กล่าวมาแล้วว่าค่าออกเทนจะบ่งบอกถึงคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงได้ ซึ่งสารผลิตภัณฑ์ที่มีค่าออกเทนสูง จะมีประสิทธิภาพสูงให้การป้องกันเครื่องยนต์น็อกและยังทำให้สามารถเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์อีกด้วย และจากการวิเคราะห์ หาปริมาณของไอโซพาราฟินด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy ,NMR) ก็สามารถทำนายค่าออกเทนได้ เนื่องจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกไอโซพาราฟินจะมีค่าออกเทนที่ค่อนข้างสูง อันเนื่องมาจากเมื่อขั้นเริ่มต้นเมื่อเกิดคาร์โบเนียมไอออนแล้วนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารผลิตภัณฑ์เพื่อให้มีความเสถียรมากขึ้นซึ่งในรูปของ tertiary carbocation ค่าออกเทนของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product ,liquid product ที่มีจุดเดือดสูง) HCL) มีค่าใกล้เคียงกับค่าออกเทนของก๊าซโซลีนทั่วไปมาก และที่น่าสนใจคือผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) มีค่าออกเทนสูงกว่าค่าออกเทนของก๊าซโซลีนทั่วไปมาก ทำให้เราสามารถนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) นี้ไปผสมกับน้ำมันคุณภาพต่ำเพื่อปรับปรุงค่าออกเทนได้อีกด้วย



รูป 4.10 เปรียบเทียบค่าออกเทนของสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวกับค่าออกเทนของก๊าซโซลีนทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาปริมาณของพาราฟิน , โอลิฟิน , อะโรเมติก ในผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับก๊าซโซลีนทั่วไปดังแสดงในรูป 4.11 จากที่กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกโอเลฟินเกิดขึ้นจากการแตกพันธะที่ตำแหน่งบีต้า (β - scission) ของสายโซ่พอลิเอธิลีน ทำให้เกิดการขจัดโอเลฟินออกจากสายโซ่พอลิเอธิลีนซึ่งเชื่อว่าจะจะเป็นปฏิกิริยาแรกที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ แล้วจึงเกิดการถ่ายโอนไฮโดรเจนมาที่โอเลฟิน (Hydrogen transfer) ที่ถูกดูดซับอยู่ในโครงสร้างของซีโอไลต์ได้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกพาราฟิน และอะโรเมติก โดยปริมาณของอะโรเมติกในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง(Heavy cracked liquid product , HCL) จะมีปริมาณมากกว่าในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ(Light cracked liquid product , LCL) แต่อย่างไรก็ดี ปริมาณของอะโรเมติกในสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็ยังคงน้อยกว่าปริมาณของอะโรเมติกในก๊าซโซลีนทั่วไป ทำให้เราสามารถลดลงปริมาณของอะโรเมติกในก๊าซโซลีนได้



รูป 4.11 แสดงปริมาณของพาราฟิน , โอลิฟิน , อะโรเมติก ในผลิตภัณฑ์ของเหลวเปรียบเทียบกับก๊าซโซลีนทั่วไป

4.4.2 อิทธิพลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

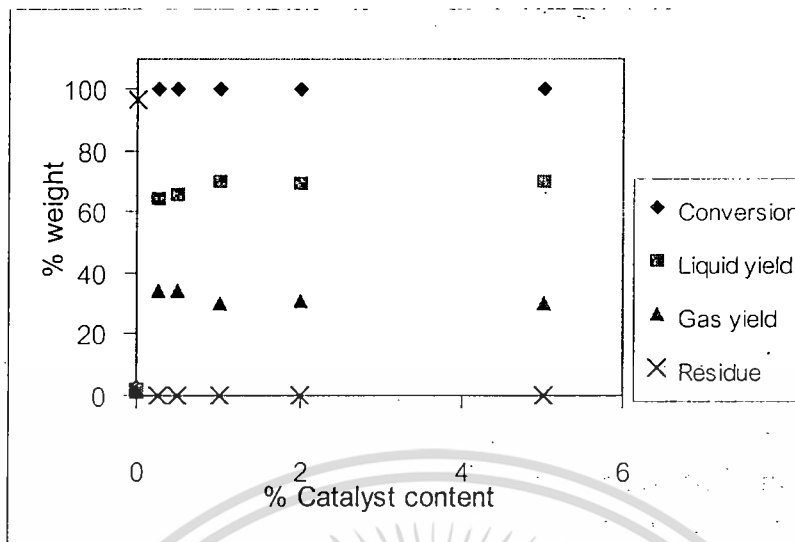
การศึกษาอิทธิพลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยทำปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์โดยใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ 0-5 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ อัตราการป้อนพอลิเมอร์ 120 กรัมต่อชั่วโมง (อัตราเร็วของเกลียวหอนเดี่ยว 3 รอบต่อนาที) ด้วยอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ปริมาณของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้และอัตราการทำปฏิกิริยาที่สภาวะสมดุลดังแสดงในรูป 4.12 พบว่าที่อัตราการป้อนพอลิเมอร์ 120 กรัมต่อชั่วโมงจะทำให้อัตราการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 100% และที่ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ 1, 2 และ 5 % โดยน้ำหนักพอลิเมอร์การคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมอร์นั้นได้สารผลิตภัณฑ์ทั้งที่เป็นก๊าซและของเหลวในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมาก (30 % และ 70 % ตามลำดับ) จึงทำให้ไม่สามารถเห็นผลที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างชัดเจนจึงทำการเพิ่มอัตราการป้อนพอลิเมอร์ต่อไป

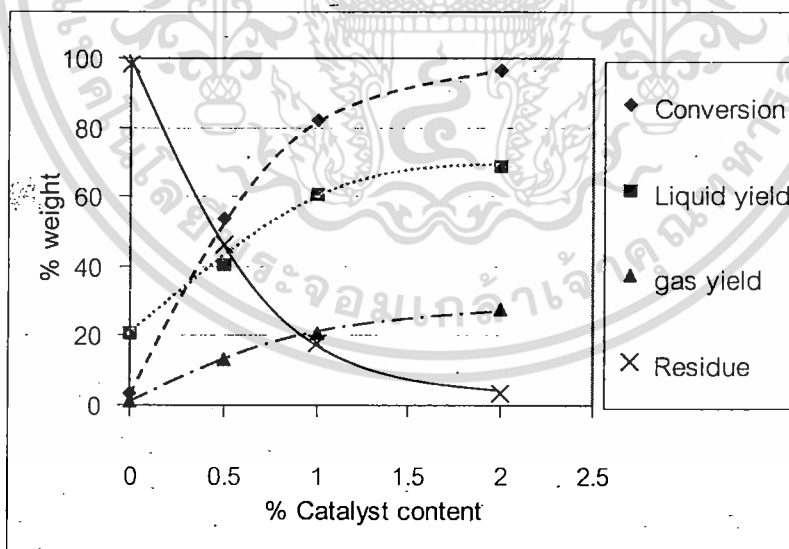
จากการเพิ่มอัตราการป้อนพอลิเมอร์เป็น 400 กรัมต่อชั่วโมง (อัตราเร็วของเกลียวหนอนเดี่ยว 10 รอบต่อนาที) โดยใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์ 0.5 , 1 และ 2 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังรูป 4.13 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์จะส่งผลทำให้อัตราการทำปฏิกิริยาและปริมาณของผลิตภัณฑ์ของเหลวเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากถ้าเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์นั้นจะเป็นการเพิ่มตำแหน่งที่แสดงความเป็นกรด (acid site) และ Contact time ที่ใช้เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



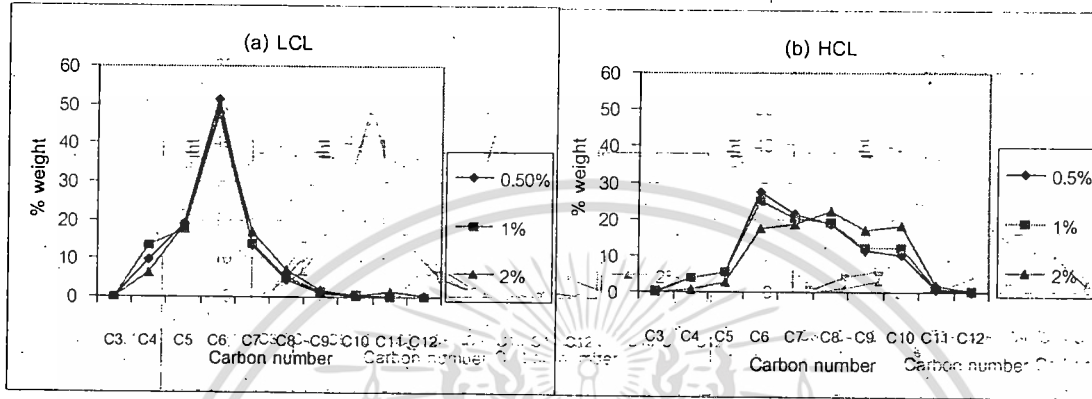
รูป 4.12 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณของของเหลวที่ได้ (อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส , อัตราเร็วเกลียวหนอนเดี่ยว 3 รอบต่อนาที , ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0-5 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ และไนโตรเจน 50 มิลลิลิตรต่อนาที)



รูป 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณของของเหลวที่ได้ (อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส , อัตราเร็วเกลียวหนอนเดี่ยว 10 รอบต่อนาที , ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0-2 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์และไนโตรเจน 50 มิลลิลิตรต่อนาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

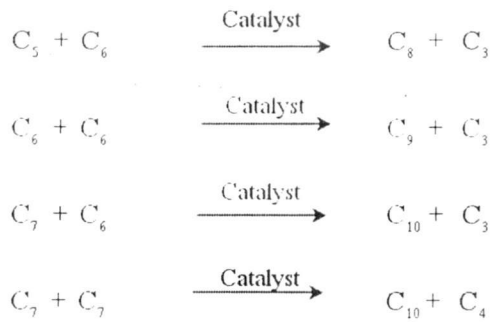
องค์ประกอบของสารผลิตภัณฑ์สามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาและ
 ความเฉพาะเจาะจงของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดังที่แสดงการกระจายของจำนวนคาร์บอนของผลิตภัณฑ์
 ทั้งที่เป็นของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) และของเหลวที่มีจุดเดือดสูง
 (Heavy cracked liquid product , HCL) ในรูปที่ 4.14



