

กระบวนการร่วมของพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์



นายวิชากร จารุศิริ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ภาควิชา เคมีเทคนิค

คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0272-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COPROCESSING OF POLYPROPYLENE AND ANTHRACITE
USING IRON ON ACTIVE CARBON



WITCHAKORN CHARUSIRI

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0272-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กระบวนการร่วมของพอลิพรอปิลีนกับแอนทราไซต์โดยใช้เหล็กบนถ่าน กัมมันต์
โดย	นายวิชชากร จารุศิริ
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นักศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจักร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ภัฏจนา บุญเกียรติ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กฤตกร ศิลปบรรเลง)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุชญา นิติวัดมนานนท์)

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์

วิชาการ จารุศิริ : กระบวนการร่วมของพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์.

(COPROCESSING OF POLYPROPYLENE AND ANTHRACITE USING IRON ON ACTIVE CARBON)

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธราพงษ์ วิจิตตานนท์, 104 หน้า. ISBN 974-03-0272-6

งานวิจัยนี้มุ่งที่จะศึกษากระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบของเหลวที่ดีที่สุด ประกอบด้วย สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนต่อแอนทราไซต์ตั้งแต่ 1.0 ต่อ 0 ถึง 0 ต่อ 1.0 น้ำหนักรวม 20 กรัม อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 380 – 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 – 60 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 – 75 นาที และเปอร์เซ็นต์ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ 1 ถึง 10 % จากการทดลองพบว่าภาวะที่เหมาะสมต่อการทดลองคือ อัตราส่วนของพอลิพรอพิลีนต่อแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 น้ำหนักรวม 20 กรัม อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงสุดถึงร้อยละ 59.40 โดยน้ำหนัก

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการทดลองโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Simulated distillation gas chromatograph) พบว่าภาวะที่ส่งผลต่อการเกิดปริมาณเนฟทาได้มากที่สุดคือ ที่อัตราส่วนของพอลิพรอพิลีนต่อแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 น้ำหนักรวม 20 กรัม อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 40 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีปริมาณร้อยละของเนฟทา 32.07 % คีโรซีน 7.48 % น้ำมันก๊าด 8.82 % และโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว 5.08 %

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาเคมีเทคนิค.....

สาขาวิชาเคมีเทคนิค.....

ปีการศึกษา2544.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4272502923 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD : Coprocessing / Coal Liquefaction / Anthracite / Polypropylene / Catalytic Liquefaction

WITCHAKORN CHARUSIRI : COPROCESSING OF POLYPROPYLENE AND ANTHRACITE

USING IRON ON ACTIVE CARBON. THESIS ADVISOR : Assoc.Prof.Dr. THARAPONG VITIDSANT,

104 pp. ISBN 974-03-0272-6

The main objective of this research was aimed to study the effect of co-liquefaction of polypropylene with anthracite using iron on active carbon in a micro reactor by varied operating condition as ratio of polypropylene with anthracite range of 1 : 0 to 0 : 1 in total net weight as 20 grams, reaction temperature range of 380 – 430 C, pressure of hydrogen gas range of 30 – 60 bar, reaction time 30 – 75 minutes and percent loading of Iron on active carbon range of 1 – 10 %. From the results, it was found that the ratio of polypropylene with anthracite 0.8 : 0.2 in total weight as 20 grams, temperature 400 C, pressure of hydrogen gas 50 bar, reaction time 60 min by using 1 % Iron on active carbon was the best condition that yields the highest quantity of oil product 59.40 %

The analyzed oil product from Gas Chromatography (G.C. Simulated Distillation) was found that the ratio of polypropylene with anthracite 0.8 : 0.2 in total net weight as 20 grams, temperature 400 C, pressure of hydrogen gas 40 bar, reaction time 60 min by using 1 % Iron on active carbon. The product yield was in range 32.07 % Naphtha, 7.48 % Kerosene 8.82 % Gas oil and 5.08 % Long residue.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Chemical Technology

Field of study Chemical Technology

Academic year 2001

Student's signature

Advisor's signature

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “กระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอฟิลีนกับแอนทราไซต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์” สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิจิตรสานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำการทำวิจัย ตลอดจนให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงแก้ไขการทำวิจัยให้มีความสมบูรณ์ด้วยดียิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์กัญญา บุญยเกียรติ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.กุลธร ศิลปบรรเลง และ อาจารย์ ดร.สุชญา นิติวฒนานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความเห็น คำแนะนำ ตั้งข้อสังเกต ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยพลังงาน อาจารย์ชินเทพ เพ็ญชาติ และ รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ ที่ได้สนับสนุนและอนุญาตให้ผู้วิจัยลาราชการเพื่อศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ นาวาเอก ธัชทอง จันทรางศุ และ คุณสุคนธ์ จันทรางศุ ผู้ซึ่งได้อุปการะ ให้การสนับสนุน อบรมสั่งสอน ผู้วิจัยตั้งแต่เยาว์วัย จนสำเร็จการศึกษา มีความเจริญก้าวหน้าในชีวิตการทำงานจนถึงทุกวันนี้

ขอขอบคุณเพื่อนข้าราชการ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยแบ่งเบาภาระหน้าที่ราชการในระหว่างที่ผู้วิจัยลาศึกษา ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่สำนักบริหารวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาเป็นธุระในการประสานงานกับกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน เพื่อนนิสิตที่ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ตั้งแต่เริ่มดำเนินการวิจัยจนกระทั่งการวิจัยเสร็จสิ้น และขอขอบคุณคุณสุริยะ พระยาน้อย และคุณนพรัตน์ อนันตรกิตติ ที่ช่วยเหลือทั้งในหน้าที่ราชการและช่วยเหลือการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์จนสำเร็จได้เป็นอย่างดี

ขอโน้มกราบขอบพระคุณของบิดา มารดา ที่ได้ให้กำเนิด เลี้ยงดูอบรมสั่งสอน สนับสนุน และให้กำลังใจจนสำเร็จการศึกษาจนมีความเจริญก้าวหน้าถึงทุกวันนี้

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ถ่านหิน.....	4
2.1.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของถ่านหิน.....	4
2.1.2 การจำแนกถ่านหิน.....	7
2.1.3 การใช้ประโยชน์จากถ่านหิน.....	9
2.1.4 กระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหิน.....	9
2.2 พอลิพรอพิลีน.....	14
2.2.1 โครงสร้างของพอลิพรอพิลีน.....	14
2.2.2 สมบัติทางเคมีของพอลิพรอพิลีน.....	15
2.2.3 การใช้ประโยชน์ของพอลิพรอพิลีน.....	15
2.3 ปฏิริยาอะตะไลซิส.....	17
2.4 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	18
2.5 ตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา.....	19
2.6 ถ่านกัมมันต์.....	19
2.6.1 โครงสร้างของเคมีของผิวถ่านกัมมันต์.....	19
2.6.2 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์.....	20
2.6.3 ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์.....	21
2.6.4 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์.....	22

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.7 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อน.....	22
2.8 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....	23
2.9 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยการใช้ไฮโดรเจนร่วม.....	26
2.10 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันดิบ.....	27
2.11 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
3. เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	39
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	39
3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี.....	41
3.3 วิธีการศึกษา.....	41
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	45
4.1 สมบัติของสารตั้งต้น.....	45
4.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์โดย ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์.....	47
4.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ของเหลว.....	62
4.3 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน	65
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	67
รายการอ้างอิง.....	69
ภาคผนวก.....	73
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	104

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักอะตอมของธาตุในถ่านหินลำดับต่าง ๆ	5
2.2 การจำแนกถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM D 388	8
2.3 การเปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสียของกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจาก ถ่านหินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	13
4.1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของแอนทราไซต์	45
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์.....	46
4.3 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรุกรานของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์.....	46
4.4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน.....	66



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของถ่านหิน.....	4
2.2 โมเลกุลสมมติของถ่านหิน.....	6
2.3 แผนผังแสดงกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวของถ่านหิน.....	11
2.4 โครงสร้างทั่วไปของพอลิพรอพิลีน	14
2.5 โครงสร้างแตกตึกซึ่ของพอลิพรอพิลีน.....	14
2.6 ความต้องการใช้พลาสติกชนิดต่าง ๆ ระหว่างปี พ.ศ.2531 – 2545.....	16
2.7 ตัวอย่างหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดบนผิวของถ่านกัมมันต์.....	21
2.8 ตัวอย่างหมู่ฟังก์ชันที่เป็นด่างบนผิวของถ่านกัมมันต์.....	22
2.9 กลไกการแตกตัวด้วยการใช้ไฮโดรเจนร่วมในสารละลาย DNM (di(1-naphthyl) methane) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส.....	27
3.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กขนาด 70 มิลลิลิตร (Microreactor).....	39
3.2 ชุดทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล หม้อแปลงไฟฟ้า และเครื่องเขย่า.....	40
3.3 ชุดกรองสูญญากาศและกระดาษกรองใยแก้ว.....	40
4.1 ผลิตรกัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนและ แอนทราไซต์.....	47
4.2 ปริมาณร้อยละของผลิตรกัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของพอลิพรอพิลีน กับแอนทราไซต์ในสัดส่วนต่าง ๆ ภาวะการทดลองที่ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็ก บนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม.....	49
4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตรกัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation G.C. ที่สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ต่าง ๆ กัน อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 30 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม.....	50
4.4 ปริมาณร้อยละของผลิตรกัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ระหว่าง 380 - 430 องศาเซลเซียส ใช้สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนและ แอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 ความดัน แก๊สไฮโดรเจน 30 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม.....	52

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation G.C. จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่าง 380 – 430 องศาเซลเซียส เมื่อใช้สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม.....53
- 4.6 ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนต่าง ๆ ใช้สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 380 - 430 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม.....54
- 4.7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation G.C. เพื่อศึกษาอิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนที่ใช้ในการทดลอง 30 - 60 บาร์ ใช้สัดส่วนของพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม.....55
- 4.8 ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทดลองระหว่าง 15 – 75 นาที โดยใช้สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 30 และ 50 บาร์ ภายใต้อุณหภูมิ 400 และ 430 องศาเซลเซียส เป็นใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม.....57
- 4.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation G.C. เพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทดลอง 15 – 75 นาที ใช้สัดส่วนของพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม.....58
- 4.10 ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการศึกษาอิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยใช้สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ อุณหภูมิ 380 - 430 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที.....59

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.11 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation G.C. เพื่อศึกษาอิทธิพลของร้อยละของปริมาณเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ใช้สัดส่วนของพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที.....61
- 4.12 แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของแอนทราไซต์.....63
- 4.13 แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ที่สัดส่วน 1.0 ต่อ 0 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์.....63
- 4.14 แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์.....64
- 4.15 แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา.....64

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ในภาวะการณ์ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานมีอัตราสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เฉพาะในปี พุทธศักราช 2540 มีการใช้พลังงานทั่วโลกคิดเป็นปริมาณ 9,371 พันล้านลิตรเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งหากยังมีการใช้พลังงานเทียบเท่าปีพุทธศักราช 2540 และยังไม่มีการค้นพบแหล่งน้ำมันใหม่ ทั่วโลกจะมีพลังงานน้ำมันใช้ได้เพียง 22 ปี โดยที่ประเทศไทยยังมีความจำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้า น้ำมันจากต่างประเทศถึงร้อยละ 60 รวมถึงสถานการณ์ที่กลุ่มประเทศผู้ผลิตน้ำมันได้รวมตัว ดำเนินกลไกตลาด และการแลกเปลี่ยนส่งผลกระทบต่อราคาน้ำมันที่ประเทศไทยต้องนำเข้า เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับพาหนะ และภาคอุตสาหกรรมถึงปีละประมาณ 300,000 ล้านบาท เพื่อหาหนทางการนำพลังงานอื่นมาใช้ทดแทนการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงในอนาคตข้างหรือ หรือในภาวะที่ น้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงมาก แนวทางหนึ่งที่สามารถจัดหาพลังงานอื่นเพื่อทดแทนการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงได้ คือ การใช้ถ่านหินที่ยังมีปริมาณสำรองอยู่มากมาทำให้อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว และสามารถนำไปกลั่นเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหินนี้ เรียกว่า Coal Liquefaction แต่กระบวนการนี้ซับซ้อนจำกัดที่ต้องทำในสภาวะที่มีอุณหภูมิ ความดันสูง รวมถึงต้องมีการเติมแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปด้วย อันจะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม โดยเพื่อให้สามารถลดการใช้แก๊สไฮโดรเจนในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากถ่านหิน และลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ จากผลการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า สามารถนำพลาสติกที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ร่วมกับถ่านหินในกระบวนการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวได้ ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้งานพลาสติกในอัตราที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การนำขยะพลาสติกมาใช้ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจะเป็นหนทางในการเพิ่มคุณค่าของขยะพลาสติก อันจะเป็นการช่วยแก้ปัญหาขยะพลาสติกที่มีการใช้งานในอัตราที่สูงขึ้นทุกวัน งานวิจัยนี้ได้นำกระบวนการร่วม (Coproprocessing) ระหว่างแอนทราไซต์ซึ่งเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพสูง และให้ค่าความร้อนสูงมาก กับ พอลิพรอพิลีน มาทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงเหลว เนื่องจากพอลิพรอพิลีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีปริมาณไฮโดรเจนสูง เมื่อเทียบกับถ่านหิน จึงสามารถเป็นแหล่งให้ไฮโดรเจนกับกระบวนการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวได้ โดยเมื่อพอลิพรอพิลีนได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัวของพันธะคาร์บอน-ไฮโดรเจน ได้อนุมูลอิสระ (free radical) และ ไฮโดรเจน นอกจากนี้อนุมูลอิสระของพอลิพรอพิลีนยังสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของถ่านหินส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ถ่านหินที่เหลือจากปฏิกิริยาในกระบวนการร่วมแล้วจะสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงอย่าง

อื่นได้ เช่น นำไปทำเป็นถ่านกัมมันต์ หรือ เชื้อเพลิงอื่นที่มีคุณภาพดี นับว่าเป็นกระบวนการที่สามารถใช้ประโยชน์จากถ่านหินให้เกิดประโยชน์สูงสุด

การศึกษาถึงกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหินเพื่อนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ได้ศึกษาถึงกระบวนการร่วมระหว่างแอนทราไซต์และพอลิพรอพิลีน โดยศึกษาอิทธิพลตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากแอนทราไซต์และพอลิพรอพิลีน ประกอบด้วย อัตราส่วนระหว่างถ่านหินแอนทราไซต์ และ พอลิพรอพิลีน อุณหภูมิ ความดัน เวลา โดยมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ (Fe/Active Carbon) เนื่องจากเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเนื่องจากมีราคาไม่สูงมาก สามารถเตรียมได้ง่าย และนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย โดยนำไปใช้เพื่อเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น และสามารถทำการศึกษาได้ในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีขนาดเล็กและทนความดันได้สูง เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ เมื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากห้องปฏิบัติการที่มีเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ทางองค์ประกอบของเชื้อเพลิง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ทำการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวซึ่งเป็นกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ, ความดัน, เวลา อัตราส่วนของแอนทราไซต์กับพอลิพรอพิลีน และตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์
2. ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์จากตัวแปรต่าง ๆ ที่ให้ผลเป็นร้อยละของผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบที่ดีที่สุด

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากถ่านหินแอนทราไซต์ โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งประเภทพลาสติกมาใช้ร่วมกับกระบวนการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลว
2. เป็นการนำประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งประเภทพลาสติกเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการร่วมสำหรับ สังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวเพื่อเพิ่มมูลค่า และก่อให้เกิดผลดีต่อการนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจะเป็นการช่วยลดขยะพลาสติกที่จะต้องใช้เวลาในการย่อยสลาย หรือ ใช้ค่าใช้จ่ายในการนำกลับมาใช้ใหม่ หรือ การทำลาย

3. เป็นการศึกษาถึงการปรับปรุงร้อยละของการเปลี่ยนแปลงถ่านหินให้เป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวเพิ่มมากขึ้น และถ่านหินที่เหลือจากปฏิกิริยาในกระบวนการร่วมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีก
4. ใช้เป็นข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการขยายส่วนสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลวในภาคอุตสาหกรรม หรือ การผลิตในเชิงพาณิชย์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

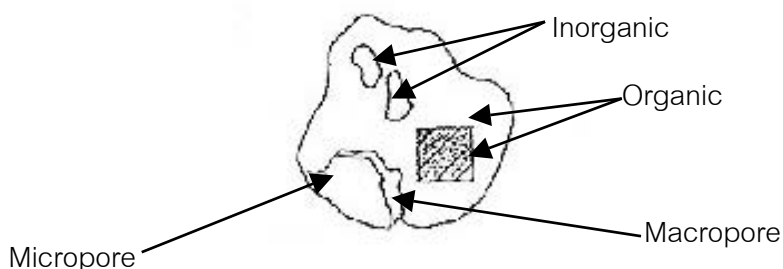
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านหิน [29,39]

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงธรรมชาติที่เป็นหินตะกอนรูปหนึ่งที่เกิดจากการสะสมของซากพืชที่ตายหรือชิ้นส่วนของพืช (Vegetable Material) ตลอดจนดินโคลนที่มีอินทรีย์วัตถุ (Solid Organic Material) ที่ทับถมกันแล้วสะสม จนเมื่อเวลาผ่านไปเป็นร้อยล้านปี เกิดการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาของโลก เกิดความร้อนและความกดดันมากขึ้น จนตะกอนซากพืชที่ทับถมกันเหล่านั้นเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา จนแปรสภาพเป็นถ่านหินที่สามารถติดไฟได้จึงมีการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง

2.1.1 โครงสร้างและองค์ประกอบถ่านหิน [29,30,45]

ถ่านหินทั่วไปมีองค์ประกอบหลักคือ คาร์บอน เป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบมากที่สุด และอยู่เป็นโครงสร้างในโมเลกุลของถ่านหินที่เป็นส่วนอินทรีย์ (Organic Coal Matrix) ซึ่งเป็นส่วนของถ่านหินที่ให้พลังงานนอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบที่เป็นไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน เป็นองค์ประกอบอยู่เล็กน้อย เรียกรวมส่วนนี้ว่า Maceral matter และยังมีธาตุอื่น ๆ ที่รวมเป็นสารประกอบอนินทรีย์แทรกอยู่ในเนื้อถ่านหินหรือรวมตัวเป็นก้อนอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเรียกรวมส่วนนี้ว่า Mineral matter (Crystalline inorganic compound) อยู่กระจัดกระจายทั่วไปในเนื้อถ่านหิน เมื่อนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสารประกอบอินทรีย์จะเกิดการเผาไหม้และให้ความร้อนเกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊ส ส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้คือเถ้า (ash) ซึ่งเป็นส่วนของสารประกอบแร่ธาตุ แต่ส่วนประกอบของแร่ธาตุบางส่วนเมื่อเกิดการเผาไหม้จะไม่เกิดเป็นเถ้า เช่น ที่อุณหภูมิสูง ๆ ไฟไรต์ถูกออกซิไดซ์ กำมะถันจะสลายตัวให้แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนจะสลายตัวให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนเหล็กจะถูกเปลี่ยนสภาพให้อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ของเหล็ก ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเถ้า โครงสร้างโมเลกุลของถ่านหินแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามสมบัติทางเคมี คือ ส่วนโครงสร้างอินทรีย์ (Organic Structure) และส่วนที่เป็นองค์ประกอบแร่ธาตุ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของถ่านหิน [29]

โครงสร้างอินทรีย์ [29.30]

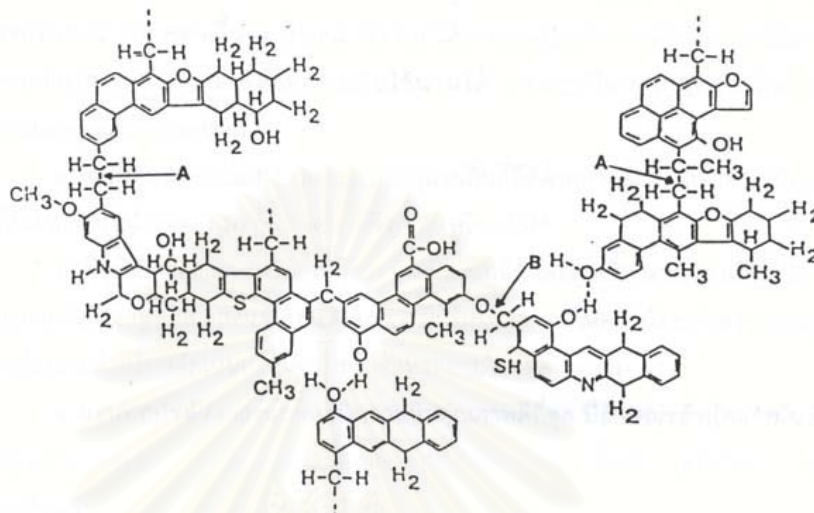
โครงสร้างทางเคมีของถ่านหินประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และมีกำมะถัน ไนโตรเจนเป็นส่วนน้อย เมื่อคิดจากพื้นฐานของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอะตอมธาตุ (Atomic ratio) พบว่าไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในโครงสร้างถ่านหิน ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งเมื่อตัดกั๊ตของถ่านหินสูงขึ้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอะตอมไฮโดรเจนต่อคาร์บอนและออกซิเจนต่อคาร์บอนจะลดลง ส่วนกำมะถันและไนโตรเจนมีน้อยมากจนคิดว่าจะไม่มีส่วนสำคัญ

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักอะตอมของธาตุในถ่านหินลำดับต่าง ๆ [29]

ศักดิ์ถ่านหิน	อัตราส่วนโดยน้ำหนักอะตอมของธาตุ				
	C	H	O	N	S
แอนทราไซต์	100	50	2 – 5	1 – 2	½ -1
บิทูมินัส	100	70	4 – 8	1 – 2	½ -1
ซับบิทูมินัส	100	80	10 – 20	1 – 2	½-1
ลิกไนต์	100	80	20 – 25	1 - 2	½ -1

จากการศึกษาสารประกอบอินทรีย์โครงสร้างถ่านหินโดยใช้ Spectroscopy chromatography เพื่อศึกษาโครงสร้างทางเคมีของถ่านหินหรือสูตรโมเลกุลของถ่านหินนั้น ยังไม่เป็นที่ทราบแน่นอน ทั้ง ๆ ที่มนุษย์รู้จักนำถ่านหินมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ มาเป็นเวลานาน แต่พอจะทราบว่าโครงสร้างทางเคมีของถ่านหินประกอบด้วยกลุ่มโมเลกุลวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic) และไฮโดรอะโรมาติก (Hydroaromatic) เกาะอยู่ด้วยเป็นกลุ่ม ๆ แต่ละกลุ่มอาจเชื่อมกันอยู่ด้วย แขนของโมเลกุลอะลิฟาติก (Aliphatic) ที่อ่อนแอ ภายในกลุ่มแต่ละกลุ่มยังมีวงแหวนที่มีอะตอมของธาตุออกซิเจนหรือกำมะถันหรือไนโตรเจนประกอบอยู่กับคาร์บอน รวมทั้งกลุ่มที่ทำหน้าที่ความเป็นกรด, ด่าง, อีเทอร์หรืออื่นๆ (Functional group) ซึ่งแทนที่ไฮโดรเจนในวงแหวน เช่น ไฮดรอกซี คาร์บอกซี อะมิโน และไทออล ดังแสดงเป็นโมเลกุลสมมติในรูปที่ 2.2 ซึ่งโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ จะเชื่อมโยงด้วยพันธะเคมีเป็นพอลิเมอร์เชื่อมขวาง (Crosslinked polymer) และมีบางส่วนที่ไม่เป็นโครงสร้างพอลิเมอร์ (Polymer chain) จากการวัดความสามารถของการเป็นผลึก (Crystallinity) ของถ่านหินโดยใช้ X-Ray scattering technique พบว่า เมื่อศักดิ์ของถ่านหินสูงขึ้น วงแหวนอะโรมาติกจะเชื่อมกันมากขึ้นและผลึกมีลักษณะคล้ายกราฟิต์ และเมื่อโมเลกุลของถ่านหินได้รับความร้อน จะเกิดการสลายตัวซึ่งปัจจัยที่สำคัญคือ จำนวนไฮโดรเจน

ที่มีอยู่ในโมเลกุลวงแหวน ไฮโดรอะโรมาติก และแซนอะลิเฟติก ซึ่งแตกตัวออกง่ายที่สุด ทำให้กลุ่มโมเลกุลวงแหวนแตกออกจากกันเป็นกลุ่ม ๆ จำนวนมาก



รูปที่ 2.2 โมเลกุลสมมติของถ่านหิน [30]

ส่วนประกอบที่เป็นแร่ธาตุ

สารประกอบแร่ธาตุที่พบมากที่สุดในการถ่านหินคือ ซิลิโคน นอกจากนี้ยังประกอบด้วย อลูมิเนียม เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม รวมตัวกันเป็นสารประกอบ หรือรวมตัวกับอะตอมของธาตุอื่นๆ เกิดเป็นสารประกอบต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของสารประกอบได้คือ

1. กลุ่มคาร์บอเนต (Carbonate) เช่น แคลไซต์ (Calcite) โดโลไมต์ (Dolomite) และ แองเกอร์ไรต์ (Ankerite) เป็นต้น
2. กลุ่มซัลไฟด์ (Sulfide) ที่พบมากคือ มาร์คาไซต์ (Marcasite) และ ไพไรต์ (Pyrite)
3. กลุ่มซัลเฟต (Sulphate) เป็นแร่ธาตุที่พบหลังจากการเกิดการออกซิไดซ์ของไพไรต์ (Pyrite) ได้แก่ ยิปซัม (Gypsum) แอนไฮไดรต์ (Anhydrite) เป็นต้น
4. กลุ่มซิลิเกต (Silicate) หรือ กลุ่มอลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) หรือ ดินเหนียว (clay) ซึ่งเป็นหมู่แร่ธาตุที่มีมากที่สุดในการถ่านหิน เช่น อิลไลต์ (Illite) และ เคโอลินไนต์ (Kaolinite) เป็นต้น
5. แร่ธาตุอื่น ๆ เช่น ควอตซ์ (Quartz) เฟลด์สปาร์ (Feldspar) เป็นต้น

2.1.2 การจำแนกถ่านหิน [1,29,45]

ระบบมาตรฐานอเมริกา (American Societies for Testing and Materials, ASTM) เป็นระบบที่ใช้จำแนกถ่านหินในปัจจุบัน โดยจำแนกถ่านหินตามค่าคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนของถ่านหิน โดยจัดให้ถ่านหินมี 4 ลำดับ คือ ลิกไนต์, ซับบิทูมินัส, บิทูมินัส และ แอนทราไซต์

1. ลิกไนต์ (Lignite) เป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำที่สุด มีสีน้ำตาล กำเนิดจากถ่านพีท โดยยังคงปรากฏร่องรอยของเนื้อไม้อยู่บ้าง โครงสร้างเป็นแผ่น มีความแข็งพอประมาณ มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างสูง มีสารระเหยและความชื้นสูง ให้ค่าความร้อนต่ำ
2. ซับบิทูมินัส (Subbituminous) เป็นถ่านหินลักษณะผิวหน้าเรียบ ไม่เห็นเป็นชั้น มีสีน้ำตาลคล้ำซีด มีค่าความชื้นประมาณ 15 – 30 % ให้ค่าความร้อนสูงกว่าลิกไนต์ โดยทั่วไปให้ค่าความร้อนประมาณ 8,300 – 11,500 บีทียู/ปอนด์ สามารถที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวหรือแก๊ส
3. บิทูมินัส (Bituminous) เป็นถ่านหินคุณภาพสูง มีเนื้อแน่น ไม่ปรากฏเป็นชั้นของเนื้อไม้ แข็ง และมีสีดำเป็นมันวาว จัดว่าเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพสูง ใช้เวลาในการแปรสภาพค่อนข้างยาวนาน มีสารระเหยมาก จะเยิ้มและเกาะตัวเป็นก้อนเมื่อถูกความร้อน ให้ค่าความร้อนสูง ติดไฟง่าย ให้ควันน้อยและมีเถ้าต่ำ เหมาะสำหรับนำไปผลิตเป็นถ่านโค้กและใช้ในอุตสาหกรรมถลุงโลหะ
4. แอนทราไซต์ (Anthracite) เป็นถ่านหินที่จัดว่ามีคุณภาพดีเลิศที่สุด มีลักษณะแข็งเปราะ มีสีดำเป็นมันวาว และเป็นเนื้อเดียวกัน ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงมาก ความชื้นและสารระเหยต่ำ ทำให้ติดไฟได้ยาก แต่เมื่อติดไฟแล้วจะให้ค่าความร้อนสูงมากและให้เวลาในการเผาไหม้ที่ยาวนาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 การจำแนกถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM D 388 (ASTM Standards, 1994)

Class	Group	Fixed Carbon Limits, % (Dry, Mineral-Matter-Free Basis)		Volatile Matter Limits, % (Dry, Mineral-Matter-Free Basis)		Gross Calorific Value Limits, Cal/g Moist ^b , Mineral-Matter-Free Basis				Agglomerating Character
		Equal or Greater than	Less Than	Greater Than	Equal or Less Than	Btu/lb	Mj/Kg ^c	Btu/lb	Mj/Kg ^c	
1. Anthracitic	1.Meta-anthracite	98	...	...	2	...	...	...	...	NonAgglomerating
	2.Anthracite	92	98	2	8	...	...	...	...	...
	3.Semianthracite ^d	86	92	8	14	...	...	...	...	...
2. Bituminous	1.Low volatile bituminous Coal	78	86	14	22	...	...	...	...	...
	2.Medium volatile bituminous coal	69	78	22	31	14000 ^e	...	32.6	...	...
	3.High volatile A bituminous coal	...	69	31	...	13000	14000	30.2	32.6	Commonly Agglomerating ^f
	4.High volatile B bituminous coal	...	...	...	...	11500	13000	26.7	30.2	...
	5.High volatile C bituminous coal	...	...	...	...	10500	11500	24.4	26.7	...
3. Subbituminous	1.Subbituminous A Coal	...	...	...	...	10500	11500	24.4	26.7	Agglomerating
	2.Subbituminous B coal	...	...	...	...	9500	10500	22.1	24.4	...
	3.Subbituminous C Coal	...	...	...	...	8300	9500	19.3	22.1	...
4. Lignite	1.Lignite A	...	...	...	...	6300	8300	14.7	19.3	NonAgglomerating
	2.Lignite B	...	...	...	...	...	6300	...	14.7	...

^a This Classification does not apply to certain coals, as discussed in Note 1.

^b Moist refer to coal containing its natural inherent moisture but not including visible water on the surface of the coal.

^c Megajoules per Kilogram. To convert British thermal units per pound to mega joules per kilogram, multiply by 0.002326

^d If agglomerating, Classify in low-volatile group of the bituminous class.

^e Coals having 69 % or more fixed carbon on the dry, mineral-matter-free basis shall be classified according to fixed carbon, regardless of gross calorific value.

^f It is recognized that there may be nonagglomerating varieties in these groups of the bituminous class, and that there are notable exceptions in high volatile C bituminous group.

