



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเปลี่ยนพลาสติกไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

โดย ผศ.ดร. อภิญา ดวงจันทร์

15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2546

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเปลี่ยนพลาสติกไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. ผศ.ดร.อภิญา ดวงจันทร์ | ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 2. ศ.ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ | ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ห้องสมุด

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการเปลี่ยนพลาสติกไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้รับทุนวิจัยหลังปริญญาเอก ปี 2543 จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ตามสัญญาเลขที่ PDF/23/2543 ซึ่งบัดนี้ งานวิจัยได้เสร็จสมบูรณ์แล้ว ทางคณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณทางสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

Project Code: PDF/23/2543

Project Title: Conversion of Plastics to Fuel Oils

Investigator: 1. Asst.Prof.Dr. Apinya Duangchan

2. Prof.Dr. Somsak Damronglerd

E-mail Address: fengapd@nontri.ku.ac.th

Project Period: 09/2000 – 11/2003

Gasoline production from catalytic hydrocracking of mixed plastics (HDPE:LDPE:PP:PS=1:1:1:1) with metal catalysts was performed in a 1 litre autoclave reactor, 500 psi H₂, 440°C, and 1 h. The catalysts were prepared in reverse micelles and supported on alumina. The main objectives of this work are to study the effect of different supports (activated carbon and alumina) on the composition of the products and product yields and to study the activities of Co, Mo, and Ni catalysts compared to the co-catalysts NiMo, CoMo, and NiCo at different ratios of 2.6:1, 1:1, and 1:2. The product yields (gas, oil, and solid), distillate fractions, and BTX content were investigated using vacuum filtration, ASTM distillation, and gas chromatograph, respectively. The results show the activities of single catalysts, by considering the oil yields, in decrease order as: Mo $\cong$ Co>Ni. The activities of co-catalysts at different ratios in decrease order are: NiMo: 1:1>2.6:1>1:2, CoMo: 1:1>2.6>1:2, and NiCo: 1:2 $\cong$ 2.6:1>1:1. Among the co-catalysts in this study NiCo (1:2) is comparable with the NiMo (1:1) and the CoMo (1:1) showed the poorest activity. The results from the reactions using different supports suggested using Ni on activated carbon and Co and Mo on alumina. The suitable ratio of Ni:Mo is 1:1 on alumina whereas Co:Mo should be on activated carbon at ratio of 1:1. For NiCo the best ratio is 2.6:1. The highest oil yield was obtained from NiMo/alumina at the ratio of 1:1 (75.3%).

Keywords: Reverse micelles, Plastics, Hydrocracking

รหัสโครงการ: PDF/23/2543

ชื่อโครงการ: การเปลี่ยนพลาสติกไปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง

ชื่อนักวิจัย: ผศ.ดร.อภิญา ดวงจันทร์

ศ.ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ

E-mail Address: fengapd@nontro.ku.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 09/2543 – 11/2546

การผลิตน้ำมันก๊าซโซลีนจากพลาสติกผสม (HDPE:LDPE:PP:PS=1:1:1:1) โดย
ปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิงด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา กระทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนขนาด 1 ลิตร
ภายใต้ความดันไฮโดรเจน 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และระยะเวลา
1 ชั่วโมง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เตรียมในรีเวอร์ส ไมเซลล์ และนำมาเกาะบนอลูมินา หรือถ่านกัม-
มันต์ เพื่อศึกษาผลของชนิดของตัวรองรับต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ และปริมาณที่ได้ และ
เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาของโลหะเดี่ยว Co, Mo, และ
Ni เทียบกับโลหะคู่ได้แก่ NiMo, CoMo, และ NiCo ที่อัตราส่วน 2.6:1, 1:1, และ 1:2 ผลิตภัณฑ์
ที่ได้ (ก๊าซ น้ำมัน และของแข็ง) สัดส่วนของน้ำมันจากการกลั่น และปริมาณเบนซีน โทลูอีน
และไซลีน (BTX) หาได้จากการกรองภายใต้สุญญากาศ การกลั่นตามมาตรฐาน ASTM และจาก
เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟตามลำดับ ผลการทดลองความสามารถเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา
เดี่ยวพิจารณาจากปริมาณน้ำมันที่ได้จากน้อยไปมากคือ $Mo \cong Co > Ni$ และตัวเร่งปฏิกิริยาคู่จาก
น้อยไปมากดังนี้ NiMo: $1:1 > 2.6:1 > 1:2$, CoMo: $1:1 > 2.6:1 > 1:2$, และ NiCo: $1:2 \cong 2.6:1 > 1:1$ จะ
เห็นว่า NiCo 1:2 มีความสามารถเร่งปฏิกิริยาใกล้เคียงกับ NiMo 1:1 และ CoMo 1:1 มีความ
สามารถต่ำสุด จากผลการใช้ตัวรองรับต่างชนิดกันทำให้ทราบว่า ควรใช้ถ่านกัมมันต์รองรับ Ni
และใช้อลูมินารองรับ Co และ Mo อัตราส่วนของ Ni:Mo ที่เหมาะสมที่สุดคือ 1:1 บนอลูมินาใน
ขณะที่ควรรองรับ Co:Mo บนถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วน 1:1 สำหรับ NiCo อัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ
2.6:1 น้ำมันที่ได้ปริมาณที่สุดได้จากตัวเร่งปฏิกิริยา NiMo/อลูมินา ที่อัตราส่วน 1:1 (75.3%)

คำสำคัญ: รีเวอร์สไมเซลล์ พลาสติก ไฮโดรแครกกิง

บทนำ

ปัจจุบันมีการใช้พลาสติกกันอย่างแพร่หลายและเพิ่มปริมาณมากขึ้นทุกปี เป็นสาเหตุให้เกิดขยะพลาสติกจำนวนมาก และเนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีการสลายตัวยากกว่าวัสดุอื่น การนำขยะพลาสติกมาทำการไพโรไลซิสคือการเผาด้วยความร้อนในภาวะไร้ออกซิเจนนี้เป็นเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ไปเป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นพลังงานบริสุทธิ์อยู่ในรูปของ ก๊าซ น้ำมัน และถ่านที่ใช้งานได้สะดวก มีกำมะถันประกอบอยู่ค่อนข้างต่ำ เป็นกระบวนการที่มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมค่อนข้างสูงสามารถติดตั้งอยู่ในเมืองหรือในที่ชุมชนได้

Kaminsky (1992) ได้ไพโรไลซิสพอลิเอทิลีน (PE), พอลิพรอพิลีน (PP) และพอลิสไตรีน (PS) ที่ 760, 740, และ 580°C ตามลำดับ ได้น้ำมัน 42.4, 48.8, และ 24.6 wt% ตามลำดับ และได้ทดลองนำพลาสติกทั้งสามมาผสมกันและไพโรไลซิสที่ 750°C พบว่าได้น้ำมัน 46.6%

Liu และคณะ (2000) ได้ไพโรไลซิส PS ที่ 450-700°C ได้น้ำมันสูงสุด 98.7wt% ที่ 600°C น้ำมัน heavy oils ที่ผลิตได้สามารถนำไปปรับปรุงให้มีคุณภาพสูงขึ้นได้โดยกระบวนการกะตะไลติก แครกกิง (catalytic cracking) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ เช่น Songip และคณะ (1994) ใช้ซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 ในบรรยากาศของไนโตรเจน และ Hashimoto และคณะ (1994) ใช้ Ni/REY บนซีโอไลต์ ในบรรยากาศของไอน้ำ

Hashimoto และคณะ (1994) ได้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/REY ซีโอไลต์ โดยใช้เทคนิคการแลกเปลี่ยนอออนของ นิเกิล คลอไรด์ และคลอไรด์ของโลหะธาตุหายาก (rare earth, RE) กับอออน Na⁺ ของซีโอไลต์ชนิด NaY และได้ทดลองใช้ Ni/REY ซีโอไลต์ ซึ่งประกอบด้วย Ni และโลหะธาตุหายากบนซีโอไลต์ชนิด Y นี้ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยากะตะไลติก แครกกิงของ heavy oils (ที่ได้จากปฏิกิริยาไพโรไลซิสของพลาสติกพอลิเอทิลีน) ในบรรยากาศของไอน้ำ และเปรียบเทียบผลที่ได้กับการทดลองเมื่อใช้ซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 ในบรรยากาศของไนโตรเจน พบว่า Ni/REY มี activity คงที่ในขณะที่ซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 เสื่อมสภาพลงไปเรื่อยๆ เมื่อนำกลับมาใช้งานหลาย ๆ ครั้งหลังการเผาโดกที่สะสมอยู่บนตัวเร่งปฏิกิริยาออกไป พบว่า Ni/REY มี selectivity ให้ก๊าซโซลีนสูงกว่า ZSM-5 อีกด้วย ประมาณร้อยละ 45

Joo และ Guin (1998) ได้ปรับปรุงน้ำมันที่ได้จากการไพโรไลซิสพลาสติกผสมพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE), PP และ PS ด้วยปฏิกิริยา hydrotreating และ hydrocracking ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล/โมลิบดีนัม (Ni/Mo) ได้น้ำมันก๊าซโซลีน 46-53%

Garforth และคณะ (1998) ได้ศึกษาการเปลี่ยน HDPE ไปเป็นน้ำมันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด HZSM-5 ที่อุณหภูมิ 290-430°C ได้ ปริมาณน้ำมันสูงสุดที่ 290°C เท่ากับ 13%

นอกจากนี้ได้มีผู้ศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นในการปรับปรุงคุณภาพของ heavy oils เช่นการใช้ FeSO₄, molybdenum naphthenate และ organometallic compounds ชนิดต่าง ๆ (Lott และคณะ, 1993; Bearden และ Aldridge, 1979; Dabkowski และคณะ, 1991) รวมทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมในรีเวอร์ส ไมเซลล์ (reverse micelles) (Boutonnet และคณะ,

1987; Martino และคณะ, 1994; Ravet และคณะ, 1987; Duangchan, 1998; นิทัศน์ และรุ่งนุช, 2541)