รูป 4.14 การกระจายของจำนวนคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL)

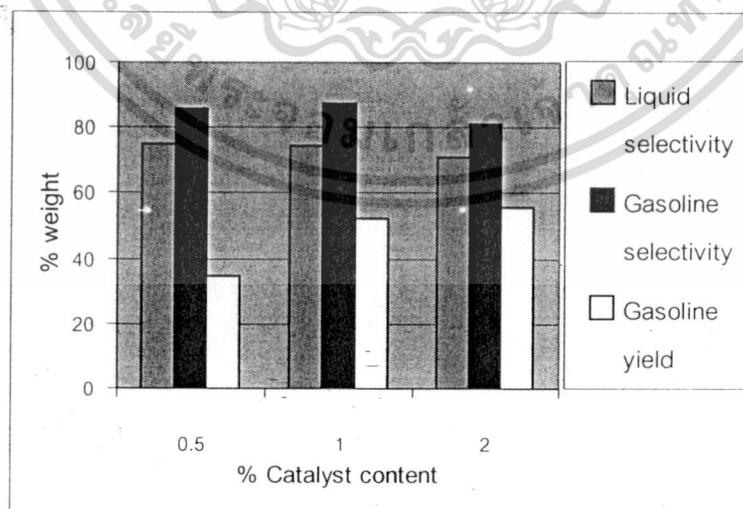
จากรูปจะพบว่าองค์ประกอบของสารผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกันมากนักแต่อย่างไรก็ตามใน
 ส่วนของของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL) นั้นในการใช้ปริมาณ
 ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 , 1 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ มีจำนวนของคาร์บอนอยู่ในช่วงที่ไม่แตกต่าง
 กัน แต่ในกรณีที่ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์จึงเห็นได้ว่ามีจำนวนของ
 คาร์บอนอยู่ในช่วงที่สูงขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามจากที่ได้กล่าวมาคือ การเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา
 จะทำให้ได้องค์ประกอบของสารผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กกว่าเดิม (มีจำนวนของคาร์บอนอยู่ในช่วง
 ต่ำลง) อันเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (2 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์) จะทำ
 ให้เพิ่มตำแหน่งที่แสดงความเป็นกรด (acid site) ให้มากขึ้นและทำให้เกิดการรวมตัวของสาร
 ผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กๆที่เกิดขึ้นได้เป็นสารผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิม (Disproportionation)
 เช่น การที่ C₅-C₇ เปลี่ยนขนาดของโมเลกุลไปเป็น C₈-C₁₀ และ C₃-C₄ ซึ่งจะเห็นได้ในการเกิด
 Disproportionation นั้นจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซมากขึ้นดังที่พบได้ในรูป 4.13 ซึ่งการเกิด
 Disproportionation เกิดขึ้นได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การศึกษาผลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.5 และ 1 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์นั้น จำนวนของตำแหน่งที่แสดงความเป็นกรด (acid site) ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันมากนัก อัตราการเกิดไอโซเมอร์ไรเซชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับ โมเลกุลเดี่ยวสามารถเกิดขึ้นได้ดีกว่าการเกิด Disproportionation ดังนั้นเราสามารถควบคุมการกระจายตัวของสารผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในช่วงของของเหลว และควบคุมการเกิด Disproportionation ได้ด้วยขนาดของรูพรุนซีโอไลต์บีดีที่มีขนาดใหญ่

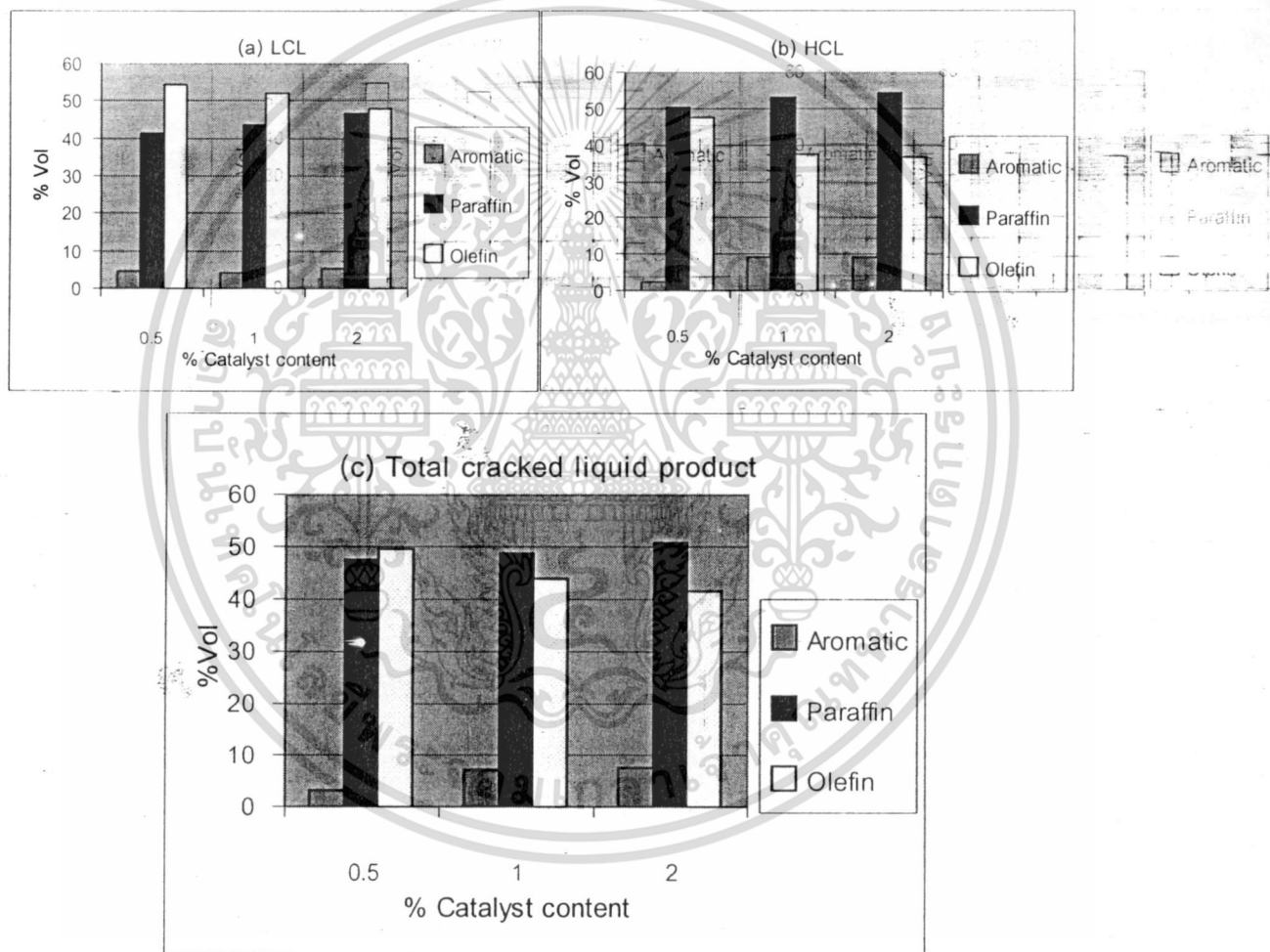
ทำการเปรียบเทียบความเฉพาะเจาะจงของการเกิดก๊าซโซลีนในปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันดังแสดงในรูป 4.15 ซึ่งพบว่าจากการเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นส่งผลทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมากยิ่งขึ้นและยังมีความเฉพาะเจาะจงในการเกิดก๊าซโซลีนสูงอีกด้วย โดยปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 1% โดยน้ำหนักปริมาณเป็นเหมาะสมที่สุดในการเกิดก๊าซโซลีน โดยมีความเฉพาะเจาะจงในการเกิดก๊าซโซลีนสูงถึงเกือบ 90 % อย่างที่ได้กล่าวมาข้างต้นว่าการเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะทำให้ปริมาณของก๊าซโซลีนเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากการทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นนั่นเอง แต่ในปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 2% โดยน้ำหนักกลับทำให้ปริมาณของของเหลวและความเฉพาะเจาะจงในการเกิดก๊าซโซลีนลดลง เนื่องจาก Contact time มากเกินไปทำให้เกิดการแตกสลายที่มากเกินไป (Over Cracking) จึงส่งผลให้ได้ก๊าซและเกิดการ Disproportionation มากขึ้น



รูป 4.15 เปรียบเทียบความเฉพาะเจาะจงของการเกิดก๊าซโซลีนในปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน

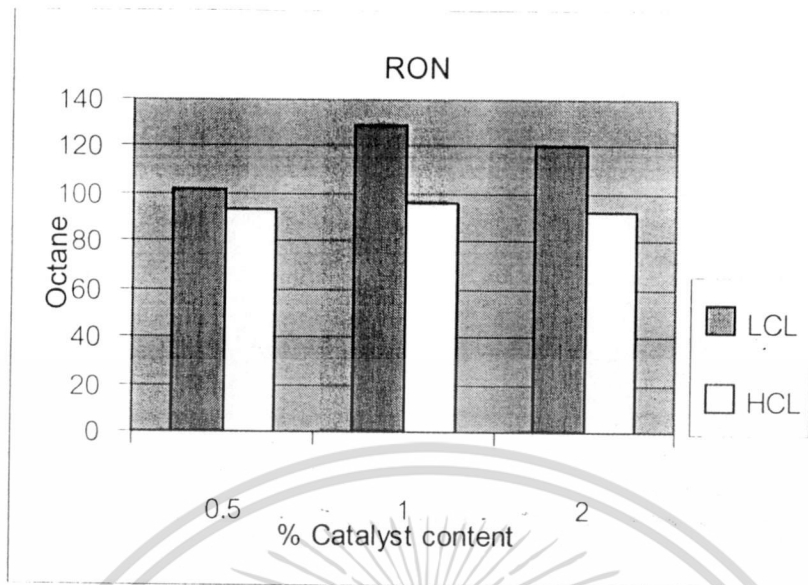
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของพาราฟิน , โอลิฟิน , อะโรมาติกในทั้งของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) และของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL) ที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์ที่บีด้าในปริมาณที่แตกต่างกันดังรูป 4.16. จะพบว่าปริมาณของโอลิฟินลดลงเมื่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น อันเนื่องจาก Contact time ที่ใช้สูงจึงทำให้เกิดการถ่ายโอนของไฮโดรเจน (Hydrogen transfer) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนจากโอลิฟินไปเป็นพาราฟิน ดังนั้นปริมาณของพาราฟินจึงเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น