2.1.3 การใช้ประโยชน์จากถ่านหิน [29,30]

1. การเผาไหม้ถ่านหินเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการสันดาปโดยตรง (Direct Combustion) หรือใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตและให้ความร้อน

2. กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) เป็นกระบวนการกลั่นสลายถ่านหินในที่ที่ไม่มีอากาศโดยให้ความร้อนแก่ถ่านหินจนได้ถ่านหินที่กลายสภาพเป็นถ่านหินอบที่มีคุณภาพดี มีความชื้นและสารระเหยลดลงซึ่งได้ผลิตภัณฑ์หลัก คือ ถ่านโค้ก (coke) และผลผลิตพลอยได้ คือ ก๊าซถ่านหิน และของเหลวจากรีทอร์ท แต่คุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน ความดัน และขนาดของถ่านหินด้วย

3. กระบวนการทำให้เป็นก๊าซ (Gasification) เป็นกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านหิน โดยทำปฏิกิริยาออกซิเดชันเพียงบางส่วนกับอากาศและออกซิเจนและ/หรือไอน้ำ

4. กระบวนการทำให้เป็นของเหลว (Liquefaction) เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ซับซ้อน เพื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนแก่ถ่านหิน เนื่องจากถ่านหินซึ่งมีปริมาณไฮโดรเจนค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมอื่น นอกจากนี้จะเป็นการลดปริมาณออกซิเจน กำมะถัน และไนโตรเจน ในกระบวนการนี้จะมีการเติมไฮโดรเจนภายใต้ภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันสูง รวมถึงอาจมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว และเป็นการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสภาพเป็นของเหลวสามารถนำมากลั่นเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไปได้

2.1.4 กระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหิน (Coal Liquefaction) [10,12,28,30,33,37]

ในการผลิตของเหลวจากถ่านหินเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมีหลักการคือ การทำให้โมเลกุลของถ่านหินซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน เกิดการแตกตัวของพันธะต่าง ๆ ออกเป็นโมเลกุลที่มีองค์ประกอบเป็นคาร์บอนขนาดเล็ก มีโครงสร้างทางเคมีขนาดเล็ก และสามารถจับเข้ากับโมเลกุลของแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งจะทำให้สามารถได้ผลผลิตเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว ซึ่งจะมีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากถ่านหิน ประกอบด้วย คุณสมบัติของถ่านหินชนิดต่าง ๆ อุณหภูมิ ความดัน และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา รวมถึงการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวได้อย่างรวดเร็วและมีองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามต้องการ

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหิน [28,30]

1. Reactivity ของถ่านหิน โดยถ่านหินที่มีศักดิ์ต่าง ๆ กันจะมีความสามารถในการแปรสภาพเป็นของเหลวได้แตกต่างกัน กัน อาทิ ถ่านหินที่มีศักดิ์ต่ำ ๆ เช่น ลิกไนต์ สามารถแปรสภาพภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมได้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลว แต่ให้ผลผลิตต่ำ เป็นต้น

2. อัตราการให้ความร้อนกับกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากถ่านหิน เลือกว่าอยู่ที่อุณหภูมิ 400 – 550 องศาเซลเซียส และต้องเพิ่มอัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการรวมตัวของโมเลกุลถ่านหินที่แตกตัวจากอิทธิพลของความร้อนให้เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่

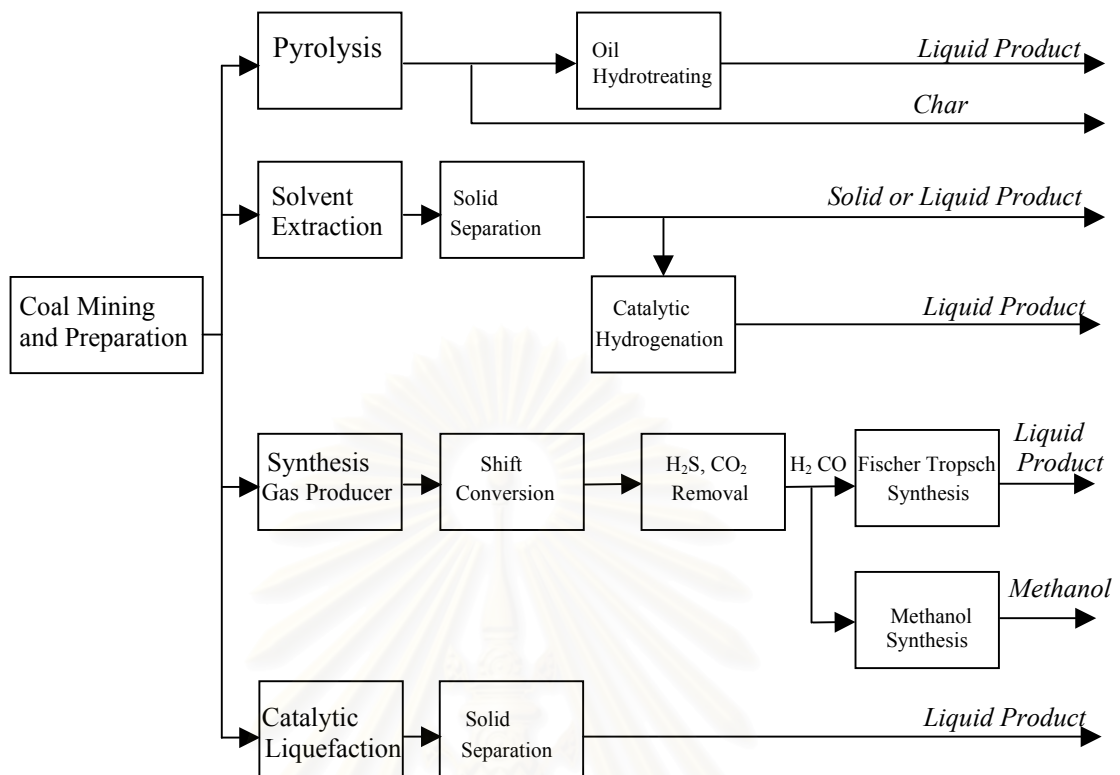
3. เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ต้องไม่นานมากนัก เนื่องจากจะทำให้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไป หรือแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลเล็ก ๆ จนเป็นแก๊สไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

4. ความดันที่ใช้ในปฏิกิริยา อยู่ในระหว่าง 500 – 4000 Psig โดยที่ภาวะความดันต่ำ ๆ ถ่านหินที่มีศักดิ์ต่ำก็สามารถเกิดเป็นของเหลวได้ แต่ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลวต่ำ

สำหรับกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหินสามารถแบ่งได้เป็น 4 กระบวนการ คือ

1. กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis)
2. กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Hydrogen couple with solvent extraction : solvent extraction)
3. กระบวนการผลิตของเหลวโดยทางอ้อม (Indirect catalytic synthesis of liquid from gasified coal)
4. กระบวนการผลิตของเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Direct catalytic hydrogenation of coal : catalytic liquefaction)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

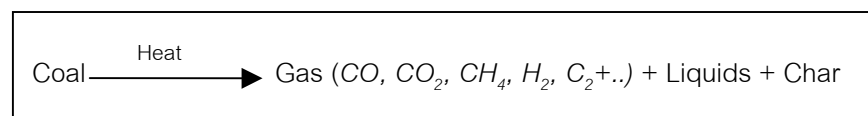


รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหิน [28]

กระบวนการไพโรไลซิส

เป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่ถ่านหินในระบบที่ปราศจากออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วย น้ำมันหนัก (Heavy Oil) น้ำมันเบา (Light liquid) แก๊สไฮโดรคาร์บอน และถ่านโค้ก กระบวนการนี้มีข้อดีที่สามารถเกิดได้ที่ความดันไม่สูงมาก หรือที่ความดันบรรยากาศ โดยไม่จำเป็นต้องใช้แก๊สไฮโดรเจน ใช้เวลาไม่นาน และสามารถเกิดปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์อย่างง่ายได้ แต่มีข้อเสียที่ให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเพียงหนึ่งในสาม (โดยน้ำหนักของถ่านหิน) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำมันหนัก ไม่คุ้มค่าที่จะแยกแ่้า และถ่านโค้กออกจากน้ำมันหนัก รวมถึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของเหลวก่อนนำมาใช้งานเพื่อลดการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์คือ การให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว, ขนาดของถ่านหิน, ความดันแก๊สไฮโดรเจน โดยภาวะที่ให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวดีที่สุดจะขึ้นอยู่กับ การเพิ่มความร้อนให้กับถ่านหินขนาดเล็กในอัตราที่รวดเร็ว และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่นานมาก

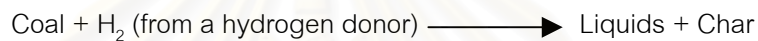
สมการทั่วไปสำหรับกระบวนการไพโรไลซิส คือ



กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

เป็นกระบวนการทำให้ถ่านหินแตกตัวในภาวะที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียสโดยใช้ตัวทำละลายที่มีสมบัติในการให้ไฮโดรเจนอะตอมอิสระแก่ถ่านหิน ทำให้ถ่านหินเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวชั้น ที่มีโมเลกุลเล็กลง หลังจากนั้นจะผ่านกระบวนการเติมแก๊สไฮโดรเจนซึ่งจะเพื่อให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลแล้วจึงจับตัวกันเป็นโมเลกุลใหม่ที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว กระบวนการนี้มีข้อดีที่สามารถเกิดได้ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่ากระบวนการไพโรไลซิส และสามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของเหลวได้ แต่มีข้อจำกัดที่ การแยกแ้ว และของแข็งส่วนที่ไม่ทำปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ต้องใช้วิธีการสกัด ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลวในระดับอุตสาหกรรม

สมการทั่วไปสำหรับกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย คือ

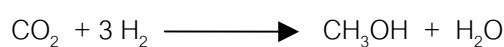


กระบวนการผลิตของเหลวโดยอ้อม

มีกระบวนการคล้ายกับการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน (Gasification) โดยในขั้นแรกได้แก๊สไฮโดรคาร์บอน เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สผสมอื่น ๆ จากนั้นจะถูกแยกแก๊สที่ปะปนออกไปเพื่อให้บริสุทธิ์ โดยปรับสัดส่วนของแก๊สไฮโดรเจนให้สูงขึ้นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี เหล็ก หรือ โคบอลต์เป็นองค์ประกอบ เพื่อให้เกิดการจับตัวของโมเลกุลเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (Aliphatic hydrocarbons) กระบวนการนี้มักจะใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed) หรือแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed) โดยมีข้อดีที่สามารถใช้ประโยชน์จากถ่านหินทุกชนิดในการเปลี่ยนให้เป็นของเหลวได้ สามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งจะไม่มียอดประกอบของไนโตรเจน และซัลเฟอร์ในผลิตภัณฑ์ แต่มีข้อจำกัดที่จะต้องมีการแยกแก๊สอื่น ๆ หรือ มลทินอื่นที่ปะปนอยู่ในกระบวนการผลิตแก๊สจากถ่านหินเพื่อให้มีความบริสุทธิ์ และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของกระบวนการนี้มีค่าต่ำกว่ากระบวนการเติมไฮโดรเจนให้กับถ่านหินอื่น ๆ

สมการทั่วไปสำหรับกระบวนการผลิตของเหลวโดยทางอ้อม คือ

ขั้นตอนการสังเคราะห์เมทานอล คล้ายกับกระบวนการ Fischer-Tropsch



ขั้นตอนการเปลี่ยนเมทานอลไปเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน



กระบวนการ Catalytic Liquefaction

เป็นกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหิน โดยที่ทำให้โมเลกุลของถ่านหินซึ่งมีขนาดใหญ่ และมีโครงสร้างซับซ้อนแตกตัวโดยมีแก๊สไฮโดรเจนร่วมอยู่ในปฏิกิริยา และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้มีการกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาในถ่านหินอย่างโดยผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้ที่ความดันไม่สูงมาก ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาได้รวดเร็วขึ้น



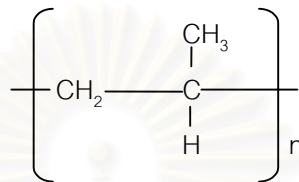
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบข้อดี – ข้อเสีย ของกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหินโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [28,30,33,37]

ข้อดี	ข้อเสีย
<ol style="list-style-type: none"> 1. มีการกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดีบนถ่านหิน ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วขึ้น 2. สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่ความดันไม่สูงมาก 3. ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่นาน 4. สามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ของเหลวได้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. เกิดการเสื่อมสภาพ (Deactivate) ของตัวเร่งปฏิกิริยาในเวลาไม่นานนัก และมีค่าใช้จ่ายในการ Generate ตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ 2. การแยกส่วนที่ไม่ทำปฏิกิริยาต่าง ๆ เช่น Solid residue, ash ออกจากน้ำมันหนัก (Heavy Oil) ได้ยาก 3. จะต้องมีการนำน้ำมันหนักกลับมาใช้ใหม่

2. 2 พอลิพรอพิลีน [27,32,43]

พอลิพรอพิลีน เป็น พลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติก ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน มีสมบัติเฉพาะตัวคือ ความถ่วงจำเพาะต่ำ ความแข็งเปราะสูง อุณหภูมิบิตตัวสูง ความทนทานต่อสารเคมีได้ดี มีคุณสมบัติด้านไฟฟ้าได้ดี จึงมีการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หลายชนิด เช่น อุปกรณ์ในครัวเรือน ภาชนะ บรรจุภัณฑ์ ของเด็กเล่น

พอลิพรอพิลีนมีหน่วยย่อยซ้ำ คือ พอลิพรอพิลีนโมโนเมอร์ มีสูตรโครงสร้างทั่วไปคือ

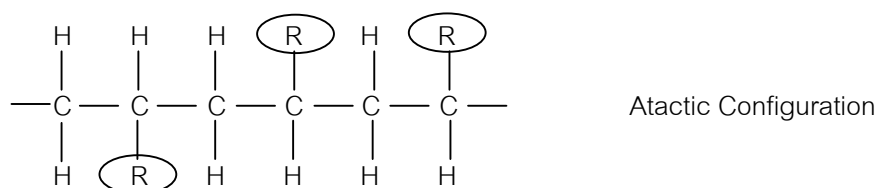
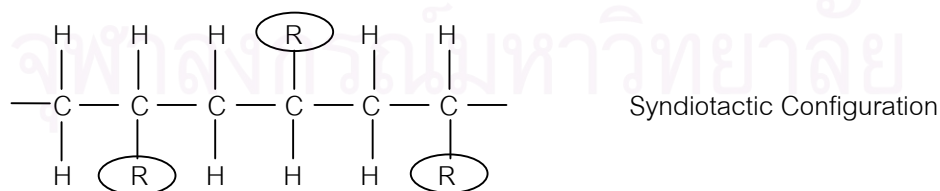
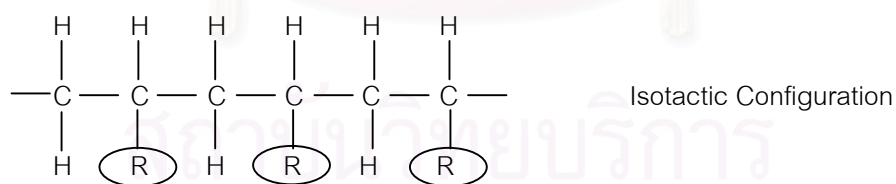


รูปที่ 2.4 โครงสร้างทั่วไปของพอลิพรอพิลีน

2.2.1 โครงสร้างของพอลิพรอพิลีน [27,43]

พอลิพรอพิลีนเป็นไฮโดรคาร์บอนโพลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงและประกอบด้วยโครงสร้างที่ไม่อิมิตัวน้อยมาก หรือ ไม่มีเลย การสลับที่ของหมู่เมทิล ไปตามคาร์บอนอะตอมบนสายโซ่โมเลกุลทำให้สมบัติของพอลิเมอร์แตกต่างกันได้มากมาย โดยหมู่เมทิลจะเป็นตัวกำหนดโครงสร้าง tacticity ของพอลิเมอร์ได้โดยเป็นแบบต่าง ๆ กันดังนี้

1. แบบ isotactic เมื่อหมู่เมทิลทั้งหมดอยู่ด้านเดียวกันของสายโซ่โมเลกุล
2. แบบ Syndiotactic เมื่อหมู่เมทิลทั้งหมดอยู่สลับกันบนสายโซ่โมเลกุล
3. แบบ Atactic เมื่อหมู่เมทิลไม่อยู่กันเป็นระเบียบบนสายโซ่โมเลกุล



รูปที่ 2.5 โครงสร้างแทคติซิตีของพอลิพรอพิลีน [27]

จากโครงสร้างที่แตกต่างกันเนื่องจากการจัดเรียงของหมู่เมทิลเหล่านี้ ทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น มีจุดเดือด จุดหลอมเหลว สมบัติเชิงกล ความต้านทานแรงดึง ที่แตกต่างกันไป พอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นไป จะมีจุดหลอมเหลวและความต้านทานแรงกระทำเพิ่มขึ้น แต่สมบัติด้านความแข็ง ความแข็งตัว อุณหภูมิอ่อนตัว อุณหภูมิเปราะตัว จะลดลง จึงสามารถสันนิษฐานได้ว่า เมื่อพอลิพรอพิลีนมีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นไปจะเกิดเป็นผลึกได้ยากกว่าเมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ

2.2.2 สมบัติทางเคมีของพอลิพรอพิลีน [43]

1. ความต้านทานต่อสารเคมี พอลิพรอพิลีนเป็นสารที่ไม่มีขั้ว (non polar) จึงแสดงสมบัติการต้านทานต่อสารเคมีได้เป็นอย่างดี โดยสามารถทนต่อกรด (ยกเว้น Oxidizing acid) เบส สารละลายจำพวกเกลือ ตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ ได้ที่อุณหภูมิห้อง แต่จะไม่ทนต่อสารอะโรมาติก เช่น เบนซีน ที่อุณหภูมิสูง ๆ

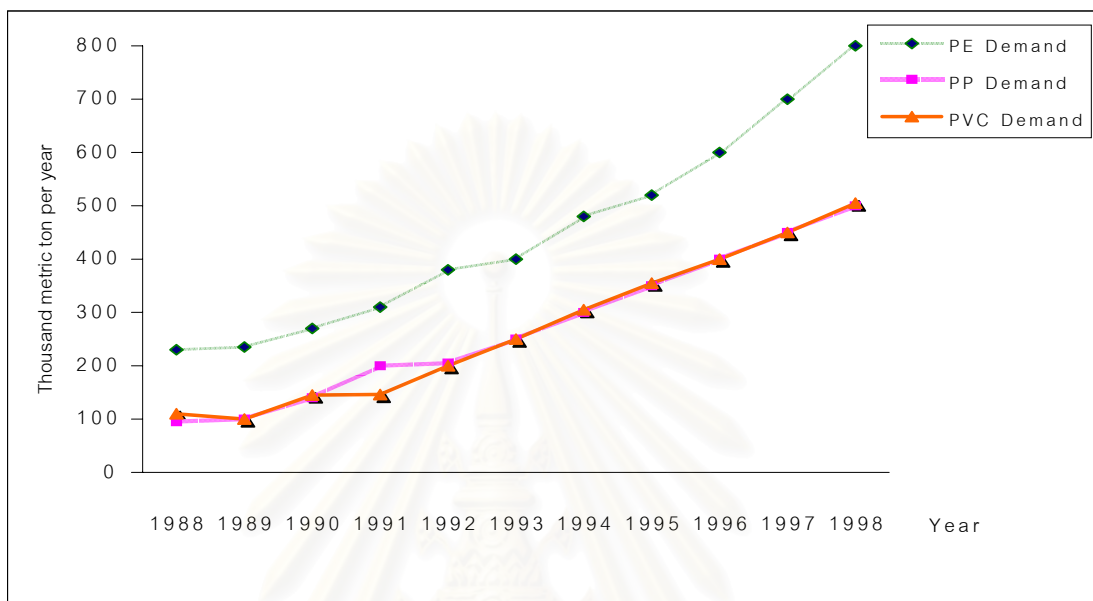
2. ความต้านทานต่อสภาพแวดล้อม พอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบ Teritary มีการเกาะตัวของโมเลกุลอย่างไม่แน่นอนหนา มีโอกาสถูกย่อยสลายได้ง่าย ไม่ทนต่อสภาพแวดล้อม เช่น แสงแดด

3. ความสามารถในการติดไฟ พอลิพรอพิลีนสามารถติดไฟได้เองที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส

2.2.3 การใช้ประโยชน์ของพอลิพรอพิลีน [27,43]

ปัจจุบันได้มีการใช้พอลิพรอพิลีนอย่างกว้างขวาง มีการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับประโยชน์ใช้งาน เช่น โพลิพรอพิลีน เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานประเภทที่ต้องการสมบัติด้านทนทานต่อสภาพแวดล้อมและทนความร้อนได้ดี นิยมนำมาทำกล่องพลาสติก ส่วนพอลิพรอพิลีนโคพอลิเมอร์มีสมบัติด้านทนทานการกระทำสูง มีจุดเปราะตัวที่อุณหภูมิต่ำ นิยมใช้ผลิตเป็นวัสดุหรือชิ้นส่วนต่าง ๆ เช่น ชิ้นส่วนเครื่องซักผ้า ตัวถัง และกันชนรถยนต์ นอกจากนี้ได้มีการพยายามที่จะปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนให้สมบัติทนทานในการรับแรงกระทำ หรือทนต่อ ความร้อน อุณหภูมิสูงได้ โดยผสมพอลิพรอพิลีนกับวัสดุจำพวกยางเพื่อผลิตเป็นชิ้นส่วนของรถยนต์ เช่น กันชน หน้าปัด หรือการผสมพอลิพรอพิลีนกับทัลค์ (Talc) เพื่อให้ได้วัสดุที่มีความแข็งแรงสูง ทนต่อความร้อน และอุณหภูมิ

จากคุณสมบัติที่พอลิพรอพิลีนสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลาย จึงมีความต้องการใช้พอลิพรอพิลีนในประเทศที่สูงขึ้น โดยในระหว่างปีพุทธศักราช 2531 ถึง 2536 มีความต้องการใช้พอลิพรอพิลีนสูงขึ้นถึงร้อยละ 21 และคาดว่าจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต



รูปที่ 2.6 ความต้องการใช้พลาสติกชนิดต่าง ๆ ระหว่างปี พ.ศ. 2531 – 2541 [44]

จากความต้องการใช้พอลิพรอพิลีนที่สูงขึ้น ย่อมจะส่งผลถึงปริมาณขยะพลาสติกที่จะต้องเพิ่มขึ้น อันก่อให้เกิดปัญหาการกำจัดขยะพลาสติก เนื่องจากการกำจัดขยะพลาสติกมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สูง จึงจำเป็นต้องหาหนทางกำจัดที่เหมาะสมและไม่กระทบต่อสิ่งแวดล้อม การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) หรือการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ หรือสารตั้งต้น ในกระบวนการผลิตเพื่อให้ผลิตภัณฑ์อื่น จะเป็นแนวทางในการจัดการขยะพลาสติกในการเพิ่มคุณค่าของขยะพลาสติกเหล่านั้น

2.3 ปฏิกิริยาอะคะตะไลซิส (Catalysis reaction) [8.19.47]

เป็นปฏิกิริยาที่นำตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามาใช้เพื่อให้ปฏิกิริยาสามารถดำเนินไปได้รวดเร็วขึ้น โดยมีกลไกที่ปลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้จะมีหน้าที่ปลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา โดยที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น หรือไปรบกวนสมดุลของปฏิกิริยา จึงมีความหมายโดยสรุปว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นตัวเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่านั้น โดยเมื่อพิจารณาถึงค่าคงที่ของสมดุลของปฏิกิริยา ก็พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องไม่ทำให้ค่าคงที่ของสมดุลเปลี่ยนแปลง แต่ทำให้อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งตามทฤษฎีแล้วเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะได้ตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาเท่ากับปริมาณที่ใช้ตอนเริ่มต้นโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพ แต่ในทางปฏิบัติตัวเร่งปฏิกิริยาอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง หรือองค์ประกอบได้ เช่น การเปลี่ยนอัตราส่วนของออกซิเจนต่อโลหะในตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะออกไซด์บางชนิดที่อุณหภูมิสูง หรือการสัมผัสของสารตั้งต้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาโดยสามารถแบ่งปฏิกิริยาอะคะตะไลซิสจากเฟสของตัวเร่งปฏิกิริยากับสารตั้งต้นได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. ปฏิกิริยาอะคะตะไลซิสแบบเอกพันธ์ (Homogeneous Catalytic Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารตั้งต้นอยู่ในสถานะเดียวกัน โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- 1.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นแก๊ส เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการออกซิเดชันของซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- 1.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของเหลว ได้แก่ การใช้กรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างของสารละลายน้ำตาลกลูโคส

2. ปฏิกิริยาอะคะตะไลซิสแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Catalytic Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารตั้งต้นอยู่ต่างสถานะ หรือไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยส่วนมากตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็นของแข็ง ในขณะที่สารตั้งต้นเป็นแก๊ส หรือของเหลว หรือแก๊สรวมอยู่กับของเหลว โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีคุณสมบัติทางเคมีของผิวที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาอะคะตะไลซิส โดยการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดเฉพาะที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยมักจะเป็นปฏิกิริยาการดูดซับ และไม่เกิดปฏิกิริยาทะลุเข้าไปถึงเนื้อในของของแข็งที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับ อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะแปรผันตรงกับพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สัมผัสกับสารตั้งต้นและความเข้มข้นของโมเลกุลที่ดูดซับบนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา

3. ปฏิกิริยาอะคะตะไลซิสแบบเอนไซม์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อนที่มีโมเลกุลใหญ่ โดยมีความเกี่ยวข้องกับวิถีของการดำเนินปฏิกิริยาชีวเคมี และอยู่ก้ำกึ่งระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์และตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์

2.4 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา [47]

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 แบบ คือ วิธีการตกตะกอน (precipitation method) และวิธีการฝังตัว (impregnation method)

1. วิธีการตกตะกอน เป็น วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่แพร่หลายใช้ในทางอุตสาหกรรม น้อยกว่าแบบฝังตัว แต่มีข้อดีที่สามารถเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีเปอร์เซ็นต์สูง โดยวิธีเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวิธีตกตะกอนมีวิธีการตกตะกอน 2 วิธีคือ

1.1 วิธีการตกตะกอนเพื่อให้ได้โลหะออกไซด์เพียงอย่างเดียว โดยการเติมสารละลายที่เป็นเกลือของโลหะลงในสารละลายพวกอัลคาไลไฮดรอกไซด์

1.2 วิธีการตกตะกอนร่วม (coprecipitation) มีวิธีการคล้ายกับการตกตะกอน แต่ใช้เกลือของโลหะมากกว่า 2 ชนิด เพื่อให้เกิดสารละลายเชิงซ้อน ที่เรียกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาพรีเคอร์เซอร์ (catalyst precursor) โดยวิธีการนี้มีข้อจำกัดในวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า โดยต้องทำการควบคุมภาวะในการเตรียม เช่น pH ของสารละลาย อัตราการเติมสารละลายเพื่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน เป็นต้น

2. วิธีการฝังตัว เป็นวิธีที่นิยมใช้แพร่หลายที่สุด สามารถสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่าย โดยการเติมตัวรองรับลงในสารละลายของเกลือโลหะโดยสารละลายของเกลือโลหะต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับตัวรองรับ ซึ่งเกลือโลหะจะแพร่ซึมเข้าสู่ตัวรองรับ จากนั้นจึงให้ความร้อนเพื่อให้เกลือของโลหะและตัวทำละลายที่มากเกินไปเกิดการสลายตัว เหลือเพียงออกไซด์ของโลหะที่ยังคงอยู่บนตัวรองรับเท่านั้น นอกจากนี้ในการใช้สารละลายเกลือของโลหะที่มีความเข้มข้นสูง ๆ จะให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าการใช้สารละลายเกลือของโลหะที่มีความเข้มข้นน้อย โดยการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีฝังตัวสามารถจำแนกออกได้เป็น

2.1 การฝังตัวแบบเปียก (wet impregnation) เป็นวิธีที่เติมตัวรองรับลงในสารละลายของเกลือโลหะที่มีปริมาณมากเกินไป

2.2 การฝังตัวแบบแห้ง (dry impregnation) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยตัวรองรับจะถูกทำให้กระจายตัวและถูกพ่นด้วยสารละลายเกลือของโลหะที่มีความเข้มข้นเหมาะสม ปริมาณของสารละลายที่ใช้ต้องเท่ากับปริมาตรของรูพรุนทั้งหมดของตัวรองรับ ซึ่งจะเป็นการควบคุมปริมาณองค์ประกอบที่ว่องไวที่เกาะบนตัวรองรับได้อย่างถูกต้องมากขึ้น โดยเมื่อผ่านขั้นตอนการพ่นสารละลายของเกลือโลหะบนตัวรองรับแล้ว จะถูกทำให้แห้งซึ่งขั้นตอนนี้จะมีความสำคัญต่อการกระจายตัวของโลหะบนผิวของตัวรองรับ เพราะหากทำให้แห้งอย่างช้า ๆ จะทำให้เกลือของโลหะเคลื่อนย้ายมาอยู่บริเวณปากรูพรุนทำให้การกระจายตัวของโลหะที่ผิวของตัวรองรับไม่สม่ำเสมอ แต่หากต้องการให้การกระจายตัวของโลหะที่ผิวมีความสม่ำเสมอจำเป็นต้องทำให้แห้งในเวลาอันรวดเร็ว

2.5 ตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา [47]

การเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยาอะตอมไฮโดรเจนมีหลักการสำคัญที่ต้องทำให้อนุภาคของสารที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีขนาดเล็กซึ่งเป็นการทำให้พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้น หรือสัดส่วนของอะตอมบนผิวมีค่าได้มากที่สุด การใช้ตัวรองรับที่เหมาะสมและมีพื้นที่ผิวสูง จะช่วยให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไว ซึ่งในการเลือกใช้ตัวรองรับจะต้องคำนึงถึง

1. สมบัติเชิงกลของตัวรองรับ ที่ต้องสามารถทนต่อปฏิกิริยา แรงกด แรงเสียดสี
2. มีความเสถียรภายใต้ภาวะของการทำปฏิกิริยา และภาวะของการนำกลับมาใช้ใหม่
3. พื้นที่ผิวสูง มีรูพรุนมาก และการกระจายของขนาดรูพรุนสม่ำเสมอ
4. เชื่อมต่อปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการ
5. มีราคาไม่แพง

2.6 ถ่านกัมมันต์ (active carbon) [6]

หมายถึง ผลิตภัณฑ์ของคาร์บอน ซึ่งเป็นสารดูดซับชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีดำ อาจอยู่ในรูปของผงหรือเม็ดก็ได้ มีโครงสร้างรูพรุนขนาดเล็ก พื้นที่ผิวดูดซับสูง ทำให้มีสมบัติการดูดซับที่ดี ใช้ประโยชน์ในการกำจัดกลิ่น สี หรือแก๊ส โดยทั่วไปมักจะเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยเป็นของเหลือทิ้ง หรือมีราคาถูก มีปริมาณคาร์บอนสูง มีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ มีปริมาณเถ้าต่ำ และมีความสะดวกในการนำมาใช้งาน เช่น ไม่สลายตัวเมื่อเก็บไว้นาน ๆ โดยนำวัตถุดิบซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม ฯลฯ มาผ่านกระบวนการกระตุ้น (activation) ให้มีพื้นที่ผิวสูง มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มีความจุในการดูดซับสูง และมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก เช่น กะลามะพร้าว ชานอ้อย กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม หรือพวกถ่านหินประเภทลิกไนต์ เป็นต้น

2.6.1 โครงสร้างทางเคมีของผิวถ่านกัมมันต์ [6]

ถ่านกัมมันต์เตรียมจากการเผาผลาญสารอินทรีย์ด้วยความร้อน (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส ในภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ โดยความร้อนจะสลายอะตอมต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน , ไนโตรเจน และไฮโดรเจน จนเหลือแต่อะตอมของคาร์บอนที่มีรูปแบบและเกิดการสร้างวงอะโรมาติก (Aromatization) โดยอะตอมคาร์บอนซึ่งเดิมสร้างพันธะโดยใช้อิเล็กตรอนจากชั้น 2s จำนวน 2 อิเล็กตรอน และชั้น 2p จำนวน 2 อิเล็กตรอน เกิดการ Hybridization เปลี่ยนมาใช้อิเล็กตรอนจากชั้น 1s เพียง 1 อิเล็กตรอน และในชั้น 2p จำนวน 2 อิเล็กตรอน และมีอิเล็กตรอนอิสระจากชั้น 2p อีก 1 อิเล็กตรอน (sp^2 hybridization) จึงเกิดพันธะแบบซิกมา (sigma bond) กับคาร์บอนอะตอมข้างเคียง 3 ตัว เรียงกันเป็นรูปสามเหลี่ยมในระนาบ

เดียวกันและอิเล็กตรอนอิสระที่เหลือจะโคจรอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างของระนาบ พร้อมทั้งจะเกิดพันธะไพ (pi bond) ซึ่งในที่สุดก็จะเกิดวงแหวนอะโรมาติกเคลื่อนที่ (resonance) ได้ทั่วโครงสร้างได้เป็นวงอะโรมาติกเชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรง ซึ่งจะมอดูร์ประกอบของทาร์ (tar) และสารอื่น ๆ ที่ได้จากการเผาผลาญ โดยช่องว่างเหล่านี้จะเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับด้วยกระบวนการที่เรียกว่าการกระตุ้น เพื่อกำจัดทาร์ ธาตุ และสารประกอบอื่น โดยการเผาผลาญเพื่อให้ออกจากช่องว่าง รูพรุนเหล่านั้น และสร้างหมู่ฟังก์ชันนัลขึ้นมาแทน ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ จึงเป็นผลต่อเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีด้วย Riley (1974) ได้ศึกษาโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ และได้เสนอโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ไว้ 2 แบบ คือ แบบที่มีลักษณะกราฟไฟต์ แต่การวางตัวระนาบชั้นไม่ตั้งฉากกัน ช่องว่างระหว่างชั้นจึงชิดมาก ทำให้แรงกระทำน้อยกว่าของผลึกกราฟไฟต์ สำหรับอีกแบบหนึ่งเป็นแบบที่มีลักษณะไม่เป็นระเบียบ คือการเชื่อมโยงระหว่างอะตอมที่ไม่อยู่ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกัน โครงสร้างแบบนี้จะเสถียรมากขึ้น เมื่อมีอะตอมออกซิเจน

2.6.2 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ [6.46]

การผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ต้องการ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยวิธีการ 2 ขั้นตอน คือ กระบวนการคาร์บอนไนซ์ เพื่อผลิตถ่านชาร์ ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสโดยมีภาวะของออกซิเจนต่ำ และ กระบวนการกระตุ้น เพื่อให้คาร์บอนมีความสามารถในการดูดซับมากขึ้น โดยเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวและทำให้มีความว่องไวมากขึ้น โดยอาจใช้วิธีการกระตุ้นโดยการใส่สารเคมีทำปฏิกิริยาที่ผิวคาร์บอนโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือ การกระตุ้นทางกายภาพโดยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผิวของคาร์บอนโดยใช้กระบวนการทางกายภาพ เช่น การใช้ไอน้ำอัดตัวยิ่งยวด แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สออกซิเจน

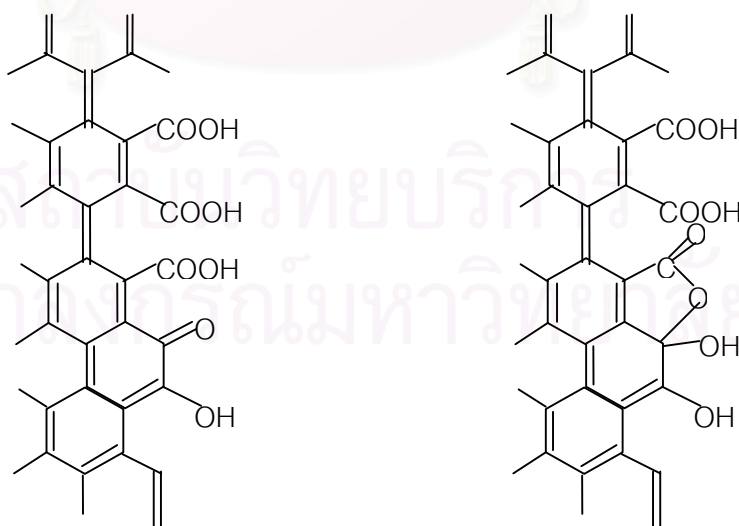
Mukher Jee (1947) ได้พิจารณาความหมายของการกระตุ้นไว้เป็น 3 ลักษณะคือ

1. เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (active surface area) โดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป และเกิดส่วนที่มีอำนาจดูดซับขึ้นมาแทน
2. เป็นการเพิ่มความว่องไวในการดูดซับให้ผิวที่มีอยู่แล้ว หมายถึงการทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้น โดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ให้มีความว่องไวในการดูดซับสูงขึ้น
3. เป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (active centers)

2.6.3 ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์

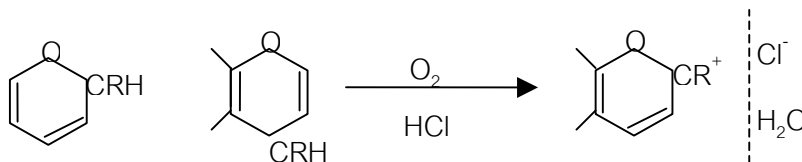
ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เกิดจากอิเล็กตรอนอิสระในวงโคจรนอกสุดมีครบ 2 หรือ 8 ตัว (unsaturated valencies) ตามกฎออกเตต (octate law) จึงพยายามที่จะเกาะกลุ่มกับอะตอมอื่น เช่น อะตอมต่าง ๆ ที่อยู่ในสารตั้งต้น กระบวนการกระตุ้นจะช่วยให้การเกาะกันของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมอื่นกลายเป็นพันธะเคมีที่แข็งแรง มักเกิดกับอะตอมที่อยู่ที่ยอบของวงแหวนเหลี่ยมถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับทางเคมี (chemisorb) กับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส และกลายเป็นออกไซด์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับอะตอมไฮโดรเจน ดึงอะตอมซัลเฟอร์ออกจากโมเลกุลไฮโดรเจนซัลไฟด์ และดึงอะตอมกลุ่มฮาโลเจนออกจากโมเลกุลฮาโลเจนที่อยู่ในสภาพแก๊สหรือของเหลวก็ได้ เกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ บนผิวของถ่านกัมมันต์ ที่สำคัญคือผิวที่เกิดจากอะตอมคาร์บอนและออกซิเจนหรือที่เรียกว่า ผิวออกไซด์ นั้น มี 2 ชนิด คือ ชนิดที่เป็นกรด และชนิดที่เป็นด่าง

ชนิดที่เป็นกรด มักเกิดในถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นที่อุณหภูมิไม่สูงมาก หมู่ฟังก์ชันชนิดนี้จะเกาะอยู่บนผิวของถ่านกัมมันต์จะมีสมบัติคล้ายกรด เช่น carbonyls, phenols, lactone, aldehyde, ketones, quinones, hydroquinones, hydroquinone เป็นต้น โครงสร้างของถ่านกัมมันต์แบบนี้ค่อนข้างที่จะเสถียรแม้จะอยู่ในสุญญากาศ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วโครงสร้างจะเสถียรที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้เล็กน้อยจะเกิดการสลายตัวเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ แต่ถ้าอยู่ในภาวะที่อุณหภูมิสูงมากจะเกิดการสลายตัวเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และแก๊สไฮโดรเจน



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดบนผิวของถ่านกัมมันต์ [46]

ชนิดที่เป็นต่าง เป็น ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 – 900 องศาเซลเซียส มีหมู่ฟังก์ชันที่เกาะบนผิวของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ $-OH$ และ $-CH_3$ ทำให้มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลที่เป็นกรด



รูปที่ 2.8 หมู่ตัวอย่างหมู่ฟังก์ชันที่เป็นต่างบนผิวของถ่านกัมมันต์ [46]

2.6.4 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการนำถ่านกัมมันต์มาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยส่วนมากนิยมนำมาใช้ในการดูดซับกลิ่น และสีที่ไม่พึงปรารถนาออกไป เนื่องจากถ่านกัมมันต์สามารถผลิตได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้ง่าย และมีราคาไม่แพง จึงเป็นการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างคุ้มค่าที่สุด

2.7 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อน (Thermal Cracking)

[8,15,42,47]

เป็นกระบวนการเปลี่ยนโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลง โดยใช้อุณหภูมิสูง โดยหากควบคุมให้การแตกตัวเป็นไปได้อย่างพอดี จะมีการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม สามารถได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ เนื่องจากการให้ความร้อนจนเกินพอดีจะทำให้การแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กเกินไปจนอยู่ในรูปก๊าซ $C_1 - C_4$ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการและไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนจะมีความว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยเฉพาะส่วนที่มีแซนโอเลฟินและไดโอเลฟิน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากันเองต่อไป

กระบวนการแตกตัวโมเลกุลด้วยความร้อนเป็นปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical) แบบห่วงโซ่ ประกอบด้วยปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นเริ่มต้น (Initiation) คือ เป็นการเกิดอนุมูลอิสระ เกิดจากพันธะคาร์บอนแตกออกจากกัน เกิดเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยาในขั้นต่อไป
2. ขั้นการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องแบบลูกโซ่ (Chain carrying) เกิดจากอนุมูลอิสระในขั้นเริ่มต้นทำปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง เกิดการเปลี่ยนรูปของไอโซเมอร์ และแตกเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง พร้อมกับเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้น นอกจากนี้อนุมูลอิสระนั้นอาจทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตัวอื่น เกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ และโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลงต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ

3. ขั้นหยุดปฏิกิริยา (Termination) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะหยุดปฏิกิริยาต่อเนื่อง โดยจะ
ทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ใหญ่ขึ้น โดยอาจเกิดเป็นโมเลกุลใหม่
โมเลกุลเดียว หรือ เกิดเป็นโมเลกุลย่อย 2 โมเลกุล