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการสลายพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของโลหะ 3 ชนิด คือ นิกเกิล (Ni) โคบอลต์ (Co) และโมลิบดีนัม (Mo) ซึ่งเกาะบนตัวรองรับ 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ และอะลูมินา โดยศึกษาถึงผลของอัตราส่วนโลหะที่เกาะบนตัวรองรับ และ ผลของโลหะชนิดต่าง ๆ ที่เกาะบนตัวรองรับทั้งสองชนิดที่มีต่อปริมาณและคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมในรีเวอร์ส ไมเซลล์

วัตถุประสงค์

1. ผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงก๊าซโซลีนจากพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนทั้งชนิดความหนาแน่นสูงและต่ำ พอลิสไตรีน และพอลิพรอพิลีน
2. ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมในรีเวอร์สไมเซลล์ โดยวิธีจุ่มชุ่ม และ ซีโอไลต์
3. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาได้แก่ ชนิดของโลหะ อัตราส่วนของโลหะ และชนิดของตัวรองรับ

ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาถึงผลของโลหะชนิด Ni, Co และ Mo ที่เตรียมในรีเวอร์ส ไมเซลล์บนตัวรองรับถ่านกัมมันต์และอะลูมินา
2. ศึกษาถึงผลของอัตราส่วนโลหะ Ni:Mo, Co:Mo, และ Ni:Co เท่ากับ 1:2, 2.6:1 (ต้องการเตรียม 2:1 แต่ได้ 2.6:1 จึงใช้อัตราส่วนนี้) และ 1:1
3. เปรียบเทียบ activity และ selectivity ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมในรีเวอร์สไมเซลล์ และวิธีจุ่มชุ่มเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด ZSM-5

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงก๊าซโซลีนจากพลาสติก เป็นการลดปริมาณขยะพลาสติก และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางอ้อม
2. การพัฒนาคุณภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีประสิทธิภาพสูงและสามารถผลิตได้เอง จะช่วยลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศจากการนำเข้าตัวเร่งปฏิกิริยาได้มาก สามารถพึ่งพาตนเองได้ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยานี้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ในภาคอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี
3. การพัฒนาการเรียนและการวิจัยในระดับอุดมศึกษา โดยใช้เป็นหัวข้องานวิจัยของนักศึกษา และทำการตีพิมพ์ผลงานที่ได้เมื่องานวิจัยเสร็จสิ้น

วิธีการทดลอง

ในการเปลี่ยนพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ทำได้โดยกระบวนการไพโรไลซิส คือ การให้ความร้อนแก่พลาสติกในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน หรือมีปริมาณออกซิเจนที่ควบคุมได้เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ (combustion) ซึ่งในการทดลองนี้ทำการไพโรไลซิสภายใต้ความดันบรรยากาศของไฮโดรเจน (ไฮโดรแครกกิง) ประมาณ 500 psig และให้ความร้อนถึงอุณหภูมิประมาณ 440°C ซึ่งภายใต้สภาวะนี้จะสามารถเปลี่ยนพลาสติกให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้พลาสติกที่นำมาทำการทดลองมีทั้งหมด 4 ชนิดคือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิพรอพิลีน (PP) และ พอลิสไตรีน (PS) และเศษพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน

หลังจากที่เปลี่ยนพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงแล้ว ทำการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันที่ได้โดยนำน้ำมันที่ได้มากลั่นลำดับส่วนเพื่อแยกน้ำมันออกช่วงจุดเดือดต่าง ๆ จากนั้นนำน้ำมันช่วงก๊าซไฮลีนไปตรวจวัดค่า เบนซิน โทลูอิน และไซลีน และศึกษากระบวนการไฮโดรแครกกิงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni, Co, Mo, NiCo, NiMo และ CoMo บนตัวรองรับถ่านกัมมันต์ และ อะลูมินา

1. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

ในงานวิจัยนี้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของโลหะชนิด Ni, Co, Mo, NiCo, NiMo และ CoMo ซึ่งเกาะอยู่บนตัวรองรับ 2 ชนิด คือ อะลูมินาและถ่านกัมมันต์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (w/o) มีปริมาณโลหะในตัวเร่งปฏิกิริยา 2% โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบผลจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยารวมที่มีปริมาณของโลหะในอัตราส่วนต่างกันคือ 2:6:1, 1:1 และ 1:2

1.1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน ประกอบด้วยเกลือนิกเกิลไนเตรด ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 99% เกลือโคบอลต์ไนเตรด ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 99% จากบริษัทฟามิทาเลียคาร์โลเออบา โมลิบดีนัม (V) คลอไรด์ (MoCl_5) 99% จากบริษัท Merck และนอร์มอลเฮกเซน (n-hexane) 95% จากบริษัทเอเซียแปซิฟิกส์เปเชียลตีเคมีคอล จำกัด ใช้สารลดแรงตึงผิวพอลิออกซีเอทิลีน 4 ลอริลอีเทอร์ (polyoxyethylene 4 lauryl ether, PE4LE) จากบริษัทซิกมาเคมีคอล สารที่ใช้เป็นตัวรีดิวซ์ไอออนของโลหะคือ ไฮดร่าซีนเนียมไฮเดรต ($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 99% จากบริษัทซิกมาเคมีคอล ตัวรองรับที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ผงอะลูมินา ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, BET = $120\text{-}190\text{ m}^2/\text{g}$) จากบริษัท Merck และถ่านกัมมันต์ (activated carbon, C) จากบริษัทเอพีเอสเอแจคไฟน์เคมี

สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมโดยวิธีจุ่มชุบ ใช้เกลือนิกเกิลไนเตรด ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 99% เกลือโคบอลต์ไนเตรด ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) และแอมโมเนียมโมลิบเดต ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)

99% จากบริษัทเอพีเอสเอแจคไฟน์เคมี นำมาละลายเป็นสารละลายของโลหะโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย ใช้ผงอะลูมินา และถ่านกัมมันต์ เป็นตัวรองรับ

1.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (แบบรีเวอร์ส ไมเซลส์)

เตรียมสารละลายไมโครอิมัลชัน โดยชั่ง $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ปริมาณ 4.95 กรัม (สำหรับปริมาณโลหะ 2% โดยน้ำหนักในตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 50 กรัม) ใส่ขวดที่มีฝาปิด เติมน้ำกลั่น 0.5 มิลลิลิตร และเติมเฮกเซนปริมาตร 50 มิลลิเมตร จากนั้นค่อย ๆ เติม PE4LE จนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันสีเขียวใส (ประมาณ 16 มิลลิลิตร) เติมหิโดรควินินเนียมไฮเดรต 11.5 มิลลิลิตร เพื่อรีดิวส์ไอออน ของโลหะที่อยู่ในน้ำให้เกิดเป็นอนุภาคของโลหะ Ni

จากนั้นแช่ตัวรองรับอะลูมินา 49 กรัม ในสารละลายที่เตรียมได้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้อนุภาคเกาะบนตัวรองรับและเพื่อระเหยเฮกเซนบางส่วนออก ตัวอย่างที่ได้นำมาอบที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอบที่ 250 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารลดแรงตึงผิว (PE4LE) ออก จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$

สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ และ $\text{Mo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ สามารถเตรียมได้โดยวิธีเดียวกันโดยใช้ $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ หรือ MoCl_5 แทน $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ตามลำดับ (หมายเหตุ: เนื่องจาก MoCl_5 เป็นสารที่ไวต่อการทำปฏิกิริยากับความชื้น ดังนั้นการชั่ง MoCl_5 ต้องทำภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน และไม่ต้องเติมน้ำกลั่นในขั้นตอนการเตรียมสารละลาย)

การเปลี่ยนชนิดของตัวรองรับจากอะลูมินาเป็นถ่านกัมมันต์ทำให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาของโลหะบนถ่านกัมมันต์

1.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีจุ่มชุ่ม

เตรียมสารละลายเกลือของโลหะ โดยทำการละลายนิกเกิลไนเตรท (สำหรับปริมาณโลหะ 2% โดยน้ำหนักในตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 50 กรัม) ในน้ำกลั่น 29.4 มิลลิลิตร จากนั้นแช่ตัวรองรับอะลูมินา 49 กรัม (ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์) ในสารละลายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง คนเป็นระยะ นำตัวอย่างที่ได้มาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และแคลไซน์ในเตาเผาอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากการแคลไซน์ นำตัวอย่างไพริดิส์ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ในบรรยากาศก๊าซไฮโดรเจนที่มีอัตราการไหล 60 ลบ.ซม/นาที ได้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ที่มีสีเทาเข้ม สำหรับการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Mo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ใช้สารแอมโมเนียมโมลิบเดตแทนนิกเกิลไนเตรด

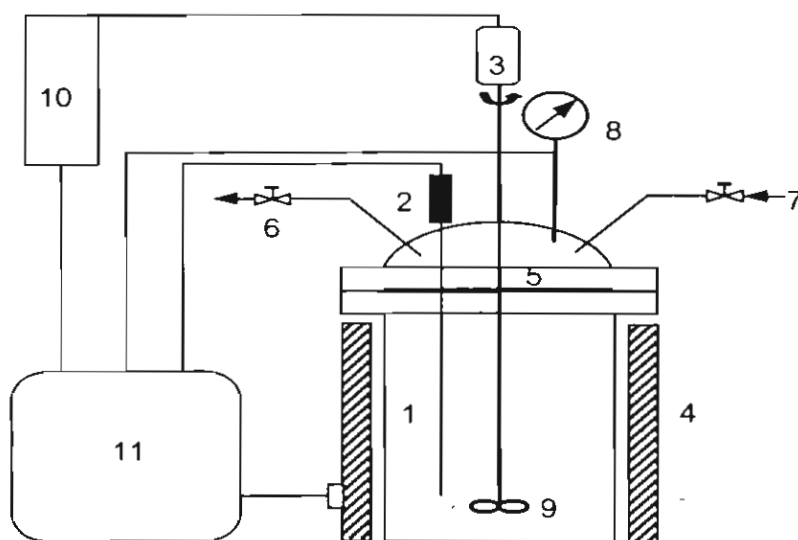
1.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5

ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 ที่ใช้ในการทดลองนี้สังเคราะห์ตามวิธีของ มณี (2545) โดยใช้ซิลิกาที่ได้จากแกลบ ซึ่งมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface) 169.38 ตารางเมตร

ต่อกรัม สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์คือ อุณหภูมิ 220°C อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 50 อัตราส่วนไฮดรอกไซด์ไอออนต่อซิลิกาเท่ากับ 0.3 อัตราส่วนเตตระโพรฟิลแอมโมเนียมโบรไมด์ต่ออะลูมินาเท่ากับ 0.5 เวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 4 ชั่วโมง และความดันเกจเริ่มต้น 3 บาร์

2. เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง (Autoclave Reactor)

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้สำหรับศึกษากระบวนการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและความดันสูง (autoclave reactor) โดยมีใบกวนที่สามารถควบคุมความเร็วรอบของการหมุนได้ (ในงานวิจัยนี้ใช้ความเร็วรอบใบกวน 400 รอบต่อนาที) ส่วนประกอบของเครื่องแสดงดังรูปที่ 1 ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์เป็นภาชนะทรงกระบอกมีขนาดบรรจุ 1000 ml ฝาปิดสามารถทนความดันได้สูงประมาณ 5,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ให้ความร้อนผ่านเตาไฟฟ้าที่ต่อเชื่อมเข้ากับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ มีอุณหภูมิดำเนินการสูงสุดไม่เกิน 500°C องศาเซลเซียส ฝาของเครื่องปฏิกรณ์ประกอบด้วย ท่อนำก๊าซเข้า ท่อนำก๊าซออก มาตรวัดความดัน วาล์วเปิดปิดท่อ และเทอร์โมคัปเปิลที่เสียบเข้าไปในภาชนะทรงกระบอกเพื่อวัดอุณหภูมิภายในภาชนะ ภายในถังมีใบกวนขับเคลื่อนด้วยแม่เหล็ก และขดลวดระบายความร้อน (cooling coil) ซึ่งมีไว้เพื่อเป็นตัวช่วยควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่าที่ตั้งไว้ วาล์วจะเปิดให้น้ำเย็นเข้าไปเพื่อช่วยลดอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ



- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. ตัวเครื่องปฏิกรณ์ (reactor body) | 7. ท่อนำก๊าซเข้า (gas inlet) |
| 2. เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) | 8. มาตรวัดความดัน (pressure gage) |
| 3. Magnetic drive | 9. ใบกวน (impeller) |
| 4. เตาให้ความร้อน (heater) | 10. มอเตอร์ (motor) |
| 5. ปะเก็น (gasket) | 11. เครื่องควบคุม (controller) |
| 6. ท่อนำก๊าซออก (gas outlet) | |

รูปที่ 1 เครื่องปฏิกรณ์แบบถังกวนภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง

3. กระบวนการไฮโดรแครกกิ่ง

เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าไปช่วย ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองนี้คือ Ni, Co, Mo, NiCo, NiMo และ CoMo ในรีเวอร์สไมเซลล์เกาะบนอะลูมินา และบนถ่านกัมมันต์ การไฮโดรแครกกิ่งทำโดยนำเม็ดพลาสติกชนิด HDPE, LDPE, PS และ PP มาชนิดละ 50 g ใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ และใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด Ni บนตัวรองรับอะลูมินา 2.7 g และ Co อะลูมินา 1.03 g (มีโลหะ 2% บนตัวรองรับ) ซึ่งมีอัตราส่วนของ Ni:Co เท่ากับ 2.6:1 และเปลี่ยนอัตราส่วนและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:2 ทำการทดลองที่ อุณหภูมิ 440°C ความดัน 500 psi ความเร็วรอบใบพัด 400 รอบต่อนาทีและเวลา 1 ชั่วโมง

4. การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมัน

4.1 การกลั่นลำดับส่วน

ทำการกลั่นลำดับส่วนโดยวิธี ASTM D-86 เพื่อหาปริมาณน้ำมันในช่วงจุดเดือดต่าง ๆ นำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่งประมาณ 50 ml บรรจุลงในเครื่องกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมค่อย ๆ ให้ความร้อน เมื่อถึงจุดเดือดน้ำมันจะระเหยกลายเป็นไอ ผ่านเข้าไปในส่วนควบแน่นซึ่งบรรจุน้ำแข็งผสมเกลือ ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 4°C ไอน้ำมันจะกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวอีกครั้ง ทำให้สามารถแยกและวัดปริมาณของน้ำมันตามจุดเดือดที่ต้องการได้ ซึ่งในการทดลองนี้ต้องการแยกน้ำมันออกเป็น 4 ช่วง คือ <200°C (gasoline) 200-250°C (kerosene) 250-370°C (gas oils) และ >370°C (residue)

4.2 การหาปริมาณเบนซิน โทลูอินและไซลีน

หลังจากทำการกลั่นลำดับส่วน แยกน้ำมันออกเป็นช่วงจุดเดือดต่าง ๆ กันแล้ว นำน้ำมันที่มีช่วงจุดเดือดที่ต่ำกว่า 200°C (gasoline) มาหาปริมาณของ เบนซิน โทลูอิน และไซลีน ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟ (GC) ซึ่งเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟที่ใช้เป็นแบบ FID (flame ionize detector) ยี่ห้อ SHIMADSU รุ่น GC-8A ซึ่งใช้คอลัมน์แบบ OV101 ก่อนทำการตรวจสอบได้ทำการกราฟมาตรฐานของสารที่ต้องการทดสอบก่อน ซึ่งในการทดลองนี้ทำการกราฟมาตรฐานของ เบนซิน โทลูอิน และไซลีน ที่สภาวะที่คงที่ของ อุณหภูมิของ injection port 100°C อุณหภูมิคอลัมน์เริ่มต้น 35°C และ อุณหภูมิสุดท้าย 150°C อัตราการเพิ่มของความร้อน 20°C/นาที และเปลี่ยนแปลงปริมาตรของสารบริสุทธิ์ 1, 2 และ 3 μ l เมื่อได้กราฟมาตรฐานของสารบริสุทธิ์แต่ละตัวแล้ว จึงนำน้ำมันที่ได้จากการไฮโดรแครกกิ่งที่ต้องการตรวจสอบ (น้ำมันส่วนที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 200°C) มาปริมาณ 1 μ l ฉีดเข้าเครื่อง GC ที่สภาวะเดิม แล้วนำผลที่ได้มาเทียบค่ากับกราฟมาตรฐานที่ได้ จะทำให้ทราบค่า เบนซิน โทลูอิน และไซลีนที่มีอยู่

ผลการทดลองและวิเคราะห์

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ 3 ชนิด คือ Ni, Co, และ Mo บนตัวรองรับอะลูมินาและถ่านกัมมันต์ต่อการไฮโดรแครกกิงพลาสติกผสม 4 ชนิด คือ HDPE, LDPE, PP, และ PS ในอัตราส่วนร้อยละ 25 โดยควบคุมความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นที่ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส (ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียสเกิด wax มาก และที่ 450 องศาเซลเซียส ได้น้ำมันน้อยกว่าที่ 440 องศาเซลเซียส จึงทำการไฮโดรแครกกิงที่อุณหภูมินี้) เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที

1. ตัวเร่งปฏิกิริยา

ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีไมโครอิมัลชัน ได้เตรียมโลหะในไมโครอิมัลชันก่อนแล้วจึงนำโลหะนี้ไปเกาะบนตัวรองรับ จากงานวิจัยของ Duangchan (1998) ซึ่งได้ผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะในวิธีเดียวกันได้ Co และ Mo ขนาดประมาณ 5 และ 7 นาโนเมตร ส่วน Ni ขนาดประมาณ 3 นาโนเมตร (Weerapakkaron, 2003) และเมื่อนำไปเกาะบนตัวรองรับพบว่าการกระจายที่ดีไม่เกาะรวมตัวกัน ส่วน Ni ที่เตรียมโดยวิธีจุ่มชุมนั้นมีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อยคือประมาณ 6 นาโนเมตร และมีการกระจายตัวดีแต่ไม่ดีเท่ากับแบบรีเวอร์สไมเซลล์ (Weerapakkaron, 2003)

2. ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนตัวรองรับต่างชนิด ต่อการไฮโดรแครกกิงพลาสติกผสม

ทำการศึกษาตัวรองรับ 2 ชนิดคือตัวรองรับอะลูมินา และตัวรองรับถ่านกัมมันต์

2.1 ตัวรองรับอะลูมินา

จากการศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ 3 ชนิด คือ Ni, Co, และ Mo บนตัวรองรับอะลูมินาต่อการไฮโดรแครกกิงพลาสติกผสม 4 ชนิด คือ HDPE, LDPE, PP, และ PS ในอัตราส่วนร้อยละ 25 โดยควบคุมความดันไฮโดรเจนเริ่มต้นที่ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ได้ผลดังรูปที่ 2 ถึง 4 และในตารางภาคผนวกที่ 1 ถึง 3

เมื่อทำการศึกษาถึงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะต่างชนิดกันบนตัวรองรับอะลูมินาในปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิงพลาสติกผสม พบว่าผลิตภัณฑ์ที่พบมากที่สุดคือ ผลิตภัณฑ์น้ำมัน รองลงมาคือ ผลิตภัณฑ์ก๊าซ และที่พบในปริมาณน้อยมากคือผลิตภัณฑ์ของแข็ง การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ก๊าซสูงที่สุด (31.4%) แต่ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันต่ำสุด (65.9%) พบปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงสุดจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (69.0%) รองลงมาคือ $\text{Mo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (68.7%) สำหรับปริมาณของแข็งพบมากที่สุดจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (2.7%) ตามด้วย $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (0.5%) และ $\text{Mo}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (0.4%)

ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni, Co, และ Mo บนอะลูมินา

ก๊าซ	Ni (31.4%) > Mo (30.9%) > Co (30.5%)
น้ำมัน	Co (69.0%) > Mo (68.7%) > Ni (65.9%)
ของแข็ง	Ni (2.7%) > Co (0.5%) > Mo (0.4%)

จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกันในอัตราส่วน 1:1 พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NiMo บนตัวรองรับอะลูมินาให้ผลที่ดีกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเดี่ยว ๆ (เกิด synergistic effect) โดยให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงสุด (75.3%) และผลิตภัณฑ์ก๊าซต่ำสุด (24.2%) ขณะที่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NiCo ไม่แสดงผลที่ดีขึ้น กล่าวคือให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันต่ำสุด คือ 67.3% และผลิตภัณฑ์ก๊าซสูงสุด 32.0%

ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมอัตราส่วน 1:1 บนอะลูมินา

ก๊าซ	NiCo (32.0%) > CoMo (26.8%) > NiMo (24.2%)
น้ำมัน	NiMo (75.3%) > CoMo (72.6%) > NiCo (67.3%)
ของแข็ง	NiCo (0.7%) > CoMo (0.6%) > NiMo (0.5%)

จากการกลั่นผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการไฮโดรแครกกิงพลาสติกผสมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะต่างชนิดกันบนตัวรองรับอะลูมินา ได้ผลดังรูปที่ 3 ซึ่งผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co/Al₂O₃ ให้ผลที่ดีที่สุดโดยให้ปริมาณก๊าซโซลีนสูงสุด (48.1%) รองลงมาคือ Mo/Al₂O₃ (47.3%) และ Ni/Al₂O₃ (44.8%) สำหรับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Al₂O₃ ไม่เพียงแต่ให้ปริมาณก๊าซโซลีน (gasoline) ต่ำแล้วยังให้เรสซิดิว (residue) สูงอีกด้วย ขณะที่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co/Al₂O₃ และ Mo/Al₂O₃ ให้ปริมาณ ก๊าซโซลีน เคโรซีน (kerosene) ก๊าซออยล์ (gas oil) และ เรสซิดิว ไกล่เคียงกัน

ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนตัวรองรับอะลูมินา

ปริมาณ ก๊าซโซลีน:

NiMo (54.1%) > CoMo (48.4%) > NiCo (48.2%) > Co (48.1%) > Mo (47.3%) > Ni (44.8%)

ปริมาณ เคโรซีน:

NiMo (13.0%) = NiCo (13.0%) > Mo (12.7%) > CoMo (12.0%) > Co (11.4%) > Ni (10.0%)

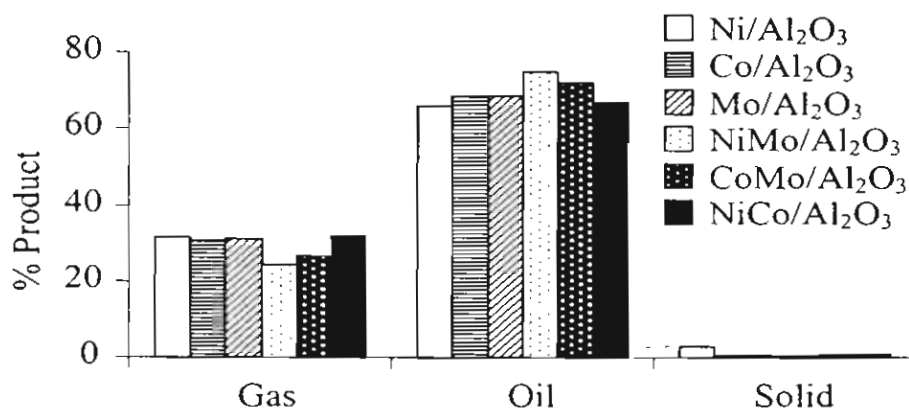
ปริมาณ ก๊าซออยล์:

Co (9.3%) > Mo (9.2%) > Ni (6.9%) > CoMo (5.3%) > NiMo (1.2%) > NiCo (0.8%)

ปริมาณ เรสซิดิว:

Mo (30.8%) < Co (31.2%) < NiMo (31.7%) < CoMo (34.3%) < NiCo (38.0%) < Ni (38.3%)

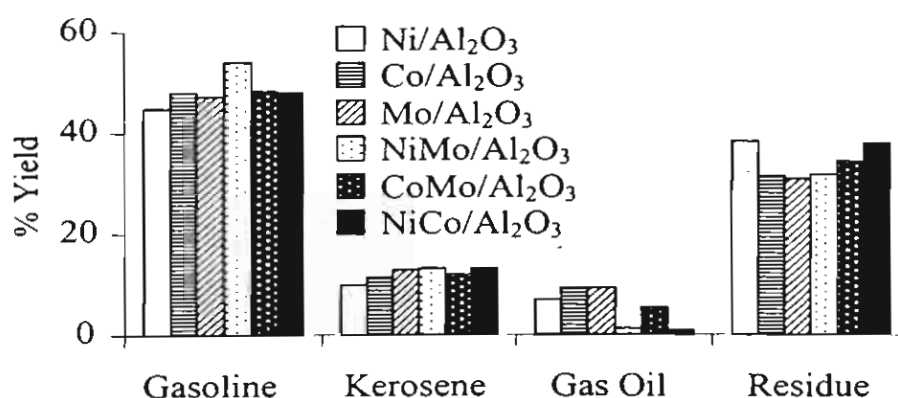
จากผลที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยา NiMo ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงสุดคือ ปริมาณก๊าซโซลีนสูงสุด (54.1%) ให้ปริมาณก๊าซออยล์ต่ำสุด (1.2%) และให้เรสซิดิวต่ำ (31.7%) สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา CoMo และ NiCo ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกันคือปริมาณก๊าซโซลีน (48.4 และ 48.2% ตามลำดับ) ปริมาณเคโรซีน (12.0 และ 13.0% ตามลำดับ) แต่ตัวเร่งปฏิกิริยา CoMo ดีกว่า NiCo เนื่องจากให้ปริมาณก๊าซออยล์สูงกว่า (5.3 และ 0.8% ตามลำดับ) และให้เรสซิดิวต่ำกว่า (34.3 และ 38.0% ตามลำดับ)



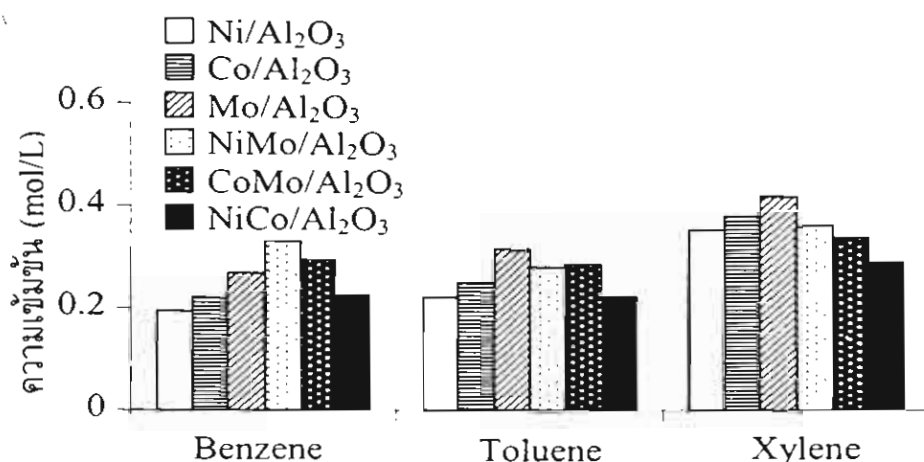
รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่ง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนอะลูมินาที่เตรียมโดยวิธีวีร์สไมเชลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

ปริมาณของสารอะโรมาติกในผลิตภัณฑ์ก๊าซโซลีน (ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์เฉพาะปริมาณเบนซีน โทลูอีน และไซลีน เท่านั้น) ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซได้ผลแสดงดังรูปที่ 4 ผลที่ได้แสดงแนวโน้มเดียวกัน ทั้งปริมาณเบนซีน โทลูอีน และไซลีน คือ $Mo > Co > Ni$ และผลจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $NiMo/Al_2O_3$ ให้ปริมาณเบนซีนสูงสุด ขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยา Mo/Al_2O_3 ให้ก๊าซโซลีนที่มีความเข้มข้นของโทลูอีน และไซลีน สูงสุด ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนตัวรองรับอะลูมินา

ปริมาณ BTX: $Mo > NiMo > CoMo > Co > Ni > NiCo$
 ปริมาณ เบนซีน: $NiMo > CoMo > Mo > NiCo > Co > Ni$
 ปริมาณ โทลูอีน: $Mo > CoMo > NiMo > Co > NiCo > Ni$
 ปริมาณ ไซลีน: $Mo > Co > NiMo > Ni > CoMo > NiCo$



รูปที่ 3 ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่ง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนอะลูมินาที่เตรียมโดยวิธีวีร์สไมเชลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที



รูปที่ 4 ปริมาณ BTX ของก๊าซโซลีนที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่ง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนอะลูมินาที่เตรียมโดยวิธีเวิร์ส ไมเซลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

2.2 ตัวรองรับถ่านกัมมันต์

จากการศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ 3 ชนิด คือ Ni, Co, และ Mo บนตัวรองรับถ่านกัมมันต์ (C) ต่อการไฮโดรแครกกิ่งพลาสติกผสม 4 ชนิด คือ HDPE, LDPE, PP, และ PS ในอัตราส่วนร้อยละ 25 สภาวะการทดลองเช่นเดียวกับที่ทดลองโดยใช้ตัวรองรับอะลูมินาได้ผลดังรูปที่ 5 ถึง 7 และในตารางภาคผนวกที่ 4 ถึง 6

จากผลการทดลองพบว่าการไฮโดรแครกกิ่งพลาสติกผสมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/C ให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงสุด (68.8%) โดยผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการไฮโดรแครกกิ่งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co/C และ Mo/C คือ 66.1 และ 64.3% ตามลำดับ และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกันในอัตราส่วน 1:1 พบผลที่แตกต่างไปจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับอะลูมินา กล่าวคือตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงสุดคือ CoMo/C (72.0%) รองลงมาคือ NiMo/C และ NiCo/C (69.6 และ 68.1% ตามลำดับ) แต่ปริมาณน้ำมันสูงสุดที่ได้ยังน้อยกว่า NiMo/Al₂O₃ (75.3%) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงสุดบนตัวรองรับอะลูมินา

ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni, Co, และ Mo บนถ่านกัมมันต์