รูป 4.16 ปริมาณของพาราฟิน , โอลิฟิน , อะโรมาติกทั้งในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL) ที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์ที่บีด้าในปริมาณที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



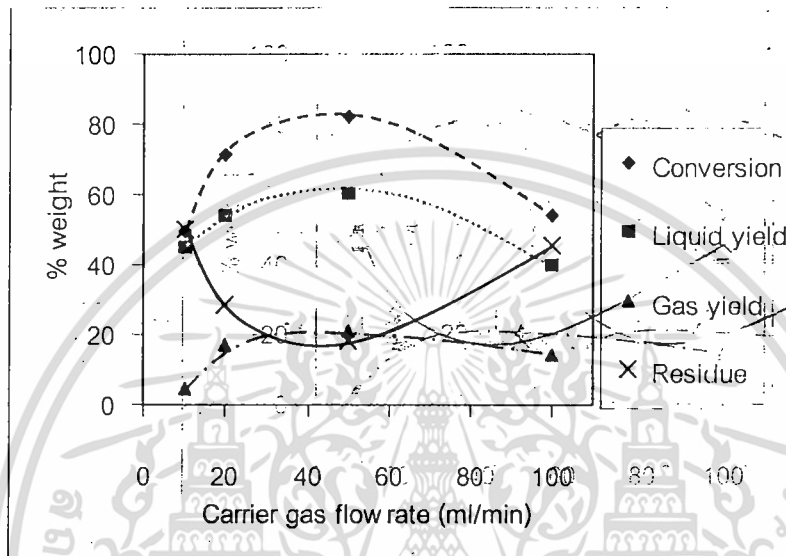
รูป 4.17 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่แตกต่างกันที่มีต่อค่าออกเทนของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL.)

จากรูป 4.17 แสดงอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่แตกต่างกันที่มีต่อค่าออกเทนของสารผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL) พบว่าสามารถเพิ่มค่าออกเทนของสารผลิตภัณฑ์ได้ด้วยการเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากเกิดการไอโซเมอไรเซชันบนตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด แต่ที่ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 2 % โดยน้ำหนักนั้นพบว่า ค่าออกเทนของสารผลิตภัณฑ์ลดลงซึ่งเกิดจาก Contact time ที่ใช้สูงจึงทำให้เกิดการถ่ายโอนของไฮโดรเจน (Hydrogen transfer) ส่งผลให้ปริมาณของโอเลฟินลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 อิทธิพลของอัตราการไหลของก๊าซตัวพา

การศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลของก๊าซตัวพาที่อัตราการไหลต่างๆ (10-100 มิลลิลิตรต่อนาที) และอัตราการป้อนพอลิเมอร์ 400 กรัมต่อชั่วโมง (อัตราเร็วของเกลียวหนอนเฉลี่ย 10 รอบต่อนาที) ดังรูป 4.18



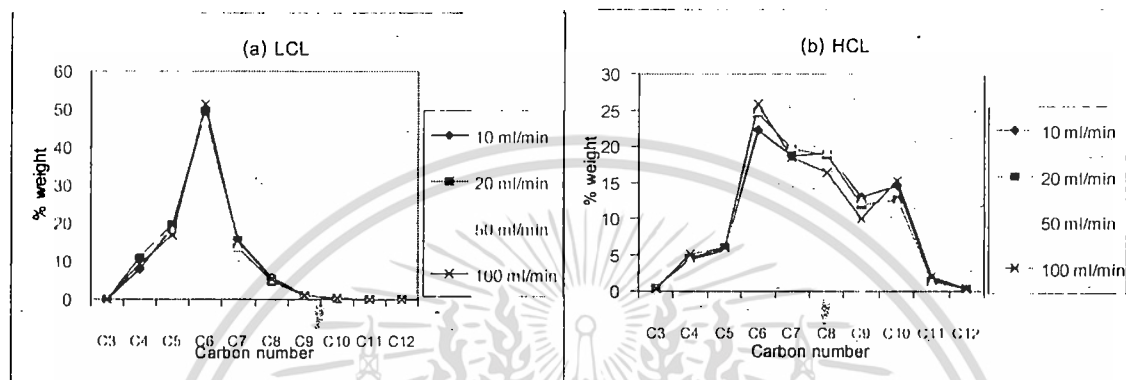
รูป 4.18 ผลของอัตราการไหลของก๊าซตัวพาที่อัตราการไหลต่างๆ (10-100 มิลลิลิตรต่อนาที) และอัตราการป้อนพอลิเมอร์ 400 กรัมต่อชั่วโมง (อัตราเร็วของเกลียวหนอนเฉลี่ย 10 รอบต่อ นาที)

จากรูปพบว่าการใช้อัตราการไหลของก๊าซตัวพา 10 มิลลิลิตรต่อนาทีให้ผลการทดลองที่ไม่ดีนัก เนื่องจากอัตราการไหลของก๊าซตัวพาน้อยเกินไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาการรวมตัวของสารผลิตภัณฑ์ (Oligomerization) ได้สารผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลใหญ่ขึ้นออกมากับกากที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา และเมื่ออัตราการไหลของก๊าซตัวพาเพิ่มขึ้น (20 และ 50 มิลลิลิตรต่อนาที) ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณของของเหลวเพิ่มขึ้นเนื่องจากก๊าซตัวพาจะมาพาเอาสารผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ก่อนที่ปฏิกิริยาข้างเคียงอื่นๆจะเกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซตัวพาจนถึง 100 มิลลิลิตรต่อนาที ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณของของเหลวลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยานั้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic) อัตราการไหลของก๊าซตัวพาที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาทีจึงพาเอาพลังงานความร้อนออกจากเครื่องปฏิกรณ์นั่นเอง และการที่สารผลิตภัณฑ์ถูกก๊าซตัวพาพาออกจากเครื่องปฏิกรณ์เร็วเกินไป ทำให้ปฏิกิริยาการแตกสลายขั้นที่สอง (ปฏิกิริยาการแตกสลายที่เกิดขึ้นภายในโครงร่างของซีโพลไลท์) ไม่สามารถเกิดขึ้นได้จึงทำให้ ปริมาณของกากที่เหลือเพิ่มขึ้น ดังนั้นใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษากิจกรรมการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาดำด้วยอัตราการไหลของก๊าซตัวพา 50 มิลลิตรต่อนาทีต่อไป

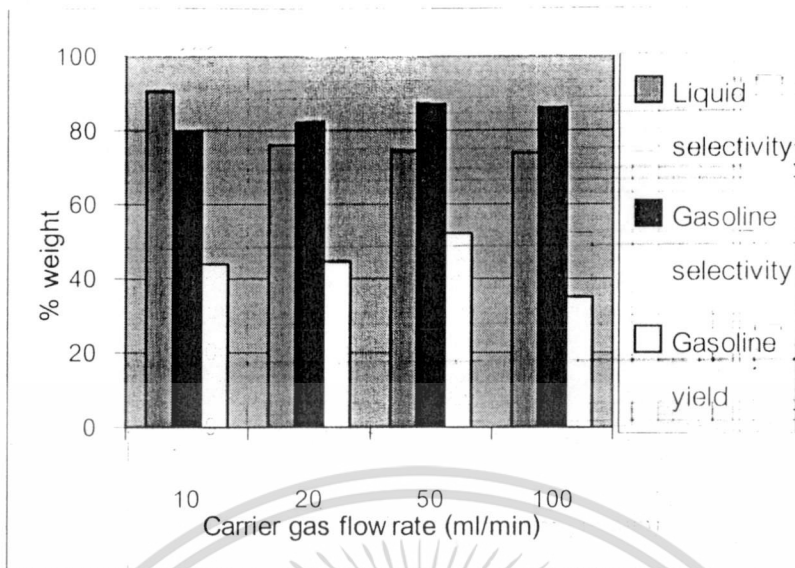
การกระจายของจำนวนคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL) ดังรูป 4.19



รูป 4.19 การกระจายของจำนวนคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL)

จากรูปพบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) มีการกระจายของจำนวนคาร์บอนในช่วงที่แคบซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น และจะเห็นได้ว่าการกระจายของจำนวนคาร์บอนจะอยู่ในช่วงสูงเมื่อลดอัตราการไหลของก๊าซตัวพาซึ่ง เกิดจากการเกิดการรวมตัวของสารผลิตภัณฑ์ (Oligomerization) นั้นเอง

จากรูป 4.20 แสดงความเฉพาะเจาะจงในการเกิดก๊าซโซลีนในอัตราการไหลของก๊าซตัวพาที่แตกต่างกัน จะพบว่าความเฉพาะเจาะจงในการเกิดสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซตัวพาเนื่องจาก ที่อัตราการไหลของก๊าซตัวพาต่ำจะทำให้เกิดการรวมตัวของสารผลิตภัณฑ์ (Oligomerization) ทำให้ได้น้ำหนักโมเลกุลสารผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นและความเฉพาะเจาะจงในการเกิดก๊าซโซลีนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซตัวพาเพราะเป็นการลดการเกิด Oligomerization ทำให้ได้สารผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงเดียวกับก๊าซโซลีน แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของก๊าซโซลีนก็ยังคงขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาดังรูป 4.18 และ 4.20