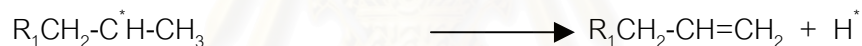
สมการแสดงปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนของพอลิพรอพิลีน

1. Initiation

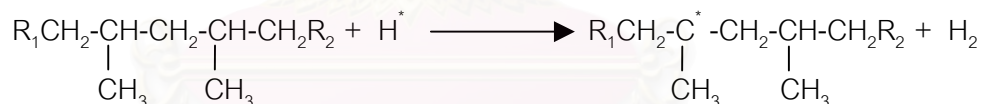


2. Chain carrying

2.1 beta fission



2.2 Chain Transfer



3. Termination



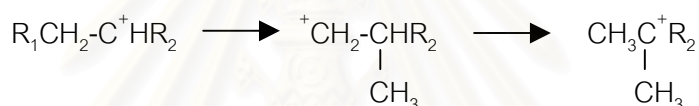
2.8 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic cracking) [8.15.42.47]

เป็นกระบวนการที่นำตัวเร่งปฏิกิริยาเข้ามามีบทบาทในการช่วยแตกย่อยสารประกอบ
ไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ได้โครงสร้างที่เหมาะสม มีคุณภาพพอเหมาะที่
จะนำไปใช้ประโยชน์ตามต้องการได้ กลไกของการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยการใช้ตัวเร่ง
ปฏิกิริยา ประกอบด้วย

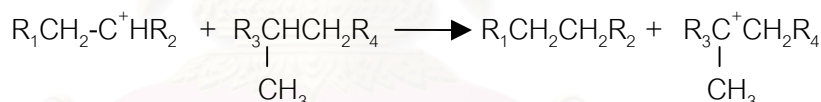
1. การเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจีเนชัน และปฏิกิริยาการเกิดคาร์โบเนียมไอออน ซึ่งเกิดจากการที่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสูญเสียไฮโดรต์ไอออนที่มีประจุลบให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรด ทำให้คาร์โบเนียมไอออนมีสภาพเป็นบวกทางไฟฟ้า โดยคาร์โบเนียมไอออนที่เกิดขึ้นมีความเสถียรแตกต่างกันตามโครงสร้างของไอออน โดย tertiary ion จะมีความเสถียรมากกว่า secondary ion และ primary ion



2. การเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่เมทิลของคาร์โบเนียมไอออน ซึ่งเกิดจากการที่โครงสร้างของคาร์โบเนียมไอออนมีความเสถียรแตกต่างกัน



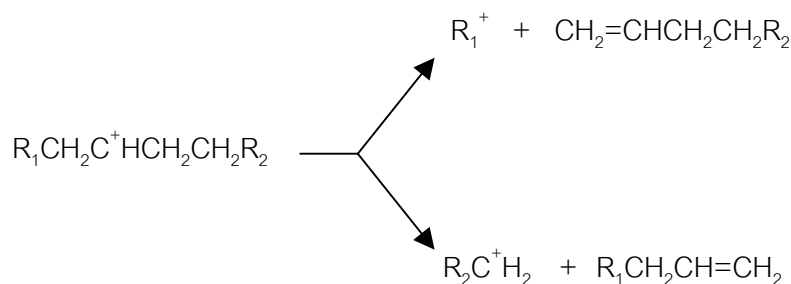
และเกิดการเคลื่อนย้ายไฮโดรด์ (hydride transfer) โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์โบเนียมไอออนกับโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอน



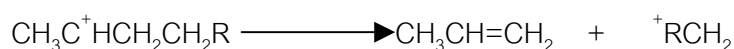
สำหรับคาร์โบเนียมไอออนที่มีขนาดใหญ่สามารถเกิดปฏิกิริยา β -scission หรือการแตกตัวที่ตำแหน่ง β ที่นับจากจุดที่มีประจุบวก ซึ่งจะให้สารประกอบโอเลฟินและคาร์โบเนียมไอออนที่มีขนาดเล็กลง โดยมักจะเป็น Primary carbonium ion ดังสมการ



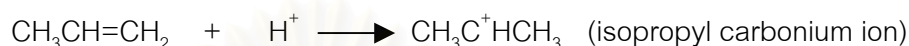
ในบางกรณีคาร์โบเนียมไอออนสามารถเกิดการแตกตัวได้มากกว่า 1 รูปแบบ เช่น ในตัวอย่างของ secondary carbonium ion



ถ้า $R_1 = H$ การเกิด β -scission จะสามารถเกิดผลิตภัณฑ์ได้เพียงตัวเดียว ดังสมการ

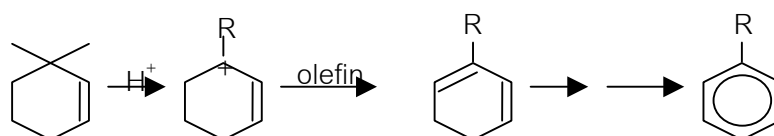
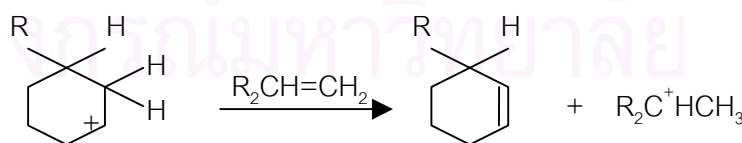


โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้คือโพรพีนจะเกิดปฏิกิริยาการเติมโปรตอนและอยู่ในรูปคาร์โบเนียมไอออนซึ่งจะไม่สามารถเกิด β -scission ต่อไปได้



Isopropyl carbonium ion จะเกิดปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายไฮโดรด์กับโมเลกุลสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรเพน หรือ อาจเกิดการสูญเสียโปรตอน ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพรพีน

ในการเกิดวงแหวนอะโรมาติกจากปฏิกิริยา dehydrocyclization โดย โอลิฟินเกิดเป็นคาร์โบเนียมไอออน แล้วเกิดปฏิกิริยา β -scission ได้สารประกอบ olefinic carbonium ion ที่มีลักษณะเป็นวงแหวน จากนั้นเกิดปฏิกิริยากับโอลิฟินและเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายไฮโดรด์ ไอออนจากบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะได้ allylic carbonium ion ที่มีความเสถียร และเกิดการรับโปรตอนจาก cyclohexadiene ซึ่งในขั้นสุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบอะโรมาติก



ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะประกอบด้วย แก๊สที่มีโอเลฟินสูง องค์ประกอบของเบนซินที่มีค่าออกเทนสูงเนื่องจากมีสารจำพวกอะโรมาติก และโอเลฟินมาก องค์ประกอบของน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนต่ำ กากน้ำมันชนิดใส และโค้กที่จะเกาะติดอยู่บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา พื้นที่ผิววูพูนของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ทำให้ความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงจนเกิดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

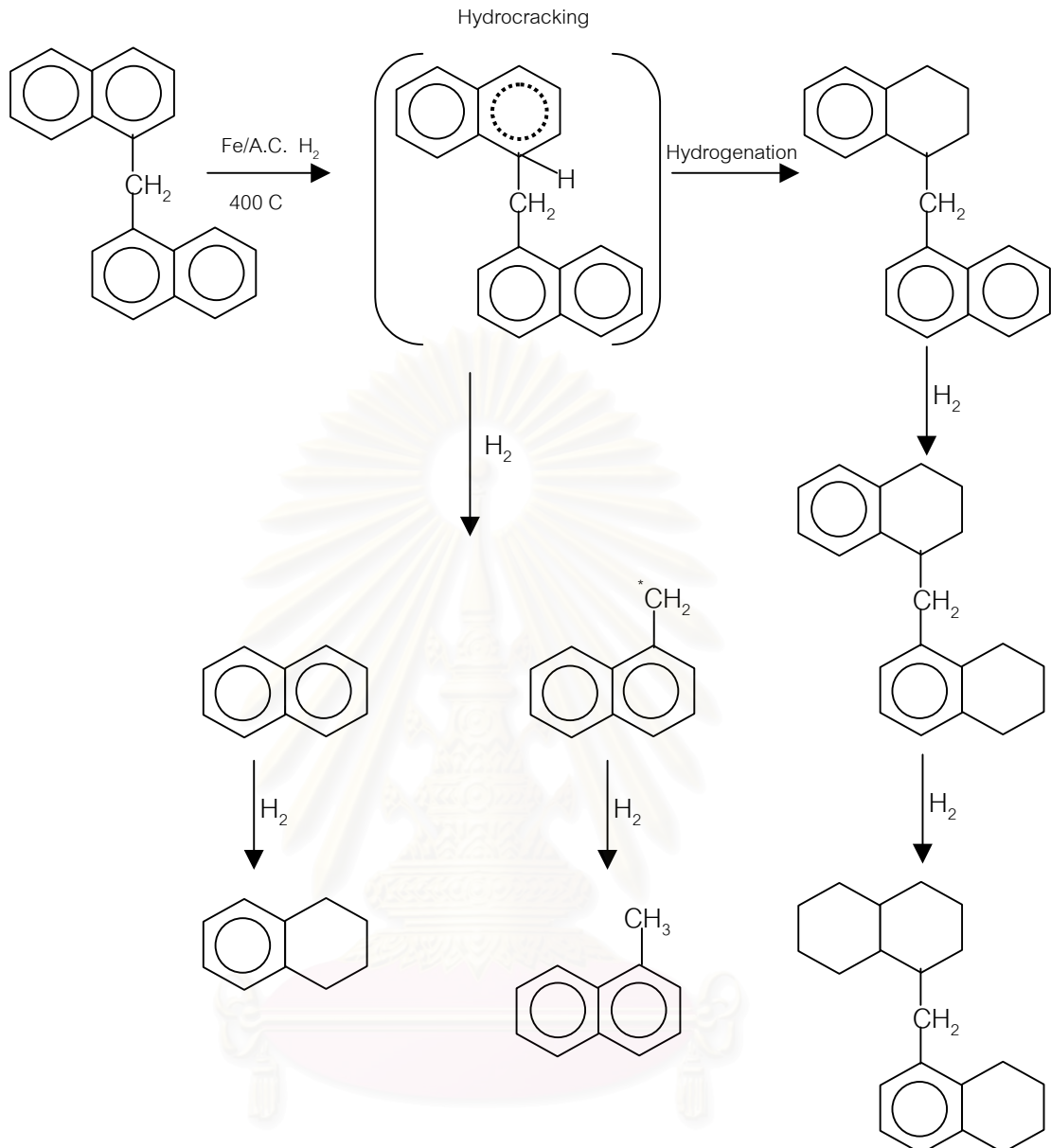
2.9 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยการใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking)

[8.15.42.47]

เป็นกระบวนการที่รวมระหว่างการแตกโมเลกุลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาและการเติมไฮโดรเจน ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีแขนแตกแขนงจำนวนมาก เกิดเป็นพาราฟินและแนฟทีน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นประเภทสองหน้าที่ คือ ช่วยในการแตกพันธะคาร์บอน-คาร์บอนของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน และช่วยเติมไฮโดรเจน จึงมักประกอบด้วยสารจำพวกซิลิกา-อะลูมินาที่สามารถช่วยในการแตกพันธะคาร์บอน-คาร์บอนได้พร้อม ๆ กับการเติมไฮโดรเจน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเริ่มต้นจากการเกิดโอเลฟินขึ้นที่บริเวณที่เป็นโลหะของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยโอเลฟินไปทำให้เกิดคาร์บอนเนียมไอออนตรงบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นจะเกิดการแตกตัว และที่บริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นเองก็จะเกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีตัวในที่สุด นอกจากนี้การที่เกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนบริเวณที่เป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะช่วยทำความสะอาดให้กับผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาไปพร้อม ๆ กันด้วย เนื่องจากการเติมไฮโดรเจนจะช่วยกำจัดโค้กที่เกิดขึ้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยาออกไป

กระบวนการแตกโมเลกุลด้วยการใช้ไฮโดรเจนร่วมนี้ เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ทำให้เกิดการเพิ่มอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นอย่างดี เพราะหากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้เกิดโค้ก และทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสูญเสียความสามารถไป หรือทำให้เครื่องปฏิกรณ์ได้รับความเสียหาย รวมทั้งไม่ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.10 กลไกการแตกโมเลกุลด้วยการใช้ไฮโดรเจนร่วมในสารละลาย DNM (di(1-naphthyl) methane) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส [36]

2.10 Crude oil evaluation [8.42]

เป็นวิธีการวิเคราะห์หาคุณค่าของน้ำมันดิบอย่างละเอียด เพื่อหาองค์ประกอบและสมบัติของส่วนต่าง ๆ ในน้ำมันดิบเริ่มต้น เพื่อหาปริมาณและองค์ประกอบของแก๊สที่มีอยู่โดยวิธี Gas chromatography แล้วนำน้ำมันมากลั่นแยกเป็นส่วนตามคาบจุดเดือด (Boiling range) อย่างละเอียด โดยแบ่งเป็นส่วนแคบ ๆ ชนิดคาบจุดเดือดเพียง 5-10 องศาเซลเซียส แต่มีค่าใช้จ่ายที่แพงมากและใช้เวลานานจึงไม่นิยมทำกัน ปัจจุบันจึงใช้วิธีแยกน้ำมันดิบออกตามคาบจุดเดือดกว้าง ๆ ให้พอดีกับที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำมันสำเร็จรูปกล่าวอย่างหยาบสามารถแบ่งได้เป็น

1. พวกที่มีคาบจุดเดือดตั้งแต่ IBP (Initial boiling point) จนถึง 200 องศาเซลเซียส เรียกว่าส่วนของแก๊สโซลีน (Gasoline fraction) มักใช้ในการผลิตน้ำมันเบนซิน
2. พวกที่มีคาบจุดเดือดระหว่าง 200-250 องศาเซลเซียส เรียกว่าส่วนน้ำมันก๊าด (Kerosine fraction) มักใช้ในน้ำมันก๊าดที่ให้แสงสว่าง ถ้าจุดเกิดควันไม่ต่ำจนเกินไป
3. น้ำมันก๊าดที่มีคุณภาพที่ดี และมีจุดเยือกแข็งต่ำจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงอากาศยาน ไอพ่นได้ซึ่งต้องขึ้นกับสมบัติอื่น ๆ ด้วย
4. พวกที่มีคาบจุดเดือดระหว่าง 250 – 370 องศาเซลเซียส เราเรียกว่าส่วนของแก๊ส ออยล์ (Gas oil fraction) เหมาะในการนำมาใช้เป็นน้ำมันเครื่องยนต์ดีเซล
5. พวกที่มีคาบจุดเดือดเหนือกว่า 370 องศาเซลเซียส เรียกว่า กากน้ำมัน (Residue) อาจนำไปใช้ได้หลายอย่างแล้วแต่สมบัติของกากน้ำมัน เช่น นำมาใช้เป็นน้ำมันเตา หรือนำไปผลิตเป็นยางมะตอย หรือผลิตเป็นน้ำมันเครื่องหรือ นำมาเป็นสารป้อน (Feed stock)

2.11 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้มีนักวิทยาศาสตร์ทำการศึกษาวิจัยถึงกระบวนการผลิตของเหลวจากวัสดุเหลือทิ้งจำพวกพลาสติก อาทิ พอลิเอทิลีน (Polyethylene : PE), พอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP), พอลิเอทิลีนเทอแรพธาเลต (Polyethyleneteraphthalate : PET) รวมถึงการผสมพลาสติกเหล่านี้ด้วยกัน นอกจากนี้ได้มีการวิจัยสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหิน (Coal Liquefaction) ร่วมกับวัสดุพลาสติกเหลือทิ้งเหล่านั้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้สภาวะต่าง ๆ กัน

M.M.Taghlei, Z.Feng, F.E.Huggines, and G.P.Hulfmann [26] ศึกษาเปรียบเทียบการนำขยะพลาสติกได้แก่ พอลิเอทิลีน (Polyethylene), พอลิพรอพิลีน (Polypropylene), พอลิเอทิลีนเทอแรพธาเลต (Polyethyleneteraphthalate) และผสมพลาสติกเหล่านี้กับบิโทมินัสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 420 – 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ที่ความดัน 800 psig โดยเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ Iron-based catalyst และ HZSM-5 Zeolite catalyst จากการศึกษาพบว่า

1. อิทธิพลของอุณหภูมิ ในกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวโดยใช้ขยะพลาสติกเพียงอย่างเดียว พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งเสริมการแตกตัวด้วยความร้อนของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนบนสายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลงจนอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว ซึ่งผลการแตกตัวด้วยความร้อนจะทำให้เกิดการแตกตัวต่อเนื่องจนเสร็จสิ้นปฏิกิริยา โดยที่อุณหภูมิสูง ๆ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนอย่างรุนแรง

จนได้โมเลกุลแก๊สไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากและมีปริมาณของเหลวที่ลดลง ผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีปริมาณของเหลวลดลง และเกิดเป็นแก๊สจำนวนมาก

2. อิทธิพลตัวเร่งปฏิกิริยา ในงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 Zeolite และ Iron-bases และเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีอิทธิพลต่อการแตกตัวของพลาสติกมากกว่าการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยส่งเสริมการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีภาวะที่รุนแรงน้อยกว่า ทำให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ไม่แตกตัวไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กเกินไปจนอยู่ในรูปแก๊ส และพบว่า Iron-based มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวได้ใกล้เคียงกับ HZSM-5 Zeolite เพียงแต่ต้องกระทำในภาวะที่อุณหภูมิสูงกว่า

3. อิทธิพลของการใช้ซับบิโทมินัสร่วมกับพลาสติก ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงสัดส่วนระหว่าง ซับบิโทมินัสร่วมกับพลาสติกมีอัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 800 psig เป็นเวลา 60 นาที พบว่าผลการทดลองใกล้เคียงกัน แต่ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้มีปริมาณน้อยกว่าการใช้พลาสติกเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของพลาสติกที่เกาะตัวกันอย่างหลวม ๆ บนสายโซ่พอลิเมอร์สามารถเกิดการแตกตัวได้ง่ายในภาวะที่ไม่รุนแรง ในขณะที่ซับบิโทมินัสเป็นถ่านหินที่มีโครงสร้างของคาร์บอนเกาะกันอย่างแน่นหนา การย่อยสลายพันธะต้องใช้ภาวะที่รุนแรง เช่น อุณหภูมิ และความดันสูง เพื่อช่วยส่งเสริมการแตกตัวของพันธะคาร์บอน-คาร์บอน

G.P.Huffman, Zhen Feng, F.E.Huggins, and Vikram Mahajan [13] ศึกษาถึงกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากพลาสติกเหลือทิ้งและผสมถ่านหินกับพลาสติกเหลือทิ้ง โดยทำการทดลองในสภาวะต่าง ๆ กัน

1. อิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สไนโตรเจน พบว่าในสภาวะการทดลองภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนและ แก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ให้ผลการทดลองที่มีร้อยละของการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน พบว่าผลิตภัณฑ์ของของเหลวที่ได้ไม่ขึ้นกับความดันภายใต้บรรยากาศของแก๊สทั้งสองชนิด

2. อิทธิพลของการผสมพลาสติกกับซับบิโทมินัส พบว่าเมื่อผสมซับบิโทมินัสกับพลาสติกในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ในภาวะอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ที่ความดันแก๊สไฮโดรเจน 800 Psig โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 Zeolite พบว่าการผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับซับบิโทมินัส ให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงกว่า พอลิเอทิลีนกับซับบิโทมินัส ในภาวะเดียวกัน โดยพบว่าการใช้พอลิพรอพิลีนช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวได้ดีกว่า เนื่องจากพอลิพรอพิลีนมี

โครงสร้างของหมู่เมทิลเกาะกับสายโซ่หลัก ซึ่งทำให้โครงสร้างของสายโซ่พอลิเมอร์มีช่องว่าง และเกาะกันอย่างหลวม ๆ จึงมีโอกาสที่จะแตกตัวได้ง่ายกว่าพอลิเอทิลีน จึงพบว่าเมื่อใช้ซัพบิโทมินัส ผสมกับพอลิพรอพิลีนจึงให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวได้มากกว่าพอลิเอทิลีน

3.อิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาและการเติมตัวทำละลาย จากการศึกษาอิทธิพลของการเติมตัวทำละลายในกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากพลาสติก พบว่า ตัวทำละลาย Tetralin มีความสามารถในการส่งเสริมการแตกตัวของพลาสติกให้เป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กในสภาพที่เป็นของเหลวได้ดีกว่าการใช้ Waste oil นอกจากนี้การศึกษาค่าผลของตัวทำละลายทั้งสองชนิดในกระบวนการร่วระหว่างพลาสติก กับ ซัพบิโทมินัส พบว่าในระบบที่เติมตัวทำละลาย Tetralin จะให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวมากกว่า แสดงว่า การเติม Tetralin มีส่วนช่วยให้ซัพบิโทมินัสสามารถแตกตัวได้มากขึ้น หรือกล่าวได้ว่า Tetralin ไม่ใช่ตัวทำละลายที่ดีสำหรับ Aliphatic Plastics

ส่วนการศึกษาค่าผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Si/Al และ HZSM-5 Zeolite (Commercial) พบว่ากระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Si/Al ให้ผลต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์ได้สูงกว่ากระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 Zeolite โดยตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองตัวมีความสามารถช่วยให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนแตกตัวให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง และมีโครงสร้างที่เหมาะสมได้ดีกว่าการแตกตัวด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียว

L.Anderson, W.Tuntawiroon, and W.B.Ding [23] ศึกษาถึงกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากวัสดุเหลือทิ้งจำพวกพลาสติกได้แก่ พอลิเอทิลีน (Polyethylene), พอลิพรอพิลีน (Polypropylene), พอลีสไตรีน (Polystyrene) และ พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylenetetraphthalate), ซัพบิโทมินัส และ ซัพบิโทมินัสผสมกับพลาสติกเหลือทิ้ง โดยทำการศึกษาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % $TiCl_3$ ที่อุณหภูมิ 400, 420 และ 430 องศาเซลเซียส

1. อิทธิพลของอุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ให้ค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene) ได้สูงถึงเกือบ 100 % และให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงกว่า 80 % โดยเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวได้มากขึ้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนพลาสติกที่มีความหนาแน่นสูง (High density polyethylene) อยู่ที่ภาวะอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 1000 Psig โดยมี 5 % $TiCl_3$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2. อิทธิพลของการใช้ซัพบิโทมินัสกับพลาสติก จากการศึกษาพบว่าเมื่อผสมซัพบิโทมินัสกับพลาสติกแล้ว ปริมาณของเหลวที่เกิดขึ้นมีปริมาณลดลง เนื่องจากการแตกตัวของถ่านหินที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่และมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่า การแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กจึงทำได้ยากใน

ภาวะที่ไม่รุนแรง โดยในระบบที่ใช้ซบพิทูนีสผสมกับพลาสติกได้เป็นของเหลวได้ถึง 50 % แต่ในระบบที่มีเฉพาะถ่านหินซบพิทูนีสเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวน้อยกว่า 50 %

3. อิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยา การศึกษาถึงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ในกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหินและพลาสติกเหลือทิ้งในสัดส่วน 1 ต่อ 10 (ตัวเร่งปฏิกิริยา ต่อ ถ่านหินและพลาสติกชนิดความหนาแน่นสูง) ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 1000 Psig เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ประกอบด้วย 2% Pt บน $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, 5% Ni บน $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, 20% HZSM-5 บน Al_2O_3 , SiO_2 บน Al_2O_3 (25%) และไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากซบพิทูนีสกับพลาสติกที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาให้ของการเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ 50 และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีส่วนช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวได้ดีกว่าการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว และเมื่อเปรียบเทียบระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลงที่ดีที่สุดคือ 2% Pt บน $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

Ikusei Nakamura, and Kaoru Fujimoto [18] ศึกษาการแตกตัวเป็นของเหลวของพอลิพอรอฟิลีน ที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอน โดยศึกษาผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก-คาร์บอน (Yallourn-coal-base) ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก-คาร์บอน และปฏิกิริยาที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

1. อิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่าระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงของพอลิพอรอฟิลีนไปเป็นของเหลวได้ดีกว่าการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมีร้อยละของการเปลี่ยนแปลงถึงร้อยละ 92 โดยพอลิพอรอฟิลีนมีกลไกของปฏิกิริยาเป็นแบบการเกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) และหากมีการใช้ CS_2 ร่วมในปฏิกิริยา นอกจากนี้หากมีการใช้ CS_2 ร่วมในปฏิกิริยาด้วยจะช่วยมีการแตกตัวของพอลิพอรอฟิลีนได้ดีโดยพบว่ามีกากของแข็งเหลืออยู่น้อยมาก

2. อิทธิพลของอุณหภูมิ พบว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณมากขึ้นสัมพันธ์ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยความร้อนที่สูงขึ้นจะช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพอรอฟิลีนด้วยความร้อนให้เป็นอนุมูลอิสระและเกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่แบบต่อเนื่องจนได้สายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่เล็กลง และอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว และเมื่อใช้ CS_2 ร่วมในปฏิกิริยาจะให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์สูงถึง 70 % โดยน้ำหนัก

3. อิทธิพลซัลเฟอร์ในปฏิกิริยาที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ในระบบที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา หรือการแตกตัวด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียว (Thermal cracking) พบว่าการเติม H_2S สามารถทำให้

พอลิพรอพิลีนแตกตัวเป็นของเหลวได้ดีกว่าการใช้ CS_2 เนื่องจากสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาในการเปิดโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนและเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนได้ดีกว่า

4. อิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาอื่น ๆ ได้แก่ เหล็ก บน $SiO_2 - Al_2O_3$ เปรียบเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอน พบว่า ผลของปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เหล็ก บน $SiO_2 - Al_2O_3$ ยังมีกากของแข็งที่เหลือจากปฏิกิริยาสูงกว่าปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอนประมาณ 3 ใน 4 เท่า แต่หากนำ CS_2 ร่วมในปฏิกิริยาที่ใช้ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบน $SiO_2 - Al_2O_3$ จะมีปริมาณกากของแข็งเหลืออยู่น้อยมาก บ่งบอกได้ว่าผลของการใช้ CS_2 ร่วมในปฏิกิริยาที่ใช้ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบน $SiO_2 - Al_2O_3$ จะมีส่วนช่วยส่งเสริมการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนได้ดีกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอนเพียงอย่างเดียว

Weibing Ding, Jing Liang, and Laary L. Anderson [35] ศึกษาถึงการสังเคราะห์ของเหลวจากพลาสติกเหลือทิ้งเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ โดยได้ศึกษาถึงสภาวะที่ใช้คือ อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส และ 525 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที และศึกษาถึงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ประกอบด้วย $NiMo/Al_2O_3$, $NiMo/(HZSM5+SiO-Al_2O_3)$, $Ni/(HZSM-5+SiO-Al_2O_3)$ และ KC-2600 ที่สามารถให้ร้อยละองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสูง และนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

1. อิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สไนโตรเจน พบว่าเมื่อทำการทดลองที่ภาวะอุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ภายใต้บรรยากาศของ 300 Psig N_2 ให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันถึงร้อยละ 88.7 ในขณะที่ใช้สภาวะเดียวกันภายใต้บรรยากาศของ 300 Psig H_2 ให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันร้อยละ 81.5 ซึ่งพบว่าบรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนไม่ได้มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวของพอลิพรอพิลีนมากนักหรือแทบจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวของพลาสติกเพียงอย่างเดียว

2. อิทธิพลของเวลา จากการทดลองในภาวะอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของ 300 Psig H_2 โดยเพิ่มเวลาการทดลองเป็น 10 นาที จะให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันเพียงร้อยละ 60 ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวในปริมาณน้อยกว่าการใช้เวลาทำปฏิกิริยาเพียง 5 นาที และหากทำการทดลองโดยใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 530 องศาเซลเซียส จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนจำนวนมาก โดยองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวเหลือเพียงร้อยละ 38 – 40

3. อิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของเหลวที่เป็นน้ำมันที่ได้จากระบบที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส และ 520 องศาเซลเซียส ให้ของเหลวที่มีองค์ประกอบที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน C_4-C_{40} และ C_4-C_{20} ตามลำดับ โดยไม่

มีองค์ประกอบที่เป็น isoparaffins จึงไม่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ได้ แต่เมื่อทำการศึกษาผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ กันพบว่า ในระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวได้ดีกว่า และจะใช้ภาวะที่รุนแรงน้อยกว่า

นอกจากนี้เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 20 % wt ของ NiMo/(HZSM-5+SiO-Al₂O₃) และ 20 % wt ของ Ni/(HZSM-5+SiO-Al₂O₃) ในสภาวะอุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 1000 Psig เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวถึงร้อยละ 47.9 และ 64.8 ตามลำดับ โดยเมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบผลิตภัณฑ์ของเหลวในระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาก็นำไปใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ ผลการของศึกษาในระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 20 % wt ของ NiMo/(HZSM-5+SiO-Al₂O₃) จะให้ n-paraffins 26.71 %, isoparaffin 44.30 %, olefin 3.03 % และ aromatic 11.48 % และในระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 20 % wt ของ Ni/(HZSM-5+SiO-Al₂O₃) จะให้ n-paraffins 6.91 %, isoparaffin 47.0 %, cyclo-paraffins 20.64 %, olefin 2.36 % และ aromatic 23.07 % ซึ่งพบว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 20 % wt ของ Ni/(HZSM-5+SiO-Al₂O₃) ให้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่มีร้อยละของ C₅ - C₇ iso-paraffins สูงถึง 24.59 % และมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะได้

K.Gimouhpoolos, D.Pooulia, and A. Vly Ssides [21] ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ของเหลว โดยใช้กระบวนการร่วมระหว่างถ่านหินลิกไนต์และวัสดุเหลือทิ้งจำพวกพลาสติก โดยศึกษาอิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ประกอบด้วย VaN, MoN, NiO และ ZrO รวมถึงการเติมตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น Petroleum Residual, Coal Derived Solvent, Pretroleum residual และ Waste tire oil ลงไปในปฏิกิริยาของกระบวนการร่วมระหว่างลิกไนต์และพลาสติก ที่สภาวะอุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนที่ 800 Psig เป็นเวลา 60 นาที พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา หรือ การเติมตัวทำละลาย มีส่วนช่วยส่งเสริมให้พลาสติกและลิกไนต์สามารถแตกตัวได้ง่ายขึ้น สามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวได้มากกว่าในระบบที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเมื่อศึกษาถึงอิทธิพลของตัวทำละลายพบว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์ของตัวทำละลายอินทรีย์และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยา ซึ่งตัวทำละลายอินทรีย์ Waste tire Oil มีความเหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวได้มากที่สุด โดยมีส่วนช่วยส่งเสริมการแตกตัวของลิกไนต์ได้ง่ายขึ้น และช่วยส่งเสริมการแตกตัวของพลาสติกให้มีโมเลกุลขนาดเล็กจนสามารถเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวได้

Harriet F. Ades, Kumble R. Subbaswamy [14] ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากพลาสติกพอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน ถ่านหินปิทูมินัส Black Thunder โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ จากการศึกษาพบว่า เมื่อผสมพอลิพรอพิลีนกับปิทูมินัสจะให้ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวได้สูงกว่าพอลิเอทิลีนผสมกับปิทูมินัส ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของพลาสติกทั้งสองชนิดที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน โดยโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนประกอบด้วยหมู่เมทิล ทำให้โครงสร้างของสายพอลิเมอร์เกาะกันอยู่อย่างหลวม ๆ จึงมีโอกาที่เกิดการแตกสลายโมเลกุลได้ง่ายกว่าพอลิเอทิลีน แต่ในระบบของพอลิเอทิลีนผสมกับปิทูมินัสให้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบเป็น preasphatene และ asphatene ได้สูงกว่า

จากการทดลองสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวโดยทราบถึงการศึกษาทางควอนตัมเคมี จากการศึกษาวิเคราะห์ถึงการแตกตัวของพอลิเมอร์พลาสติกแต่ละชนิด โดยเมื่อเติมโทลูอีนลงไปจะส่งผลต่อระบบของพอลิเอทิลีนได้มากกว่าพอลิพรอพิลีน โดยทำให้พอลิเอทิลีนมีน้ำหนักสูงขึ้น แต่ทำให้การเคลื่อนที่ของไฮโดรเจนไปยัง Benzylic cation จากพอลิเมอร์ที่อยู่ห่างไกลพบว่าพอลิพรอพิลีนสามารถเกิดได้ดีกว่าพอลิเอทิลีน

ฤทัย ลิขุขันธ์ [44] ศึกษาการนำพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วมาสังเคราะห์เป็นของเหลวเพื่อใช้น้ำมันแก๊สโซลีน ศึกษาปฏิกิริยาแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมของพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภท 2 หน้า ที่ ได้แก่ Pt/F บน อะลูมินา, Pt/Sn/Cl/F บนอะลูมินา, Ni/Sn/Cl/F บนอะลูมินา และ Co/Sn/Si/F บนอะลูมินา เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่ให้อัตราของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด ประกอบด้วยปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในช่วง 30 – 40 % โดยน้ำหนัก อุณหภูมิระหว่าง 300-400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 400 – 600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะขนาด 1 ลิตร ใช้เวลาระหว่าง 4 – 12 ชั่วโมง พบว่าอิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณต่าง ๆ กัน เปรียบเทียบกับการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยามีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิงของพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้ว โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประกอบด้วย Pt 0.6 %, Sn 0.15 %, Cl 1.21 %, F 0.5 % บนอะลูมินา ให้อัตราของการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวได้ดีที่สุดถึงร้อยละ 94.8 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว 40 % โดยน้ำหนัก ที่ภาวะอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

1. อิทธิพลของอุณหภูมิ จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำ ๆ พอลิเอทิลีนจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวได้ โดยมีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นพอลิเอทิลีนสามารถเกิดการแตกตัวด้วยความร้อนจนได้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กและอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวได้

2. อิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจน จากการศึกษาอิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจน ที่ความดันต่าง ๆ ภายใต้อุณหภูมิการทดลอง 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนให้สูงขึ้น พอลิเอทิลีนก็มีแนวโน้มที่จะเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวได้ในปริมาณที่มากขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของความดันมีส่วนช่วยในการส่งเสริมการการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking) ทำให้โครงสร้างของพอลิเอทิลีนแตกตัวออกได้ดีขึ้นจนมีขนาดเล็กลงและจัดโครงสร้างใหม่จนสามารถอยู่ในรูปผลิตภัณฑ์ของเหลวได้

3. อิทธิพลของเวลา จากการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทดลองพบว่า เมื่อใช้เวลาน้อยการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมยังเกิดไม่สมบูรณ์ โดยพบว่าที่เวลา 6 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีปริมาณน้อยและมีสภาพข้นหนืด แสดงว่าปฏิกิริยาการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมยังเกิดได้ไม่สมบูรณ์ แต่เมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่ง 12 ชั่วโมง จะพบว่าพอลิเอทิลีนสามารถเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวได้ในปริมาณที่มากที่สุด จึงพบว่าเวลาที่ใช้ในการทดลองมีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม

สมมุข ไตรศุกิตติ [48] ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพอลิเอทิลีนไปเป็นแก๊สโซลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีน ประกอบด้วย อุณหภูมิระหว่าง 400 – 480 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 10 – 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 – 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ HZSM-5, ซิลิกาบนอะลูมินา และ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสัดส่วนโมเลกุลของซิลิกาต่ออะลูมินาบนซีโอไลต์ HZSM-5 ต่าง ๆ กัน โดยทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก พบว่า

1. อิทธิพลของอุณหภูมิ จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิมิอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของพอลิเอทิลีนไปเป็นของเหลวทั้งในระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยที่อุณหภูมิต่ำ ๆ พอลิเอทิลีนเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวได้น้อย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจะให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวมากขึ้น จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 480 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณของเหลวลดลง เนื่องจากอิทธิพลของการแตกตัวโดยความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเกิดการแตกตัวไปเป็นโมเลกุลของแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก

2. อิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจน จากการศึกษาอิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจน ที่ให้กับระบบพบว่า ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นจะช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking) และมีส่วนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความอิมิตัวมากขึ้นเมื่อเพิ่มความดันบรรยากาศแก๊สไฮโดรเจน

3. อิทธิพลของเวลา จากการศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทดลองพบว่า เมื่อใช้เวลามากขึ้นมีแนวโน้มที่ทำให้ปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิเอทิลีนเกิดการแตกตัวได้สมบูรณ์มากขึ้น