ก๊าซ Mo (33.7%) > Co (32.0%) > Ni (30.3%)

น้ำมัน Ni (68.8%) > Co (66.1%) > Mo (64.3%)

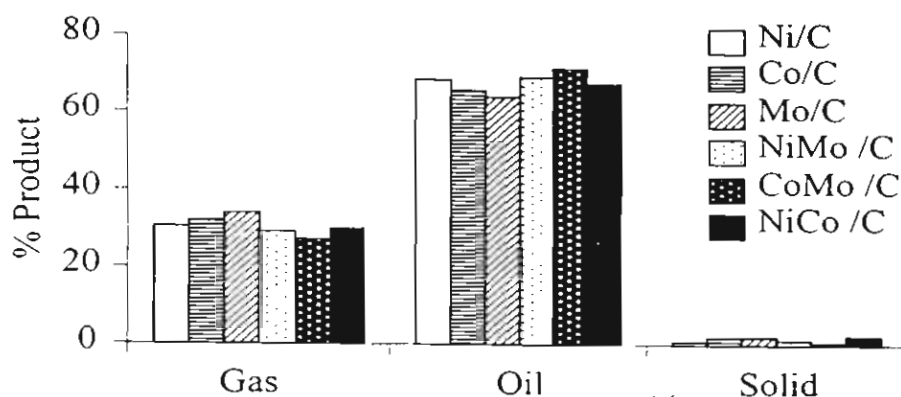
ของแข็ง Mo (2.0%) > Co (1.9%) > Ni (0.9%)

ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมอัตราส่วน 1:1 บนถ่านกัมมันต์

ก๊าซ NiCo (29.7%) > NiMo (29.2%) > CoMo (27.2%)

น้ำมัน CoMo (72.0%) > NiMo (69.6%) > NiCo (68.1%)

ของแข็ง NiCo (2.2%) > NiMo (1.2%) > CoMo (0.8%)



รูปที่ 5 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่ง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยวิธีวีร์สไมเชลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส 60 นาที

เมื่อนำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ไปกลั่นพบว่าปริมาณก๊าซโซลีนสูงสุดจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/C (54.7%) ทั้งยังให้ปริมาณเรสซิดิวต่ำสุดอีกด้วย (32.7%) สำหรับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา CoMo/C ให้ปริมาณก๊าซโซลีนสูง (54.1%) รองลงมาคือ NiMo/C (53.2%) และพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NiCo/C ให้ปริมาณก๊าซโซลีนต่ำ แต่ให้ปริมาณเคโรซีน และก๊าซออยล์สูงกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมอีก 2 ชนิด

ปริมาณก๊าซโซลีน:

Ni (54.7%) > CoMo (54.1%) > NiMo (53.2%) > Mo (48.2%) > NiCo (44.0%) > Co (42.0%)

ปริมาณเคโรซีน:

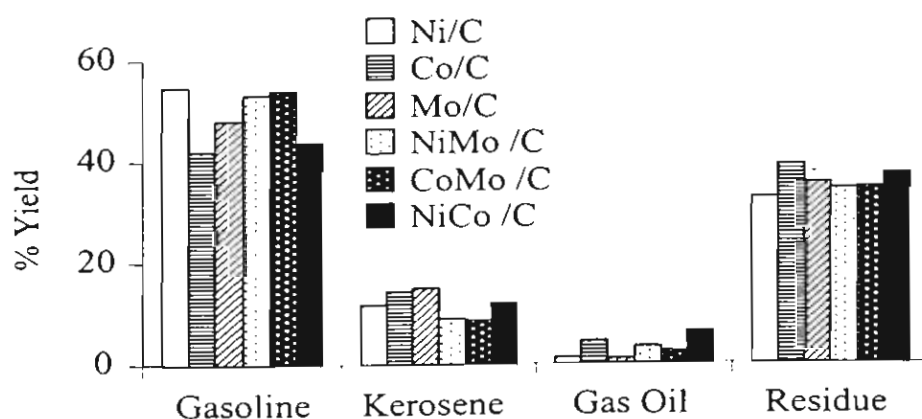
Mo (15.0%) > Co (14.2%) > NiCo (11.9%) > Ni (11.5%) > NiMo (8.9%) > CoMo (8.6%)

ปริมาณก๊าซออยล์:

NiCo (6.4%) > Co (4.5%) > NiMo (3.3%) > CoMo (2.4%) > Ni (1.1%) > Mo (1.0%)

ปริมาณเรสซิดิว:

Ni (32.7%) < NiMo (34.6%) < CoMo (34.9%) < Mo (35.8%) < NiCo (37.7%) < Co (39.3%)



รูปที่ 6 ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่ง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยวิธีวีร์สไมเชลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

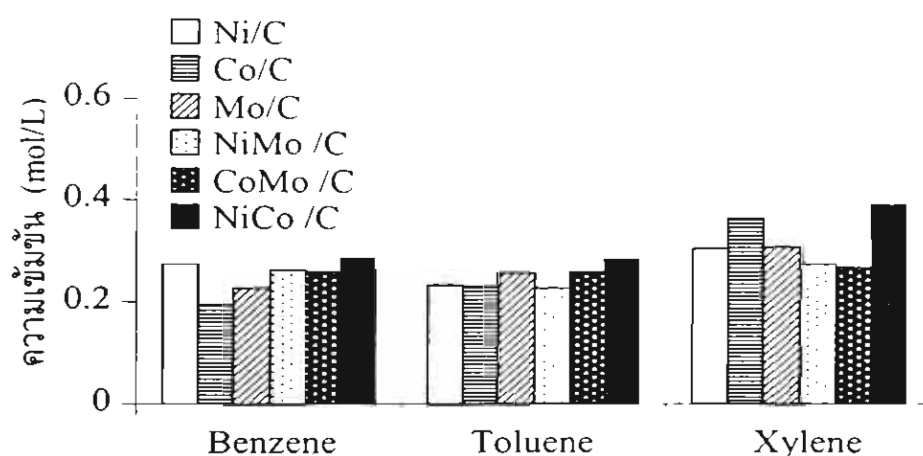
ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะชนิดต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของเบนซีน โทลูอีน และไซลีน ในน้ำมันที่ได้จากการกลั่นผลิตภัณฑ์แสดงไว้ดังรูปที่ 7 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NiCo มีผลให้ความเข้มข้นของเบนซีน โทลูอีน และไซลีนสูงแม้ว่าจะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันต่ำก็ตาม และการไฮโดรแครกกิงพลาสติกผสมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NiCo/C ให้ปริมาณเบนซีนสูงสุด จากผลที่ได้เห็นได้ว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะร่วมกันเมื่อใช้ตัวรองรับถ่านกัมมันต์ให้ผลได้ไม่ดีเท่าที่ควรและผลที่ได้ต่างจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้อะลูมินาเป็นตัวรองรับ โดยพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเดี่ยวของโลหะ Ni/C ดีใกล้เคียงกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยารวม CoMo/C และการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NiCo/C ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันต่ำลง มีก๊าซไซลีนต่ำ แต่มีปริมาณ BTX สูง

ปริมาณ BTX: NiCo > Ni > Mo > CoMo > Co > NiMo

ปริมาณเบนซีน: NiCo > Ni > NiMo > CoMo > Mo > Co

ปริมาณโทลูอีน: NiCo > CoMo > Mo > Ni > Co > NiMo

ปริมาณไซลีน: NiCo > Co > Mo > Ni > NiMo > CoMo



รูปที่ 7 ปริมาณ BTX ของ ก๊าซไซลีน ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบดังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยวิธีเวิร์สไมเซลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

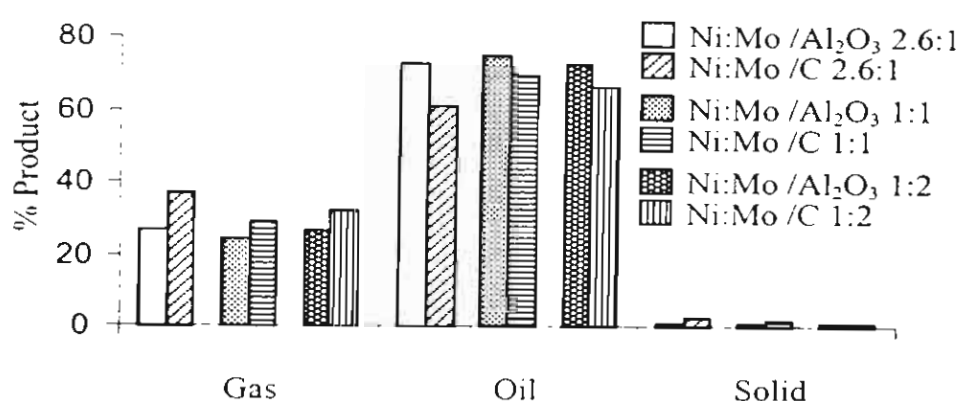
3. ศึกษาถึงผลของอัตราส่วนโลหะ Ni:Mo บนตัวรองรับถ่านกัมมันต์และอะลูมินาที่เตรียมในรีเวอร์ส ไมเซลล์ ต่อการไฮโดรแครกกิงพลาสติกผสม

รูปที่ 8 ถึง 10 และตารางภาคผนวกที่ 7 ถึง 9 แสดงผลจากการทดลองพบว่าการไฮโดรแครกกิงพลาสติกผสมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Al₂O₃ ร่วมกับ Mo/Al₂O₃ ในอัตราส่วน 1:1 ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงสุด คือ 75.3% และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ Ni และ Mo บนตัวรองรับอะลูมินาร่วมกันในอัตราส่วน 2.6:1 และ 1:2 ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมัน 73.0 และ 72.7% ตามลำดับ และให้ผลในลักษณะเดียวกันเมื่อเปลี่ยนชนิดตัวรองรับเป็นถ่านกัมมันต์ คือ พบปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงสุดที่อัตราส่วนของตัวเร่งรวม 1:1 (69.6%) จากนั้นพบว่าการใช้ตัว

เร่งปฏิกิริยาโลหะบนตัวรองรับอะลูมินาให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันสูง และให้ปริมาณก๊าซต่ำกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์

ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni:Mo ที่อัตราส่วนต่าง ๆ บนอะลูมินาและถ่านกัมมันต์

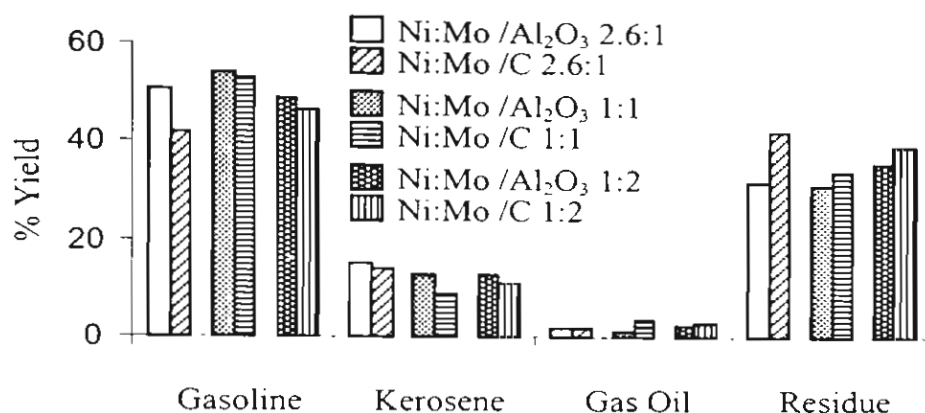
ก๊าซ	Ni:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:2 (26.5%)	= 2.6:1 (26.5%)	> 1:1 (24.2%)
	Ni:Mo /C:	2.6:1 (37.0%)	> 1:2 (32.2%)	> 1:1 (29.2%)
น้ำมัน	Ni:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:1 (75.3%)	> 2.6:1 (73.0%)	> 1:2 (72.7%)
	Ni:Mo /C:	1:1 (69.6%)	> 1:2 (66.7%)	> 2.6:1 (60.8%)
ของแข็ง	Ni:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:2 (0.8%)	> 2.6:1 (0.5%)	= 1:1 (0.5%)
	Ni:Mo /C:	2.6:1 (2.3%)	> 1:1 (1.2%)	> 1:2 (1.1%)



รูปที่ 8 ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่ง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni:Mo ที่อัตราส่วนต่าง ๆ บนอะลูมินาและถ่านกัมมันต์ ที่เตรียมโดยวิธีเวิร์สไมเซลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

เมื่อนำผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ไปกลั่น พบปริมาณ ก๊าซโซลีน สูงสุดจากการไฮโดรแครกกิ่งพลาสติกผสมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของโลหะร่วมกันในอัตราส่วน Ni:Mo เท่ากับ 1:1 รองลงมาคือ 2.6:1 และ 1:2 ตามลำดับ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนตัวรองรับอะลูมินาให้ปริมาณ ก๊าซโซลีนเคโรซีนสูง และให้ปริมาณเรซินต่ำกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์

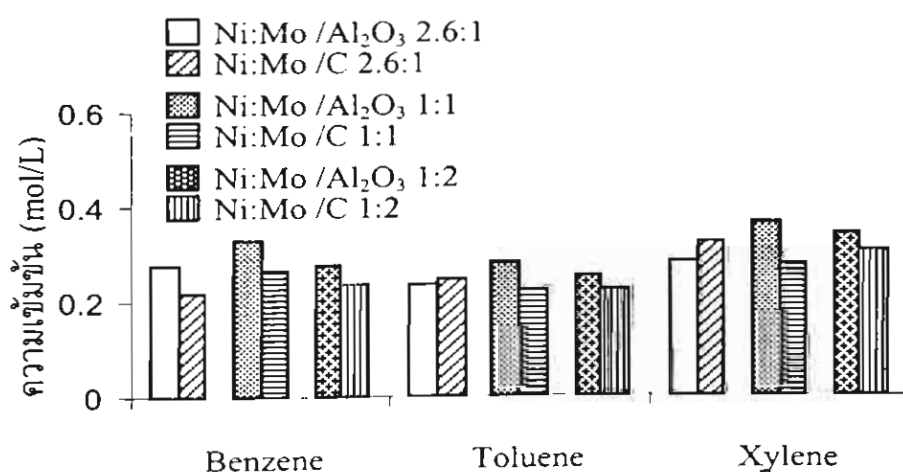
ก๊าซโซลีน:	Ni:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:1 (54.1%)	> 2.6:1 (50.9%)	> 1:2 (48.8%)
	Ni:Mo /C:	1:1 (53.2%)	> 1:2 (46.6%)	> 2.6:1 (41.9%)
เคโรซีน:	Ni:Mo /Al ₂ O ₃ :	2.6:1 (15.4%)	> 1:1 (13.0%)	> 1:2 (12.7%)
	Ni:Mo /C:	2.6:1 (13.9%)	> 1:2 (10.9%)	> 1:1 (8.9%)
ก๊าซออยล์:	Ni:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:2 (2.6%)	> 2.6:1 (1.7%)	> 1:1 (1.2%)
	Ni:Mo /C:	1:1 (3.3%)	> 1:2 (3.0%)	> 2.6:1 (1.6%)
เรซินดิบ:	Ni:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:1 (31.7%)	< 2.6:1 (32.0%)	< 1:2 (35.9%)
	Ni:Mo /C:	1:1 (34.6%)	< 1:2 (39.5%)	< 2.6:1 (42.6%)



รูปที่ 9 ผลผลิตน้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่ง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni:Mo ที่อัตราส่วนต่างๆ บนอะลูมินาและถ่านกัมมันต์ ที่เตรียมโดยวิธีรีเวิร์สไมเซลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

และผลความเข้มข้นของ BTX ใน ก๊าซโซลีน สูงสุดจากการไฮโดรแครกกิ่งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Al₂O₃ ร่วมกับ Mo/Al₂O₃ ในอัตราส่วน 1:1 เช่นเดียวกัน ผลที่ได้แสดงดังนี้

BTX:	Ni:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:1	> 1:2	> 2.6:1
	Ni:Mo /C:	2.6:1	> 1:2	> 1:1
เบนซีน:	Ni:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:1	> 2.6:1	> 1:2
	Ni:Mo /C:	1:1	> 1:2	> 2.6:1
โทลูอีน:	Ni:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:1	> 1:2	> 2.6:1
	Ni:Mo /C:	2.6:1	> 1:2	> 1:1
โซลีน:	Ni:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:1	> 1:2	> 2.6:1
	Ni:Mo /C:	2.6:1	> 1:2	> 1:1



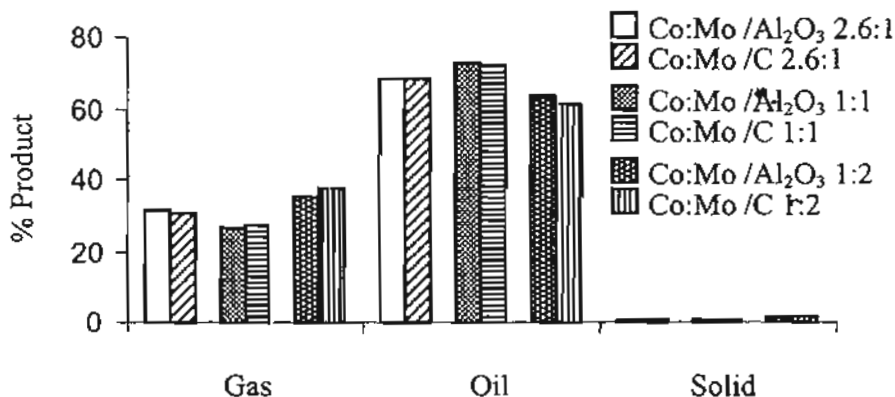
รูปที่ 10 ปริมาณ BTX ของก๊าซโซลีนที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่ง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni:Mo ที่อัตราส่วนต่างๆ บนอะลูมินาและถ่านกัมมันต์ ที่เตรียมโดยวิธีรีเวิร์สไมเซลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

4. ศึกษาถึงผลของอัตราส่วนโลหะ Co:Mo บนตัวรองรับถ่านกัมมันต์และอะลูมินาที่เตรียมในรีเวอร์ส ไมเซลล์ ต่อการไฮโดรแครกกิงพลาสติกผสม

ผลการทดลองเมื่อทำการไฮโดรแครกกิงพลาสติกผสมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของโลหะ Co ร่วมกับ Mo ซึ่งเกาะบนตัวรองรับอะลูมินาแสดงดังรูปที่ 11 ถึง 13 และตารางภาคผนวกที่ 10 ถึง 12 พบว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองร่วมกันในอัตราส่วน Co:Mo เท่ากับ 1:1 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงสุด คือ 72.6% อีกทั้งได้ผลิตภัณฑ์ก๊าซในปริมาณต่ำ และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะเดียวกันบนตัวรองรับต่างชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ ให้ผลในลักษณะใกล้เคียงกัน

ตัวเร่งปฏิกิริยา CoMo ที่อัตราส่วนต่าง ๆ บนอะลูมินาและถ่านกัมมันต์

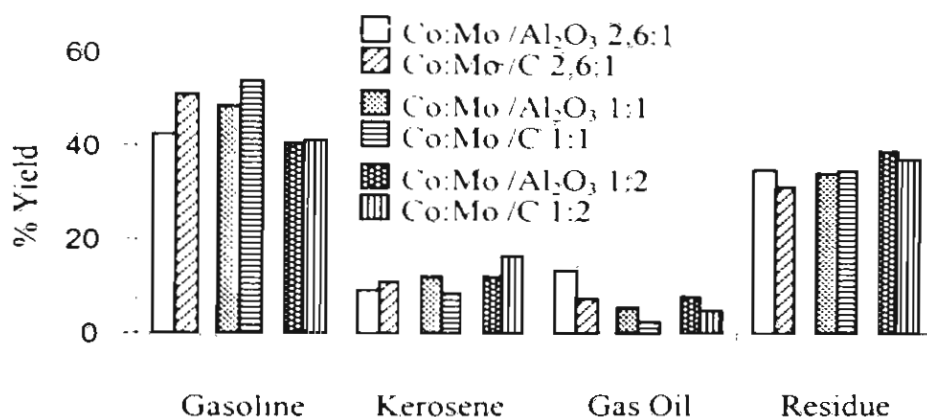
ก๊าซ	Co:Mo/ Al_2O_3 : 1:2 (35.1%)	> 2.6:1 (31.3%)	> 1:1 (26.8%)
	Co:Mo/C: 1:2 (37.3%)	> 2.6:1 (30.7%)	> 1:1 (27.2%)
น้ำมัน:	Co:Mo/ Al_2O_3 : 1:1 (72.6%)	> 2.6:1 (68.0%)	> 1:2 (63.7%)
	Co:Mo/C: 1:1 (72.0%)	> 2.6:1 (68.6%)	> 1:2 (61.4%)
ของแข็ง	Co:Mo/ Al_2O_3 : 1:2 (1.2%)	> 2.6:1 (0.7%)	> 1:1 (0.6%)
	Co:Mo/C: 1:2 (1.3%)	> 1:1 (0.8%)	> 2.6:1 (0.7%)