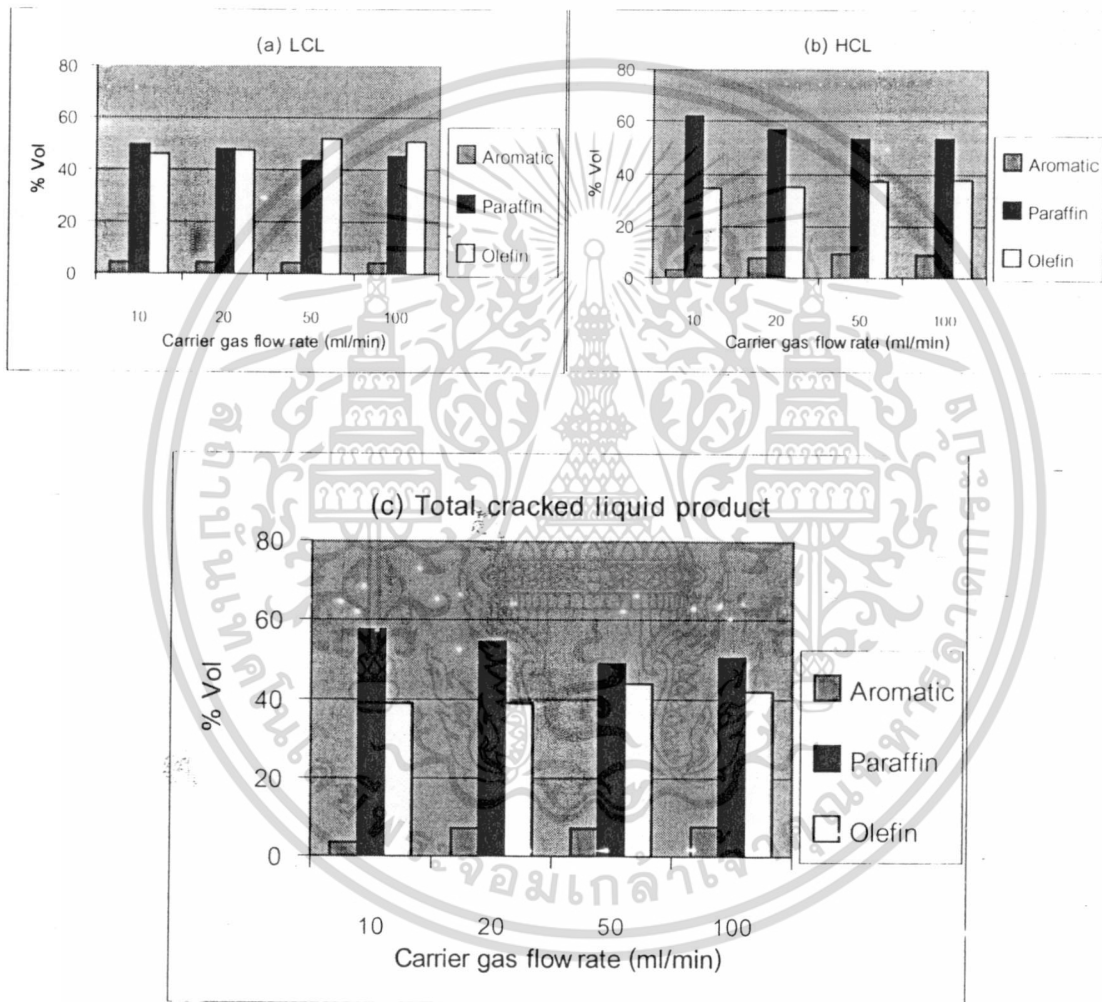


รูป 4.20 แสดงความเฉพาะเจาะจงในการเกิดก๊าซโซลีนในเซลล์เมมเบรนที่อุณหภูมิ 100°C ที่อัตราการไหลของก๊าซตัวพาที่แตกต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

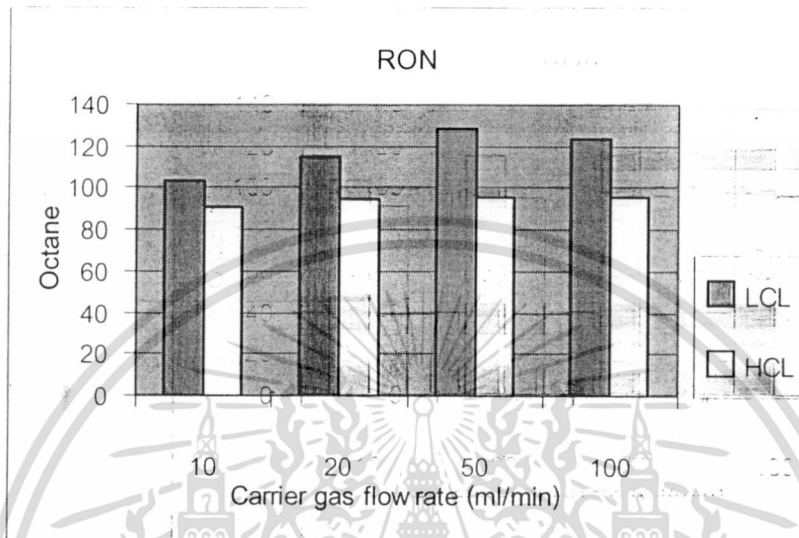
จากรูป 4.21 แสดงปริมาณของพาราฟิน , โอลิฟิน , อะโรเมติก ในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงให้เห็นว่าอัตราการถ่ายโอนของไฮโดรเจน (Hydrogen Transfer) ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราไหลของก๊าซตัวพาเนื่องจาก การใช้ Contact time สูง จะทำให้มีการถ่ายโอนของไฮโดรเจน (Hydrogen Transfer) ทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกโอเลฟินถูกเปลี่ยนพาราฟิน ซึ่งปริมาณของอะโรเมติกจะน้อยเมื่อใช้อัตราไหลของก๊าซตัวพาต่ำ นั่นเพราะอะโรเมติกจะอยู่ในส่วนของกากที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา



รูป 4.21 แสดงปริมาณของพาราฟิน , โอลิฟิน , อะโรเมติก ในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของอัตราการไหลของก๊าซตัวพาที่มีต่อค่าออกเทนของสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว ดังแสดงในรูป 4.22 พบว่าสามารถเพิ่มค่าออกเทนด้วยการเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซตัวพาเนื่องจาก ทำให้มีการถ่ายโอนของไฮโดรเจน (Hydrogen Transfer) ซึ่งมีผลต่อปริมาณของโอเลฟินนั่นเอง

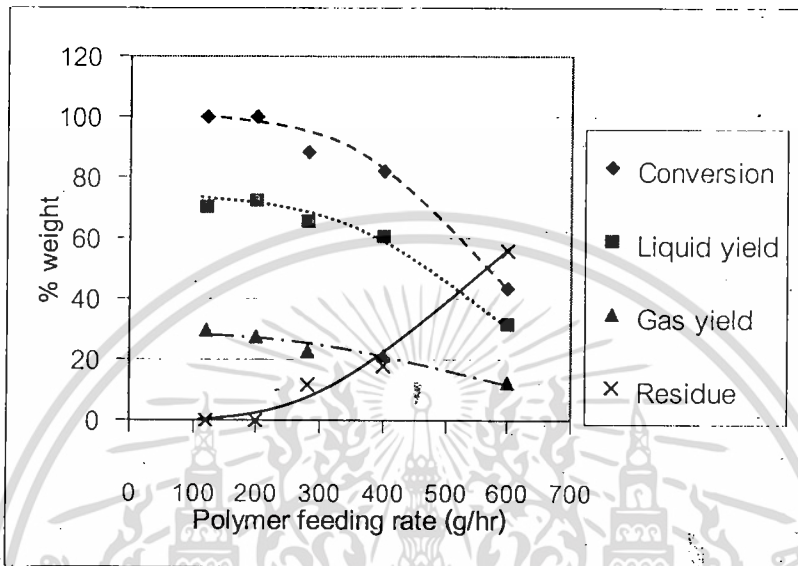


รูป 4.22 ผลของอัตราการไหลของก๊าซตัวพาที่มีต่อค่าออกเทนของสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 อิทธิพลของอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีน

การศึกษาอิทธิพลของอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีน โดยทำปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทีลีนบริสุทธิ์โดยใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ 1 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ อัตราเร็วของเกลียวหนอนเคียว 3-15 รอบต่อนาที ด้วยอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส

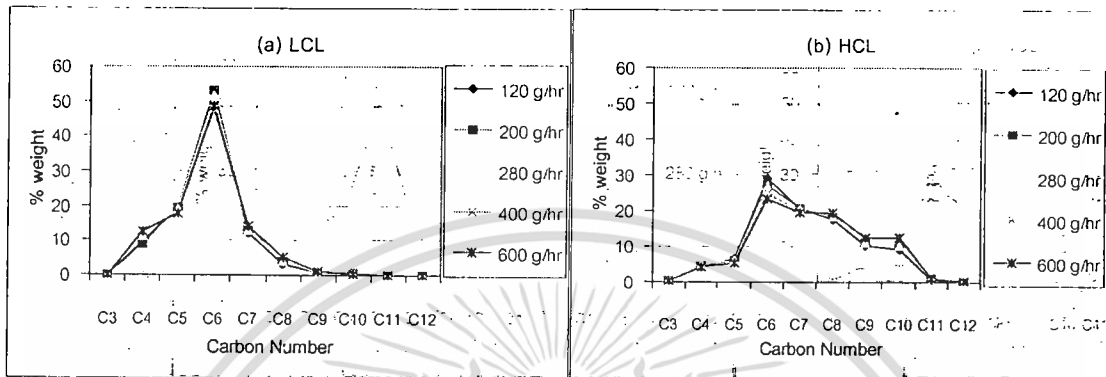


รูป 4.23 แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นของเหลวที่อัตราการป้อนพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน

การเพิ่มอัตราเร็วของเกลียวหนอนเคียวจาก 3 ถึง 15 รอบต่อนาทีนั้นเป็นการลดระยะเวลาที่พอลิเมอร์จะอยู่ในภายในเครื่องปฏิกรณ์ด้วยอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนตั้งแต่ 120 ถึง 600 กรัมต่อชั่วโมง ดังแสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ดังรูป 4.23 จากผลการทดลองพบว่าเวลาที่พอลิเมอร์จะอยู่ในภายในเครื่องปฏิกรณ์เป็นระยะเวลาสั้นๆ นั้น (อัตราเร็วของเกลียวหนอนเคียวต่ำ) จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นก๊าซเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้น 100 % นั้นไม่เหมาะสมกับกระบวนการในงานวิจัยนี้เนื่องจาก ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาจะต้องถูกขับออกมาทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้น 100 % ตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่สามารถถูกขับออกมาในรูปของกากที่เหลือจากปฏิกิริยาได้ ดังนั้นกระบวนการนี้จึงจะทำงานโดยที่ จะให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำกว่า 90 %

การกระจายของจำนวนคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product, LCL) และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product, HCL) ดังรูป 4.24 โดยพบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนนั้นไม่มีผลกระทบต่อการกระจายของจำนวนคาร์บอน เนื่องจากสภาวะและกลไกการเกิดสารผลิตภัณฑ์เอเคสารนี้เป็นเอเคสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