แต่พบว่าเมื่อใช้เวลานานถึง 60 นาที ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวมีปริมาณน้อยลงและเกิดเป็นกากของแข็งมากขึ้น ซึ่งมีผลมาจากการเกิดโค้กบนตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ความสามารถในช่วยส่งเสริมการแตกตัวลดลง นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ของเหลวบางส่วนก็เกิดการแตกตัวไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็กจนกระทั่งแตกตัวเป็นโมเลกุลของแก๊สไฮโดรคาร์บอนได้เมื่อเวลาที่ใช้เวลานานขึ้น

4. อิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยา ในการศึกษาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยให้ปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิเอทิลีนได้ดียิ่งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว โดยสำหรับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ที่มีสัดส่วนโมลของซิลิกาต่ออะลูมินาสูงขึ้น ($Si/Al = 44$) ก็จะช่วยส่งเสริมการแตกตัวของพอลิเอทิลีนไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว

จากการทดลองเมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยการหาค่าการกระจายตัวตามคาบจุดเดือด พบว่า ภาวะที่ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ดีที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 45 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ที่มีสัดส่วนโมลของซิลิกาต่ออะลูมินา ($Si/Al = 44$) จะให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวถึง 69.20 % และค่าการกระจายตัวเป็นผลิตภัณฑ์โดยเป็นแนฟทาถึงร้อยละ 43.60 %

ธารินี กิตติเรืองทอง [41] ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากลิกไนต์โดยใช้กระบวนการร่วมของพอลิพรอพิลีนกับลิกไนต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งได้ศึกษาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของเหล็กเป็น 1 % 5 % 10 % และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิระหว่าง 380 - 440 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 27 - 75 บาร์ ใช้เวลาในการทดลอง 15 - 90 นาที และผลของสัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนและลิกไนต์ โดยทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กระดับห้องปฏิบัติการ จากการศึกษาพบว่า

1. อิทธิพลของน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง ในการศึกษาผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์มในปริมาณต่าง ๆ กัน พบว่าให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวในปริมาณไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีเปอร์เซ็นต์ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาณต่าง ๆ กัน ก็พบว่าที่เปอร์เซ็นต์ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์มีผลต่อปฏิกิริยาน้อยมากเช่นกัน แต่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยให้มีแนวโน้มในการเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวในปริมาณที่สูงขึ้น เนื่องจากสามารถช่วยส่งเสริมให้เกิดการแตกตัวได้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลงได้ในภาวะการทดลองที่ไม่รุนแรงเหมือนปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียว

2. อิทธิพลอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างพอลิพรอพิลีนต่อลิกไนต์ พบว่า เมื่อใช้ลิกไนต์มากขึ้นจะมีปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวน้อยกว่าการใช้พอลิพรอพิลีนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างที่เกาะตัวอย่างหลวม ๆ และมีโอกาสที่แตกตัวได้ง่ายกว่าลิกไนต์ที่เกาะกันอย่างหนาแน่น โดยภาวะการทดลองที่อุณหภูมิและความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่ำ ๆ จะไม่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวได้

3. อิทธิพลของอุณหภูมิ จากการศึกษาพบว่าเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจะมีแนวโน้มเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวได้มากขึ้น เนื่องจากเกิดพอลิพรอพิลีนและลิกไนต์สามารถเกิดการแตกตัวด้วยความร้อนได้ จนมีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง แต่เมื่อใช้อุณหภูมิสูงถึง 440 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลว โดยของเหลวที่เกิดขึ้นจะได้รับอิทธิพลของอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการแตกตัวต่อไปเป็นโมเลกุลแก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก ซึ่งพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวได้น้อยลง โดยเกิดเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนจำนวนมาก

4. อิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น จากการศึกษาพบว่า อิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนมีส่วนช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาการแตกตัวของลิกไนต์และพอลิพรอพิลีนโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม โดยผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความดันบรรยากาศแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่เกิดการแตกตัวในช่วงแรกจากอิทธิพลของความร้อนจะสามารถเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยการใช้ไฮโดรเจนร่วมได้ต่อไป โดยสามารถเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลงและสามารถจัดโครงสร้างจนอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวและนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้

5. อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทดลอง พบว่าเมื่อใช้เวลา 15 นาที ไม่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวได้ โดยเกิดจากการที่พอลิพรอพิลีนและลิกไนต์ไม่สามารถเกิดการแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์โดยยังมีขนาดและโครงสร้างที่ไม่เหมาะสม แต่เมื่อเพิ่มเวลาของการทดลองเป็น 30 นาที พบว่าสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวได้ดีที่สุด และหากเวลานานขึ้นจะเกิดการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนในส่วนที่เป็นของเหลว ได้เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอน ซึ่งจะพบว่าเมื่อเวลานานถึง 75 นาที ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้มีปริมาณลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของเวลาที่นานเกินไปทำให้เกิดไค้ขึ้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวในปริมาณลดลงและพบว่าจะเกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากเนื่องจากเกิดอิทธิพลของปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนซึ่งยังดำเนินอยู่อย่างต่อเนื่อง ทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กเกิดการแตกตัวเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนต่อไปได้อีก

ภาวะที่มีแนวโน้มที่ดีที่สุดในการให้ปริมาณของเหลวสูงสุดคือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนต่อลิกไนต์เป็น 12 ต่อ 3 (กรัม) ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊ส

ไฮโดรเจน 62 บาร์ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที โดยให้ปริมาณของเหลว 53.36 % แก๊ส 18.89 % และกากของแข็ง 27.75 % โดยน้ำหนัก

จากการวิเคราะห์โดยเครื่องวิเคราะห์ Simulated Distillation Gas Chromatography พบว่าแนวโน้มที่ดีที่สุดในการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จำพวกแนฟทาและคีโรซีนได้สูงที่สุด คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนต่อลิกไนต์เป็น 12 ต่อ 3 (กรัม) ที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 62 บาร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที โดยที่น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาและเปอร์เซ็นต์ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ให้ผลของการกระจายตัวเป็นผลิตภัณฑ์ค่าใกล้เคียงกัน โดยให้ผลของการกระจายตัวเป็นผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย แนฟทา 35.6 % คีโรซีน 7.41 % แก๊ส 28.95 %



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ของเหลวโดยเป็นกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้เพื่อหาภาวะของการทดลองที่ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลว และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก (Microreactor) รูปทรงกระบอก ปริมาตร 70 มิลลิลิตร ทำจากเหล็กกล้าเหนียวไร้สนิม SS 316 โดยด้านบนมีชุดฝาปิดทำจากสแตนเลสเหนียวอย่างดี มีชุดอุปกรณ์สำหรับอัดแก๊ส และวาล์วนิรภัย สามารถทำการทดลองภายใต้ภาวะที่ทนความร้อนได้ถึง 500 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล มีชุดสำหรับใส่เทอร์โมคัปเปิลสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างทำการทดลอง



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กขนาด 70 มิลลิลิตร (Microreactor)

2. ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล (Temperature Control) ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกระแสจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังขดลวดความร้อนและตัดการจ่ายกระแสเมื่อได้อุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ มีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิได้ในระดับ ± 10 องศาเซลเซียส

3. หม้อแปลงไฟฟ้า UNION รุ่น TDGC-2 ขนาด 3 kVa ปรับแรงดันได้ 0 - 250 โวลต์
4. ขดลวดความร้อนแบบ Injection แรงดัน 230 โวลต์ กำลัง 350 วัตต์
5. เทอร์โมคัพเพิล สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ เป็นแบบเค (K-Type) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร
6. เครื่องเขย่า (Sieve Shaker) โดยมีมอเตอร์เป็นชุดกำลังขับเคลื่อนแกนหมุน สามารถปรับความเร็วรอบการเขย่าได้จากชุดควบคุมความเร็ว



รูปที่ 3.2 ชุดทดลองประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล หม้อแปลงไฟฟ้า และเครื่องเขย่า

7. ชุดกรองสุญญากาศ ประกอบด้วยชุดเครื่องแก้ว ต่อกับเครื่องปั๊มอากาศ เพื่อทำการกรองแยกแบบสุญญากาศสำหรับแยกส่วนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวออกจากส่วนที่เป็นกากของแข็ง โดยผ่านการกรองโดยใช้กระดาษกรองใยแก้ว



รูปที่ 3.3 ชุดกรองสุญญากาศ และกระดาษกรองใยแก้ว

8. เครื่องน้ำหนัก ซึ่งได้ละเอียดถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง
9. เครื่องน้ำหนัก ซึ่งได้ละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง
10. นาฬิกาจับเวลา
11. ตู้อบ (Oven)
12. เตาเผาแบบมัลเฟิล (Muffle Furnace)
13. เตาเผาแบบท่อ (Tubular Furnace)
14. เติลิกเตอร์
15. ครุชีเบิล
16. เครื่องแก้ว ประกอบด้วย ปีกเกอร์ ขวดใส่สารตัวอย่าง

3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี

1. แอนทราไซต์ ขนาด 0.8 – 0.9 มิลลิเมตร จากแหล่งถ่านหินประเทศออสเตรเลีย
2. พอลิพรอพิลีน ขนาดโดยประมาณ 2 – 3 มิลลิเมตร (หมายเลข HME 6331) จากบริษัท อุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด (มหาชน)
3. แก๊สไฮโดรเจน 99.5 % บรรจุในถังเก็บแบบ High Pressure ขนาด 6 ลูกบาศก์เมตร จากบริษัท TIG Trading
4. ไทลูอิน 95 % (Commercial grade)

3.3 วิธีทำการศึกษา

1. วิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของแอนทราไซต์และพอลิพรอพิลีน ตาม ASTM
 - ความชื้น (Moisture)
 - เถ้า (Ash)
 - สารระเหย (Volatile)
 - ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)
2. วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของแอนทราไซต์และพอลิพรอพิลีน ได้แก่ คาร์บอน, ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน, ออกซิเจน และซัลเฟอร์
3. ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการทดลองของกระบวนการร่วมระหว่างแอนทราไซต์กับพอลิพรอพิลีน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์
 - ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนต่อแอนทราไซต์ ดังนี้
1.0 ต่อ 0, 0.9 ต่อ 0.1, 0.8 ต่อ 0.2, 0.7 ต่อ 0.3, 0.5 ต่อ 0.5 และ 0.3 ต่อ 0.7 และ 0 ต่อ 1.0 (น้ำหนักรวม 20 กรัม)

- ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปฏิกิริยา ดังนี้
380, 400 และ 430 องศาเซลเซียส
 - ศึกษาผลของความดันที่มีผลต่อปฏิกิริยา ดังนี้
30, 40, 50 และ 60 บาร์
 - ศึกษาเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ดังนี้
30, 45, 60 และ 75 นาที
 - ศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ดังนี้
เปอร์เซ็นต์ของเหล็ก 1% 5% 10 % และไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา
4. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย
- วิเคราะห์หาปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการร่วม
 - วิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แบบ Simulated Distillation มีวิธีการตามมาตรฐาน ASTM D-2887
 - วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer
5. ขั้นตอนและวิธีการทดลอง
- ก. การเตรียมวัสดุุดิบและสารตั้งต้น
- แอนทราไซต์ นำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอน แล้วอบในตู้อบแบบ Dry Oven ที่มีอุณหภูมิประมาณ 105 – 110 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่แล้วเก็บในเดสิเกตเตอร์ เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป
- พอลิพรอพิลีน นำไปอบในตู้อบแบบ Dry Oven ที่มีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่แล้วเก็บในเดสิเกตเตอร์ เพื่อใช้เตรียมไว้ทดลองต่อไป
- ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ มีวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้
1. ชั่งถ่านกัมมันต์ 9.5 กรัม และ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 3.62 กรัม
 2. รินน้ำกลั่นลงไปบนถ่านกัมมันต์ที่ชั่งน้ำหนักเตรียมไว้จนเปียกชุ่ม แล้วนำไปเข้าเครื่องดูดแบบสุญญากาศเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
 3. ละลาย $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ที่ชั่งน้ำหนักเตรียมไว้ ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร จนละลายหมด
 4. เมื่อไล่อากาศออกจากถ่านกัมมันต์แล้ว ค่อย ๆ เติมสารละลาย $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ที่เตรียมไว้ลงบนถ่านกัมมันต์ กวนให้สารละลายผสมกับถ่านกัมมันต์

อย่างทั่วถึง ทำซ้ำอีก 4 ครั้ง จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ที่บรรจุสารละลาย $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ แล้วรินลงไปในถ่านกัมมันต์กวนแล้วทำซ้ำอีก 2 ครั้ง จากนั้นให้เติมน้ำกลั่นอีก 10 มิลลิลิตร ลงในของผสมแล้วทิ้งไว้ 15 นาที แล้วจึงนำถ่านกัมมันต์ที่กำลัง impregnate ไปเข้าเครื่องดูดแบบสูญญากาศ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

5. นำของผสมถ่านกัมมันต์และสารละลาย $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนแห้งเหมือนกับถ่านกัมมันต์เริ่มต้น แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน
6. นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำการ Impregnate แล้วไป reduction ด้วยแก๊สไฮโดรเจนด้วยอัตรา 120 มิลลิลิตรต่ออนาที ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
7. วิเคราะห์หาพื้นที่ผิว (Surface Area) โดยใช้เครื่อง BET

ข. ขั้นตอนทำการทดลอง

1. ชั่งแอนทราไซต์ พอลิพรอพิลีน และตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง ตามสัดส่วนที่กำหนด
2. นำสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก แล้วปิดฝาให้เรียบร้อย
3. นำเครื่องปฏิกรณ์ไปใส่อากาศที่อยู่ภายในออกโดยผ่านแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปอย่างช้า ๆ แล้วอัดแก๊สไฮโดรเจนจนได้ความดันที่กำหนด โดยสังเกตความดันจาก Regulator ที่ต่อระหว่างถังบรรจุแก๊สไฮโดรเจนกับเครื่องปฏิกรณ์ ทำการตรวจสอบรอยรั่วของแก๊สโดยใช้น้ำสบู่ทดสอบตามข้อต่อของเครื่องปฏิกรณ์ หากปรากฏว่าไม่มีการรั่วของแก๊สไฮโดรเจน ค่อย ๆ หมุนวาล์วปิดเพื่อไม่ให้แก๊สออก
4. นำเครื่องปฏิกรณ์ต่อเข้ากับเครื่องเขย่า ต่อชุดอุปกรณ์ลดความร้อนแบบ Injection เข้ากับเครื่องปฏิกรณ์ แล้วหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนระหว่างการทดลอง ต่อเทอร์โมคัพเปิลเข้ากับเครื่องปฏิกรณ์
5. ปรับกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าให้กับขดลวดให้ความร้อน และเปิดสวิตซ์เครื่องเขย่า

6. เริ่มทำการจับเวลาเมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์คงที่ตามที่กำหนดไว้ เมื่อครบเวลาที่ทำปฏิกิริยาแล้ว นำฉนวนและขวดลดความร้อนออก ใช้พัดลมเป่าเครื่องปฏิกรณ์จนภายในเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง แล้วนำเครื่องปฏิกรณ์ไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นปล่อยแก๊สภายในเครื่องปฏิกรณ์ออก นำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่อยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์ออกมาทำการกรองแบบสุญญากาศ
7. กรองแบบสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองใยแก้วเพื่อแยกส่วนที่เป็นของเหลวแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก เก็บไว้ในขวดแก้วเพื่อรอการวิเคราะห์ ล้างเครื่องปฏิกรณ์ด้วยสารละลายทูลูอิน 95 % เช็ดทำความสะอาดด้วยกระดาษซับที่ชั่งน้ำหนักเตรียมไว้ จากนั้นนำส่วนที่เป็นของแข็งและกระดาษซับมันไปอบในตู้อบ Dry Oven ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 คืน แล้วนำไปชั่งเพื่อคำนวณหาร้อยละของการเปลี่ยนแปลงต่อไป
8. นำผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatography เพื่อวิเคราะห์หาค่าการกระจายองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันในช่วงจุดเดือดอุณหภูมิต่าง ๆ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการศึกษากระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ โดยออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวทั้งในเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ เพื่อประโยชน์ในการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในอนาคตต่อไปได้ โดยศึกษาถึงอิทธิพลของสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น เวลาที่ใช้ในปฏิกิริยา โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1 สมบัติของสารตั้งต้น

4.1.1 สมบัติเบื้องต้นของแอนทราไซต์

ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) แสดงในตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของแอนทราไซต์

การวิเคราะห์แบบประมาณ, dry basis	แอนทราไซต์	
	งานวิจัยนี้	กรณีศึกษา [40] (วพ.2542)
ปริมาณเถ้า (Ash)	12.38	14.32
ปริมาณสารระเหยได้ (Volatile)	26.07	28.03
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)	61.55	54.88

4.1.2 องค์ประกอบธาตุของพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์

ทำการวิเคราะห์แบบเพื่อหาองค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis)

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์

การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ	พอลิพรอพิลีน		แอนทราไซต์
	งานวิจัยนี้	ธาริณี [41] (วพ.2543)	งานวิจัยนี้
C	85.57	83.51	77.73
H	14.43	14.20	6.45
N	0.00	0.80	1.69
O	0.00	0.97	13.31
S	0.00	0.01	0.83

วิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (STREC)

จากตาราง 4.1 แสดงคุณสมบัติการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของแอนทราไซต์ที่นำมาใช้สารตั้งต้นในงานวิจัยนี้มีปริมาณคาร์บอนคงตัว 61.55 % และมีปริมาณสารระเหยสูงถึง 26.07 % ส่วนการวิเคราะห์หาองค์ประกอบธาตุของพอลิพรอพิลีน แสดงตาราง 4.2 พบว่าพอลิพรอพิลีนมีองค์ประกอบเป็นคาร์บอน และไฮโดรเจน เท่านั้น และมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับพอลิพรอพิลีนที่ใช้ในงานวิจัยของ ธาริณี กิตติเรืองทอง เมื่อเทียบองค์ประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์พบว่า แอนทราไซต์มีองค์ประกอบที่เป็นคาร์บอนและไฮโดรเจนน้อยกว่า โดยมีไนโตรเจนสูงกว่าเล็กน้อย รวมถึงการมีออกซิเจนที่มีอยู่มากถึง 13.31 % อันเป็นข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดระหว่างพลาสติกและถ่านหินทั่วไป

4.1.3 สมบัติทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (Surface Area) ที่ตรวจวัดด้วยเครื่อง BET Surface Area พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในปริมาณที่แตกต่างกันจะให้พื้นที่ผิวรูพรุน ทั้งหมดดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

ร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์	พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (S_{BET}) ตารางเมตร/กรัม
1 % Fe/Ac	559
5 % Fe/Ac	570
10 % Fe/Ac	657

ข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ของ ธาริณี กิตติเรืองทอง [วพ. 2543]

จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมดของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ พบว่าเมื่อร้อยละของเหล็กมากขึ้นจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวรูพรุนมากขึ้นเนื่องจากปริมาณโลหะที่เติมลงไปจะช่วยกระตุ้นเปรียบเสมือนการใช้ $ZnCl_2$ ในการกระตุ้นทางเคมี ซึ่งจะมีส่วนช่วยในการเพิ่มพื้นที่ผิวรูพรุนให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการดูดซับได้ดียิ่งขึ้น

4.2 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์

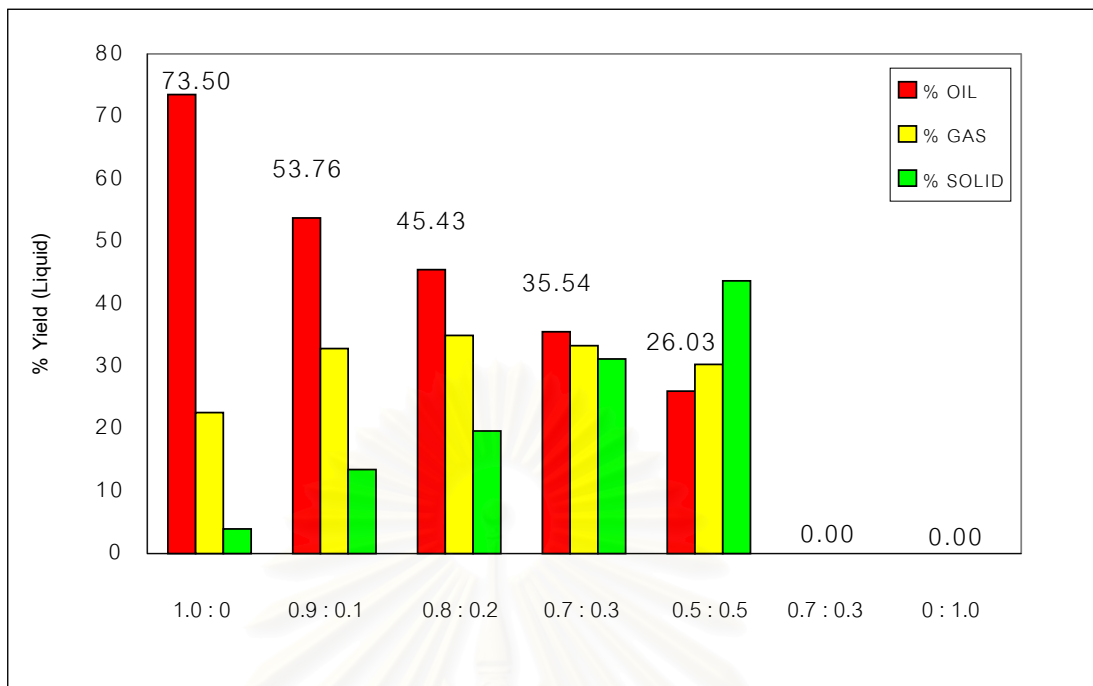
งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและหาภาวะที่ดีที่สุดในการเกิดกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในภาวะของตัวแปรต่าง ๆ กัน ซึ่งจากงานวิจัยที่มีลักษณะเทียบเคียงกันกับงานวิจัยนี้ พบว่าภาวะที่ดีที่สุดในการศึกษาปริมาณมีความแตกต่างกับภาวะที่ดีที่สุดในการศึกษาคุณภาพ ในงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาถึงภาวะที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการร่วมทั้งในเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ โดยผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้มีลักษณะเป็นน้ำมันซึ่งสามารถหาลักษณะของการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์หรือร้อยละของการเปลี่ยนแปลงได้ แล้วนำผลิตภัณฑ์ของเหลวไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลว โดยศึกษาจากการกระจายตัวตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ของเหลวโดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ว่ามีหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) ที่เป็นประโยชน์ในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อย่างไร



รูปที่ 4.1 ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์

4.2.1 อิทธิพลของสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ในปริมาณต่าง ๆ กัน

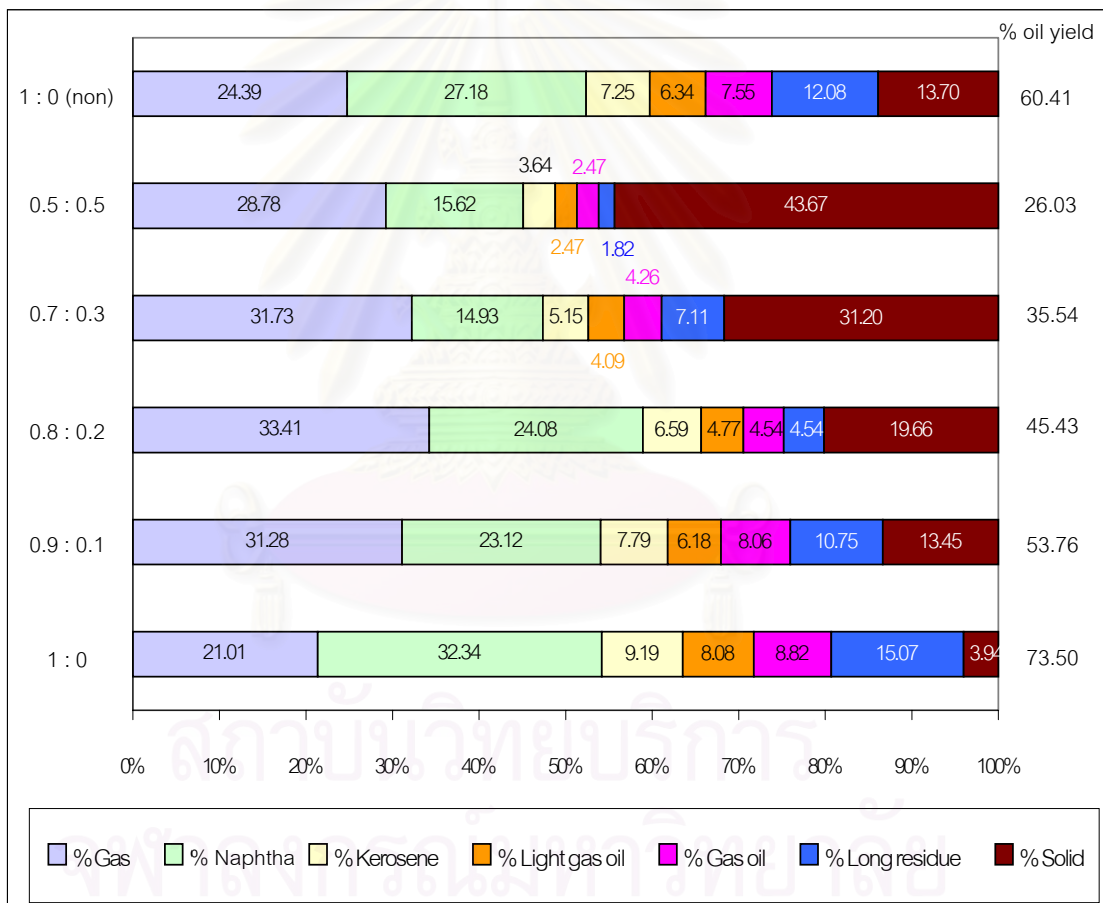
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการเกิดกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ และนำผลทดลองไปทำการศึกษาลักษณะอิทธิพลของตัวแปรอื่น ๆ ต่อไป โดยใช้สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์เป็น 1.0 ต่อ 0, 0.9 ต่อ 0.1, 0.8 ต่อ 0.2, 0.7 ต่อ 0.3, 0.5 ต่อ 0.5, 0.3 : 0.7 และ 0 : 1.0 น้ำหนักรวมโดยประมาณ 20 กรัม ภายใต้ภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการศึกษอิทธิพลของสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนต่อแอนทราไซต์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ พบว่าเมื่อใช้แอนทราไซต์เพียงอย่างเดียวจะไม่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวภายใต้ภาวะที่กำหนดไว้สำหรับการทดลอง แต่เมื่อทำการเพิ่มปริมาณพอลิพรอพิลีนจะให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนของพอลิพรอพิลีนมากขึ้น จากผลการทดลองเมื่อใช้สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ 1.0 ต่อ 0, 0.9 ต่อ 0.1, 0.8 ต่อ 0.2, 0.7 ต่อ 0.3, 0.5 ต่อ 0.5, 0.3 ต่อ 0.7 และ 0 ต่อ 1.0 น้ำหนักรวมประมาณ 20 กรัม จะให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็น 73.50 %, 53.76 %, 45.43 %, 35.54 %, 26.03 %, ไม่ได้ของเหลว และ ไม่ได้ของเหลว ตามลำดับ แสดงผลดังรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้แอนทราไซต์ในปริมาณที่มากขึ้นทำให้การเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวเกิดได้ยากขึ้น โดยในการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวโดยความร้อนในช่วงแรก พอลิพรอพิลีนที่มีหมู่เมทิลเกาะอยู่บนสายโซ่หลัก ทำให้มีโครงสร้างแบบหลวม ๆ มีโอกาสที่จะแตกตัวเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางจำพวกคีโรซีนและแก๊สออกไซด์จากอิทธิพลของความร้อน และได้รับอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดการแตกย่อยโมเลกุลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาจนได้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแนฟทา นอกจากนี้การแตกตัวของพอลิพรอพิลีนยังสามารถให้ไฮโดรเจนแก่แอนทราไซต์ได้ แต่เนื่องจากแอนทราไซต์มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน การแตกตัวจึงเป็นไปได้ยาก ต้องใช้ความร้อนสูง ความดันสูง และใช้เวลานาน เพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก การเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวจึงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของพอลิพรอพิลีนเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากมีโมเลกุลที่ไม่ซับซ้อนและโครงสร้างโมเลกุลมีการเกาะกันอยู่อย่างหลวม ๆ สามารถแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กได้ง่าย



รูปที่ 4.2 ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของพอลิพรอพิลีนกับ แอนทราไซตีในสัดส่วนต่าง ๆ ภาวะการทดลองที่ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊ส ไฮโดรเจน 30 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวเพื่อค่าการกระจายตัวตามคาบจุดเดือดโดยใช้ เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph แสดงผลดังรูป 4.3 พบว่า เมื่อทำการ ทดลองโดยใช้พอลิพรอพิลีนเพียงอย่างเดียวจะให้ปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนและเนฟตามากที่สุด เนื่องจากเมื่อพอลิพรอพิลีนได้รับความร้อนในช่วงแรก โครงสร้างของพอลิพรอพิลีนที่มีโครงสร้าง เป็น isotactic ที่มีหมู่ของ CH_3 เกาะอยู่ที่สายโซ่หลัก จะเกิดการแตกตัวจากการให้ความร้อนเป็น อนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งจะทำให้อนุมูลอิสระดังกล่าวไปตั้งไฮโดรเจนอะตอมที่บริเวณ tertiary hydrogen บนสายโซ่หลักของพอลิพรอพิลีน ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระของไฮโดรเจน ซึ่ง จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อเนื่องกันไปจนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนคาร์บอนขนาดเล็กลงได้เป็นสายโซ่ โมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนขนาดกลาง โดยผลจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการ แตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลาง (Catalytic cracking) ได้เป็นโมเลกุล ไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กลงได้ต่อไป จึงพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนและ เนฟทาในปริมาณที่สูง ในขณะที่ระบบที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาให้ปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่สูง กว่า เนื่องจากอิทธิพลของการให้ความร้อนเพียงอย่างเดียวทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุล ไฮโดรคาร์บอนอย่างรุนแรงจนได้โมเลกุลที่มีขนาดเล็กจำพวกเนฟทา ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาจะไปส่ง

เสริมการแตกตัวของโมเลกุลขนาดเล็กนี้ต่อไปจนได้แก๊สไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก และเมื่อทำการทดลองโดยใช้ปริมาณแอนทราไซต์มากขึ้น ปรากฏว่าได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว และแก๊สไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่ลดลง แต่เกิดของแข็งในปริมาณที่มากขึ้น โดยมีปริมาณแนฟทาและแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่ลดลง แต่จะมีกากในปริมาณมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากแอนทราไซต์ที่มีปริมาณมากขึ้นทำให้การเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวเกิดได้ยากขึ้น เนื่องจากแอนทราไซต์มีโครงสร้างขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน การเปลี่ยนแปลงเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางเกิดได้ยากมาก จำเป็นต้องใช้ภาวะที่รุนแรง และใช้เวลานาน ในขณะที่การแตกตัวของพอลิพรอพิลีนสามารถทำได้ง่ายกว่าเนื่องจากมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและเกาะตัวกันอย่างหลวม ๆ จึงสามารถแตกตัวไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กได้ง่ายกว่า

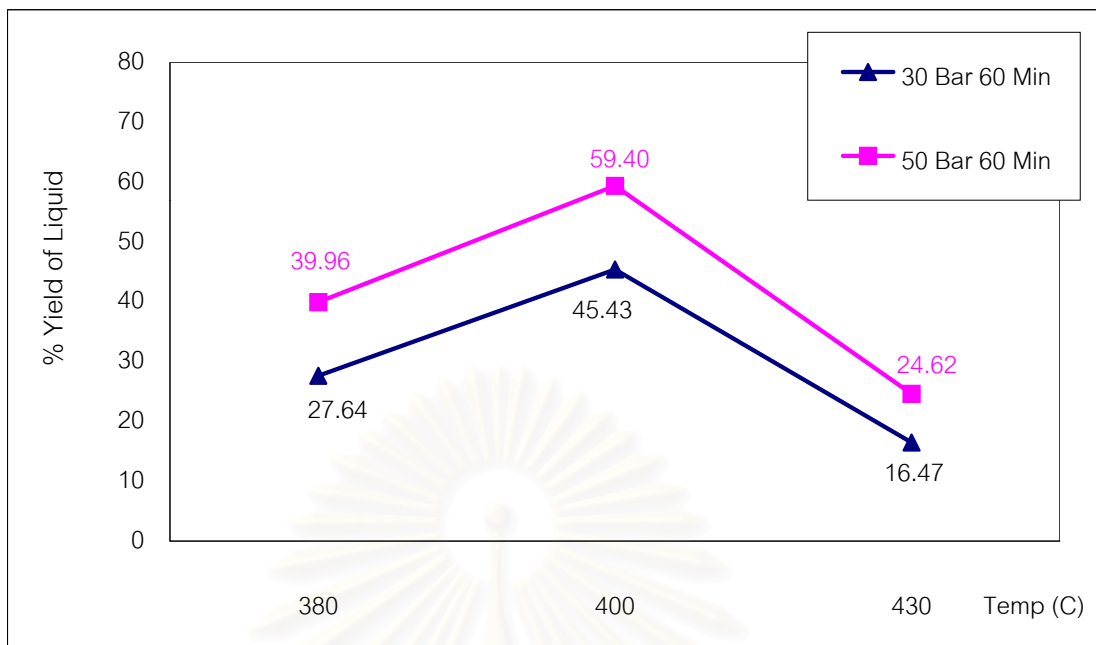


รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation G.C. ที่สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ต่าง ๆ กัน อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 30 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่าน กัมมันต์ 0.3 กรัม

4.2.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อกระบวนการร่วมระหว่างพอลิ-พอร์พิลีนและแอนทราไซต์ โดยใช้สัดส่วนของพอลิพอร์พิลีนต่อแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 น้ำหนักรวมโดยประมาณ 20 กรัม ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 380, 400 และ 430 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 บาร์ และ 50 บาร์ ที่เวลาทำการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 30 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวข้นคิดเป็นร้อยละ 27.64 แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของระบบเป็น 400 องศาเซลเซียส โดยภายใต้ภาวะการทดลองเดียวกันจะให้ของเหลวที่มีความหนืดลดลง และมีปริมาณถึงร้อยละ 45.43 และพบว่าปริมาณของแข็งลดลง ซึ่งมาจากการแตกตัวของพอลิพอร์พิลีนและแอนทราไซต์โดยเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวได้มากขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของระบบเป็น 430 องศาเซลเซียสภายใต้ภาวะการทดลองเดียวกันพบว่าได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวคิดเป็นร้อยละ 16.47 โดยพบว่าเกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอนในปริมาณมากขึ้น รวมถึงการเกิดโค้กบนตัวเร่งปฏิกิริยาโดยพบว่ากากของแข็งที่เหลือจากการทำปฏิกิริยามีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อนทำให้เกิดการแตกย่อยโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจนได้โมเลกุลขนาดเล็กเกินไป จนอยู่ในรูปแก๊สไฮโดรคาร์บอน $C_1 - C_4$ ที่เป็นแก๊สจำนวนมากขึ้น นอกจากนี้พบว่าหากเพิ่มความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นให้กับระบบเป็น 50 บาร์ ก็พบว่า มีแนวโน้มของการเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวได้มากที่สุด 59.40 % แก๊สไฮโดรคาร์บอน 21.64 % และกากของแข็ง 18.96 % แสดงผลการทดลองดังรูป 4.4