รูปที่ 11 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co:Mo ที่อัตราส่วนต่างๆ บนอะลูมินาและถ่านกัมมันต์ ที่เตรียมโดยวิธีรีเวอร์สไมเซลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

จากการกลั่นผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการไฮโดรแครกกิงโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co ร่วมกับ Mo บนตัวรองรับถ่านกัมมันต์พบปริมาณ ก๊าซโซลีนสูง และ ก๊าซออยล์ ต่ำกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับอะลูมินา และพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co:Mo/C ในอัตราส่วน 1:1 ให้ปริมาณ ก๊าซโซลีนสูงสุดรองลงมาคือ Co:Mo/C ในอัตราส่วน 2.6:1 (54.1 และ 50.7% ตามลำดับ)

ก๊าซโซลีน:	Co:Mo/Al ₂ O ₃ :	1:1 (48.4%)	> 2.6:1 (42.7%)	> 1:2 (40.4%)
	Co:Mo /C:	1:1 (54.1%)	> 2.6:1 (50.7%)	> 1:2 (41.3%)
เคโรซีน:	Co:Mo/Al ₂ O ₃ :	1:1 (12.0%)	> 1:2 (11.9%)	> 2.6:1 (9.1%)
	Co:Mo /C:	1:2 (16.5%)	> 2.6:1 (10.8%)	> 1:1 (8.6%)
ก๊าซออยล์:	Co:Mo/Al ₂ O ₃ :	2.6:1 (13.2%)	> 1:2 (8.1%)	> 1:1 (5.3%)
	Co:Mo /C:	2.6:1 (7.0%)	> 1:2 (4.9%)	> 1:1 (2.4%)
เรสซิดิว:	Co:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:1 (34.3%)	< 2.6:1 (35.0%)	< 1:2 (39.6%)
	Co:Mo /C:	2.6:1 (31.5%)	< 1:1 (34.9%)	< 1:2 (37.3%)

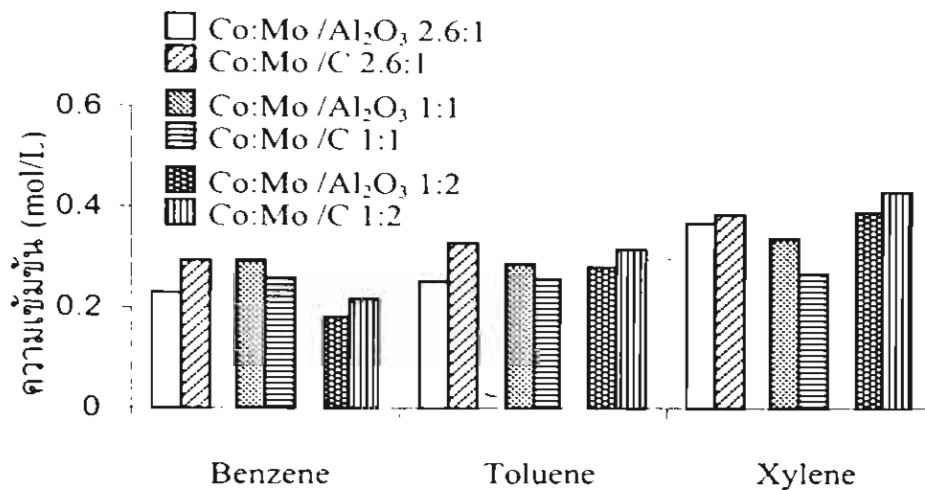


รูปที่ 12 ผลผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่ง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co:Mo ที่อัตราส่วนต่างๆ บนอะลูมินาและถ่านกัมมันต์ ที่เตรียมโดยวิธีวีร์สไมเชลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ ก๊าซโซลีนที่ได้พบ BTX สูงสุดจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co:Mo/C ในอัตราส่วน 2.6:1

ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการไฮโดรแครกกิ่งโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co:Mo/Al₂O₃ ในอัตราส่วน 1:1 ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงแต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณ ก๊าซโซลีนต่ำ ในขณะที่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co:Mo/C ในอัตราส่วน 2.6:1 ให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันต่ำกว่า 4% แต่น้ำมันที่ได้มีปริมาณ ก๊าซโซลีนสูง และมี เรสซิดิวต่ำ อีกทั้งก๊าซโซลีนที่ได้ยังมีปริมาณ BTX สูงอีกด้วย

BTX:	Co:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:1	> 1:2	> 2.6:1
	Co:Mo /C:	2.6:1	> 1:2	> 1:1
เบนซีน:	Co:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:1	> 2.6:1	> 1:2
	Co:Mo /C:	2.6:1	> 1:1	> 1:2
โทลูอิน:	Co:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:1	> 1:2	> 2.6:1
	Co:Mo /C:	2.6:1	> 1:2	> 1:1
โซลีน:	Co:Mo /Al ₂ O ₃ :	1:2	> 2.6:1	> 1:1
	Co:Mo /C:	1:2	> 2.6:1	> 1:1



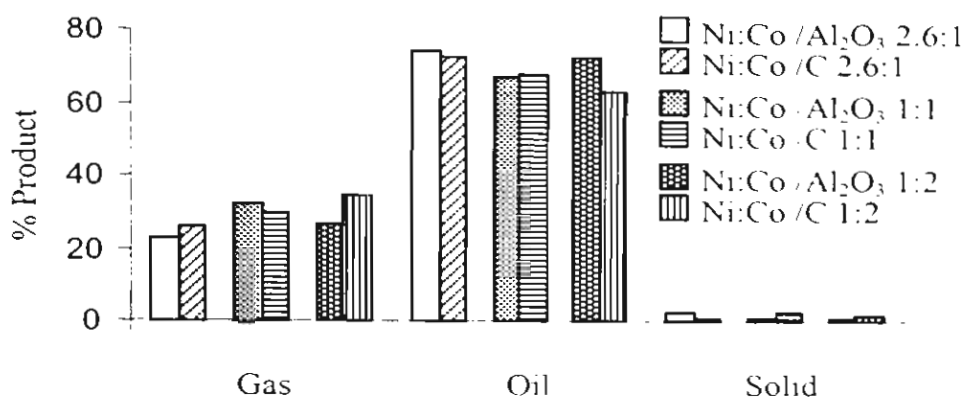
รูปที่ 13 ปริมาณ BTX ของก๊าซโซลีนที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่ง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Co:Mo ที่อัตราส่วนต่างๆ บนอะลูมินา และถ่านกัมมันต์ ที่เตรียมโดยวิธีเวิร์สไมเซลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

5. ศึกษาถึงผลของอัตราส่วนโลหะ Ni:Co บนตัวรองรับถ่านกัมมันต์และอะลูมินาที่เตรียมในรีเวอร์ส ไมเซลล์ ต่อการไฮโดรแครกกิ่งพลาสติกผสม

เมื่อทำการไฮโดรแครกกิ่งพลาสติกผสมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Al₂O₃ ร่วมกับ Co/Al₂O₃ ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ได้ผลดังรูปที่ 14 ถึง 16 และตารางภาคผนวกที่ 13 ถึง 15 ซึ่งพบว่าได้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงสุดจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองในอัตราส่วน Ni:Co เท่ากับ 2.6:1 คือ 74.3% รองลงมาคือ 1:2 (72.8%) และ 1:1 (67.3%)

ตัวเร่งปฏิกิริยา NiMo ที่อัตราส่วนต่าง ๆ บนอะลูมินาและถ่านกัมมันต์

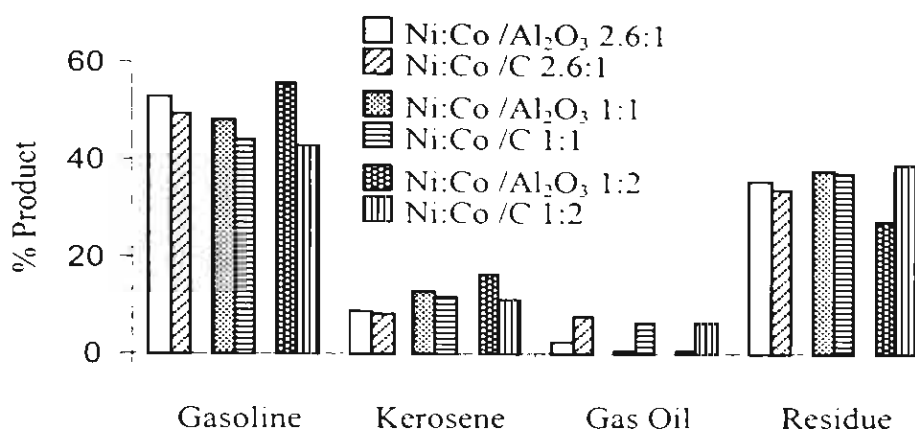
ก๊าซ	Ni:Co/Al ₂ O ₃ :	1:1 (32.0%)	> 1:2 (26.6%)	> 2.6:1 (23.1%)
	Ni:Co/C:	1:2 (34.2%)	> 1:1 (29.7%)	> 2.6:1 (26.2%)
น้ำมัน	Ni:Co/Al ₂ O ₃ :	2.6:1 (74.3%)	> 1:2 (72.8%)	> 1:1 (67.3%)
	Ni:Co/C:	2.6:1 (73.3%)	> 1:1 (68.1%)	> 1:2 (63.9%)
ของแข็ง	Ni:Co/Al ₂ O ₃ :	2.6:1 (2.6%)	> 1:1 (0.7%)	> 1:2 (0.6%)
	Ni:Co/C:	1:1 (2.2%)	> 1:2 (1.9%)	> 2.6:1 (0.5%)



รูปที่ 14 ผลผลิตที่เกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่ง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni:Co ที่อัตราส่วนต่างๆ บนอะลูมินาและถ่านกัมมันต์ ที่เตรียมโดยวิธีเวิร์สไมเซลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

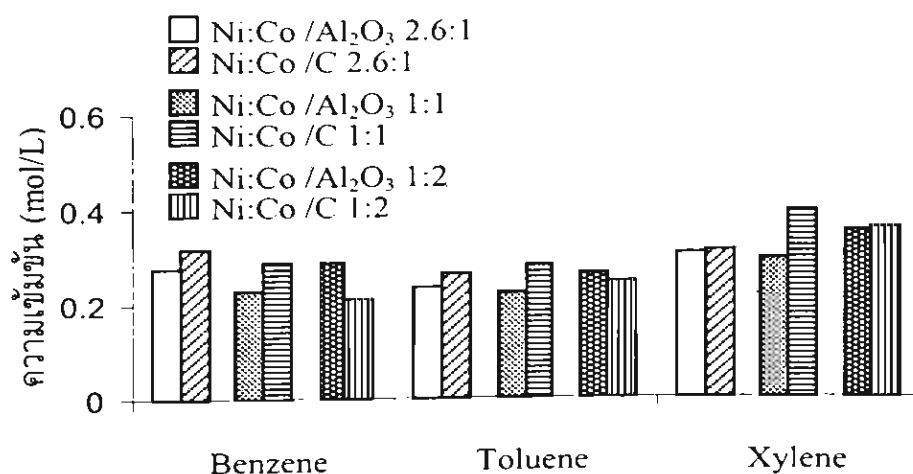
อย่างไรก็ตามจากการกลั่นผลิตภัณฑ์น้ำมันพบปริมาณ ก๊าซโซลีนสูง และเรสซิดิวต่ำจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Al₂O₃ ร่วมกับ Co/Al₂O₃ ในอัตราส่วน 1:2 ทั้งก๊าซโซลีนที่ได้ยังมีความเข้มข้นของ BTX สูงอีกด้วย สำหรับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะบนตัวรองรับถ่านกัมมันต์ให้ผลที่แตกต่างออกไป กล่าวคือ ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันเรียงจากมากไปน้อย คือ 73.3, 68.1, และ 63.9% เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/C ร่วมกับ Co/C ในอัตราส่วน 2.6:1, 1:1, และ 1:2 ตามลำดับ และพบว่าการไฮโดรแครกกิ่งพลาติกผสมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni:Co/C ในอัตราส่วน 2.6:1 นอกจากจะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงแล้วผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้ยังมีความเข้มข้นของก๊าซโซลีนสูง และมีปริมาณ เรสซิดิว ต่ำ ทั้งก๊าซโซลีนที่ได้ยังมีความเข้มข้นของเบนซีนสูงอีกด้วย

ก๊าซโซลีน:	Ni:Co/Al ₂ O ₃ :	1:2 (55.7%)	>	2.6:1 (53.2%)	>	1:1 (48.2%)
	Ni:Co/C:	2.6:1 (49.7%)	>	1:1 (44.0%)	>	1:2 (42.9%)
เคโรซีน:	Ni:Co/Al ₂ O ₃ :	1:2 (16.2%)	>	1:1 (13.0%)	>	2.6:1 (8.7%)
	Ni:Co/C:	1:1 (11.9%)	>	1:2 (11.3%)	>	2.6:1 (8.5%)
ก๊าซออยล์:	Ni:Co/Al ₂ O ₃ :	2.6:1 (2.3%)	>	1:1 (0.8%)	>	1:2 (0.7%)
	Ni:Co/C:	2.6:1 (7.6%)	>	1:1 (6.4%)	>	1:2 (6.4%)
เรสซิดิว:	Ni:Co/Al ₂ O ₃ :	1:2 (27.4%)	<	2.6:1 (35.8%)	<	1:1 (38.0%)
	Ni:Co/C:	2.6:1 (34.2%)	<	1:1 (37.7%)	<	1:2 (39.4%)



รูปที่ 15 ผลผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่ง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni:Co ที่อัตราส่วนต่าง ๆ บนอะลูมินาและถ่านกัมมันต์ ที่เตรียมโดยวิธีวีร์สไมเชลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

BTX:	Ni:Co / Al ₂ O ₃ :	1:2 > 2.6:1 > 1:1
	Ni:Co / C:	1:1 > 2.6:1 > 1:2
เบนซีน:	Ni:Co / Al ₂ O ₃ :	1:2 > 2.6:1 > 1:1
	Ni:Co / C:	2.6:1 > 1:1 > 1:2
โทลูอิน:	Ni:Co / Al ₂ O ₃ :	1:2 > 2.6:1 > 1:1
	Ni:Co / C:	1:1 > 2.6:1 > 1:2
ไซลีน:	Ni:Co / Al ₂ O ₃ :	1:2 > 2.6:1 > 1:1
	Ni:Co / C:	1:1 > 1:2 > 2.6:1



รูปที่ 16 ปริมาณ BTX ของก๊าซไซลีนที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิ่ง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni:Co ที่อัตราส่วนต่าง ๆ บนอะลูมินาและถ่านกัมมันต์ ที่เตรียมโดยวิธีวีร์สไมเชลล์ ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

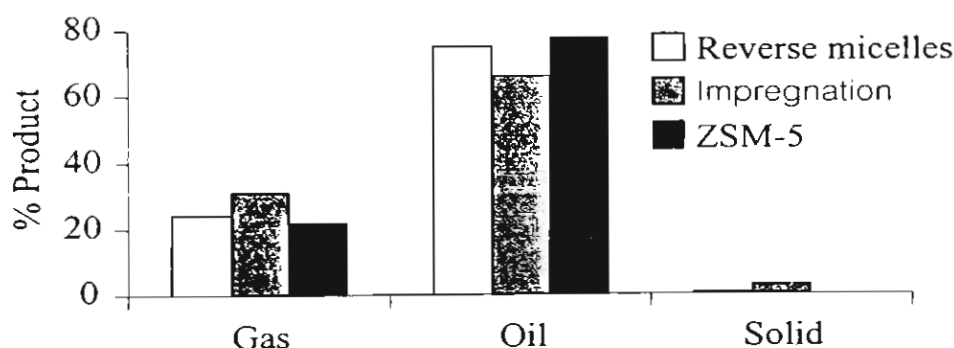
6. ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการเตรียมต่างวิธีและตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5

การศึกษาถึงผลของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Ni:Mo/Al}_2\text{O}_3$ 1:1 ที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครอิมัลชันชนิดรีเวอร์สไมเซลล์กับวิธีจุ่มชุบ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใส่คือ 2% ของน้ำหนักสารตั้งต้น คิดเป็นปริมาณโลหะ Ni 0.04 กรัม และ Mo 0.04 กรัม เปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 ปริมาณ 0.08 กรัม ในการไฮโดรแครกกิงพลาสติกผสม โดยควบคุมสภาวะของความดันไฮโดรเจนที่ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที อุณหภูมิ 440 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนระหว่างพลาสติกผสม HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 17 ถึง 19 และตารางภาคผนวกที่ 16 ถึง 18

ก๊าซ: วิธีจุ่มชุบ (30.8%) > รีเวอร์ส ไมเซลล์ (24.2%) > ZSM-5 (21.6%)

น้ำมัน: ZSM-5 (78.3%) > รีเวอร์ส ไมเซลล์ (75.3%) > วิธีจุ่มชุบ (66.4%)

ของแข็ง: วิธีจุ่มชุบ (2.8%) > รีเวอร์ส ไมเซลล์ (0.5%) > ZSM-5 (0.1%)



รูปที่ 17 ผลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง HDPE:LDPE:PP:PS = 1:1:1:1 ในปฏิกรณ์แบบถังกวน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni:Mo บนตัวรองรับอะลูมินาที่เตรียมโดยวิธีรีเวอร์สไมเซลล์ และวิธีจุ่มชุบเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 ความดันไฮโดรเจนเริ่มต้น 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 440 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที

จากรูปที่ 17 แสดงให้เห็นว่าการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการไฮโดรแครกกิงพลาสติกผสม (75.3, 66.4, และ 78.3% เมื่อใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{NiMo/Al}_2\text{O}_3$ ที่เตรียมโดยวิธีรีเวอร์ส ไมเซลล์ วิธีจุ่มชุบ และตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 ตามลำดับ) พบสัดส่วนของก๊าซโซลีน และเคโรซีนสูงสุดเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{NiMo/Al}_2\text{O}_3$ ที่เตรียมโดยวิธีรีเวอร์สไมเซลล์ (54.1 และ 13.0% ตามลำดับ) และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{NiMo/Al}_2\text{O}_3$ ที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีจุ่มชุบ ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีก๊าซออยล์ต่ำ และมีเรซินดีวสูง รวมทั้งได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ก๊าซ และของแข็งสูงสุดอีกด้วย

ปริมาณก๊าซโซลีน: รีเวอร์ส ไมเซลล์ (54.1%) > วิธีจุ่มชุบ (53.5%) > ZSM-5 (52.6%)

ปริมาณเคโรซีน: รีเวอร์ส ไมเซลล์ (13.0%) > วิธีจุ่มชุบ (12.2%) > ZSM-5 (11.4%)

ปริมาณก๊าซออยล์: ZSM-5 (2.6%) > รีเวอร์ส ไมเซลล์ (1.2%) > วิธีจุ่มชุบ (0.7%)

ปริมาณเรซินดีว: รีเวอร์ส ไมเซลล์ (31.7%) < ZSM-5 (33.4%) < วิธีจุ่มชุบ (33.6%)