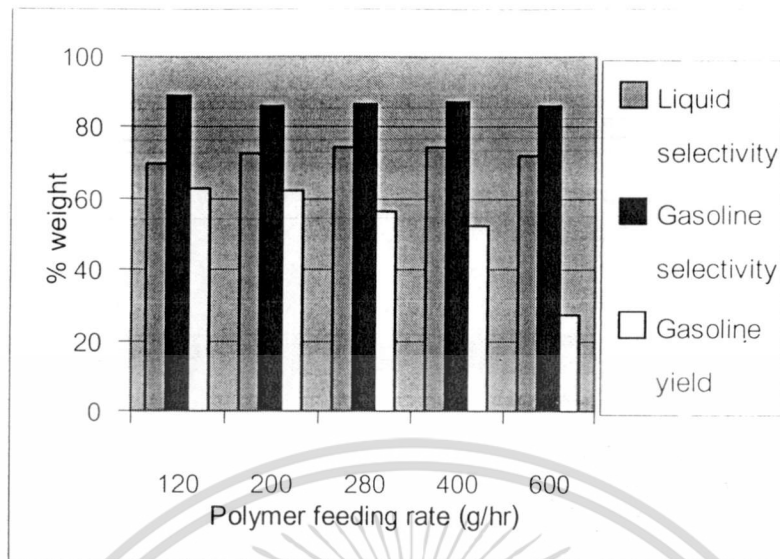
นั้นใกล้เคียงกัน ซึ่งการควบคุมการกระจายของจำนวนคาร์บอนนั้นเกิดขึ้นจากขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ตั้งไว้ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นในกระบวนการต่อเนื่องในงานวิจัยนี้การใช้ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ถือเป็นปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่น้อยที่สุดที่เหมาะสม ในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้ การกระจายของจำนวนคาร์บอนของสารผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงแคบๆ



รูป 4.24 การกระจายของจำนวนคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL)

แสดงการเปรียบเทียบความเฉพาะเจาะจงของการเกิดก๊าซโซลีนด้วยอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนที่แตกต่างกันดังรูป 4.25 โดยการเพิ่มอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนนั้น พอลิเมอร์จะอยู่ในภายในเครื่องปฏิกรณ์เป็นระยะเวลานาน ซึ่งส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยตรงและมีผลต่อเนื่องต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ของเหลวอีกด้วย โดยที่ปริมาณของก๊าซโซลีนจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีน แต่อย่างไรก็ตามอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนจะไม่มีอิทธิพลต่อความเฉพาะเจาะจงของการเกิดก๊าซโซลีนเลย เนื่องจากการกระจายตัวของสารผลิตภัณฑ์นั้นจะมีผลมาจากโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ตั้งไว้ได้กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่พอลิเมอร์จะอยู่ในภายในเครื่องปฏิกรณ์นั้น ไม่ได้มีผลกระทบต่อกลไกการเกิดและความเฉพาะเจาะจงเลยแต่เป็นการเพิ่มความสามารถในการแตกสลายของพอลิเอธิลีนเท่านั้น โดยอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีน 280 ถึง 400 กรัมต่อชั่วโมงเป็นอัตราการป้อนที่ทำให้ได้สารผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมากที่สุด เนื่องจากการที่พอลิเมอร์จะอยู่ในภายในเครื่องปฏิกรณ์เป็นระยะเวลานานมากนั้น จะทำให้ปฏิกิริยาการแตกสลายขั้นตอนที่สอง (ปฏิกิริยาการแตกสลายที่เกิดขึ้นภายใน โครงสร้างของซีโอไลท์) ดังที่กล่าวมาข้างต้น นั้นเกิดขึ้น ได้ซึ่งจะส่งผลให้ได้สารผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซเพิ่มมากขึ้น และในอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนสูงๆ (600 กรัมต่อชั่วโมง) จะทำให้การเกิดปฏิกิริยานั้นเกิด ได้ลดลงซึ่งจะได้กาที่เหลือที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในปริมาณที่มาก เนื่องจากการแตกสลายขั้นตอนที่สองนั้นสามารถเกิดขึ้น ได้น้อยมากนั่นเอง

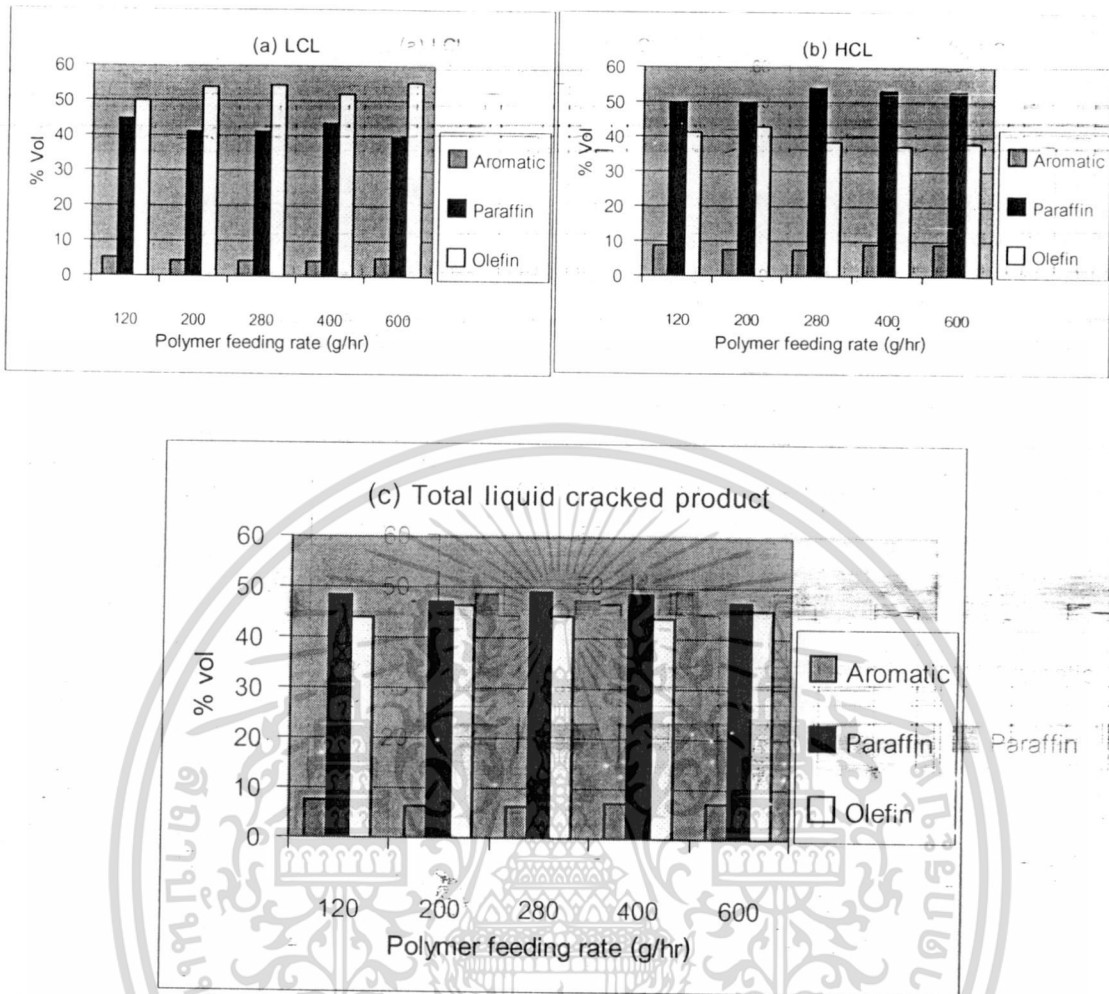
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.25 แสดงการเปรียบเทียบความเฉพาะเจาะจงของการเกิดก๊าซโซลีนด้วยอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนที่แตกต่างกัน



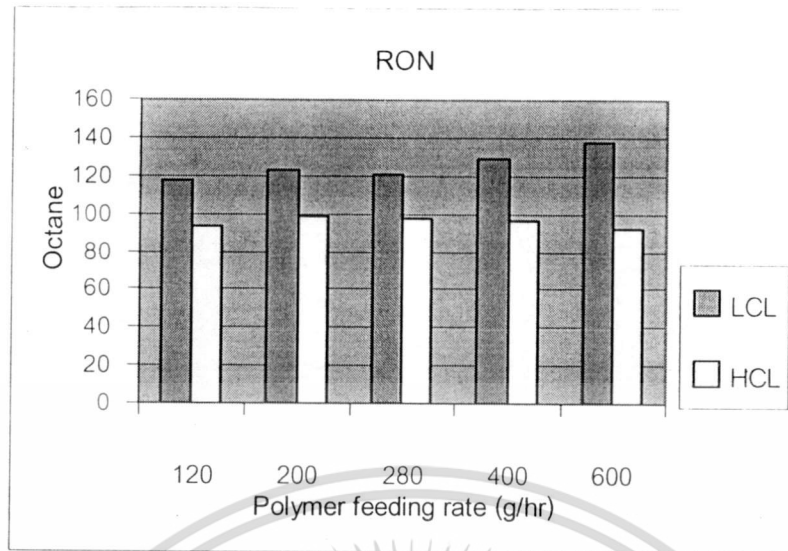
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.26 แสดงปริมาณของพาราฟิน , โอลิฟิน , อะโรมาติก ในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนที่แตกต่างกัน

จากรูป 4.26 แสดงปริมาณของพาราฟิน , โอลิฟิน , อะโรมาติก ในสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนที่ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเดียวกันไม่มีอิทธิพลต่อความเฉพาเจาะจงของพาราฟิน , โอลิฟิน , อะโรมาติก ในผลิตภัณฑ์ของเหลวเลย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเกิดไฮโดรคาร์บอนจำพวกใดๆนั้นเกิดจากอิทธิพลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่าอิทธิพลของอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีน เนื่องจากกลไกการเกิดปฏิกิริยาการแตกสลายนั้นจะถูกกำหนดด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา แม้ว่าในส่วน of ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL) นั้นจะมีปริมาณของพาราฟินมากก็เป็นผลมาจากการถ่ายโอนของไฮโดรเจน (Hydrogen Transfer) นั้นจะชอบเกิดขึ้นกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลมากนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



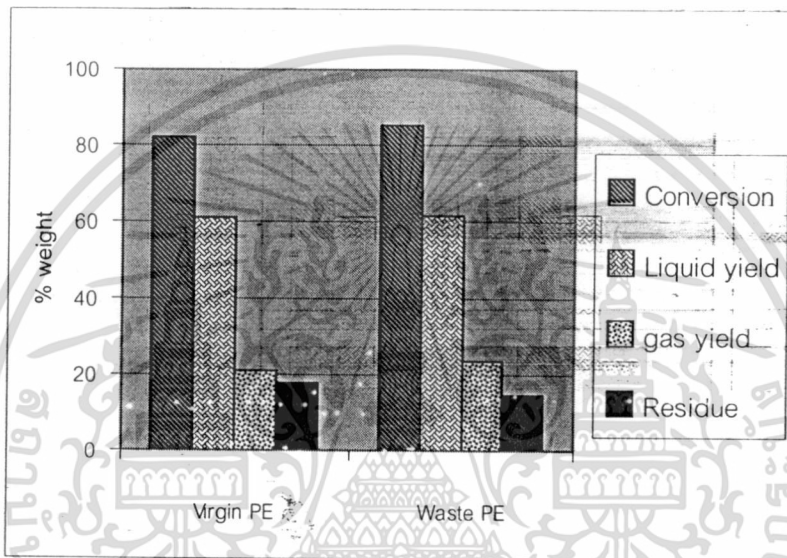
รูป 4.27 แสดงผลของอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนที่มีต่อค่าออกเทนของผลิตภัณฑ์ของเหลว

อิทธิพลของอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนที่มีต่อค่าออกเทนของสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวดังแสดงในรูป 4.27 ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) จะมีค่าออกเทนสูงเนื่องจากประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกโอเลฟินเป็นส่วนใหญ่ ในการเพิ่มอัตราการป้อนของพอลิเอธิลีนจะทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกโอเลฟินเกิดขึ้นได้มากและจะส่งผลทำให้ค่าออกเทนเพิ่มขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าค่าออกเทนของผลิตภัณฑ์ของเหลวทั้งหมดนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกโอเลฟินนั่นเอง

4.5 การศึกษาปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วในกระบวนการ

แบบต่อเนื่อง

ทำการเปรียบเทียบปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์และพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว โดยใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ ก๊าซไนโตรเจนทำหน้าที่เป็นก๊าซตัวพาด้วยอัตราการไหล 50 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราเร็วของเกลียวหนอนเดี่ยว 10 รอบต่อนาที (อัตราการป้อนของพอลิเอทิลีน 400 กรัมต่อชั่วโมง) ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ดังรูป 4.28

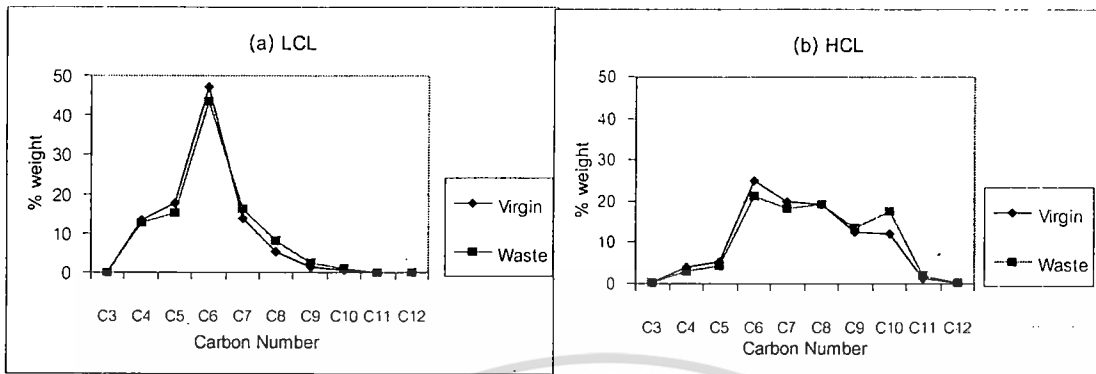


รูป 4.28 เปรียบเทียบผลการทำปฏิกิริยาแตกสลายของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์และพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว

จากรูปพบว่าปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูงกว่าปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ เนื่องจากพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วมีสายโซ่ของพอลิเมอร์ที่ไม่อึดตัวและสายโซ่กิ่งมากกว่าพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ซึ่งจะสังเกตได้จากการที่พอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วจะมีค่าสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ (Melt Flow Index) สูงกว่าพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงทำให้พอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วสามารถแตกสลายได้ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า โดยยืนยันด้วยผลการทดลองจากเครื่อง TGA และ DSC (ในหัวข้อ 4.1.5 , 4.1.6 และ 4.3) ดังนั้นปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วจะให้สารผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซในปริมาณที่สูงและกากที่เหลือในปริมาณที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์

การกระจายของจำนวนคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL) ที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์และปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว ดังรูป 4.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

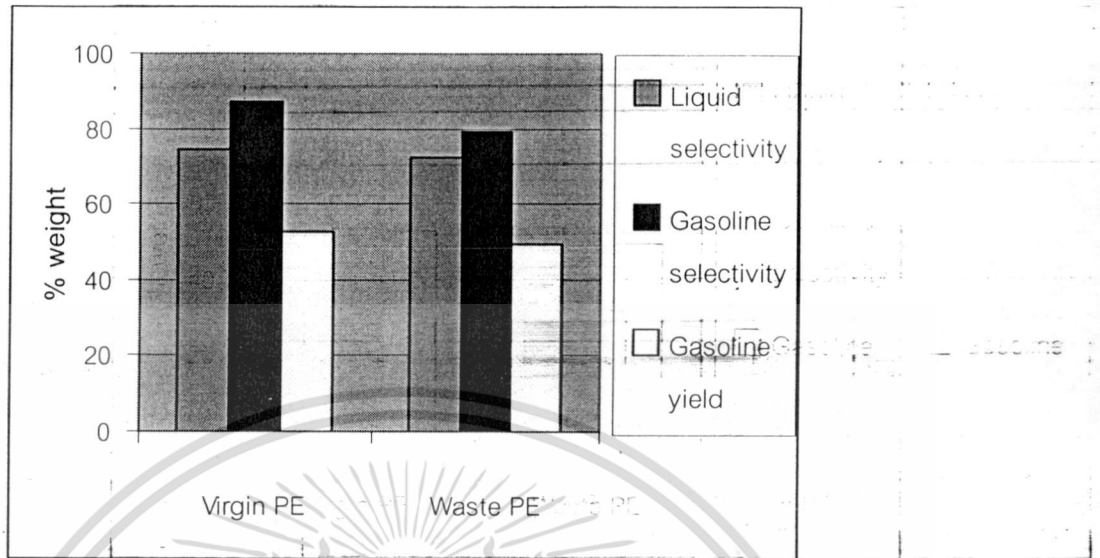


รูป 4.29 การกระจายของจำนวนคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) และผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL)

โดยสังเกตพบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked liquid product , LCL) ที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้วจะประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เนื่องจากพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้วสามารถแตกสลายได้ง่ายและกากที่เหลือจากปฏิกิริยาก็สามารถแตกสลายเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงได้ อย่างไรก็ตามการกระจายของจำนวนคาร์บอนของสารผลิตภัณฑ์ก็สามารถควบคุมให้อยู่ในช่วงของก๊าซโซลีนได้ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาได้เช่นเดิม

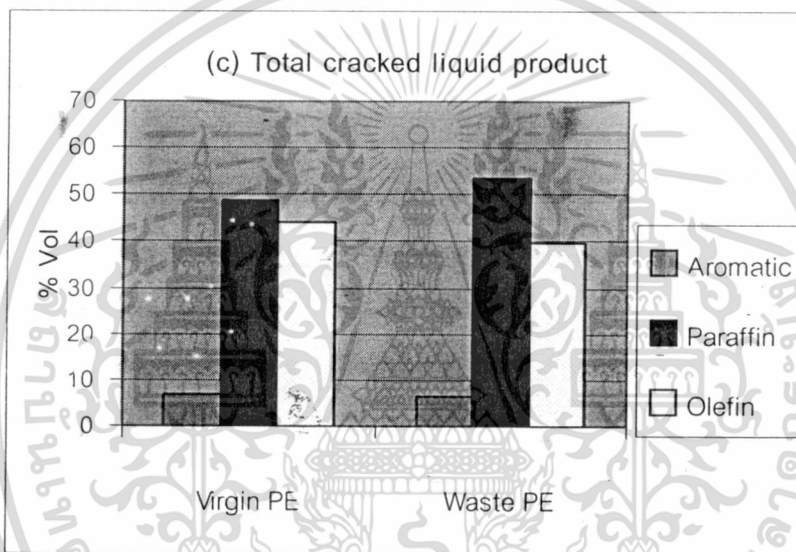
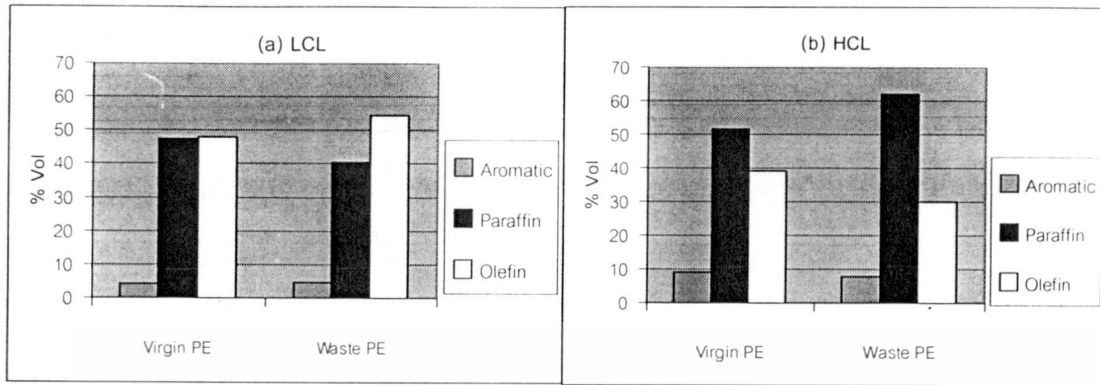
ความเฉพาะเจาะจงในการเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวของปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนบริสุทธิ์นั้นมีความสูงกว่าของปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้วเล็กน้อย (74 % โดยน้ำหนักและ 72 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ) ดังรูป 4.30 แม้ว่าปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้วจะให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูงกว่าแต่ปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนบริสุทธิ์กลับให้ปริมาณของก๊าซโซลีนที่สูงกว่า เนื่องจาก ปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้วจะให้ปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซสูงกว่า และความเฉพาะเจาะจงของการเกิดก๊าซโซลีนของปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้วมีค่าต่ำกว่าของปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนบริสุทธิ์เนื่องจากในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked liquid product , HCL) ของปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้วนั้นส่วนมากจะประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงดังที่กล่าวมาแล้ว ทำให้สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้วนั้นมีความสามารถในการกลั่นไม่ได้ในช่วงเดียวกับก๊าซโซลีน แต่อย่างไรก็ดีปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนในกระบวนการแบบต่อเนื่องนี้ก็สามารถพัฒนาความเฉพาะเจาะจงในการเกิดก๊าซโซลีนได้สูงไม่น้อยกว่า 80 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



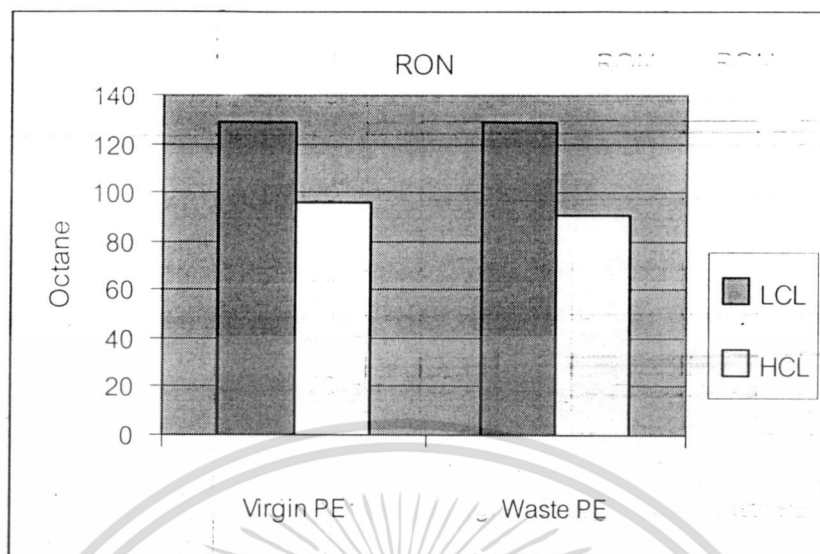
รูป 4.30 แสดงการเปรียบเทียบความเฉพาะเจาะจงในการเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวและความเฉพาะเจาะจงในการเกิดก๊าซโซลีนและปริมาณของของเหลวที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์และพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว

จากรูป 4.31 แสดงปริมาณของพาราฟิน, โอลีฟิน, อะโรมาติก ในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์และพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว จากผลการทดลองพบว่าในปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วจะให้สารผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณของพาราฟินน้อยกว่าสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ ในขณะที่พบโอลีฟินในปริมาณที่สูงกว่าเนื่องจากการถ่ายโอนของไฮโดรเจน (Hydrogen Transfer) ที่สามารถเกิดขึ้นกับสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวและกับสายโซ่กิ่งของไฮโดรคาร์บอนนั้นเกิดขึ้นได้น้อยในการใช้พอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วในปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา



รูป 4.31 แสดงปริมาณของพาราฟิน , โอลิฟิน , อะโรมาติก ในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของพอลิเอธิลีนบริสุทธิ์และ พอลิเอธิลีนที่ใช่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.32 การเปรียบเทียบค่าออกเทนของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของพอลิเอธิลีนบริสุทธิ์และพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้ว

จากรูป 4.32 เป็นการเปรียบเทียบค่าออกเทนของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของพอลิเอธิลีนบริสุทธิ์และพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้ว พบว่า ค่าออกเทนที่ได้จากพอลิเอธิลีนทั้งสองชนิดนั้นมีความใกล้เคียงกันมาก แต่อย่างไรก็ตามค่าออกเทนของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาพอลิเอธิลีนบริสุทธิ์ก็จะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อยเนื่องจากสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้วจะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในปริมาณที่สูงกว่า

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากชุดปฏิกรณ์ที่ถูกจัดสร้างและพัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแบบต่อเนื่องได้ โดยพอลิเมอร์เหลวจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ทางด้านบนและกากที่เหลือจากปฏิกิริยาจะถูกขับออกทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งนำเอาตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์ที่บีตาออกมาด้วยโดยจะถูกบรรจุในภาชนะแก้วเพื่อทำให้ด้านล่างของชุดปฏิกรณ์เป็นระบบปิด และใช้ก๊าซไนโตรเจนทำหน้าที่เป็นก๊าซตัวพาเพื่อนำเอาก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้เข้าสู่ส่วนของเครื่องควบแน่น โดยจากการทดลองพบว่าจากปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวอยู่ในช่วง 40 – 75 % โดยน้ำหนัก ได้ผลิตภัณฑ์ก๊าซอยู่ในช่วง 4 – 35 % โดยน้ำหนัก ซึ่งปฏิกิริยาจะเข้าสู่สมดุล (Steady State) หลังจากชั่วโมงที่ 4 ในการทำปฏิกิริยาและในงานวิจัยนี้อัตราการป้อนพอลิเมอร์จะอยู่ในช่วง 200 – 600 กรัมต่อชั่วโมง นอกจากนี้จากผลการทดลองจากเครื่อง TGA แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีตาสามารถลดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนได้ โดยที่ใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 0.5 – 2 % โดยน้ำหนัก

ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ดีขึ้นด้วยการเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา ในปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาสูงๆจะส่งผลให้เกิดการรวมตัว (Disproportionation) ของผลิตภัณฑ์ได้เป็นก๊าซและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในส่วนของผลิตภัณฑ์ของเหลว ดังนั้นความเฉพาเจาะจงในการเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวและก๊าซโซลีนจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

ความเฉพาเจาะจงของการเกิดสารผลิตภัณฑ์จะถูกกำหนดด้วยอัตราการถ่ายโอนไฮโดรเจน (Hydrogen Transfer) โดยที่การเพิ่มปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและระยะเวลาในการเข้าทำปฏิกิริยาจะทำให้เกิดการถ่ายโอนไฮโดรเจน (Hydrogen Transfer) ส่งผลให้พบว่ามีปริมาณของพาราฟินสูงในผลิตภัณฑ์ของเหลว การเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซตัวพา ทำให้ระยะเวลาในการเข้าทำปฏิกิริยาน้อยลงซึ่งจะมีอิทธิพลต่ออัตราการถ่ายโอนไฮโดรเจน (Hydrogen Transfer) โดยตรง แต่การเพิ่มระยะเวลาในการเข้าทำปฏิกิริยาด้วยการลดอัตราการป้อนพอลิเมอร์ไม่มีผลใดๆต่อความเฉพาเจาะจงในการเกิดของสารไฮโดรคาร์บอนจำพวกพาราฟิน , ไอเลฟินและอะโรเมติก

อัตราการไหลของก๊าซตัวพามีอิทธิพลต่อความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างชัดเจน โดยอัตราการไหลของก๊าซตัวพาสูงจะทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ลดลงเป็นผลให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาลดลง นอกจากนี้ที่อัตราการไหลของก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวพาค่าจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการรวมตัว (Oligomerization) ทำให้ได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ของผลึกคาร์บอนของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ (Light cracked product, LCL) ลดลง

ผลการทดลองที่น่าสนใจจากงานวิจัยนี้คือผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าการกระจายตัวอยู่ในช่วงเดียวกับก๊าซโซลีน (80 – 90 % โดยน้ำหนัก) การกระจายตัวของคาร์บอนของผลิตภัณฑ์ของเหลวจะถูกควบคุมด้วยขนาดของรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลท์บีตา และก๊าซโซลีนที่ได้จากงานวิจัยนี้มีปริมาณของอะโรมาติกต่ำ (3 – 7 % โดยน้ำหนัก) จึงทำให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าก๊าซโซลีนทั่วไป (30 – 33% โดยน้ำหนัก) โดยที่ผลิตภัณฑ์ของเหลวมีค่าออกเทนใกล้เคียงกับค่าออกเทนของก๊าซโซลีนทั่วไป ซึ่งค่าออกเทนนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของไฮโดรเจนที่เป็นผลของการถ่ายโอนของไฮโดรเจน (Hydrogen Transfer) , ปฏิกิริยาแตกสลายขั้นที่สอง (ปฏิกิริยาการแตกสลายที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างของซีโอไลท์)

และปฏิกิริยาการรวมตัว (Disproportionation) ผลิตภัณฑ์ของเหลวซึ่งมีค่าออกเทนสูงสามารถนำไปใช้ผสมกับน้ำมันที่คุณภาพต่ำเพื่อปรับปรุงให้มีค่าออกเทนที่สูงขึ้นเท่ากับใช้สิ่งอื่น

ปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาในงานวิจัยนี้จะให้สารผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซในปริมาณที่มากเมื่อเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยในปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนที่ใช้แล้ว การถ่ายโอนของไฮโดรเจน (Hydrogen Transfer) ที่เกิดขึ้นทำให้มีปริมาณของพาราฟินสูง อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีจุดเดือดสูง (Heavy cracked product, HCL) จะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้มีปริมาณของก๊าซโซลีนน้อยและยังมีค่าออกเทนต่ำอีกด้วย

สภาวะในการทำปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแบบต่อเนื่องที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้มีความเฉพาะเจาะจงในการเกิดก๊าซโซลีนสูงสุดดังแสดงในตาราง

Optimum operating condition		Out put (from average 7-8 hours on stream)	
Feeding material	: Waste polyethylene	Conversion	: 89.0 %g/g polymer
MFI	: 3.68 g/10 min	Gas yield	: 25.2 %g/g polymer
Catalyst content	: 1 %wt.	Liquid yield	: 63.6 %g/g polymer
Polymer feeding rate	: ~400 g/hr	Residue yield	: 11.2 %g/g polymer
Carrier gas	: N ₂	Liquid selectivity	: 72.2 %g/g product
Flow rate	: 50 ml/min	Gasoline yield	: 49.7 %g/g polymer
Temperature	: 430 °C	Gasoline selectivity	: 79.1 %g/g liquid product
Stir speed	: 50 rpm	Paraffin content	: 53.6 %vol.
Condenser 1, 2, 3	: ~ 40, -5, -5 °C	Olefin content	: 39.9 %vol.
Extruder		Aromatic content	: 6.6 %vol.
Temperature	: 100, 150, 200, 220 °C	RON	: 105.0
(Feeding, Metering, Transition, Die zone)		MON	: 98.6
		IBP	: 24.5 °C
		FBP	: 337.2 °C

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้ สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเอธิลีนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแบบต่อเนื่องถือว่าเป็นก๊าซโซลีนที่มีคุณภาพสูง ดังนั้นจึงควรจะมีการพัฒนาให้กระบวนการแบบต่อเนื่องนี้ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับระดับอุตสาหกรรมในทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้ก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังสามารถนำมาใช้ให้พลังงานความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์เพื่อลดต้นทุนได้อีกทางหนึ่งด้วย

2. ในปัจจุบันขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของพลาสติกผสม ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาปฏิกิริยาการแตกสลายของพลาสติกผสม, สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกโอเลฟิน เพื่อลดต้นทุนในการแยกขยะพลาสติก

3. ในการศึกษาปฏิกิริยาการแตกสลายของพอลิเมอร์ที่มีความหนืดสูง ใบบัดกวนภายในเครื่องปฏิกรณ์ไม่สามารถทนต่อแรงบิด (Torque) สูงๆจึงไม่สามารถทำหน้าที่พาพอลิเมอร์ลงไปภายในเครื่องปฏิกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงควรมีการพัฒนามอเตอร์ที่สามารถทนต่อแรงบิด (Torque) ได้สูงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเสื่อมสภาพของซีโอไลต์มีความสำคัญมากในการทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาในปฏิกิริยาการแตกสลาย จึงควรมีการศึกษาการเกิดโค้ก (Coke) และการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อที่สามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปใช้ใหม่โดยที่ไม่ต้องทำการเผาไล่คาร์บอนที่ติดอยู่ในโครงสร้างของซีโอไลต์อีก (Regeneration)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ronald J.B. and David T.D. **Industrial Plastic**. The goodheart-willcox company, South Holland, 1982
- [2] Derrano D.P., Aguado J., Dscola J.M. and Garagorr E. "Conversion of Low Density Polyethylene into Petrochemical Feedstocks using a Continuous Screw Kiln R **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, vol. 58-59, 2001. pp. 789-801
- [3] Masuda T., Kushino T., Matsuda T., and Mukai S.R. "Chemical Recycling of Mixture of Waste Plastics using a New Reactor System with Stirred Heat Medium Particles in Steam Atmosphere" **Chemical Engineering Journal**, vol. 82, 2001. pp. 173-181
- [4] Schirmer J., Kim J.S. and Klemm E. "Catalytic Degradation of Polyethylene using Thermal Gravimetric Analysis and Cycled-Spheres-Reactor" **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, vol. 60, 2001. pp. 205-217
- [5] Shan H.H., Dong H.J., Zhang J.F. and Niu G.L. "Experimental Study of Two-Stage Riser FCC Reactions" **Fuel**, vol. 20, 2001. pp. 1179-1185
- [6] Grieken R.V., Serrano D.P., Aguado J., Garcia R. and Rojo C. "Thermal and Catalytic Cracking of Polyethylene Under mild Conditions" **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, vol. 58-59, 2001. pp. 127-142
- [7] Murata K., Hirano Y., Sakata Y. and Uddin M.A. "Basic Study on a Continuous Flow Reactor for Thermal Degradation of Polymers" **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, vol. 65, 2002. pp. 71-90
- [8] Carl M.W. "What is a zeolite" [Online]. Available : <http://mchhpi.ch.man.ac.uk/~mbdtscw/zeolites.html>. 2001
- [9] Dyer A. **An Introduction to Zeolite Molecular Sieves**. New York : John Wiley & Son, Inc. 1998
- [10] Scott M.A., Kathlan A.C. and Prabir K.D. **Handbook of Zeolite Science and Technology**. New York : Marcel Dekker, Inc. 2003
- [11] Shamshoum E.S. "**Modified Zeolite Beta Method of Preparation**"

U.S patent no. 5256392, Oct 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Aguado J., Serrano D.P., Escola J.M., Garagorri E. and Fernandez J.A. "Catalytic Conversion of Polyolefins into Fuels over Zeolite Beta". **Polymer Degradation and Stability**, vol. 69, 2000, pp. 11-16
- [13] Newsam J.M. "Structural Characterization of Zeolite Beta." [Online]. Available : http://iza-sc.ithz.ch/IZA-SC/Atlas/data/models/BEA_mod.html. 1999
- [14] Olah G.A. and Molnar A. **Hydrocarbon Chemistry**. New York : John Wiley & Son, Inc. 1995
- [15] Nelson W.L. **Petroleum Refinery Engineering**. 4th Ed., New York: McGraw-Hill book company. 1985
- [16] Wittcoff H.A. and Reaben B.G. **Industrial Organic Chemicals**. New York : John Wiley & Sons, Inc. 1996
- [17] Bockhorn H., Hentschel J., Böhning A. and Hornung U. "Environmental Engineering: Stepwise Pyrolysis of Plastic Waste" **Chemical Engineering Science**, vol. 54, 1999, pp. 3043-3051.
- [18] Lebedev N.N. **Chemistry and Technology of Basic Organic and Petrochemical Synthesis**. vol. 1, Moscow : MIR. 1984
- [19] Speight J.G. **Fuel Science and Technology Handbook**. New York : Marcel Dekker. 1990.
- [20] Hatch L.F. and Matar S. **From Hydrocarbons to Petrochemicals**. Houston : Gulf Publishing Company Book Division. 1991
- [21] Bruce C. G. **Catalytic Chemistry**. New York : John Wiley & Sons, Inc. 1992
- [22] Maxwell I.E. and Stork W.H.J. "Introduction to Zeolite Science and Practice" **Studies in Surface science and catalysts**, vol. 58, 1991. pp. 571-579
- [23] Brydson J.A. **Plastic Materials**. 7th Ed., Oxford : Butterworth-Heinemann. 1999
- [24] Suroka W. **Fundamentals of Packaging Technology**. 2nd Ed., Virginia : The Institute of Packaging Professionals. 1999
- [25] Speight J.G. **The Chemistry and Technology of Petroleum**, 3rd Ed., New York : Marcel Dekker. 1999
- [26] Acan S.F., Franco B. and Leo F.A. "Ultraprolytic Cracking of Polyethylene-A High Yield Recycling Method" **Chemical Engineering Science**, vol. 51, no. 11, 1996. pp. 2805-2810

- [27] Uddin M.A., Sadata Y., Muto A., Shiraga Y. and Koizumi K. "Catalytic Degradation of Polyethylene and Polypropylene into Liquid Hydrocarbons with Mesoporous Silica" **Microporous and Mesoporous Materials**, vol. 21, 1998. pp. 557-564
- [28] Karagoz S., Yanik J., Ucar S., Saglam M. and Song C. "Catalytic and Thermal Degradation of High-Density Polyethylene in Vacuum Gas Oil over Non-Acidic and Acidic catalysts" **Applied Catalysis A: General**, vol. 242, 2003. pp. 51-62
- [29] Garforth A., Fiddy A., Lin Y.H., Siadhali A.G., Sharratt P.N. and Dwyer J. "Catalytic Degradation of High Density Polyethylene: An Evaluation of Mesoporous and Microporous Catalysts using Thermal Analysis" **Thermochimica Acta**, vol. 294, 1997. pp. 65-69
- [30] Park D.W., Hwang E.Y., Kim J.R., Choi J.K., Kim Y.A. and Woo J.C. "Catalytic degradation of Polyethylene over Solid Acid Catalysts" **Polymer Degradation and Stability**, vol. 65, 1999. pp. 193-198
- [31] Aguado J., Serrano D.P., Romero M.D. and Escola J.M. "Catalytic Conversion of Polyethylene into Fuels over Mesoporous MCM-41" **Chemical Communications**, 1996, pp. 725-726
- [32] Seddegi Z.S., Budrthumal U., Al-Arfaj A.A., Al-Amer A.M. and Barri S.A.I. "Catalytic Cracking of Polyethylene over all-silica MCM-41 Molecular Sieve" **Applied Catalysis A: General**, vol. 225, 2002. pp. 167-176
- [33] Smirniotis P.G. and Ruckenstein E. "Comparison of the Performance of ZSM-5, β Zeolite, Y, USY, and their Composites in the Catalytic Cracking of n-Octane, 2,2,4-Trimethylpentane and 1-Octene." **Industrial & Engineering Chemistry Research**, vol. 33, 1994. pp. 800-813
- [34] Garforth A.A., Lin Y.H., Sharratt P.N. and Dwyer J. "Production of Hydrocarbons by Catalytic Degradation of High Density Polyethylene in a Laboratory Fluidized-bed Reactor" **Applied Catalysis A : General**, vol. 169, 1998. pp. 331-342
- [35] Chaiwaf Tachakritikul "Synthetic Fuels from Cracking of Polyethylene using Zeolite Catalysts in Batch and Continuous Processes" Thesis of Mater Degree of Petrochemicals and Hydrocarbon Chemistry Program, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. 2001

- [36] Vishu S.E. **Handbook of Plastics Testing Technology**, 2nd Ed.; New York: John Wiley & Son, Inc. 1999. pp. 174-178
- [37] Myer M.E., Stollsteimer J. and Wims A.M. "Determination of Hydrocarbon-Type Distribution and Hydrogen/Carbon Ratio of Gasolines by Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry." **Analytical Chemistry**, vol. 47, no. 12, Oct. 1975, pp. 2010-2015
- [38] Myer M.E., Stollsteimer J. and Wims A.M. "Determination of Gasoline Octane Numbers from Chemical Composition" **Analytical Chemistry**, vol. 47, no. 13, Nov. 1975. pp. 2301-2304
- [39] **Annual Book of ASTM Standards**, vol. 05.01, section 5, D56-D2596
- [40] Park J. W., Kim J. and Seo G. "The Effect of Pore Shape on the Catalytic Performance of Zeolites in the Liquid-phase Degradation of HDPE" **Polymer Degradation and Stability**, vol. 76, 2002. pp. 495-501
- [41] You S. Y., Kim J. and Seo G. "Liquid-phase Catalytic Degradation of Polyethylene Wax over MFI Zeolites with different Particle Sizes" **Polymer Degradation and Stability**, vol. 70, 2000. pp. 365-371