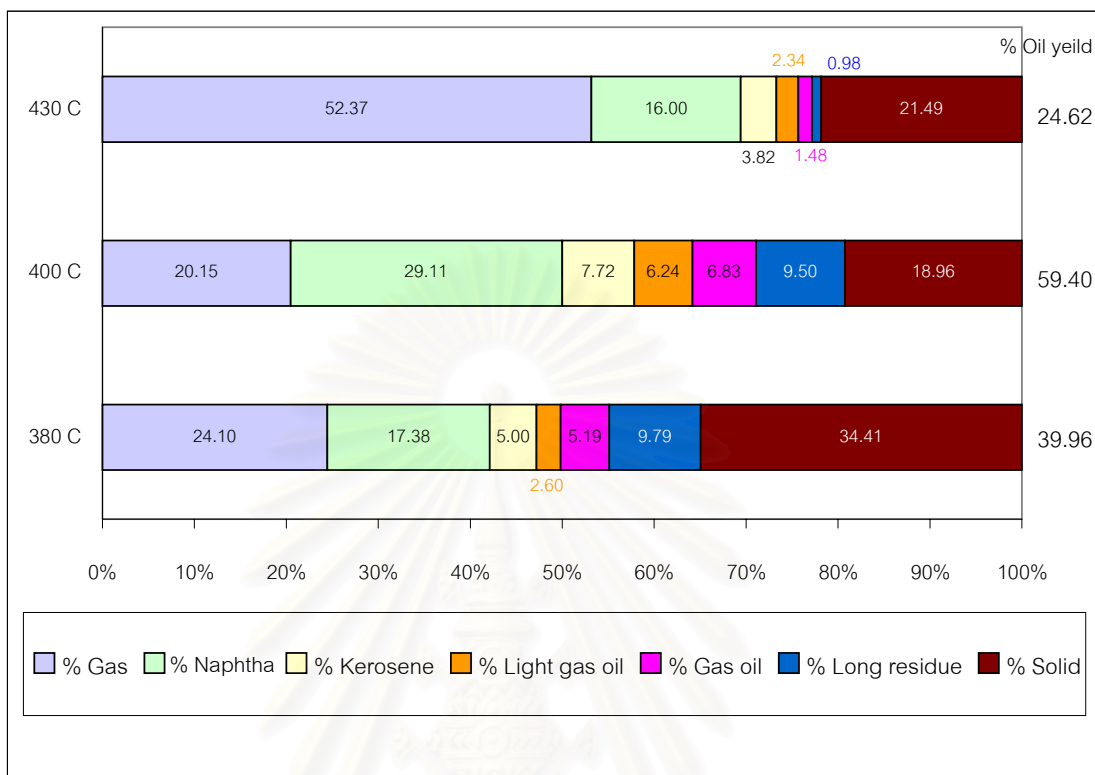
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ระหว่าง 380 - 430 องศาเซลเซียส ใช้สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม

เมื่อวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวเพื่อค่าการกระจายตัวตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่อง Simulated distillation gas chromatograph ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูป 4.5 พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะมีแก๊สไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น ปริมาณเนฟทาลดลง และมีปริมาณกากของแข็งลดลงด้วย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิต่ำ ๆ สูงขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางจำพวกคีโรซีนและแก๊สเออยล์ ต่อจากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะมีบทบาทในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็กจำพวกเนฟทา โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากจะส่งเสริมให้เกิดการแตกตัวด้วยความร้อนทำให้เกิดการแตกตัวอย่างรุนแรงจนได้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแก๊สไฮโดรคาร์บอน ส่วนการที่มีกากของแข็งในปริมาณที่ลดลงเป็นผลมาจากการที่แอนทราไซต์สามารถเกิดการแตกตัวได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้มีปริมาณกากของแข็งลดลง จากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีองค์ประกอบดีที่สุด คือ อุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 50 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว 59.40% แก๊สไฮโดรคาร์บอน 21.64 % กากของแข็ง 18.96 % มีองค์ประกอบผลิต

ภัณฑ์ของเหลวเป็นเนฟทา 30.29 % คีโรซีน 7.13 % แก๊สออยล์ 13.06 % โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว 9.50 %

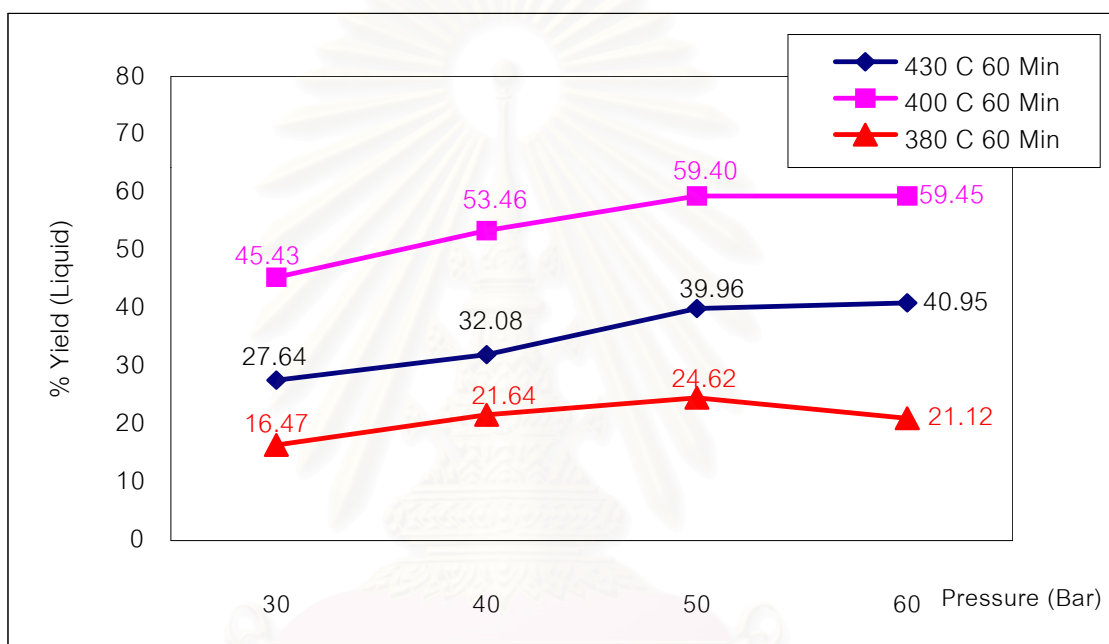


รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation G.C. จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่าง 380 – 430 องศาเซลเซียส เมื่อใช้สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม

4.2.3 อิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นที่มีผลต่อกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ เพื่อศึกษาผลของความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 30 บาร์, 40 บาร์, 50 บาร์ และ 60 บาร์ เมื่อใช้สัดส่วนพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์เป็น 0.8 : 0.2 (น้ำหนักรวมโดยประมาณ 20 กรัม) อุณหภูมิทำการทดลอง 380 - 430 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ จากการศึกษาอิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 บาร์, 40 บาร์, 50 บาร์ และ 60 บาร์ โดยใช้อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ แสดงผลการทดลองดังรูป 4.6 พบว่าเมื่อความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นให้สูงขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวได้มากขึ้น โดย

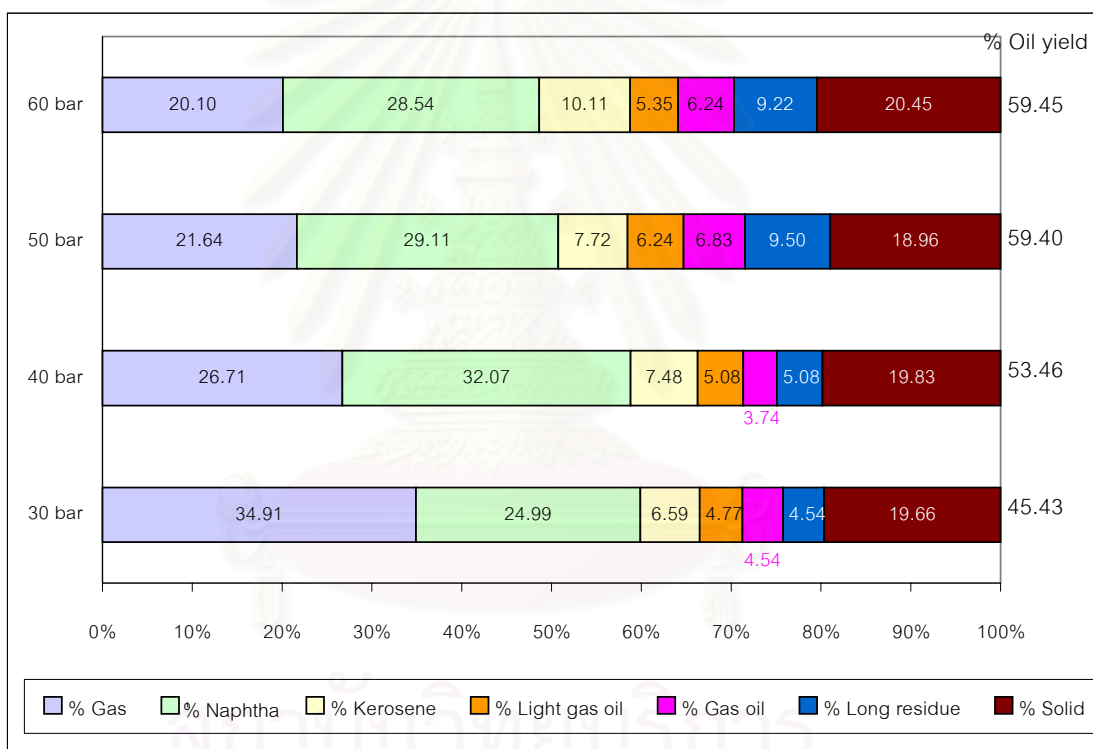
เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวร้อยละ 45.43, 53.46, 59.40, 59.45 ตามลำดับ เนื่องจาก แอนทราไซต์มีโครงสร้างซับซ้อนและเกาะตัวอย่างแน่นหนา การเกิดการแตกตัวเป็นอนุภาคอิสระ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาถูกใช้ที่จะส่งผลต่อการทำให้แอนทราไซต์การแตกตัวเป็นโมเลกุลสายโซ่ขนาดกลางเป็นไปได้ยาก จึงจำเป็นต้องเพิ่มแก๊สไฮโดรเจนให้กับระบบเพื่อส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยา Hydrocracking และปฏิกิริยา Hydrogenation เพื่อให้เกิดการแตกตัวของแอนทราไซต์เป็น โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ขนาดสั้นลง นอกจากนี้พบว่าที่ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ และ 60 บาร์ ให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวแตกต่างกันไม่มาก



รูปที่ 4.6 ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากศึกษาอิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนต่าง ๆ ใช้สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 380 - 430 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวเพื่อค่าการกระจายตัวตามจุดเดือด โดยใช้เครื่อง Simulated Distillation Gas Chromatograph พบว่าเมื่อเพิ่มความดันของแก๊สไฮโดรเจนให้กับระบบที่อุณหภูมิคงที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเนฟทา คีโรซีน และแก๊สออยล์ในปริมาณที่มากขึ้น แสดงผลการวิเคราะห์ดังรูป 4.7 ซึ่งมีผลมาจากการที่แก๊สไฮโดรเจนไปมีบทบาทในการส่งเสริมปฏิกิริยา Hydrocracking ของแอนทราไซต์ให้เป็นสายโซ่โมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง โดยในช่วงแรกเมื่อเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นอนุภาคอิสระและเกิดปฏิกิริยาเป็นแบบถูกใช้โดยอิทธิพลของความร้อนในช่วงแรก จากนั้นความดันแก๊สไฮโดรเจนจึงไปมีบทบาทในการเกิดปฏิกิริยา Hydrocracking จนได้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลง รวมถึงจะมีส่วนช่วยเกิดปฏิกิริยา

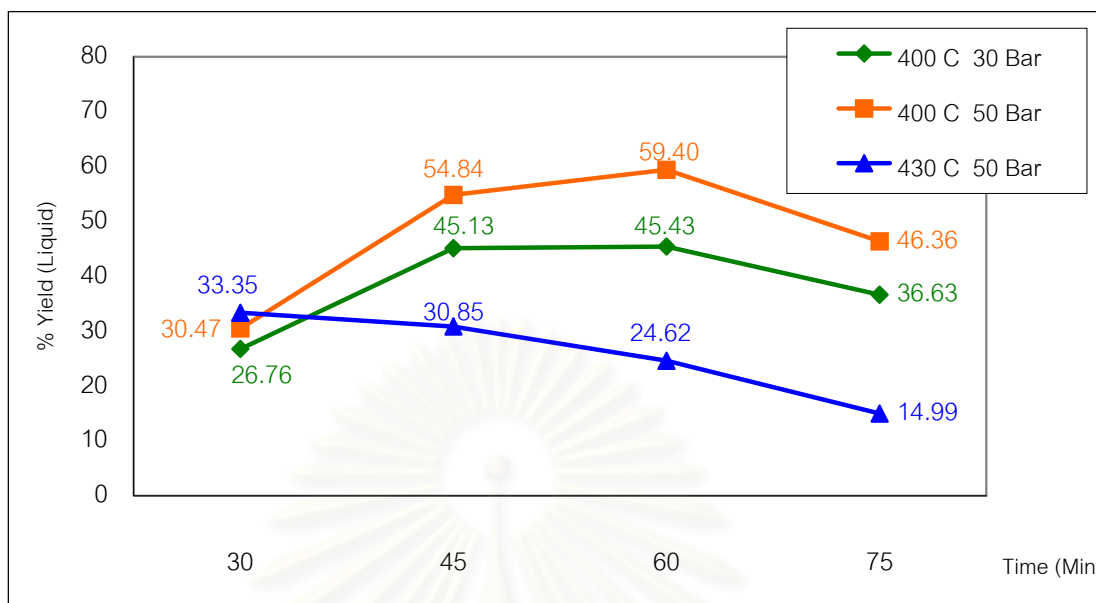
Hydrogenation ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างอิ่มตัวด้วย จากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงเข้ามามีอิทธิพลในการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางที่ได้จากการแตกโมเลกุลด้วยความร้อน และ Hydrocracking จากการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนที่ส่งผลต่อกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีองค์ประกอบที่ดีที่สุด คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 40 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ให้ผลิตภัณฑ์ของเหลว 53.46 % โดยองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีปริมาณเนฟทา 32.07 % คีโรซีน 7.48 % แก๊สออยล์ 8.82 % และโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว 5.08 %



รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation G.C. เพื่อศึกษาอิทธิพลของความดันแก๊สไฮโดรเจนที่ใช้ในการทดลอง 30 - 60 บาร์ ใช้สัดส่วนของพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม

4.2.4 อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทดลองที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว

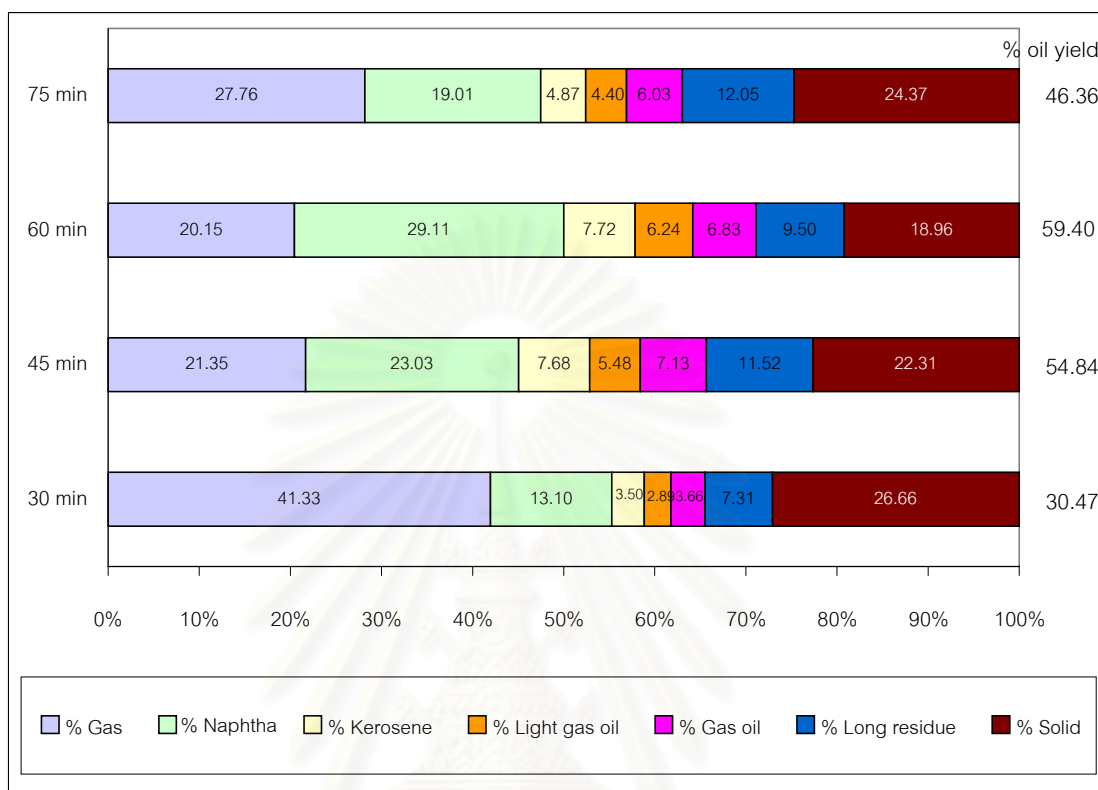
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อการเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว โดยทำการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ กัน ระหว่าง 15 – 75 นาที โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิและความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้นต่าง ๆ ใช้สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 (น้ำหนักรวมโดยประมาณ 20 กรัม) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ จากผลการทดลองแสดงดังรูป 4.8 พบว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ ให้อัตราของผลิตภัณฑ์ของเหลวในปริมาณมากที่สุด โดยเมื่อทำการทดลองที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 30 นาที, 45 นาที, 60 นาที และ 75 นาที พบว่ามีปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลว 30.47 %, 54.84 %, 59.40 % และ 46.36 % ตามลำดับ ส่วนที่เวลาทำการทดลอง 15 นาที ไม่สามารถเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลว โดยพบเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ให้อัตราของผลิตภัณฑ์ของเหลวได้ดีที่สุดคือที่ 60 นาที แต่หากทำการทดลองโดยเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเป็น 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ เมื่อทำการทดลองที่เวลาต่าง ๆ กัน คือ 30 นาที, 45 นาที, 60 นาที จะพบว่า มีปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็น 33.35 %, 30.85 %, 24.62 % และ 14.99 % ตามลำดับ ซึ่งพบว่าทำให้ อุณหภูมิสูงแก่ระบบเป็นเวลานาน จะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อน ได้โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีขนาดเล็กเนื่องจากอิทธิพลของการแตกตัวด้วยความร้อนตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่มีส่วนช่วยในการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กที่แตกตัวจากความร้อน โดยเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนก็จะแตกตัวจนมีขนาดเล็กและจะอยู่ในสภาพที่เป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนจำนวนมาก และพบว่าเมื่อใช้เวลาทำปฏิกิริยานานขึ้นจนถึง 75 นาที จะมีปริมาณกากของแข็งที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น จะทำให้แอนทราไซต์เกิดการแตกตัวเกิดเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางได้มากขึ้น โดยเมื่อเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานานถึง 75 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเสื่อมสภาพเนื่องจากเกิดโค้กบริเวณที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้พื้นที่ผิวรูพรุนลดลง ส่งผลต่อความว่องไวตัวเร่งปฏิกิริยา ดังจะพบว่ากากของแข็งที่เหลือจากการทำปฏิกิริยามีปริมาณมากขึ้น



รูปที่ 4.8 ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทดลองระหว่าง 15 – 75 นาที โดยใช้สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 30 และ 50 บาร์ ภายใต้อุณหภูมิ 400 และ 430 องศาเซลเซียส เป็นใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของสูงสุดคือที่ภาวะ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ มาทำการวิเคราะห์เพื่อค่าการกระจายตัวตามคาบจุดเดือดโดยใช้เครื่องมือ Simulated Distillation Gas Chromatography แสดงผลการวิเคราะห์ดังรูป 4.9 พบว่าเมื่อใช้เวลาทำการทดลองต่าง ๆ กัน พบว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น จะมีปริมาณของแก๊สไฮโดรคาร์บอนสูงขึ้น เนื่องจากในช่วงแรกของปฏิกิริยาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอนทราไซต์และพอลิพรอพิลีนจะเกิดการแตกตัวไปเป็นสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางจำพวกคีโรซีนและแก๊สออยล์ ซึ่งหลังจากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเข้าไปมีบทบาทในการเกิด Catalytic cracking ของคีโรซีนและแก๊สออยล์ให้ได้ขนาดของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่เล็กลง ดังจะพบได้ว่ามีปริมาณแนฟทาที่สูงขึ้น แต่หากใช้เวลานานขึ้นตัวเร่งปฏิกิริยาก็ยังจะมีบทบาทในการเกิด Catalytic cracking ของโมเลกุลแนฟทาต่อไปอีก ทำให้ปริมาณแนฟทาลดลง ในขณะที่ปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น ภาวะที่เหมาะสมในการเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีองค์ประกอบดีที่สุด คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส ความดัน 50 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ให้ผลิตภัณฑ์ของเหลว 53.46 % แก๊สไฮโดรคาร์บอน 26.71 % กากของแข็ง 19.83 % โดยองค์

ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีปริมาณเนฟทา 30.29 % คีโรซีน 7.13 % แก๊สออยล์ 13.06 % โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว 9.50 %

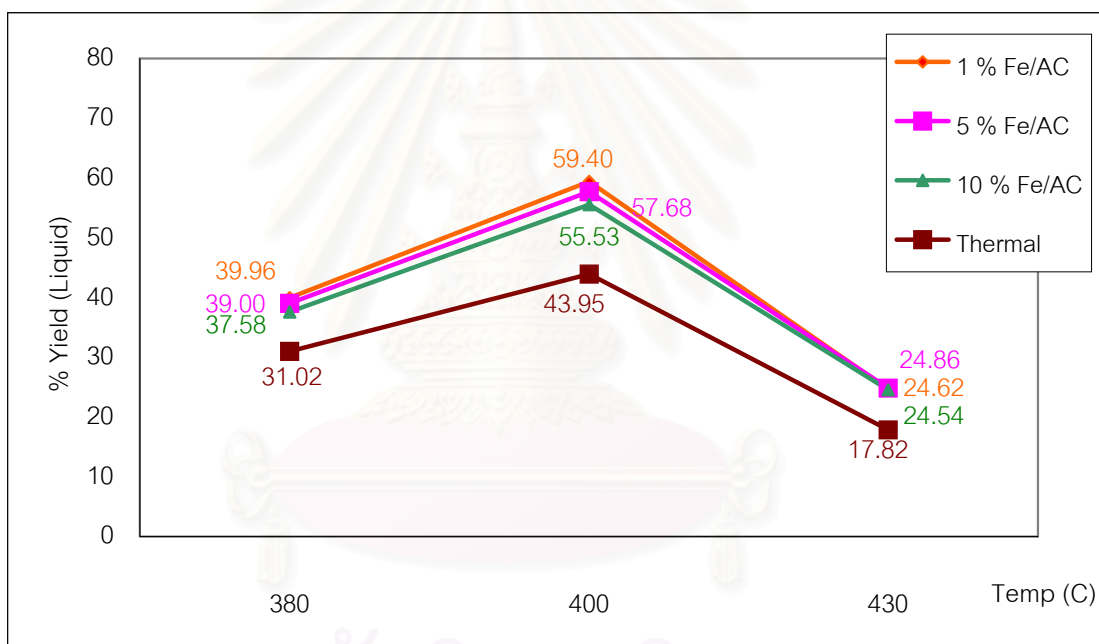


รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation G.C. เพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทดลอง 15 – 75 นาที ใช้สัดส่วนของพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม

4.2.5 อิทธิพลของปริมาณเหล็กบนตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว

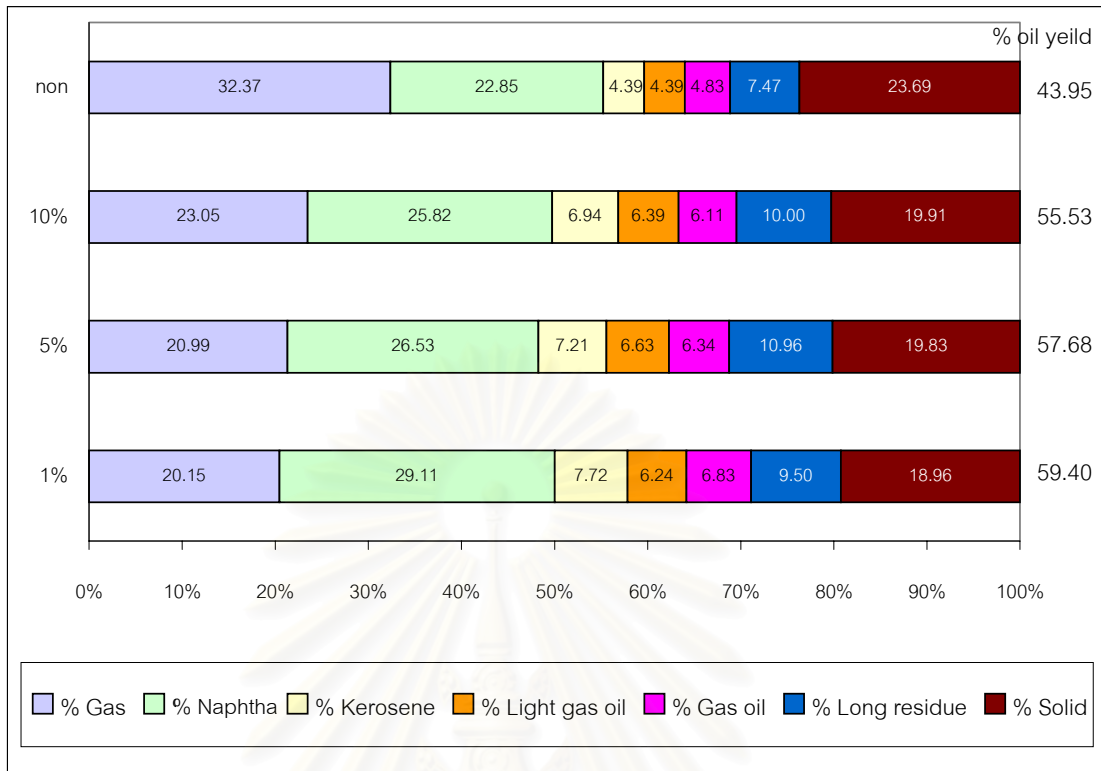
งานวิจัยนี้ศึกษาถึงผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาณร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์เป็น 1 %, 5%, 10 % และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 380 - 430 องศาเซลเซียส ใช้เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที ความดันของแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ ผลการทดลองแสดงดังรูป 4.10 พบว่า ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที เมื่อใช้ตัวเร่งเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่มีปริมาณร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์เป็น 1 %, 5%, 10 % และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเป็น 59.40 %, 57.68 %, 55.53 % และ 43.95 % ตามลำดับ จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะพบว่าการตัวเร่งปฏิกิริยา

เหล็กบนถ่านกัมมันต์ (Catalytic cracking) ให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงกว่าการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว (Thermal cracking) แสดงว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวของกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ โดยปฏิกิริยาในช่วงแรกจะเกิดการแตกโมเลกุลของพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ด้วยความร้อนทำให้เกิดแตกย่อยเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลาง จากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงไปมีบทบาทส่งเสริมการแตกย่อยเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กต่อไป ส่วนการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว (Thermal cracking) จะทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนมีขนาดเล็กจนเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอน ซึ่งจะทำให้ไม่ได้ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ นอกจากนี้พบว่าการใช้ปริมาณร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์แตกต่าง ๆ กัน ไม่ได้ช่วยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว



รูปที่ 4.10 ปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการศึกษาอิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในปริมาณต่าง ๆ กัน โดยใช้สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ อุณหภูมิ 380 - 430 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

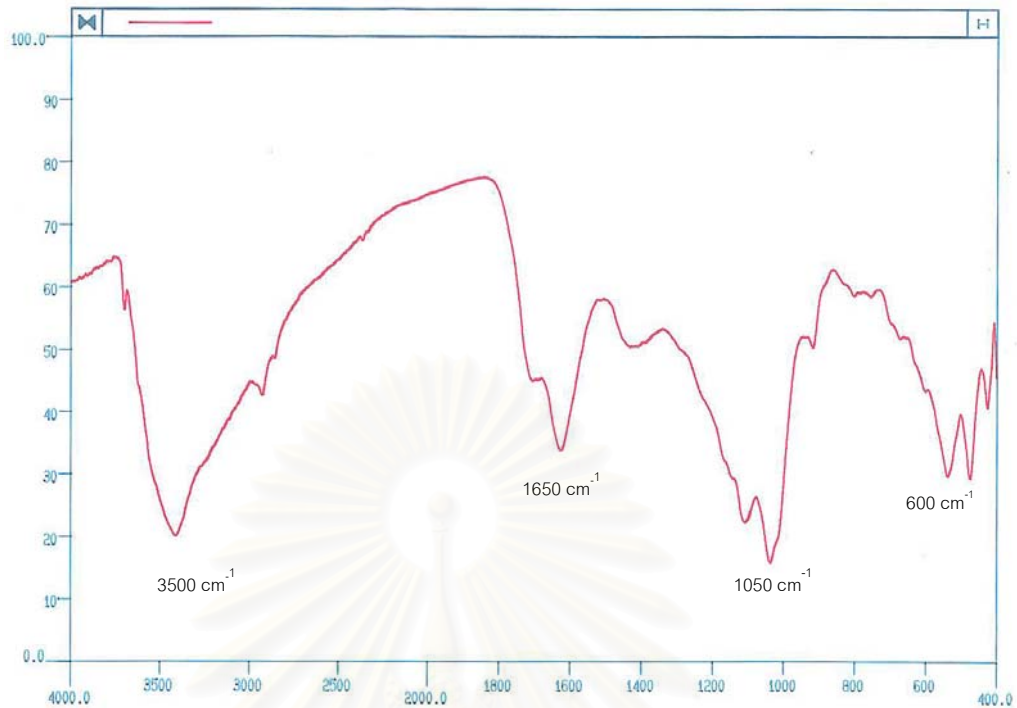
จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการทดลองที่ภาวะ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที ด้วยเครื่อง Simulated distillation gas chromatograph แสดงดังรูป 4.11 พบว่าเมื่อปริมาณ ร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์เปลี่ยนแปลงไป ช่วงการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์ ของเหลวมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณของแนฟทาและแก๊สไฮโดรคาร์บอนสูง ในขณะที่มี ปริมาณคีโรซีนและแก๊สออยล์ต่ำ ทั้งนี้เนื่องมาเมื่อพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ได้รับความร้อน จะเกิดการแตกตัวเป็นอนุภาคมูลอิสระและเกิดปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องเป็นแบบลูกโซ่ทำให้เกิดการแตก ตัวได้เป็นสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดกลางจำพวกคีโรซีนและแก๊สออยล์ ซึ่งเมื่อมีการ เติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางจำพวกคีโรซีน และแก๊สออยล์ต่อไปได้เป็นแนฟทาและแก๊สไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดลอง ดังกล่าวพบว่าปริมาณร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในช่วง 1 % ถึง 10 % ให้ผลิตภัณฑ์ของ เหลวใกล้เคียงกันทั้งในเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ ปริมาณร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์จึงไม่ มีส่วนสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลว ส่วนในระบบที่ไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวน้อยกว่าระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยผลิตภัณฑ์ของเหลว 43.95 % แก๊ส ไฮโดรคาร์บอน 32.37 % กากของแข็ง 23.69 % โดยองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวในระบบ ที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Thermal cracking) ให้ปริมาณแนฟทา 22.85 % คีโรซีน 4.39 % แก๊ส ออยล์ 9.22 % โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว 7.47 % พบว่าในระบบที่ใช้ความร้อนเพียงอย่าง เดียวจะปริมาณแนฟทาที่เกิดขึ้นมีน้อยกว่าในระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นผลมาจากการแตก ย่อยโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อนจะได้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจำพวกแก๊ส ไฮโดรคาร์บอนจำนวนมากจนสิ้นสุดปฏิกิริยา ในขณะที่ระบบที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อเกิดการ แตกย่อยด้วยความร้อนจนได้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดกลางจำพวกคีโรซีน และแก๊สออยล์ซึ่งมี ขนาดพอเหมาะที่เข้ากับขนาดของผิวรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ ทำให้เกิดการแตกย่อยด้วยตัวเร่ง ปฏิกิริยาได้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนจำพวกแนฟทาซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ได้ต่อไป พบว่าภาวะที่ เหมาะสมในการเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีองค์ประกอบดีที่สุด คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำ ปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส ความดัน 50 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% เหล็ก บนถ่านกัมมันต์ ให้ผลิตภัณฑ์ของเหลว 59.40 % แก๊สไฮโดรคาร์บอน 21.64 % กากของแข็ง 18.96 % โดยองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำมันมีปริมาณแนฟทา 30.29 % คีโรซีน 7.13 % แก๊ส ออยล์ 13.06 % โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว 9.50 % นอกจากนี้การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี ปริมาณร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ในปริมาณต่าง ๆ กันไม่ได้ช่วยส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลง ไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว แต่ช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบดีกว่าการใช้ความร้อนเพียง อย่างเดียว



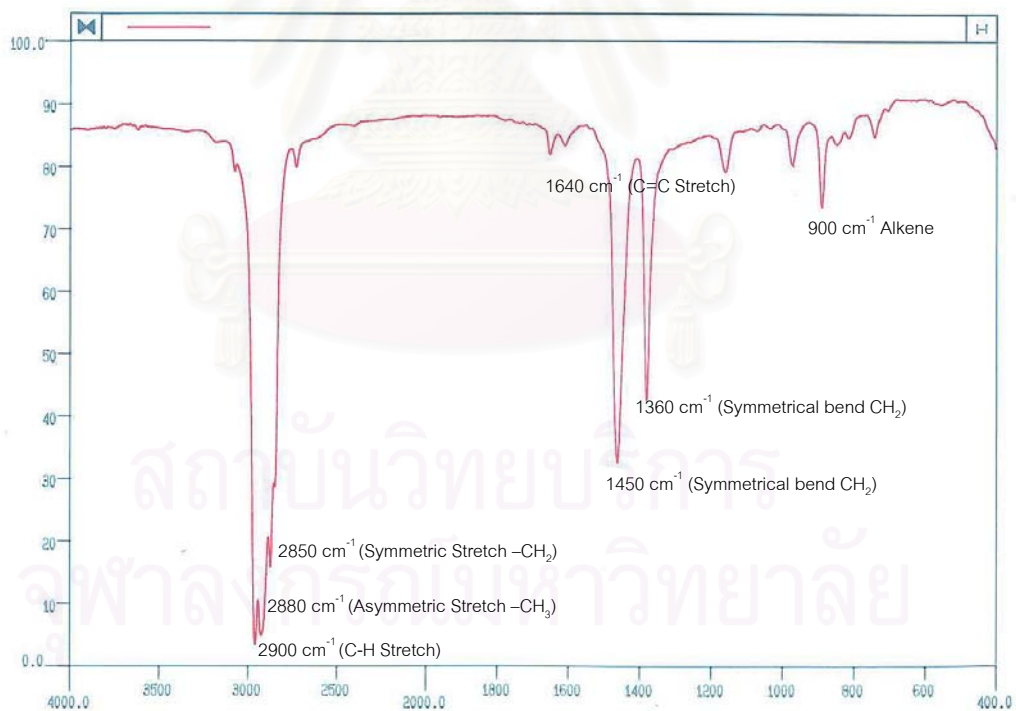
รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่อง Simulate Distillation G.C. เพื่อศึกษาอิทธิพลของร้อยละของปริมาณเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ใช้สัดส่วนของพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที

4.3 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์

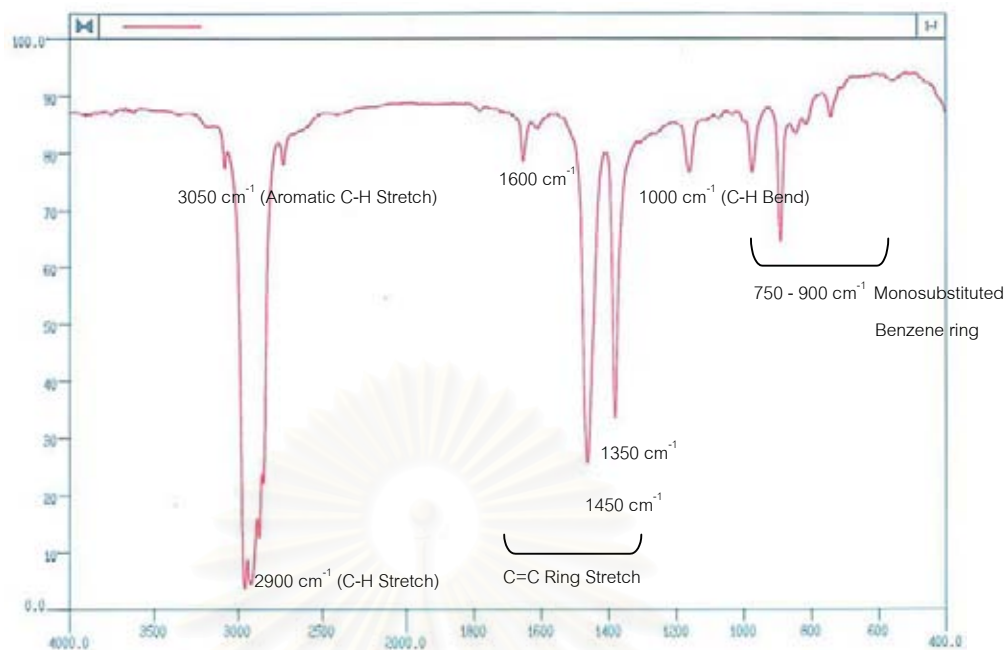
จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของแอนทราไซต์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer พบว่ามีหมู่ฟังก์ชันหลักที่เป็นสายโซ่อะโรมาติก (Long chain aromatic) เป็นองค์ประกอบหลักจำนวนมาก โดยเมื่อทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ของเหลวของระบบที่ใช้พอลิพรอพิลีนเพียงอย่างเดียว ภายใต้ภาวะการทดลองอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ พบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เกิดขึ้นมีหมู่ฟังก์ชันเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกอะลิฟาติกที่มีโครงสร้างเป็นวงที่มีคาร์บอน 5 – 6 โมเลกุล และแสดงมีความเป็นอะโรมาติก (Aromatic compound) ดังรูป 4.13 แสดงว่าพอลิพรอพิลีนเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็ก ๆ ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์มีส่วนช่วยให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนเหล่านั้นมีขนาดเล็ก ดังจะพบว่ามีหมู่ฟังก์ชันเป็นเมทิล (methyl group) แทนที่อยู่บนวงแหวนไฮโดรคาร์บอนด้วย ส่วนความเป็นอะโรมาติกเกิดขึ้นเนื่องมาจากการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมทำให้ได้สารประกอบอะโรมาติก เมื่อทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์ของเหลวของกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ ภายใต้ภาวะการทดลองอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูป 4.14 พบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เกิดขึ้นมีหมู่ฟังก์ชันเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวกอะลิฟาติกที่มีโครงสร้างเป็นวงที่มีคาร์บอน 5 – 6 โมเลกุล และแสดงมีความเป็นอะโรมาติก (Aromatic compound) เล็กน้อย ซึ่งเหตุที่เกิดสารประกอบอะโรมาติกขึ้นเล็กน้อยมีผลมาจากโครงสร้างที่แข็งแรงของแอนทราไซต์ทำให้การแตกตัวเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กลงเกิดได้ยาก ซึ่งหากต้องการให้มีสารประกอบจำพวกอะโรมาติกจำนวนมากขึ้นจำเป็นต้องใช้ภาวะที่รุนแรง เช่น ความดันสูง และเวลานาน เพื่อส่งเสริมให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลแอนทราไซต์ให้มีขนาดเล็กลง ส่วนในระบบของกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ ภายใต้ภาวะการทดลองอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงผลการวิเคราะห์ดังรูป 4.15 พบว่าผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้เป็นสารประกอบจำพวกอัลคิล และอะลิฟาติก ไม่มีการจัดโครงสร้างเป็นวง แสดงว่าภาวะที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กเกิดเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ ในส่วนที่เป็นของเหลวก็เป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก ๆ



รูปที่ 4.12 แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของแอนทราไซต์



รูปที่ 4.13 แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ที่สัดส่วน 1.0 : 0 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์



รูปที่ 4.14 แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 : 0.2 (น้ำหนักรวมโดยประมาณ 20 กรัม) อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์



รูปที่ 4.15 แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 : 0.2 (น้ำหนักรวมโดยประมาณ 20 กรัม) อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

ธาริณี กิตติเรืองทอง (2543) ศึกษาถึงกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนและลิกไนต์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการ Presulfation ลงไปเล็กน้อย เพื่อให้เป็นการส่งเสริมการเกิดการแตกตัวของโมเลกุลไฮโดรคาร์บอน พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการเกิดกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนและลิกไนต์ในสัดส่วน 12 ต่อ 3 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 62 บาร์ ใช้เวลาในการทดลอง 30 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลวและแก๊สไฮโดรคาร์บอน 71.05 %

อุมาภรณ์ พงษ์ภักดิ์ (2543) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการร่วมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene) กับลิกไนต์ โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ ความดันแก๊สไฮโดรเจน เวลาที่ใช้ในการทดลอง อัตราส่วนระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำและลิกไนต์ ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนอะลูมินาที่มีร้อยละของนิกเกิลในปริมาณต่าง ๆ พบว่า ภาวะที่เหมาะสมที่ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลวดีที่สุด คือ สัดส่วนระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงต่อลิกไนต์เป็น 15 ต่อ 1 กรัม อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 60 บาร์ เวลา 60 นาที โดยใช้ นิกเกิลบนอะลูมินาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ให้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันสูงถึง 68.1 %

ส่วนงานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการเกิดกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ คือสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนต่อแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 (น้ำหนักรวมโดยประมาณ 20 กรัม) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ ใช้เวลาในการทดลอง 60 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลวและแก๊สไฮโดรคาร์บอน 80.17 %

จากผลการวิจัยและงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน สามารถเปรียบเทียบภาวะที่ใช้ในการทดลองและผลการทดลองในตาราง 4.4

ตารางที่ 4-4 เปรียบเทียบงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

การทดลอง	ธารินี [2543]	อุมาภรณ์ [2543]	งานวิจัยนี้
สารตั้งต้น	ลิกไนต์ พอลิพรอพิลีน	ลิกไนต์ พอลิเอทิลีนความ หนาแน่นต่ำ (LDPE)	แอนทราไซต์ พอลิพรอพิลีน
ตัวเร่งปฏิกิริยา	เหล็กบนถ่านกัมมันต์	นิกเกิลบนอะลูมินา	เหล็กบนถ่านกัมมันต์
สัดส่วนของพลาสติกและถ่านหิน	12 : 3	15 : 1	0.8 : 0.2
อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง	400 องศาเซลเซียส	400 องศาเซลเซียส	400 องศาเซลเซียส
เวลาที่ใช้ในการทดลอง	30 นาที	60 นาที	60 นาที
ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น	62 บาร์	60 บาร์	40 บาร์
ร้อยละของตัวเร่งปฏิกิริยา	5 % Fe/A.C.	Ni/Al	1 % Fe/A.C.
ผลิตภัณฑ์ที่ได้			
ของเหลว	49.45	68.1	53.46
แก๊ส	28.95	13.7	26.71
ของแข็ง	21.60	18.2	19.83
องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์			
แนฟทา	35.6	44.3	32.07
คีโรซีน	7.41	9.6	7.48
แก๊สออยล์	5.45	9.5	8.82
โมเลกุลไฮโดรคาร์บอน			
สายโซ่ยาว	0.99	4.7	5.08

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์ของเหลวจากพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากแอนทราไซต์เป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดี การสังเคราะห์ของเหลวจากแอนทราไซต์ จำเป็นต้องทำในภาวะที่ใช้อุณหภูมิและความดันสูง รวมถึงต้องมีการเติมแก๊สไฮโดรเจนให้กับแอนทราไซต์ด้วย ดังนั้นจึงได้นำพอลิพรอพิลีนซึ่งมีความสามารถในการแตกตัวด้วยความร้อนไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็ก และแตกตัวให้ไฮโดรเจนแก่ถ่านหินในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ของเหลวได้ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณ และคุณภาพของเหลวที่ได้จากการสังเคราะห์เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ของเหลวประกอบด้วยสัดส่วนของพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ความดันแก๊สไฮโดรเจน เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่มีร้อยละของเหล็กในปริมาณต่าง ๆ กัน ผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสามารถนำไปวิเคราะห์ในเชิงปริมาณเพื่อหาร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลว ทำการวิเคราะห์ของเหลวในเชิงคุณภาพโดยวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ในช่วงจุดเดือดต่าง ๆ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Simulated distillation gas chromatograph) ผลการทดลองสามารถสรุปถึงภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์ได้ดังนี้

1. ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ พบว่า ภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการร่วมของพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ที่ให้แนวโน้มของร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลวได้ดีที่สุดคือ

สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนต่อแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 (น้ำหนักรวม 20 กรัม)

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 400 องศาเซลเซียส

ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์

เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที

สำหรับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์จะให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลวได้มากกว่าการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว (Thermal Cracking) และพบว่าปริมาณร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวไม่แตกต่างกันมากนัก จึงใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์

โดยภาวะข้างต้นให้

ผลิตภัณฑ์ของเหลว (น้ำมัน)	ร้อยละ 59.40
แก๊ส	ร้อยละ 21.64
ของแข็งส่วนที่เหลือ หรือไม่ทำปฏิกิริยา	ร้อยละ 18.96

2. ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ โดยนำผลิตภัณฑ์ของเหลวทำการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวผลิตภัณฑ์ที่จุดเดือดต่าง ๆ พบว่า ภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการร่วมของพอลิ-พรอดพิลีนกับแอนทราไซต์ที่ให้แนวโน้มของค่าการกระจายตัวผลิตภัณฑ์ได้ดีที่สุดคือ

สัดส่วนระหว่างพอลิพรอดพิลีนต่อแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 (น้ำหนักรวม 20 กรัม)

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	400	องศาเซลเซียส
ความดันแก๊สไฮโดรเจน	40	บาร์
เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	60	นาที

สำหรับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ ให้ร้อยละของการกระจายตัวผลิตภัณฑ์ของเหลวไม่แตกต่างกันมากนัก จึงใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 %เหล็กบนถ่านกัมมันต์

โดยภาวะข้างต้นให้

แก๊สไฮโดรคาร์บอน	ร้อยละ 26.71
แนฟทา	ร้อยละ 32.07
คีโรซีน	ร้อยละ 7.48
แก๊สออยล์	ร้อยละ 8.82
โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว	ร้อยละ 5.08
ของแข็ง	ร้อยละ 19.83

3. การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าการใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียว แต่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีร้อยละของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ต่าง ๆ กัน ไม่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณหรือคุณภาพผลิตภัณฑ์ของเหลว

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในระดับต่อไป

1. ควรทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่น โดยเฉพาะการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถสังเคราะห์เองได้ และมีราคาไม่แพง รวมถึงวิธีการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่

2. ควรทำการศึกษาภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการร่วมระหว่างถ่านหินและพลาสติก เมื่อมีการขยายส่วนการผลิตในระดับที่ใหญ่ขึ้น

รายการอ้างอิง

1. American Societies for Testing Material D388. Classification of Coal by Rank. Annual book of ASTM Standards. 1994.
2. American Societies for Testing Material D3172. Standard test Method for proximate analysis of coal and coke. Annual book of ASTM Standards. 1989 : 288.
3. American Societies for Testing Material D3173. Standard test Method for moisture in the analysis sample of coal and coke. Annual book of ASTM Standards. 1987 : 289-290.
4. American Societies for Testing Material D3174. Standard test Method for ash in the analysis sample of coal and coke. Annual book of ASTM Standards. 1993 : 291-294.
5. American Societies for Testing Material D3175. Standard test Method for volatile in the analysis sample of coal and coke. Annual book of ASTM Standards. Reapproved 1993 : 295-297.
6. Bansel R.C. Active Carbon. New York : Marcel Dekler, 1988.
7. Bernard S. Lee. Synfuel from Coal. New York : American Institute of Chemical Engineers, 1982.
8. Charles N. Satterfield. Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice. New York : McGraw-Hill Inc., 1991.
9. D.D. Whitehurst, T.O. Mitchell, and M. Farcasin. Coal liquefaction : The chemistry and Technology of thermal process. Academic press, 1980.
10. D.Merrick. Coal Combustion and Conversion Technology. London : Macmillan, 1984.
11. G. Collin, and J. Polaczek. Co-Coking of Coal with rective pitches from waste plastics. Int. Conf. Coal Sci. (1995) :1033-1035.
12. G.K. Goldman. Liquid fuel from coal. New Jersey : Noyes Data Corp, 1972.
13. G.P. Huffman, Zhen Feng, F.E.Huggins, and Vikram Mahajan. Direct Liquifaction of Waste Plastics and Coal liquifaction of Waste Plastic with coal. Int Conf Coal Sci. (1995) : 1519–1522.

14. Harriet F. Ades, Kumble R. Subbaswamy. Theoretical modeling of coliquefaction reaction of coal and polymers. Fuel Processing Technology 49 (1996) : 207 – 218.
15. Harold H. Schobert, The Chemistry of Hydrocarbon fuel. New York : 1991.
16. He Huang, D.M. Fake, M.T. Klein, and W.H. Calkins. A novel reactor system for studying the kinetics of coal liquefaction and related processes at very short reaction times. Int. Conf. Coal Sci. (1995) : 1203 – 1205.
17. He Huang, Wang M.T. Klein, and W.H. Calkhins. Kinetic of thermal and catalyzed coal liquefaction at very short reaction times using a novel batch reactor and thermal gravimetric analysis. Int. Conf. Coal Sci. (1995) : 1207 - 1210 .
18. Ikusei Nakamura, and Kaoru Fujimoto. Development of new disposable catalyst for waste plastics treatment for high quality transport fuel. Catalyst Today 27 (1996) : 175 – 179.
19. James A. Casumano. Catalysis in Coal. New York : Academic Press, 1978.
20. K. Gimouhpoolos., D. Pooulia., and A.Vly Ssides., Resource Conservation and Recycling 26 (1999) : 43 – 53.
21. K. Hirano, M.Kouzu, T. Okada, M Kobayashi, N. Ikenaka, and T. Suzuki. Catalytic activity of iron compounds for coal liquefaction. Fuel 78 (1999) : 1867 – 1873.
22. Lonnie W. Vernon. Free radical chemistry of coal liquefaction : role of molecular hydrogen, Fuel 59 (February 1980) : 102 – 106.
23. L.L. Anderson, W.Tuntawiroon, and W.B.Ding. Coal Liquefaction of Coal and Waste plastics. Int Conf Coal Sci. (1995) : 1515 – 1518.
24. Manjala M. Ibralium and Mohindar S. Seehra, Effect of hydrogen pressure and temperature on free radical. Fuel Processing Technology 49 (1996) : 197 – 205.
25. Matlson J.S. and Mark V.B. Active carbon surface chemistry and adsorption from solution. New York : Marcel Dekker Inc., 1971.
26. M.M.Taghiei, Z. Feng, F.E. Huggins, and G.P. Huffman. Energy and Fuel 8 (1994) : 1228 – 1232.
27. Moore, Edward P.Jr. Polypropylene Handbook. Munich : Hanser, 1996.
28. Peery Nowacki. Coal Liquefaction Process. New York : 1979.

29. R.A. Meyers. Coal Handbook. 1st Ed. New York : M. Dekker, 1981.
30. R.H. Schlosburg. Chemistry of Coal Conversion. New York : Plenum Press, 1985.
31. R.M. Silverstein, G. Clayton Bassier and Terence C. Morrill. Spectrometric Identification of organic compounds. Singapore : John Willey & sons, 1991.
32. R.J. Ehrig. Plastic Recycling Product and Process. New York : 1992.
33. Rex T. Ellington. Liquid fuels from coal. New York : Academic Press, 1997.
34. S.R. Palmer, E.J. Hippo, D. Tanden, and M. Blankenship. Liquefaction of coal/waste plastic mixture. Int. Conf. Coal Sci. (1995) 1523 – 1525.
35. Weibing Ding, Jing Liang, and Laary L. Anderson. Catalysis and processes for heavy oil conversion. International Symposium on Advances in Catalysis and Processes for Heavy oil Conversion. (1997) : 428 - 432
36. Xian Yong Wei, Eisuke Ogata, Zhimin Zong, and Longgi Li. Advance in study in hydrogen transfer to model compounds of coal liquefaction. Fuel Processing Technology 62. (2000) : 103-107.
37. Yatish T. Shah. Reaction Engineering in Direct Coal Liquefaction. (Energy science and technology ; no 3). Canada : Addison-Wesley Publishing Co, Inc. ,1981.
38. Yoshiki Sato, Tohru Kamo, Yashitaka Yamamoto, Keiji Miki, and Suminobu Karahshi. Catalytic effect of high dispersed Zn/Carbon black from automobile tire on coal Liquefaction. Int. Conf. Coal Sci. (1995) : 1539 – 1542
39., ถ่านหิน เชื้อเพลิงเพื่อการผลิตไฟฟ้า. วารสารพลังงาน ฉบับที่ 41 (2541) : 35
40. กรรณิกา มีนศิรินันท์. การตกสะสมของซิงก์ในถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์และกะลาปาล์ม น้ำมันกระตุ้นโดยซิงก์คลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
41. ธาวิณี กิตติเรืองทอง. กระบวนการร่วมของพอลิพรอพิลีนและลิกไนต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
42. ปราโมทย์ ไชยเวช. ปิโตรเลียมเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : สุนทรออฟเซท. 2537
43. ปรีชา พหลเทพ. โพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2536.
44. ฤทัย ลีสุขสันต์. เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากโพลีเอทิลีนใช้แล้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

45. วราภรณ์ คุณาวานากิจ. ถ่านหิน. วารสาร กฟผ. ฉบับที่ 4 (มกราคม – มีนาคม 2539) : 31-37.
46. วราวุฒิ ประชาสิริสกุล. การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
47. วิทยา เรื่องพรวิสุทธิ. คะตะไลซิสแบบเฮเทอโรจีเนียส : หลักทฤษฎีและการประยุกต์. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
48. สมสุข ไตรศุกิตติ. การเปลี่ยนพอลิเอทิลีนไปเป็นก๊าซโซลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
49. อุมพร พงศ์ภักดิ์. กระบวนการร่วมด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำและลิกไนต์โดยใช้เหล็กโมลิบดีนัมบนอะลูมินา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์แบบประมาณ Proximate Analysis

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในถ่านหิน (Moisture in the analysis sample coal) :

ASTM D 3173

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินร้อนที่ผ่านการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอนแล้ว มาให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (Dry Oven) ที่มีอุณหภูมิประมาณ 105 – 110 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยไอน้ำออกไปจากถ่านหิน ค่าความชื้นของถ่านหินสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของถ่านหินน้ำหนักที่เปลี่ยนไปก่อนเข้าตู้อบ และหลังการอบ เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตู้อบ (Dry Oven)
2. ถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด
3. Desiccator

วิธีการการทดลอง

1. อบถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 – 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำไปไว้ในเดซิเคเตอร์จนเย็น แล้วนำไปชั่งเพื่อบันทึกน้ำหนักของถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด
2. ใส่ถ่านหินตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 1 กรัม ลงในถาด นำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน แล้วปิดฝาถาดอะลูมิเนียมทันที
3. นำถาดอะลูมิเนียมไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 – 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (หรือจนกระทั่งน้ำหนักของตัวอย่างถ่านหินมีค่าคงที่)
4. นำถาดอะลูมิเนียมออกจากตู้อบ นำไปไว้ในเดซิเคเตอร์จนเย็น แล้วนำไปชั่งเพื่อบันทึกน้ำหนักของถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด และตัวอย่างถ่านหิน

ผลการทดลอง

$$\text{จากสูตร} \quad M = \frac{(W_1 - W_2)}{W} \times 100$$

- M = ปริมาณความชื้นในตัวอย่างถ่านหิน (%)
 W_1 = น้ำหนักถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด และตัวอย่างถ่านหินก่อนอบ (กรัม)
 W_2 = น้ำหนักถาดอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิด และตัวอย่างถ่านหินหลังอบ (กรัม)
 W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

การวิเคราะห์ปริมาณสารที่ระเหยได้ในถ่านหิน (Volatile Matter in the analysis sample Coal and Coke) : ASTM D 3175

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินร้อนที่ผ่านการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอนแล้ว ไปเผาในเตาเผาแบบท่อ (Turbular Furnace) ที่มีอุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส ปริมาณสารที่ระเหยได้ในถ่านหินสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของถ่านหินน้ำหนักที่เปลี่ยนไปก่อนเข้าเตาเผา และหลังการเผา

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เตาเผาแบบท่อ (Turbular Furnace)
2. นิกเกิลครุชชีเบล (nickel crucible) พร้อมฝาปิด
3. Desiccator

วิธีทำการทดลอง

1. เฝานิกเกิลครุชชีเบลพร้อมฝาในเตาเผาแบบท่อที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำออกจากรถเผาแล้วนำไปไว้ในเดซิเคเตอร์จนเย็น แล้วนำไปชั่งเพื่อบันทึกน้ำหนักของนิกเกิลครุชชีเบลพร้อมฝาปิด
2. ใส่ถ่านหินตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 1 กรัม ลงในนิกเกิลครุชชีเบล นำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
3. ปิดฝาครุชชีเบลให้สนิท แล้วนำครุชชีเบลไปเผาในเตาเผาแบบท่อโดยให้ความร้อนเป็น 2 ช่วง ๆ โดยช่วงแรกเป็นการเริ่มต้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นจึงให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที
4. นำครุชชีเบลออกจากเตาเผาแล้วทิ้งไว้จนเย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วจึงนำไปไว้ในเดซิเคเตอร์ต่ออีกกระยะหนึ่ง แล้วนำไปชั่งเพื่อบันทึกน้ำหนักของนิกเกิลครุชชีเบลพร้อมฝาปิด และตัวอย่างถ่านหิน

ผลการทดลอง

จากสูตร
$$V = \frac{(W_a - W_b)}{W} \times 100 - M$$

- V = ปริมาณสารที่ระเหยได้ (%)
- M = ปริมาณความชื้นในตัวอย่างถ่านหิน (%)
- W_a = น้ำหนักครุชิลเปิดพร้อมฝาปิด และตัวอย่างถ่านหินก่อนการเผา (กรัม)
- W_b = น้ำหนักครุชิลเปิดพร้อมฝาปิด และตัวอย่างถ่านหินหลังการเผา (กรัม)
- W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

หมายเหตุ

1. ให้ใช้ความระมัดระวังในการเลื่อนตำแหน่งครุชิลเปิดขึ้น-ลง หรือฝาเปิดออก
2. ขณะทำการเผาให้คอยสังเกตบริเวณปากครุชิลเปิดตลอดเวลา หากมีสะเก็ดไฟเกิดขึ้นในขณะทำการทดลองก็ตาม ให้ทิ้งผลการทดลอง และทำการทดลองใหม่ทั้งหมด

การวิเคราะห์ปริมาณแอชได้ในถ่านหิน (Ash in the analysis sample Coal and Coke) :

ASTM D 3174

หลักการ นำตัวอย่างถ่านหินร้อนที่ผ่านการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 250 ไมครอนแล้ว ไปเผาในเตาเผา (Muffle Furnace) จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ของครุชิลเปิดและน้ำหนักแอชที่เหลือ ร้อยละของปริมาณแอชจากถ่านหินสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่ชั่งได้ภายหลังการเผา

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เตาเผา Muffle Furnace
2. Porcelain crucible
3. Desiccator

วิธีการทำการทดลอง

1. เผาครุชิลแบบ Porcelain พร้อมฝาในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 700 – 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกจาเตาเผาแล้วนำไปไว้ในเดซิเคเตอร์จนเย็น แล้วนำไปชั่งเพื่อบันทึกน้ำหนักของครุชิลพร้อมฝาปิด
2. เผาครุชิลที่บรรจุถ่านหินเพื่อไล่ความชื้นด้วยตะเกียงบุนเซน โดยใช้ไฟอ่อน ๆ โดยขณะเผาให้เปิดฝาครุชิลไว้จนหมดควัน ทำการเผาต่อจนถ่านหินร้อนแดงแล้วจึงยกครุชิลเปิดออกจากไฟแล้วจึงปิดฝา
3. นำครุชิลเข้าเตาเผา โดยเปิดเตาออก ทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 750 องศาเซลเซียส หรือเผาจนได้น้ำหนักที่คงที่
4. นำครุชิลออกจากเตาเผาแล้วทิ้งไว้ในเดซิเคเตอร์ แล้วจึงนำไปชั่งเพื่อบันทึกน้ำหนักของนิกเกิลครุชิลพร้อมฝาปิด และตัวอย่างถ่านหิน

ผลการทดลอง

$$\text{จากสูตร} \quad A = \frac{(W_3 - W_4)}{W} \times 100 - M$$

A = ปริมาณเถ้า (%)

W_3 = น้ำหนักครุฑีเปิดพร้อมฝาปิด และตัวอย่างถ่านหินก่อนการเผา (กรัม)

W_4 = น้ำหนักครุฑีเปิดพร้อมฝาปิด และตัวอย่างถ่านหินหลังการเผา (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (กรัม)

ปริมาณคาร์บอนคงตัวในถ่านหิน (Fixed Carbon in the analysis sample Coal)

สามารถคำนวณได้จากการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละของความชื้นในถ่านหิน ร้อยละของสารระเหยในถ่านหิน และร้อยละของเถ้า โดยใช้สูตรในการคำนวณคือ

$$\text{ร้อยละของคาร์บอนคงตัว (\%)} = 100 - \text{ร้อยละของความชื้นในถ่านหิน} - \text{ร้อยละของสารระเหยในถ่านหิน} - \text{ร้อยละของเถ้า}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ตาราง ข-1 ผลการทดลองแสดงผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊ส และกากของแข็งที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจากกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ที่ภาวะการทดลองต่าง ๆ

Batch No.	Ratio	Temperature (C)	Pressure (bar)	Time (min)	% Fe/AC	% OIL	% GAS	% SOLID
1	1.0 : 0	400	30	60	1%	73.50	22.56	3.94
2	0.9 : 0.1	400	30	60	1%	53.76	32.80	13.45
3	0.8 : 0.2	400	30	60	1%	45.43	34.91	19.66
4	0.7 : 0.3	400	30	60	1%	35.54	33.26	31.20
5	0.5 : 0.5	400	30	60	1%	26.03	30.30	43.67
6	0.3 : 0.7	400	30	60	1%	wax	*	*
7	0 : 1.0	400	30	60	1%	*	*	*
8	1.0 : 0	400	30	60	non	60.41	25.90	13.70
9	1.0 : 0	400	50	60	1%	73.43	23.12	3.45
10	0.9 : 0.1	400	50	60	1%	64.99	21.71	13.30
11	0.8 : 0.2	400	50	60	1%	59.40	21.64	18.96
12	0.7 : 0.3	400	50	60	1%	48.84	20.99	30.17
13	0.5 : 0.5	400	50	60	1%	37.42	19.09	43.49
14	0.3 : 0.7	400	50	60	1%	wax	*	*
15	0 : 1.0	400	50	60	1%	*	*	*
16	1.0 : 0	400	50	60	non	49.22	37.57	13.21
17	0.8 : 0.2	380	30	60	1%	27.64	24.61	47.75
18 (3)	0.8 : 0.2	400	30	60	1%	45.43	34.91	19.66
19	0.8 : 0.2	430	30	60	1%	16.47	61.13	22.40
20	0.8 : 0.2	380	50	60	1%	39.96	25.63	34.41
21 (11)	0.8 : 0.2	400	50	60	1%	59.40	21.64	18.96
22	0.8 : 0.2	430	50	60	1%	24.62	53.88	21.49
23 (17)	0.8 : 0.2	380	30	60	1%	27.64	24.61	47.75
24 (3)	0.8 : 0.2	400	30	60	1%	45.43	34.91	19.66
25 (19)	0.8 : 0.2	430	30	60	1%	16.47	61.13	22.40
26	0.8 : 0.2	380	40	60	1%	32.08	34.50	33.42

ตาราง ข-1 (ต่อ) ผลการทดลองแสดงผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊ส และกากของแข็งที่เหลือจากการ
ทำปฏิกิริยาจากกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ที่ภาวะการทดลองต่าง ๆ

Batch No.	Ratio	Temperature (C)	Pressure (bar)	Time (min)	% Fe/AC	% OIL	% GAS	% SOLID
27	0.8 : 0.2	400	40	60	1%	53.46	26.71	19.83
28	0.8 : 0.2	430	40	60	1%	21.64	55.87	22.49
29 (20)	0.8 : 0.2	380	50	60	1%	39.96	25.63	34.41
30 (11)	0.8 : 0.2	400	50	60	1%	59.40	21.64	18.96
31 (22)	0.8 : 0.2	430	50	60	1%	24.62	53.88	21.49
32	0.8 : 0.2	400	30	30	1%	26.76	45.11	28.13
33	0.8 : 0.2	400	30	45	1%	45.13	31.37	23.50
34 (3)	0.8 : 0.2	400	30	60	1%	45.43	34.91	19.86
35	0.8 : 0.2	400	30	75	1%	36.63	39.88	23.49
36	0.8 : 0.2	400	40	30	1%	18.73	42.32	38.95
37	0.8 : 0.2	400	40	45	1%	53.33	24.18	22.49
38 (27)	0.8 : 0.2	400	40	60	1%	53.46	26.71	19.83
39	0.8 : 0.2	400	40	75	1%	48.07	29.53	22.39
40	0.8 : 0.2	400	50	30	1%	30.47	42.86	26.66
41	0.8 : 0.2	400	50	45	1%	54.84	22.86	22.31
42 (11)	0.8 : 0.2	400	50	60	1%	59.40	21.64	18.96
43	0.8 : 0.2	400	50	75	1%	46.36	29.27	24.37
44	0.8 : 0.2	430	30	30	1%	40.88	35.78	23.34
45	0.8 : 0.2	430	30	45	1%	29.71	49.25	21.04
46 (19)	0.8 : 0.2	430	30	60	1%	16.47	61.13	22.40
47	0.8 : 0.2	430	30	75	1%	15.04	60.90	24.06
48	0.8 : 0.2	430	40	30	1%	24.04	54.86	21.10
49	0.8 : 0.2	430	40	45	1%	30.33	48.89	20.79
50 (28)	0.8 : 0.2	430	40	60	1%	21.64	55.87	22.49
51	0.8 : 0.2	430	40	75	1%	15.01	61.99	23.00
52	0.8 : 0.2	430	50	30	1%	33.35	45.67	20.98
53	0.8 : 0.2	430	50	45	1%	30.85	48.79	20.36
54 (22)	0.8 : 0.2	430	50	60	1%	24.62	53.88	21.49
55	0.8 : 0.2	430	50	75	1%	14.99	61.43	23.58
56 (20)	0.8 : 0.2	380	50	60	1%	39.96	25.63	34.41

ตาราง ข-1 (ต่อ) ผลการทดลองแสดงผลิตภัณฑ์ของเหลว แก๊ส และกากของแข็งที่เหลือจากการ
ทำปฏิกิริยาจากกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์ที่ภาวะการทดลองต่าง ๆ

Batch No.	Ratio	Temperature (C)	Pressure (bar)	Time (min)	% Fe/AC	% OIL	% GAS	% SOLID
57	0.8 : 0.2	380	50	60	5%	39.00	20.86	40.14
58	0.8 : 0.2	380	50	60	10%	37.58	23.86	38.56
59	0.8 : 0.2	380	50	60	non	31.02	34.04	34.94
60 (11)	0.8 : 0.2	400	50	60	1%	59.40	21.64	18.96
61	0.8 : 0.2	400	50	60	5%	57.68	22.50	19.83
62	0.8 : 0.2	400	50	60	10%	55.53	24.56	19.91
63	0.8 : 0.2	400	50	60	non	43.95	32.37	23.69
64 (22)	0.8 : 0.2	430	50	60	1%	24.62	53.88	21.63
65	0.8 : 0.2	430	50	60	5%	24.86	52.61	22.53
66	0.8 : 0.2	430	50	60	10%	24.54	53.21	22.25
67	0.8 : 0.2	430	50	60	non	17.82	59.71	22.47
68	0.8 : 0.2	380	60	60	1%	40.95	30.38	28.66
69	0.8 : 0.2	400	60	60	1%	59.45	20.10	20.45
70	0.8 : 0.2	430	60	60	1%	21.12	56.37	22.51

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Wax* ไม่สามารถเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว

Ratio : สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนต่อแอนทราไซต์

Temp : อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)

Pressure : ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น (บาร์)

Time : เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)

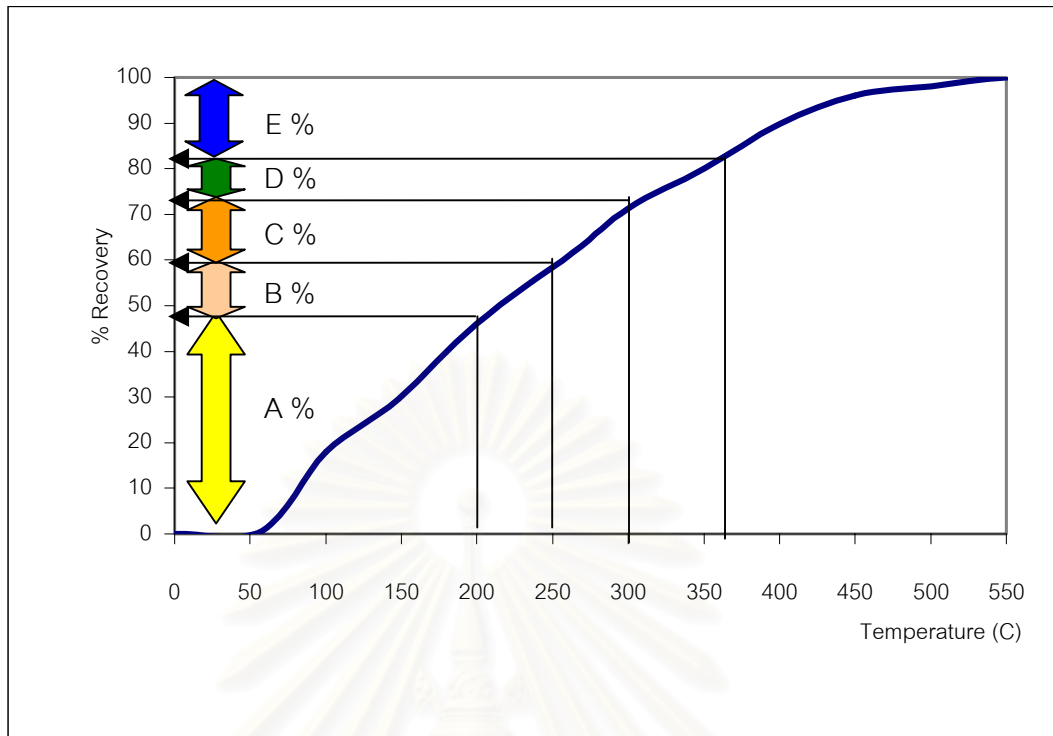
ภาคผนวก ค.
การวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมัน
ตามคาบจุดเดือด (Boiling Distribution)

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือด โดยใช้เครื่องมือ Simulated Distillation Gas Chromatography ของ สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท. วิธีการตาม ASTM D2887 ซึ่งมีภาวะของเครื่องมือเป็น

Open tubular column capillary columns :	RTX 2887
Initial temperature	40 C
Final temperature	350 C
Detector	FID detector
Sample size	0.5 μ L
Carrier gas	helium
Programming Rate	10 C/min

ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปกราฟแสดงค่า % Recovery ของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งสามารถทำการคำนวณหาปริมาณขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดของการวิเคราะห์หาคุณภาพน้ำมันดิบ (Crude oil Evaluation) ได้เป็น

IBP – 200 องศาเซลเซียส	=	Gasoline
200 – 250 องศาเซลเซียส	=	Kerosene
250 – 300 องศาเซลเซียส	=	Light gas oil
250 – 370 องศาเซลเซียส	=	Gas oil
370 – FBP องศาเซลเซียส	=	Long residue



รูปที่ ค.1 ตัวอย่างกราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดด้วยเครื่องมือ Simulated Distillation Gas Chromatography และการคำนวณปริมาณขององค์ประกอบต่าง ๆ

การคำนวณหาปริมาณองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบน้ำมันตามคาบจุดเดือด

ปริมาณ naphtha ที่อ่านจากกราฟ A %

$$\text{ดังนั้น \% naphtha ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม} = \frac{A \times W}{100}$$

ปริมาณ kerosene ที่อ่านจากกราฟ B %

$$\text{ดังนั้น \% kerosene ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม} = \frac{B \times W}{100}$$

ปริมาณ light gas oil ที่อ่านจากกราฟ C %

$$\text{ดังนั้น \% light gas oil ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม} = \frac{C \times W}{100}$$

ปริมาณ gas oil ที่อ่านจากกราฟ D %

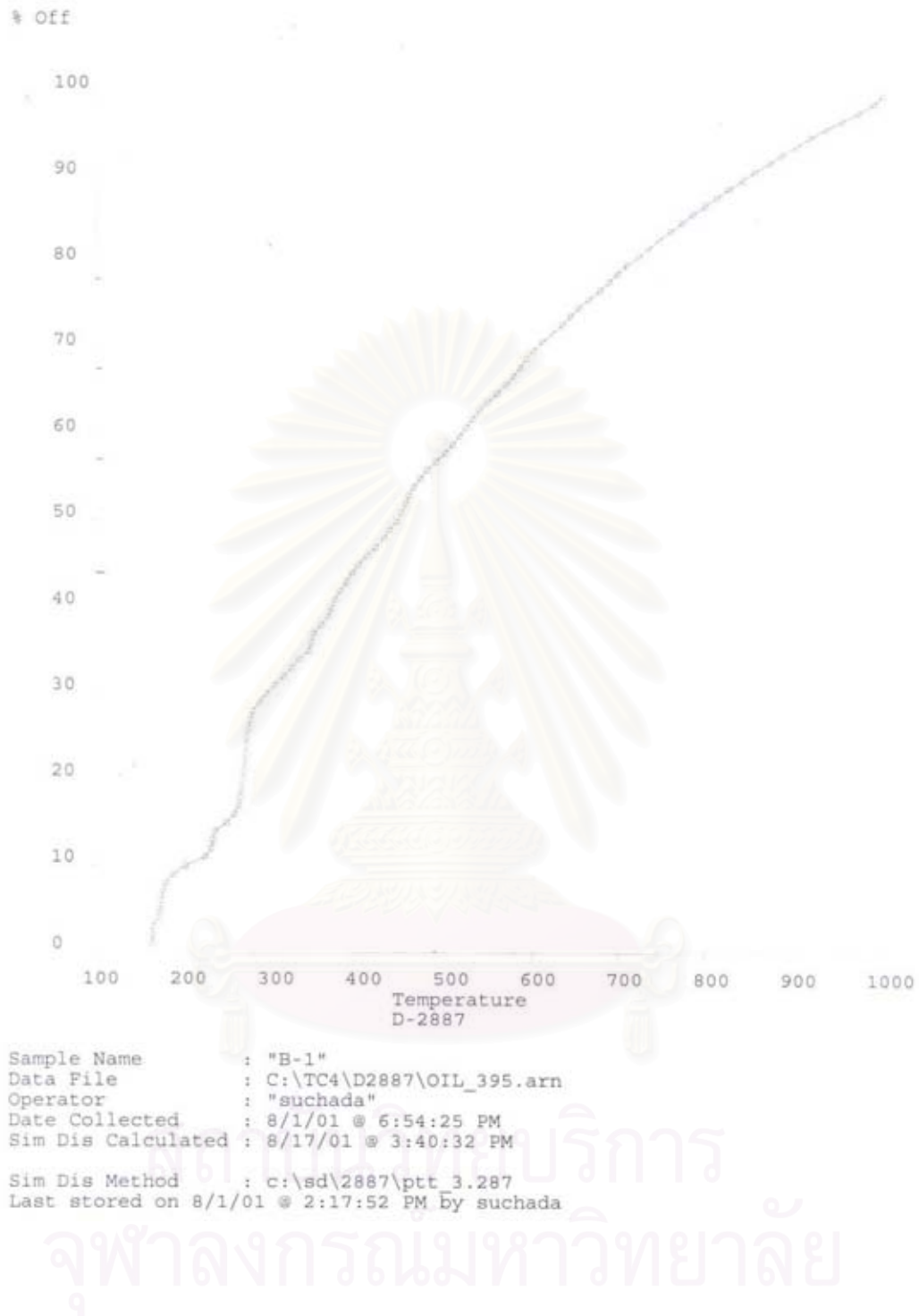
$$\text{ดังนั้น \% gas oil ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม} = \frac{D \times W}{100}$$

ปริมาณ long residue ที่อ่านจากกราฟ E %

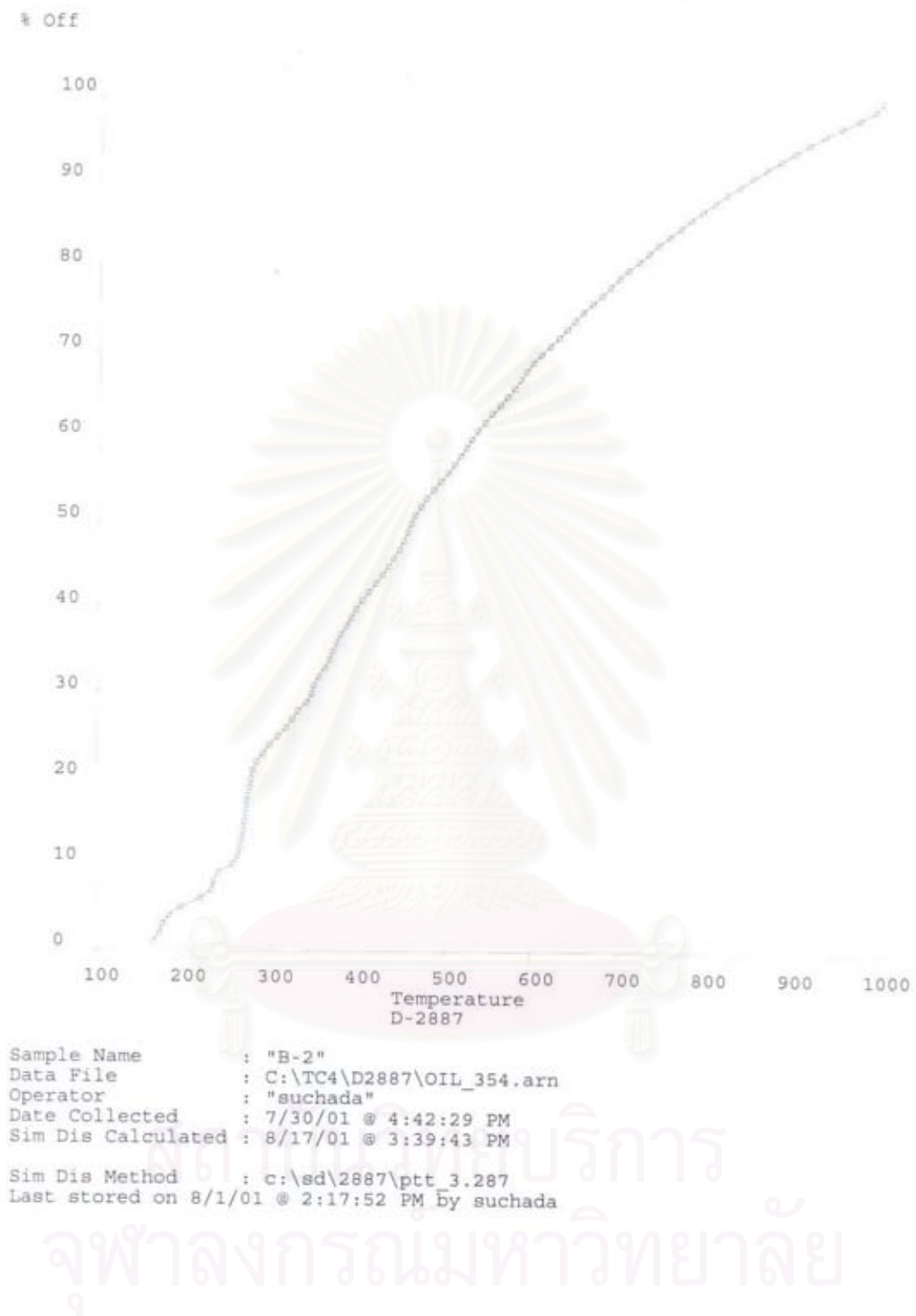
$$\text{ดังนั้น \% long residue ของผลิตภัณฑ์น้ำมัน W กรัม} = \frac{E \times W}{100}$$



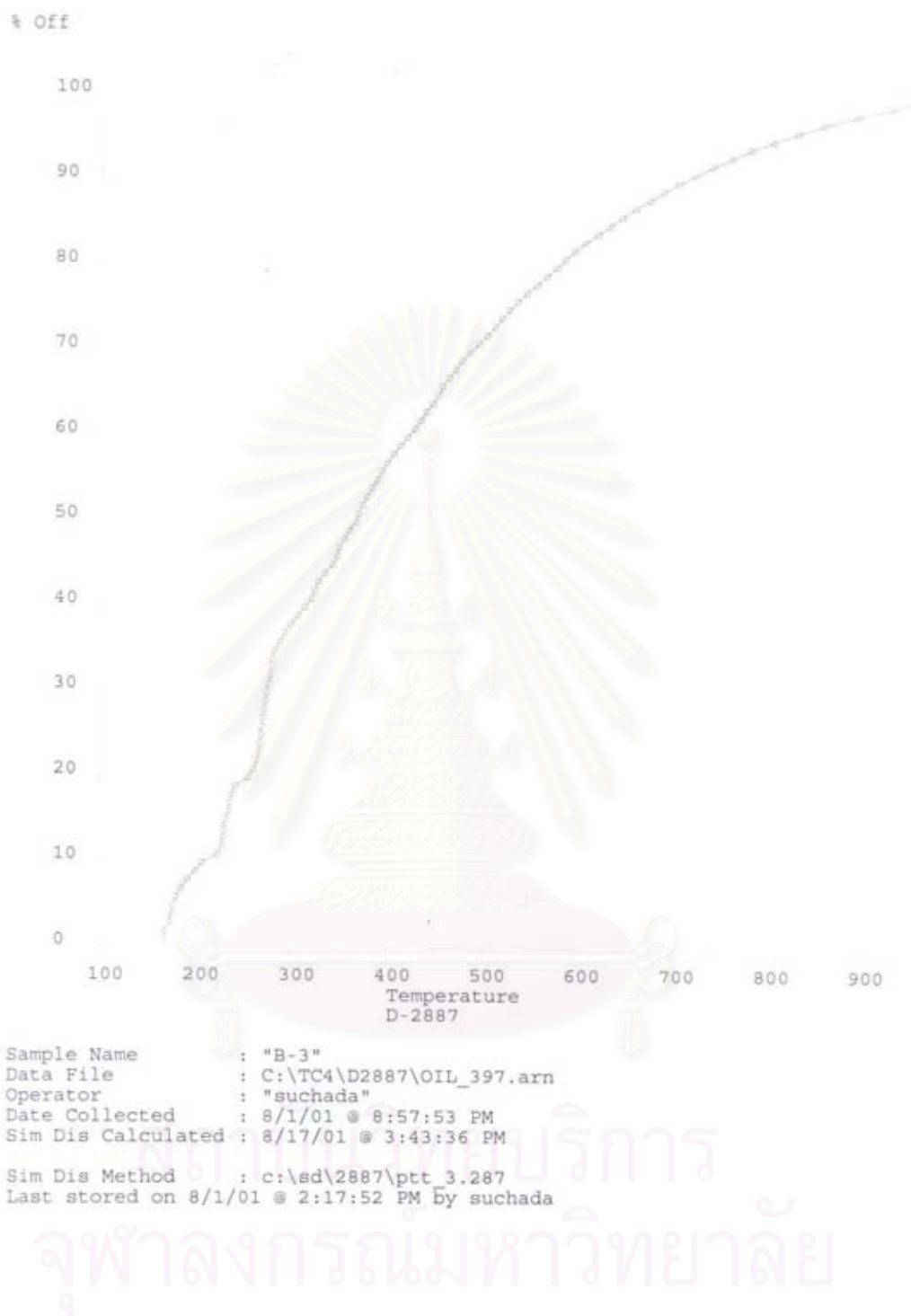
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



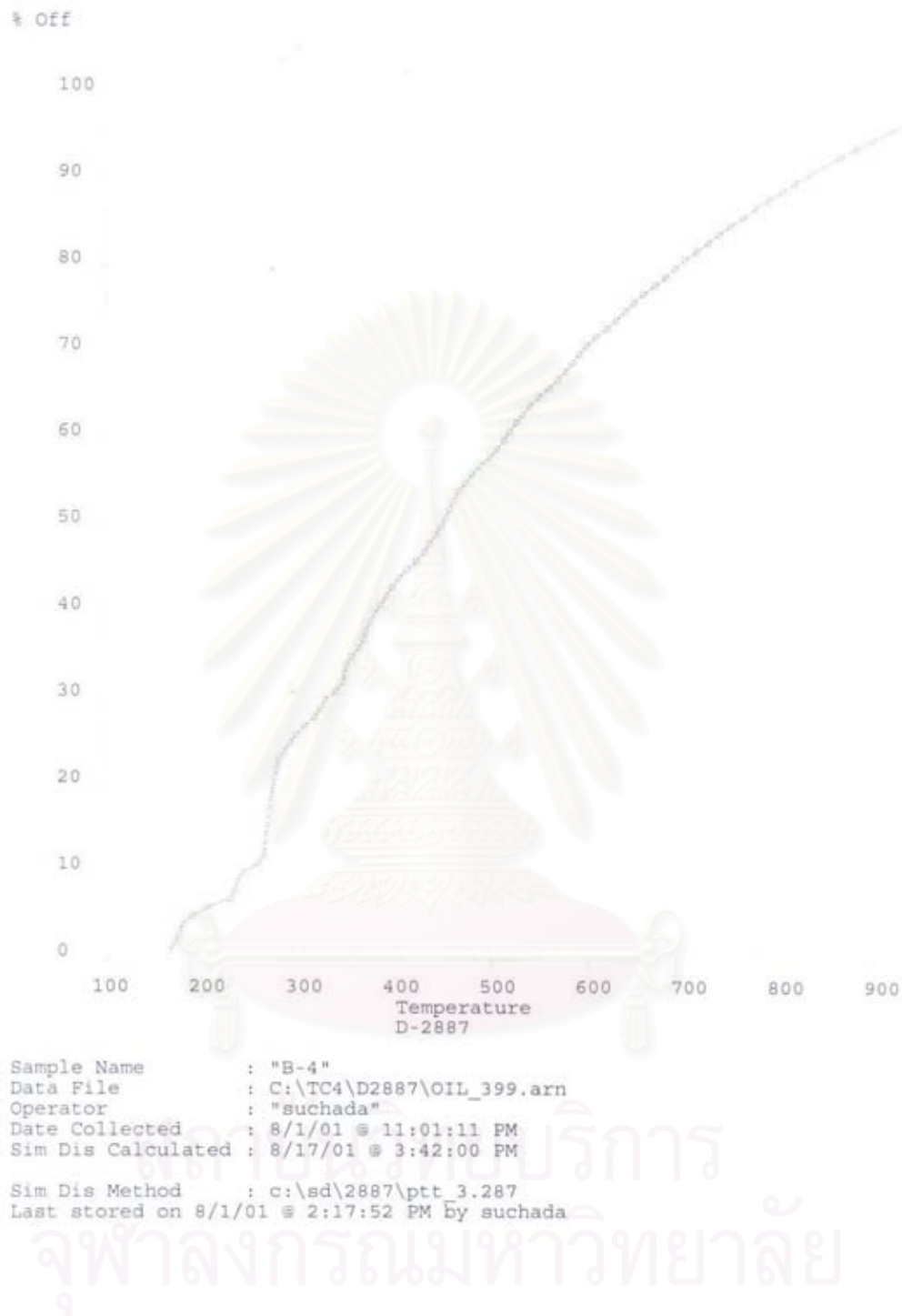
รูปที่ ค.2 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 1.0 ต่อ 0 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊ส ไฮโดรเจน 30 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม



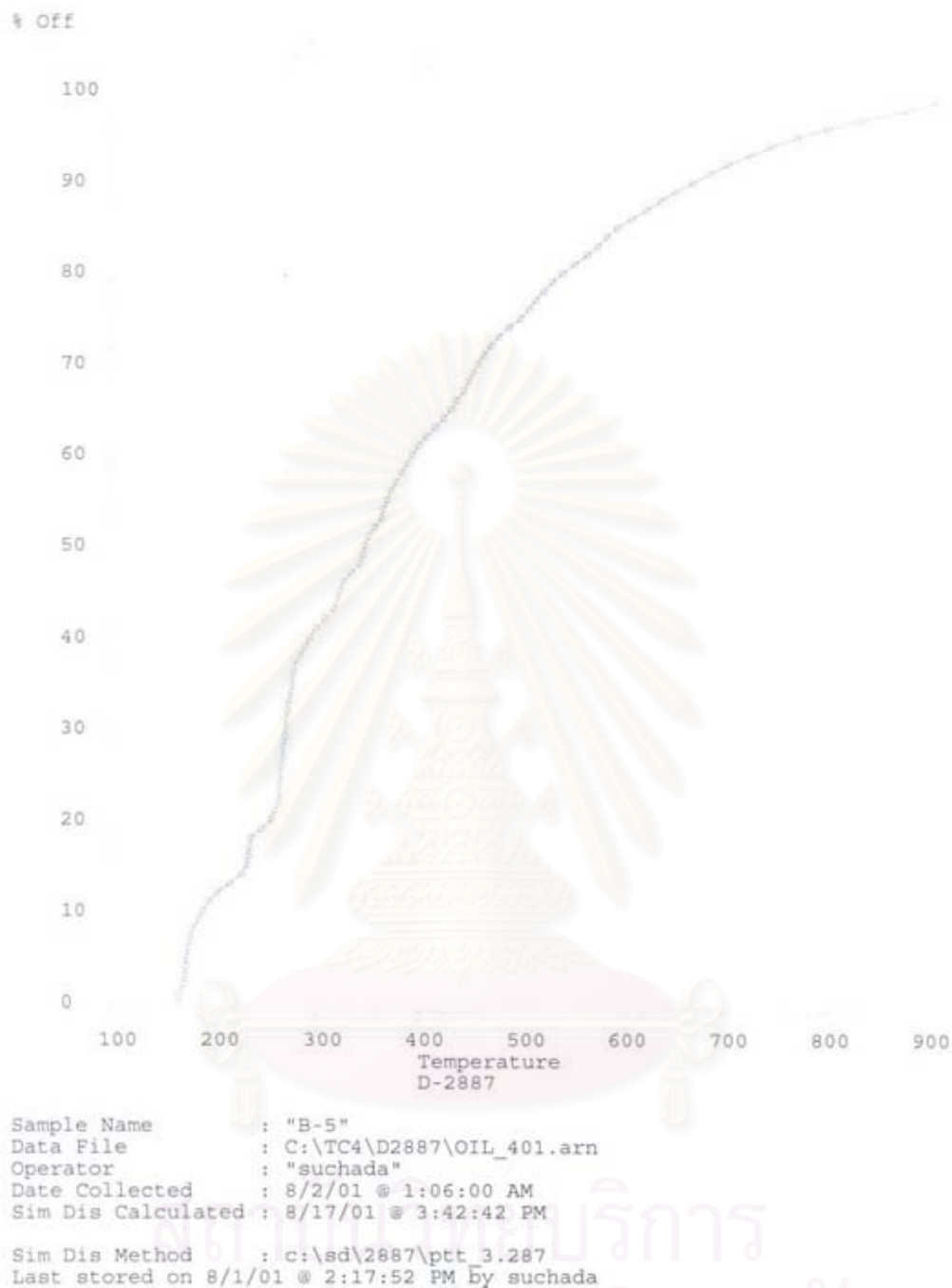
รูปที่ ค.3 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.9 ต่อ 0.1 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม



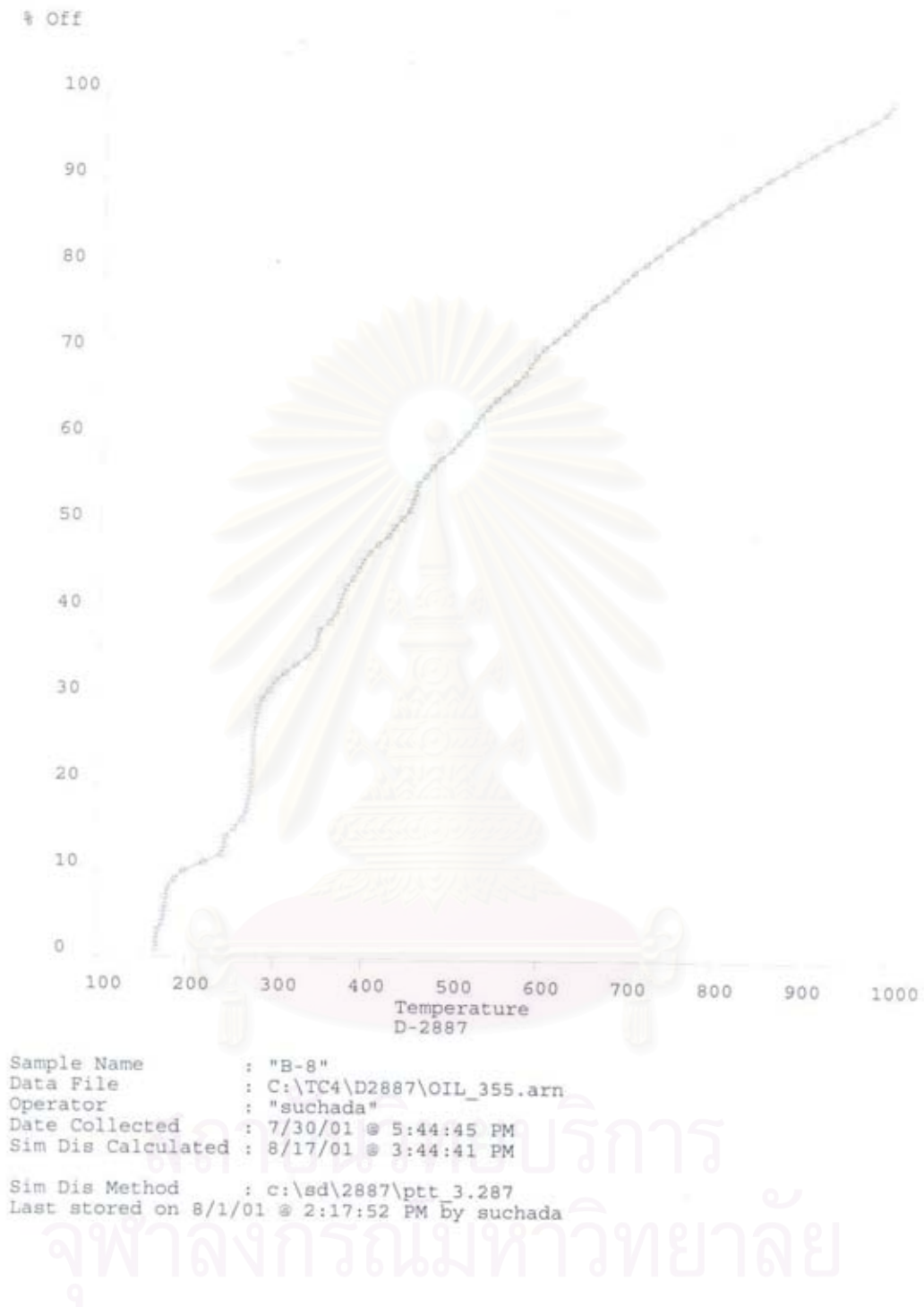
รูปที่ ค.4 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม



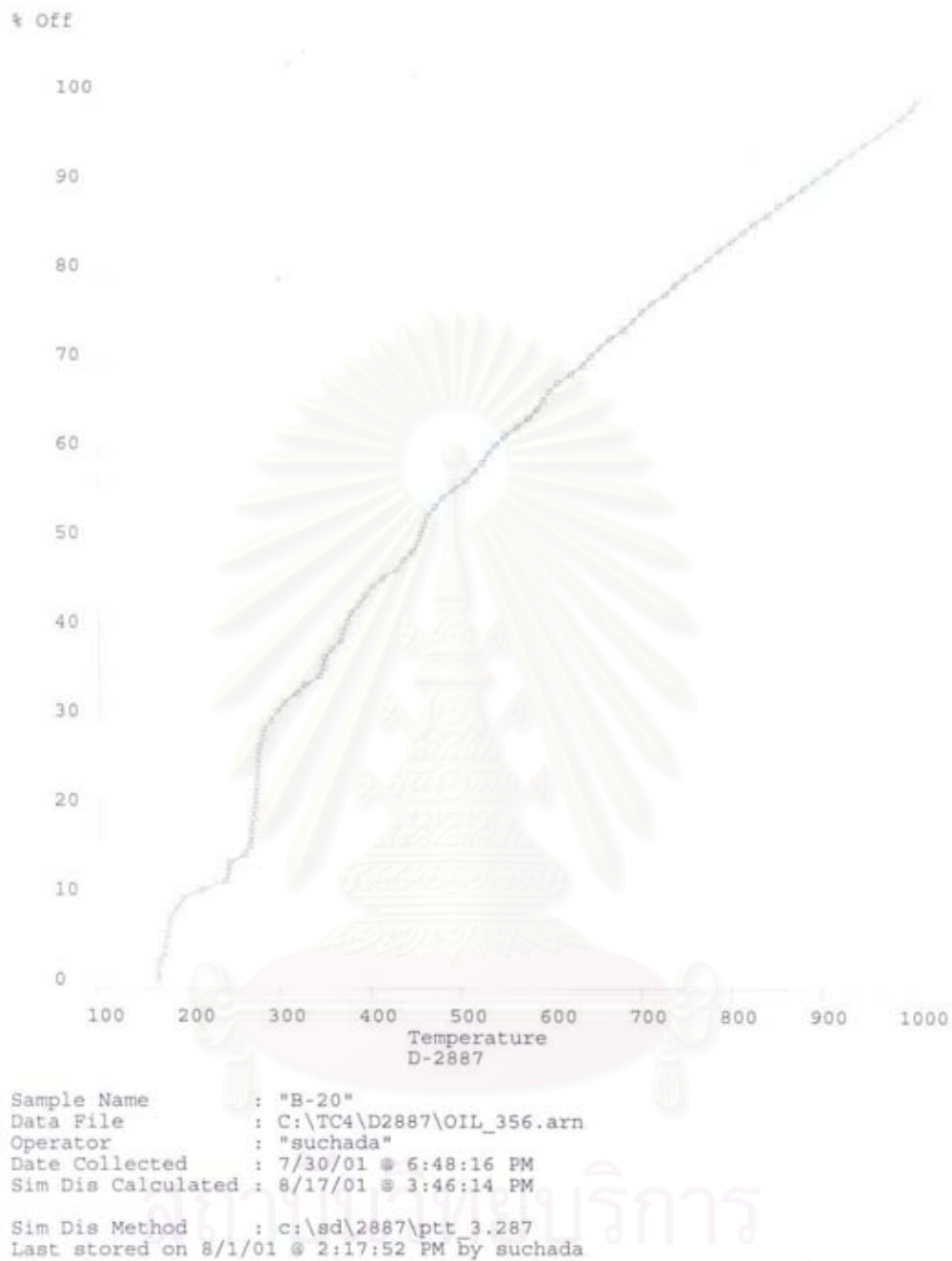
รูปที่ ค.5 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.7 ต่อ 0.3 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม



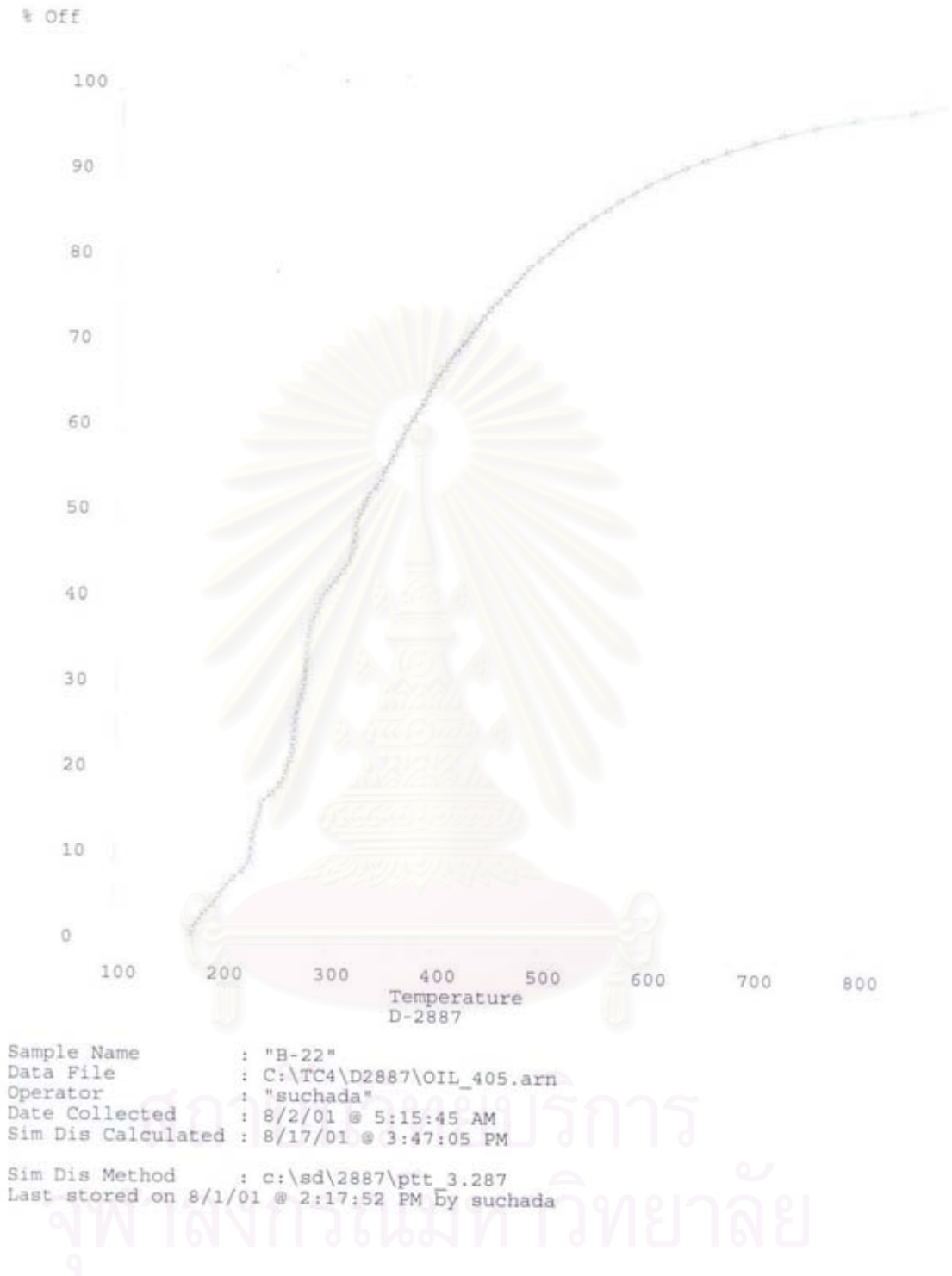
รูปที่ ๑.6 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.5 ต่อ 0.5 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม



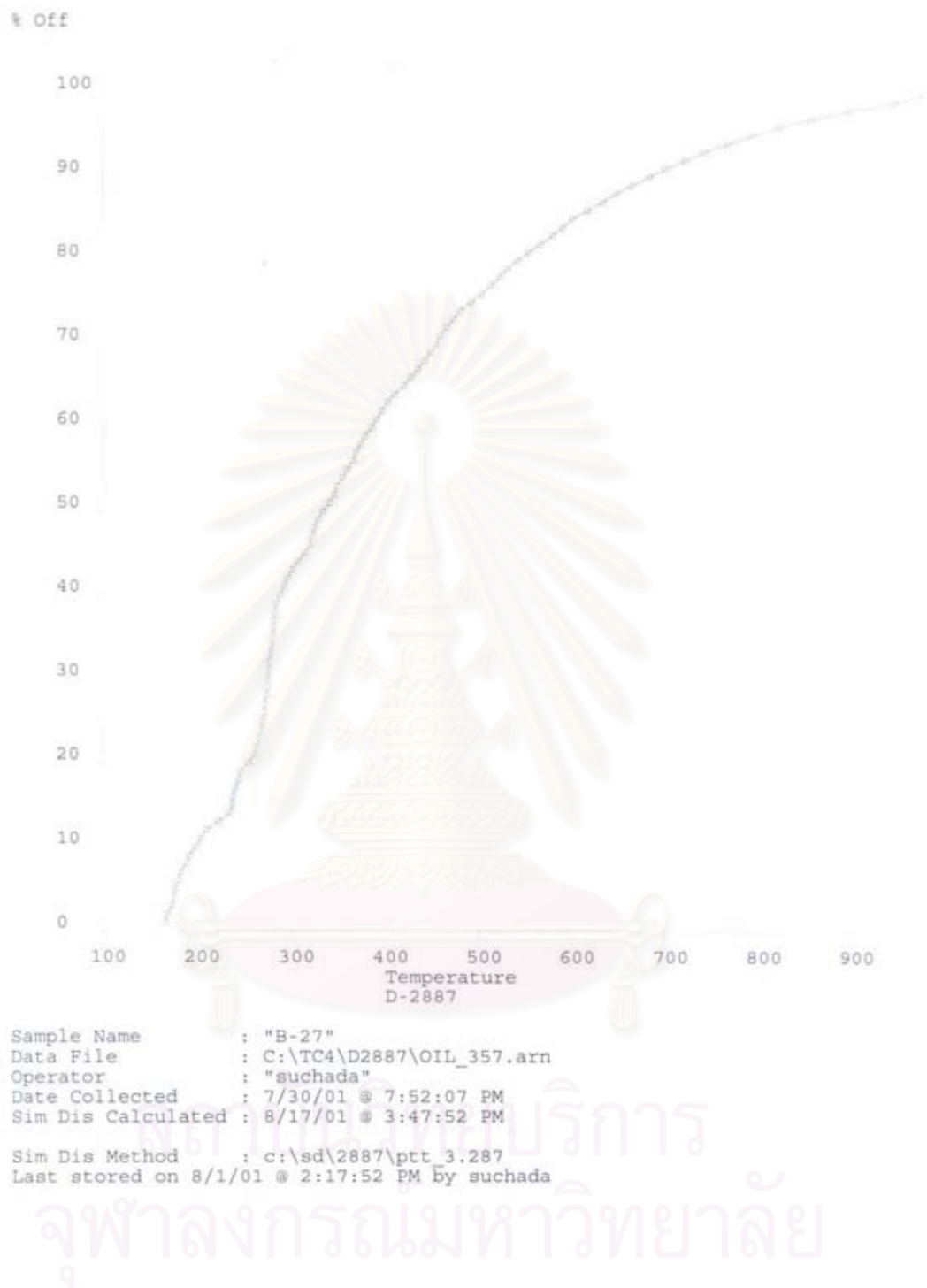
รูปที่ ค.7 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 1.0 ต่อ 0 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา



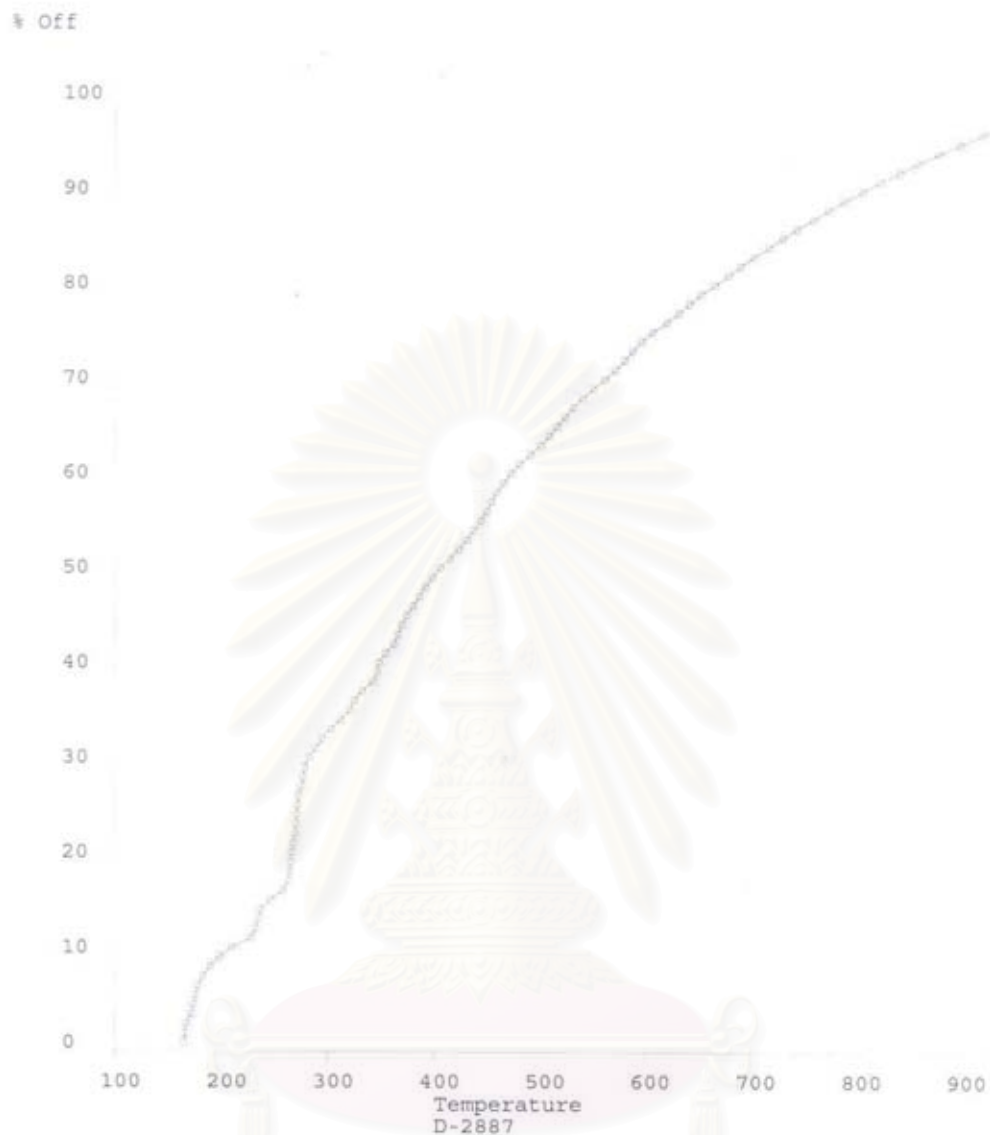
รูปที่ ค.8 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม



รูปที่ ค.9 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่างๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม

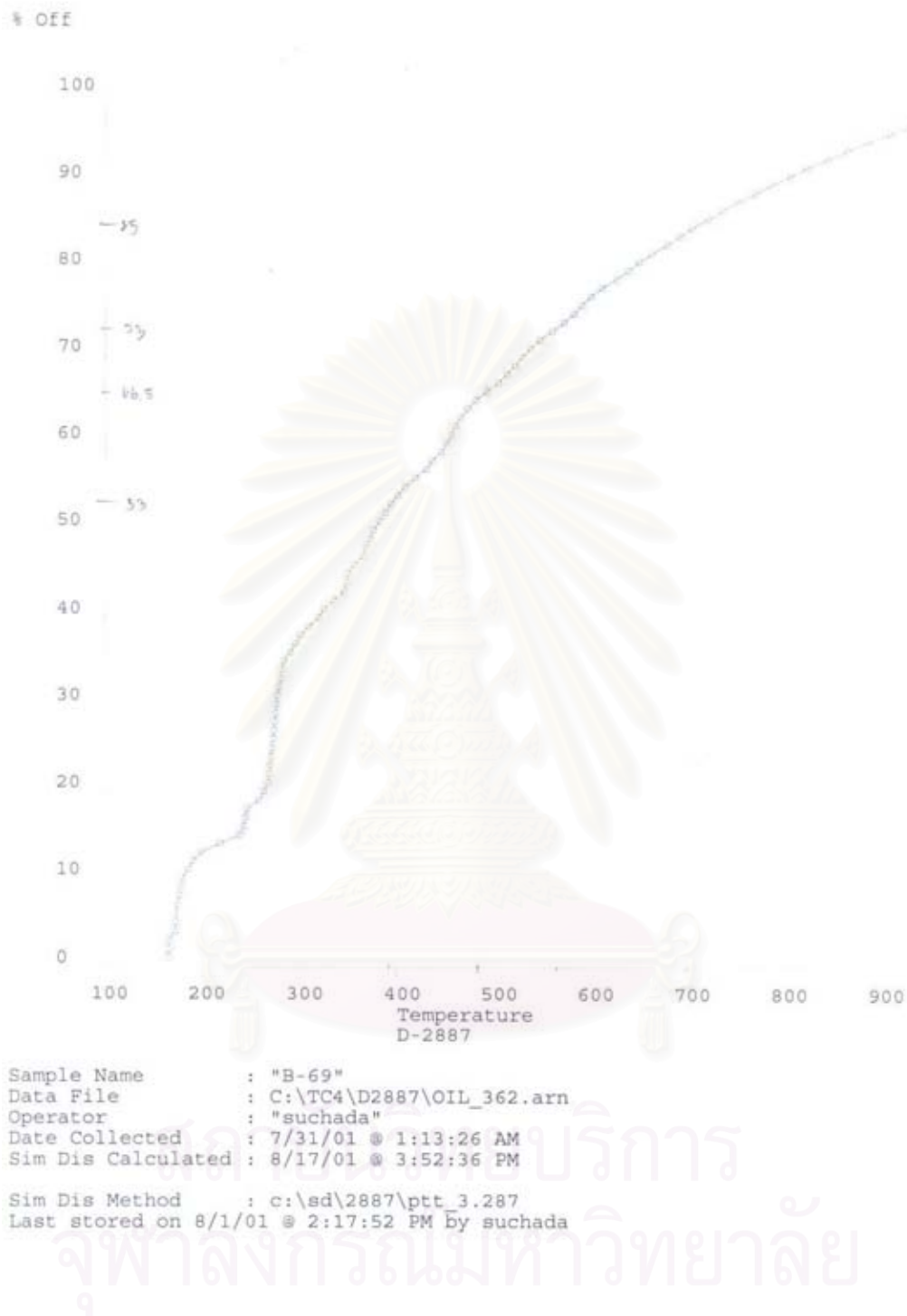


รูปที่ ค.10 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 40 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม

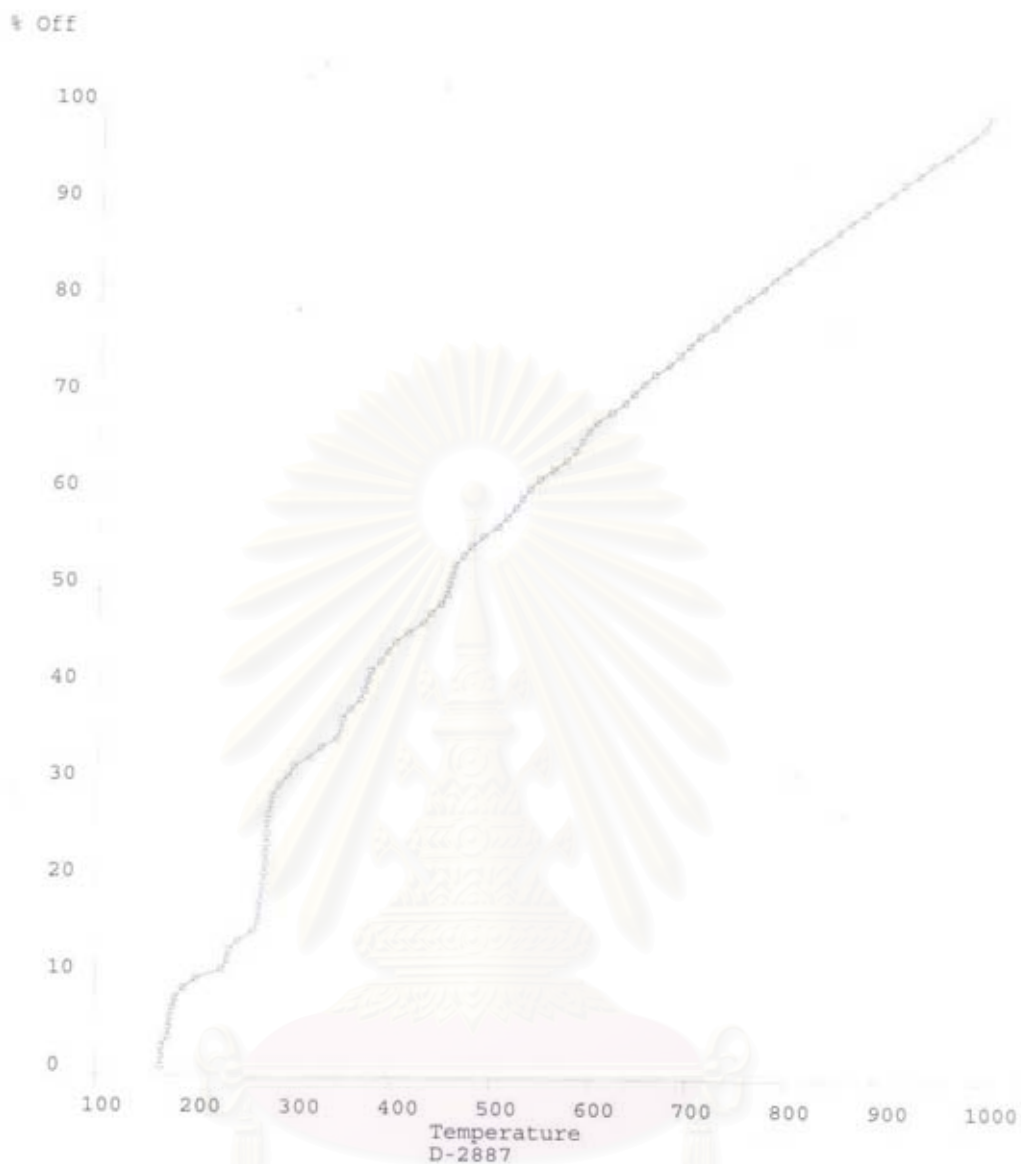


Sample Name : "B-11"
 Data File : C:\TC4\D2887\OIL_403.arn
 Operator : "suchada"
 Date Collected : 8/2/01 @ 3:11:20 AM
 Sim Dis Calculated : 8/17/01 @ 3:45:31 PM
 Sim Dis Method : c:\sd\2887\ptt_3.287
 Last stored on 8/1/01 @ 2:17:52 PM By suchada

รูปที่ ค.11 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม

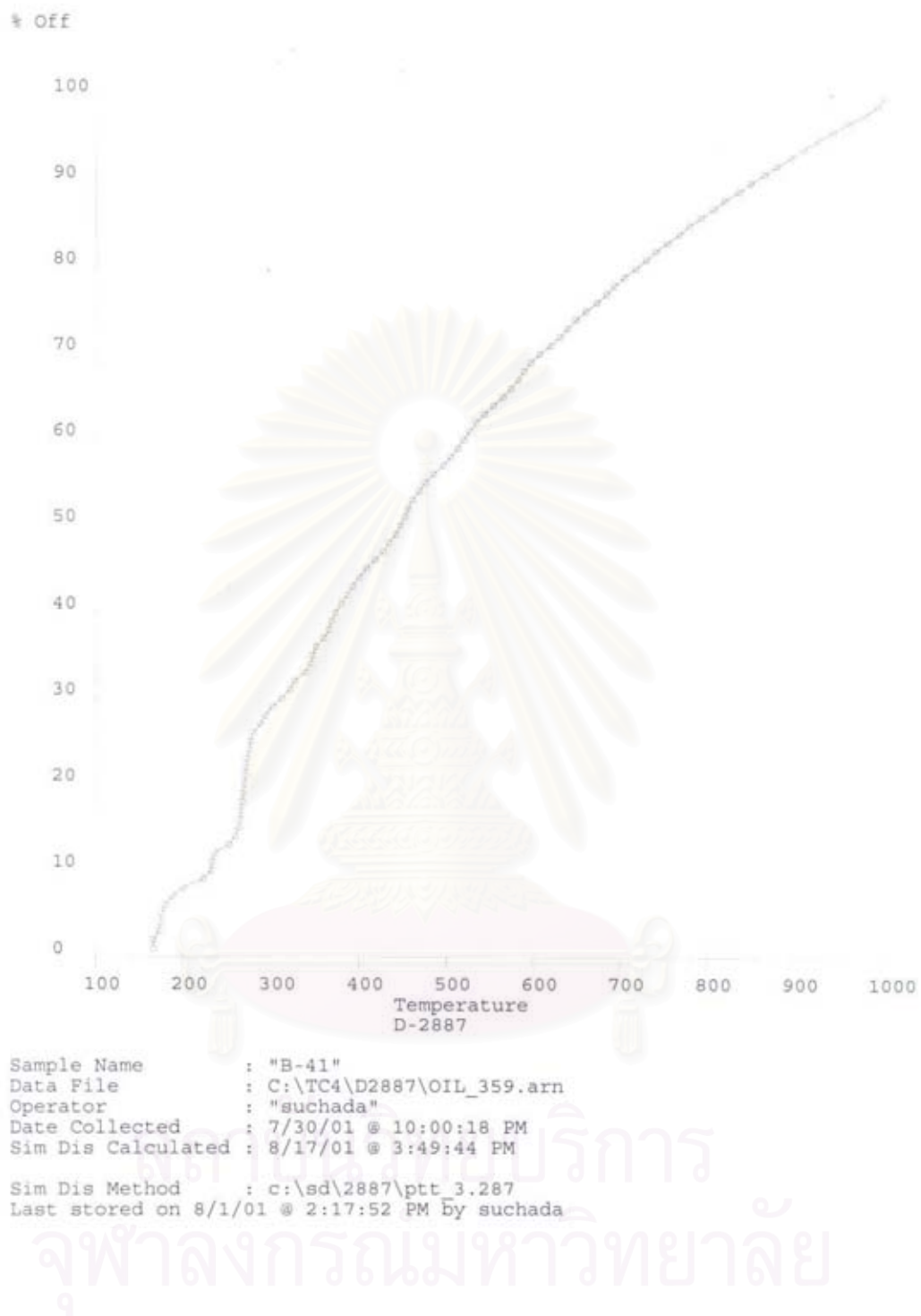


รูปที่ ค.12 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 60 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม

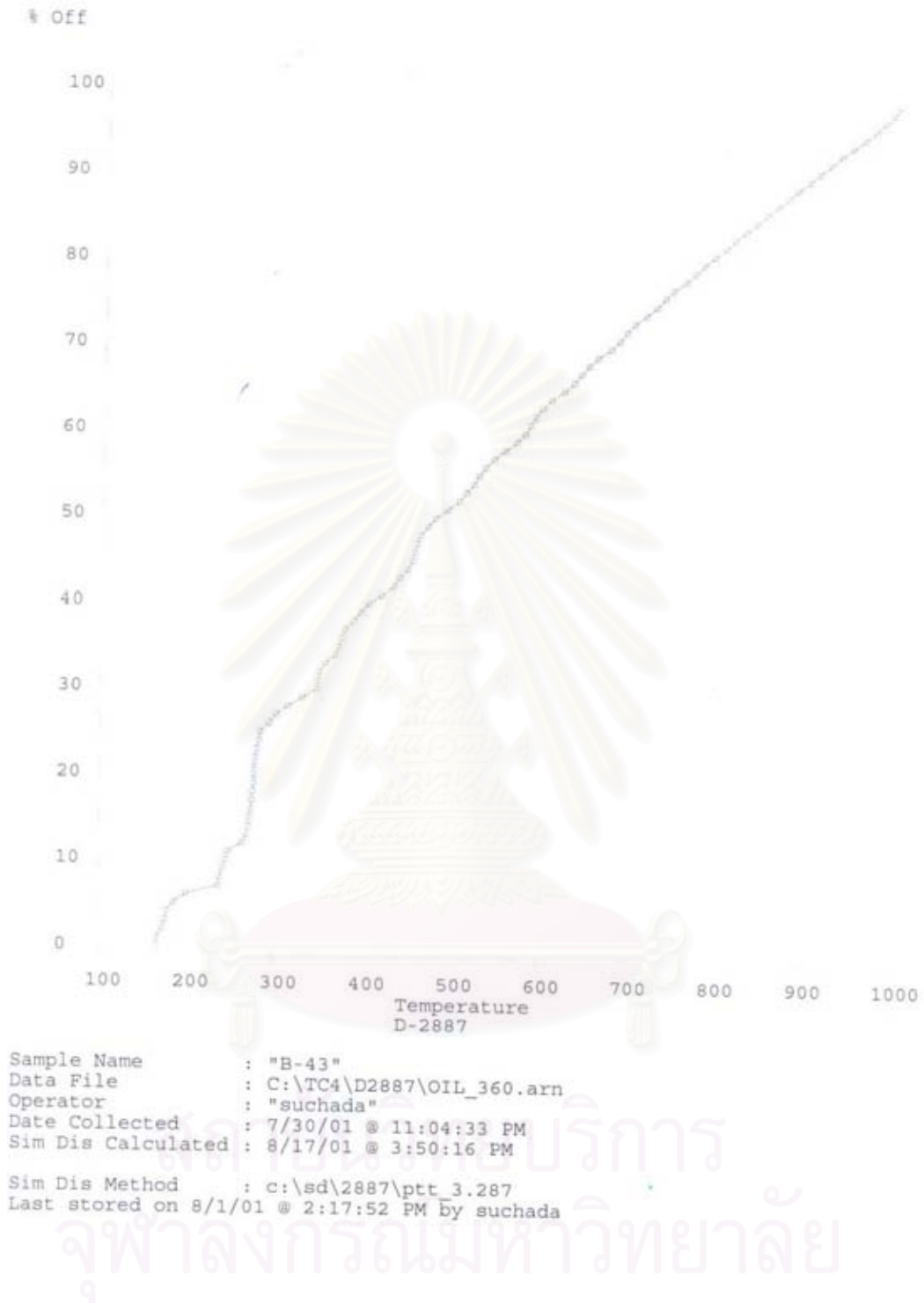


Sample Name : "B-40"
 Data File : C:\TC4\D2887\OIL_358.arn
 Operator : "suchada"
 Date Collected : 7/30/01 @ 8:56:07 PM
 Sim Dis Calculated : 8/17/01 @ 3:48:38 PM
 Sim Dis Method : c:\sd\2887\ptt 3.287
 Last stored on 8/1/01 @ 2:17:52 PM by suchada

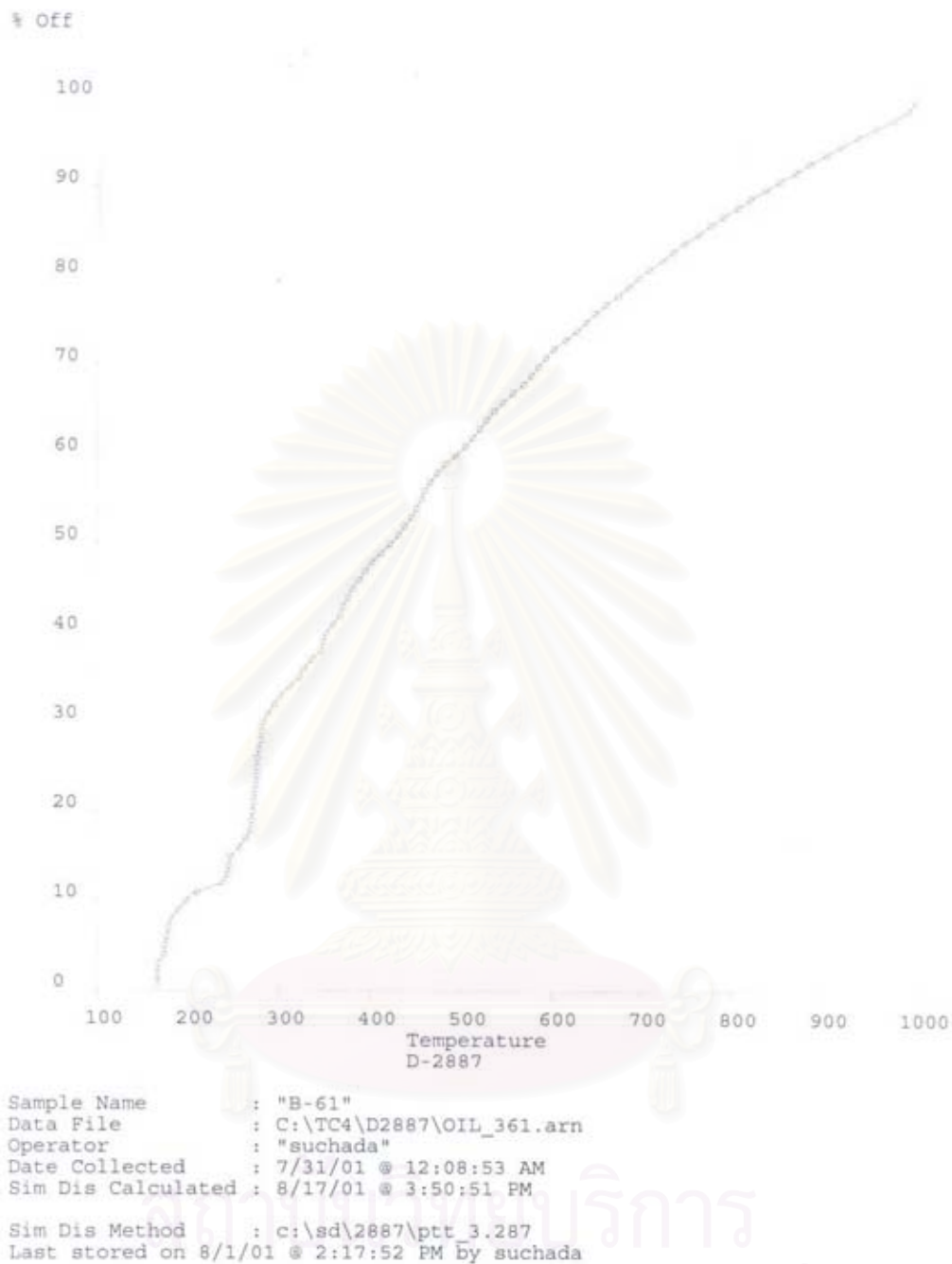
รูปที่ ค.13 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 30 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม



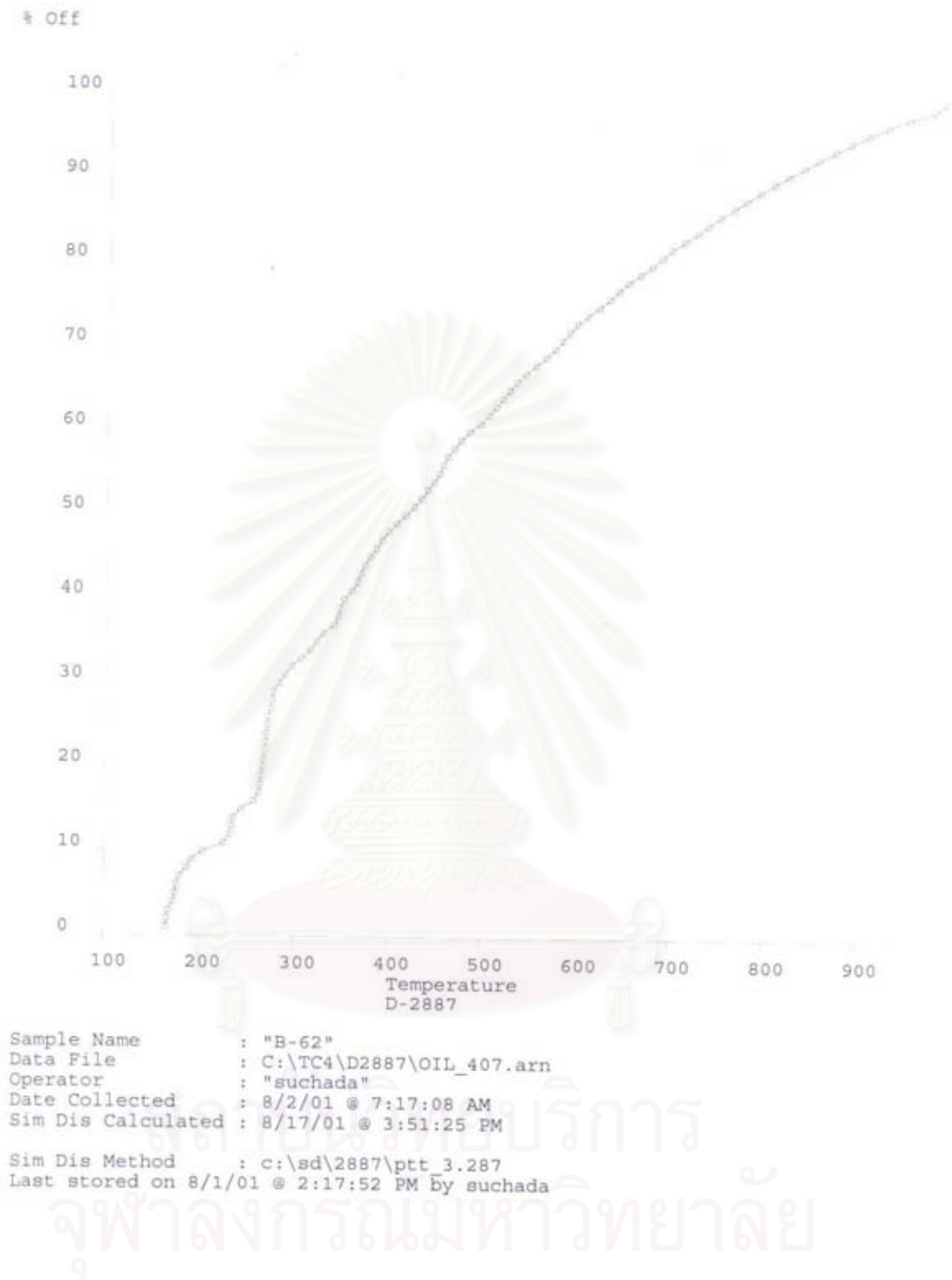
รูปที่ ค.14 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 45 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม



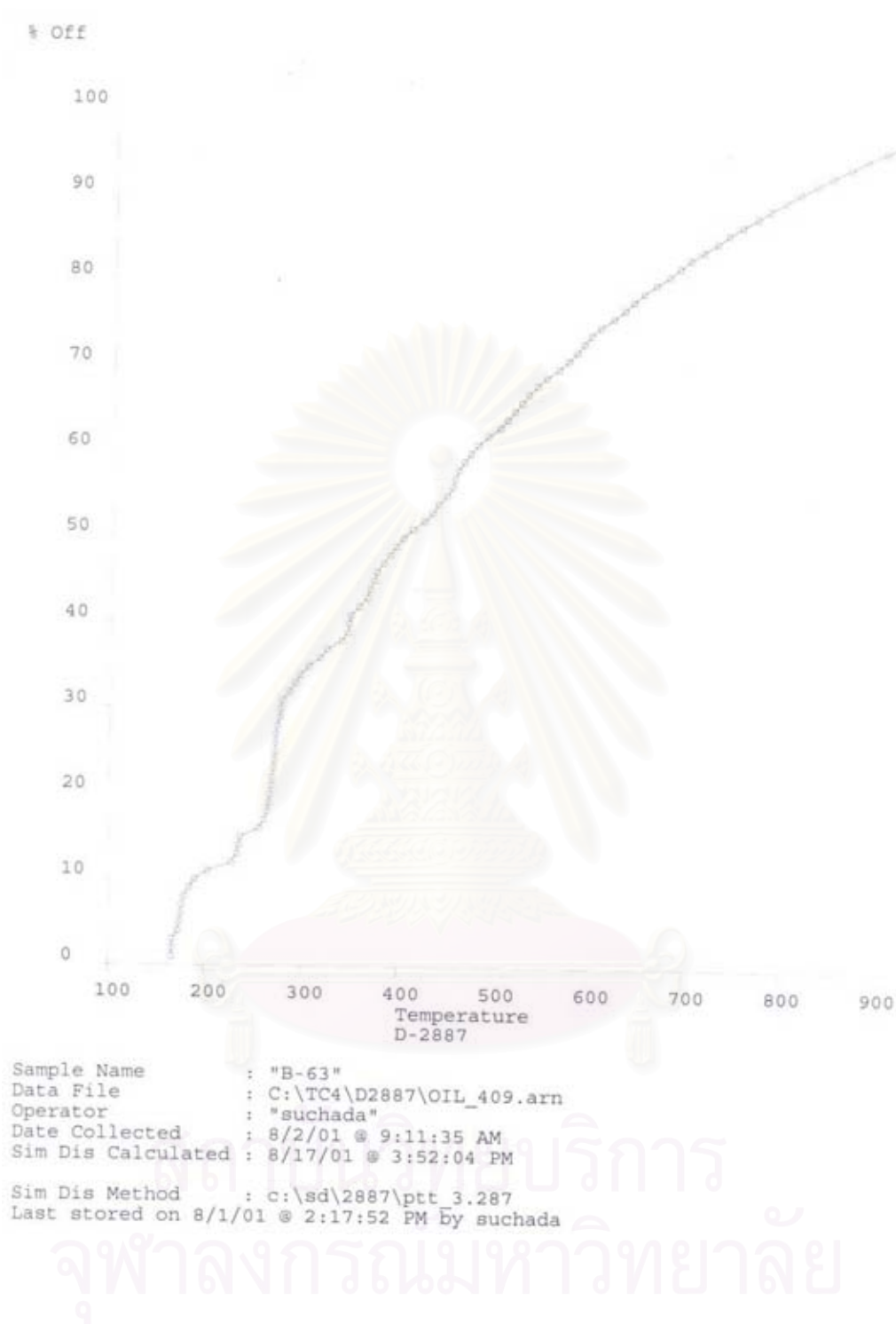
รูปที่ ค.15 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 75 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม



รูปที่ ค.16 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม



รูปที่ ค.17 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 10 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ 0.3 กรัม



รูปที่ ค.18 กราฟแสดงค่าการกระจายตัวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์น้ำมันตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ ที่ภาวะสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนกับแอนทราไซต์ 0.8 ต่อ 0.2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ เวลาที่ใช้ในการทดลอง 60 นาที โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ภาคผนวก ง.

ตาราง ง.1 ผลการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ของเหลว ตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ

Batch	Ratio	Temperature (C)	Pressure (bar)	Time (min)	% Fe/AC	% Gas	% Oil	% Naptha	% Kerosene	% Light gas oil	% Gas oil	% Long residue	% Solid
1	1.0 : 0	400	30	60	1%	22.56	73.50	32.34	9.19	8.08	8.82	15.07	3.94
2	0.9 : 0.1	400	30	60	1%	32.80	53.76	23.12	7.79	6.18	8.06	10.75	13.45
3	0.8 : 0.2	400	30	60	1%	34.91	45.43	24.08	6.59	4.77	4.54	4.54	19.66
4	0.7 : 0.3	400	30	60	1%	33.26	35.54	14.93	5.15	4.09	4.26	7.11	31.20
5	0.5 : 0.5	400	30	60	1%	30.30	26.03	15.62	3.64	2.47	2.47	1.82	43.67
8	1.0 : 0	400	30	60	non	25.90	60.41	27.18	7.25	6.34	7.55	12.08	13.70
20	0.8 : 0.2	380	50	60	1%	25.63	39.96	17.38	5.00	2.60	5.19	9.79	34.41
11	0.8 : 0.2	400	50	60	1%	21.64	59.40	30.29	7.13	6.53	6.53	9.50	18.96
22	0.8 : 0.2	430	50	60	1%	53.88	24.62	16.00	3.82	2.34	1.48	0.98	21.49
3	0.8 : 0.2	400	30	60	1%	34.91	45.43	24.99	6.59	4.77	4.54	4.54	19.66
27	0.8 : 0.2	400	40	60	1%	26.71	53.46	32.07	7.48	5.08	3.74	5.08	19.83
11	0.8 : 0.2	400	50	60	1%	21.64	59.40	29.11	7.72	6.24	6.83	9.50	18.96
69	0.8 : 0.2	400	60	60	1%	20.10	59.45	28.54	10.11	5.35	6.24	9.22	20.45

ตาราง ง.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ของเหลว ตามคาบจุดเดือดต่าง ๆ

Batch	Ratio	Temperature (C)	Pressure (bar)	Time (min)	% Fe/AC	% Gas	% Oil	% Naptha	% Kerosene	% Light gas oil	% Gas oil	% Long residue	% Solid
40	0.8 : 0.2	400	50	30	1%	42.86	30.47	13.10	3.50	2.89	3.66	7.31	26.66
41	0.8 : 0.2	400	50	45	1%	22.86	54.84	23.03	7.68	5.48	7.13	11.52	22.31
11	0.8 : 0.2	400	50	60	1%	21.64	59.40	29.11	7.72	6.24	6.83	9.50	18.96
43	0.8 : 0.2	400	50	75	1%	29.27	46.36	19.01	4.87	4.40	6.03	12.05	24.37
11	0.8 : 0.2	400	50	60	1%	21.64	59.40	29.11	7.72	6.24	6.83	9.50	18.96
61	0.8 : 0.2	400	50	60	5%	22.50	57.68	26.53	7.21	6.63	6.34	10.96	19.83
62	0.8 : 0.2	400	50	60	10%	24.56	55.53	25.82	6.94	6.39	6.11	10.00	19.91
63	0.8 : 0.2	400	50	60	non	32.37	43.95	22.85	4.39	4.39	4.83	7.47	23.69

Ratio : สัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนต่อแอนทราไซด์

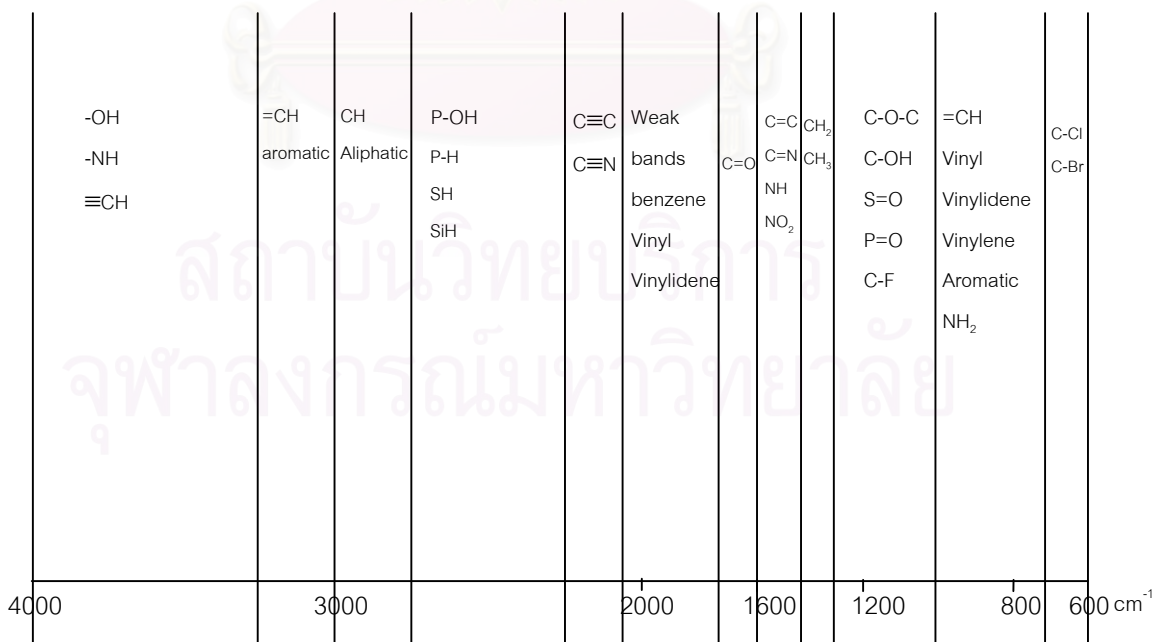
ภาคผนวก จ.

การแปลความหมายของการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer จะพิจารณาแถบการดูดกลืน Infrared Spectrum เป็น 3 ช่วง คือ

1. ย่านความถี่ $1300 - 1400 \text{ cm}^{-1}$ เรียกว่า Functional group regional เป็นย่านที่บอกถึงชนิดของหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล ซึ่งหากไม่ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันใดในย่านนี้ จะเป็นการยืนยันว่าไม่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่ในโมเลกุลสารที่สนใจ แต่ทั้งนี้การแปลความหมายต้องทำอย่างระมัดระวังเนื่องจากโครงสร้างบางตัวอาจให้แถบดูดกลืนที่กว้างจนสังเกตได้ยาก

2. ย่านความถี่ $910 - 1300 \text{ cm}^{-1}$ เรียกว่า Finger print regional ซึ่งแถบดูดกลืนในย่านนี้มีความซับซ้อนมาก แต่แถบที่ปรากฏจะมีลักษณะเฉพาะตัวของโมเลกุลแต่ละชนิด อันจะมีประโยชน์ในการยืนยันว่าสาร 2 ตัวที่สงสัยเป็นสารเดียวกันหรือไม่ โดยทำการเทียบสเปกตรัมของสารที่เตรียมในตัวอย่างชนิดเดียวกัน หากปรากฏแถบการดูดกลืนในย่านนี้ทับกันทุกตัว แสดงว่าเป็นสารตัวเดียวกัน

3. ย่านความถี่ $650 - 910 \text{ cm}^{-1}$ จะบ่งบอกถึงการจัดตัวของหมู่แทนที่บนวงแหวนสารประกอบอะโรมาติก ซึ่งหากไม่ปรากฏแถบการดูดกลืนบริเวณนี้ ย่อมแสดงว่าสารที่สนใจไม่มีองค์ประกอบเป็นอะโรมาติก



รูปที่ จ.1 แถบการดูดกลืนของ Infrared Spectra ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวิชากร จารุศิริ เกิดเมื่อวันที่ 2 กันยายน 2516 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต เมื่อปีการศึกษา 2539 ได้รับเข้ารับราชการในตำแหน่ง เจ้าหน้าที่วิจัย ระดับ 3 สังกัด สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่ปี พ.ศ.2540 ได้รับอนุญาตให้ลาราชการเพื่อศึกษาในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2542 และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย