

การแปรรูปรวมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤต



นายอภิชาติ ศิริพจนาวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-0960-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CO-LIQUEFACTION OF COAL AND POLYPROPYLENE IN SUPERCRITICAL SOLVENT

Mr. Apichart Siripochanawan



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 2002

ISBN 974-17-0960-9

อภิชาติ ศิริพจนาวรรณ : การแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤต. (Co-liquefaction of Coal and Polypropylene in Supercritical Solvent) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ศ. ดร. ภัทรพวรรณ ประศาสน์สารกิจ, 107 หน้า. ISBN 974-17-0960-9.

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาการแปรรูปร่วมของถ่านหินบ้านปูและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลินและโทลูอีน-เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต ในเครื่องปฏิกรณ์กึ่งต่อเนื่องขนาด 78 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 400-475 องศาเซลเซียส ความดัน 5-12.2 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนจาก 10:0 ถึง 6:4 โดยใช้การทดลองแบบแฟกทอเรียลสองระดับที่ส่งผลต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ซึ่งตัวแปรกระบวนการที่ศึกษาคือ อุณหภูมิ ความดัน และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน พบว่าอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน อุณหภูมิ และความดันส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากที่สุดตามลำดับ นอกจากนี้ยังศึกษามลของตัวแปรกระบวนการต่อการกระจายของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลว พบว่าการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤตให้ผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดร้อยละ 69 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 12.2 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 ซึ่งผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวร้อยละ 9 แอโรแมติกส์ร้อยละ 9 เรซินร้อยละ 17 และแอสฟัลทีนร้อยละ 65 ส่วนการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอลภาวะเหนือวิกฤตให้ผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดร้อยละ 61 ที่อุณหภูมิ 425 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 ซึ่งผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวร้อยละ 19 แอโรแมติกส์ร้อยละ 12 เรซินร้อยละ 36 และแอสฟัลทีนร้อยละ 33 ส่วนไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอโรแมติกส์นำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี GC/MS

ภาควิชา...เคมีเทคนิค.....
 สาขาวิชา...เคมีเทคนิค.....
 ปีการศึกษา...2545.....

ลายมือชื่อนิสิต.....
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

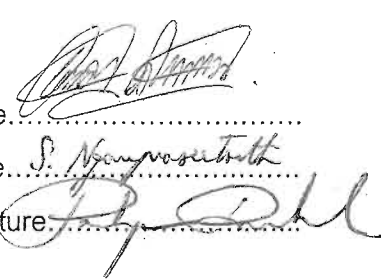
KEY WORD: CO-LIQUEFACTION/ COAL /POLYPROPYLENE/ SUPERCRITICAL SOLVENT

APICHART SIRIPOCHANAWAN : CO-LIQUEFACTION OF COAL AND POLYPROPYLENE IN SUPERCRITICAL SOLVENT. THESIS ADVISOR : SOMKIAT NGAMPRASERTSITH, Dr. de l' INPT, THESIS CO-ADVISOR : PROF. PATTARAPAN PRASASSARAKICH, Ph.D., 107 pp. ISBN 974-17-0960-9.

Co-liquefaction of a Banpoo lignite coal and polypropylene with supercritical toluene-tetralin and toluene-ethanol has been studied in a semi-continuous reactor of 78-ml capacity at a temperature range of 400-475°C, pressure 5-12.2 MPa and coal:polypropylene ratio 10:0-6:4. Optimization of the co-liquefaction process was carried out with respect to conversion and liquid yield by the two-level factorial experimental design method. The process variables were temperature, pressure and coal:polypropylene ratio. The result indicated that coal:polypropylene ratio, temperature and pressure have a significant effect on conversion and liquid yield. It was also found that extraction conditions affected the hydrocarbon group in liquid yield. The liquid yield reached 69 % at optimum conditions of temperature 450 °C, pressure of 12.2 MPa and coal:polypropylene ratio of 6:4 for supercritical toluene-tetralin consisting of saturated hydrocarbons 9 %, aromatics 9 %, resins 17 % and asphaltenes 65 %. The liquid yield reached 61 % at optimum conditions of temperature 425 °C, pressure of 10 MPa and coal:polypropylene ratio of 6:4 for supercritical toluene-ethanol consisting of saturated hydrocarbons 19 %, aromatics 12 %, resins 36 % and asphaltenes 33 %. Analysis of GC/MS spectroscopy was employed to characterize the saturated hydrocarbons and aromatics of liquid yield.

Department...Chemical Technology.....
Field of study...Chemical Technology.....
Academic year....2002.....

Student's signature.....
Advisor's signature.....
Co-advisor's signature.....



กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ และ ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำการทำวิจัย ตลอดจนให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงแก้ไขการทำวิจัยให้มีความสมบูรณ์ด้วยดียิ่ง รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่าน ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำ

งานวิจัยเรื่อง “การแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤต” สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับการสนับสนุนจากทุนทบวงมหาวิทยาลัย และทุนบัณฑิตวิทยาลัย ซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิจิตตานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.เลอสรอง เมฆสุด และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เก็จวิไล พุกษาทร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความเห็น คำแนะนำ ตั้งข้อสังเกต ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ Assoc.Prof.Dr. Yoshito Oshima ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำการทำวิจัย ตลอดจนให้ความเห็นเพื่อปรับปรุงแก้ไขการทำวิจัยให้มีความสมบูรณ์ด้วยดียิ่ง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน เพื่อนนิสิตที่ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ตั้งแต่วิธีดำเนินการวิจัยจนกระทั่งการวิจัยเสร็จสิ้น

ขอโน้มกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้กำเนิด เลี้ยงดูอบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจจนสำเร็จการศึกษาจนมีความเจริญก้าวหน้าถึงทุกวันนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

| | |
|--|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฅ |
| สารบัญภาพ..... | ฎ |
| บทที่ | |
| 1 บทนำ..... | 1 |
| 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2.1 ถ่านหิน..... | 3 |
| 2.2 พอลิพรอพิลีน..... | 11 |
| 2.3 ของไหลภาวะเหนือวิกฤต..... | 15 |
| 2.4 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อน..... | 25 |
| 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 26 |
| 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง..... | 34 |
| 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์..... | 34 |
| 3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี..... | 36 |
| 3.3 วิธีการศึกษา..... | 37 |
| 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... | 42 |
| 4.1 สมบัติของสารตั้งต้น..... | 42 |
| 4.2 ผลของตัวแปรต่าง ๆ ต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และ ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการแปรรูปรวมของถ่านหิน และพอลิพรอพิลีนด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤต..... | 46 |
| 4.3 การกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลว..... | 60 |
| 4.4 ผลการเปรียบเทียบงานวิจัยที่ใกล้เคียงกัน..... | 66 |
| 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ..... | 70 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 70 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 71 |

สารบัญ (ต่อ)

๗

หน้า

| | |
|---------------------------------|-----|
| รายการอ้างอิง..... | 72 |
| ภาคผนวก..... | 76 |
| ภาคผนวก ก..... | 77 |
| ภาคผนวก ข..... | 78 |
| ภาคผนวก ค..... | 80 |
| ภาคผนวก ง..... | 86 |
| ภาคผนวก จ..... | 92 |
| ภาคผนวก ฉ..... | 101 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 107 |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|---|
| 2.1 | การจำแนกถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM D 388.....7 |
| 2.2 | สมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิพรอพิลีน..... 14 |
| 2.3 | สมบัติวิกฤตของสารชนิดต่าง ๆ..... 16 |
| 2.4 | สมบัติของของไหลภาวะเหนือวิกฤตเปรียบเทียบกับแก๊สและของเหลว..... 18 |
| 2.5 | ข้อดีและข้อเสียของของไหลภาวะเหนือวิกฤตที่ใช้กันทั่วไปมากที่สุด21 |
| 3.1 | ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา.....37 |
| 3.2 | จำนวนการทดลองทั้งหมดที่ต้องทำการทดลอง 38 |
| 4.1 | ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านหิน.....42 |
| 4.2 | ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของพอลิพรอพิลีนและถ่านหิน.....43 |
| 4.3 | การแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวเมื่อใช้โทลูอีนและอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 10:0 เป็นการทดลองเปรียบเทียบ.....45 |
| 4.4ก | ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว แบบไม่รวมความชื้นและร้อยละตัวทำละลายน้ำกลับ สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน – เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤต.....48 |
| 4.4ข | ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว แบบไม่รวมความชื้นและร้อยละตัวทำละลายน้ำกลับ สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน – เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤต.....49 |
| 4.5 | ผลการเปรียบเทียบร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวของงานวิจัยอื่น ๆกับงานวิจัยนี้....66 |
| ค.1 | ค่าสัมประสิทธิ์ของอิทธิพลต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณวิเคราะห์ความแปรปรวน.....82 |
| ค.2 | การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ 2 ตัวแปร.....82 |
| ค.3 | ข้อมูลการทดลองร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต.....83 |
| ค.4 | การคำนวณหา Contrast ของการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต.....84 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

ญ

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| ค.5 การวิเคราะห์ Factor Effect Estimate และ SS ของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและ พอลิพรอพิลีนจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนด้วยตัวทำละลาย โทลูอีน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต..... | 84 |
| ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนจากการ แปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน- เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต..... | 85 |
| ค.7 การตรวจสอบการวินิจฉัยของการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนด้วยตัวทำ ละลายโทลูอีน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต..... | 85 |
| ง.1 การวิเคราะห์ Factor Effect Estimate และ SS ของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและ พอลิพรอพิลีนจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัว ทำละลายโทลูอีน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต..... | 86 |
| ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนจากการ แปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน- เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต..... | 86 |
| ง.3 การตรวจสอบการวินิจฉัยของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนจากการ แปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน- เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต..... | 87 |
| ง.4 การวิเคราะห์ Factor Effect Estimate และ SS ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว จากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลาย โทลูอีน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต..... | 87 |
| ง.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วม ของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลิน ภาวะเหนือวิกฤต..... | 88 |
| ง.6 การตรวจสอบการวินิจฉัยของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมของ ถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลินภาวะ เหนือวิกฤต..... | 88 |
| ง.7 การวิเคราะห์ Factor Effect Estimate และ SS ของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและ พอลิพรอพิลีนจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วย ตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต..... | 89 |

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| ง.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต..... | 89 |
| ง.9 การตรวจสอบการวินิจฉัยของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต..... | 90 |
| ง.10 การวิเคราะห์ Factor Effect Estimate และ SS ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต..... | 90 |
| ง.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต..... | 91 |
| ง.12 การตรวจสอบการวินิจฉัยของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต..... | 91 |

สารบัญญภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|--------|------|
| 2.1 | 4 |
| 2.2 | 5 |
| 2.3 | 9 |
| 2.4 | 12 |
| 2.5 | 12 |
| 2.6 | 15 |
| 2.7 | 17 |
| 2.8 | 19 |
| 2.9 | 20 |
| 2.10 | 20 |
| 2.11 | 24 |
| 3.1 | 34 |
| 3.2 | 35 |
| 4.1ก | 48 |
| 4.1ข | 49 |
| 4.2ก | 51 |
| 4.2ข | 51 |
| 4.3ก | 53 |

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.3ข ผลของความดันต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสและอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่..... | 54 |
| 4.4ก ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 10 เมกะพาสคัลและอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่..... | 56 |
| 4.4ข ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 10 เมกะพาสคัลและอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่..... | 57 |
| 4.5ก ผลของอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสและความดัน 10 เมกะพาสคัลคงที่..... | 59 |
| 4.5ข ผลของอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสและความดัน 10 เมกะพาสคัลคงที่..... | 60 |
| 4.6ก ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการกระจายของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตที่อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่..... | 62 |
| 4.6ข ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการกระจายของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - | |

| รูปที่ | หน้า |
|--------|--|
| | เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตที่อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับ พอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่.....62 |
| 4.7ก | ผลของอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนต่อร้อยละการกระจายของหมู่ ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมถ่านหินและพอลิพรอพิลีน ให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน – เดทราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) ภาวะ เหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสและความดัน 10 เมกะพาสคัลคงที่.....64 |
| 4.7ข | ผลของอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนต่อร้อยละการกระจายของหมู่ ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมถ่านหินและพอลิพรอพิลีน ให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน – เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร) ภาวะ เหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสและความดัน 10 เมกะพาสคัลคงที่.....64 |
| 4.8 | GC/MS โคโรมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอมโรแมติกส์ของการแปรรูป ร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เดทราลิน ภาวะเหนือวิกฤต.....68 |
| 4.9 | GC/MS โคโรมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอมโรแมติกส์ของการแปรรูป ร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอล ภาวะเหนือวิกฤต.....69 |
| ๑.1 | GC/MS โคโรมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอมโรแมติกส์ของการแปรรูป ร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เดทราลิน ภาวะเหนือวิกฤต.....93 |
| ๑.2 | GC/MS โคโรมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอมโรแมติกส์ของการแปรรูป ร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เดทราลิน ภาวะเหนือวิกฤต.....94 |
| ๑.3 | GC/MS โคโรมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอมโรแมติกส์ของการแปรรูป ร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เดทราลิน ภาวะเหนือวิกฤต.....95 |
| ๑.4 | GC/MS โคโรมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอมโรแมติกส์ของการแปรรูป ร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เดทราลิน ภาวะเหนือวิกฤต.....96 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

ตม

รูปที่

หน้า

| | | |
|-----|--|-----|
| ๑.5 | GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอโรแมติกส์ของการแปรรูป ร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอล ภาวะเหนือวิกฤต..... | 97 |
| ๑.6 | GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอโรแมติกส์ของการแปรรูป ร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอล ภาวะเหนือวิกฤต..... | 98 |
| ๑.7 | GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอโรแมติกส์ของการแปรรูป ร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอล ภาวะเหนือวิกฤต..... | 99 |
| ๑.8 | GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอโรแมติกส์ของการแปรรูป ร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอล ภาวะเหนือวิกฤต..... | 100 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาเรื่องราคาน้ำมันที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่ออุตสาหกรรมต่างๆเป็นจำนวนมาก และความต้องการใช้พลังงานมีอัตราสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยที่ประเทศไทยยังมีความจำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีการหาหนทางนำพลังงานอื่นมาใช้ทดแทนการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงในขนาดเครื่องยนต์ หรือในภาวะที่น้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงมาก เนื่องจากประเทศไทยมีปริมาณถ่านหินลิกไนต์มากแต่มีคุณภาพต่ำ การแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงเหลว จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีสามารถนำไปกลั่นเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป และในปัจจุบันมีการใช้ผลิตภัณฑ์จำพวกพลาสติกเป็นจำนวนมากส่งผลให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่มีอาจหลีกเลี่ยงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาขยะพลาสติก นับเป็นปัญหาที่ทุกประเทศทั่วโลกต่างกำลังแก้ไขกันอยู่ เนื่องจากพลาสติกเหล่านี้ใช้เวลาในการสลายตัวนาน และการกำจัดพลาสติกเหล่านี้ด้วยวิธีการดั้งเดิมที่ใช้กันอยู่ก็มีราคาสูง จึงได้นำขยะพลาสติกเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่โดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารตั้งต้น

การนำถ่านหินมาใช้เป็นแหล่งพลังงานก็ต้องคำนึงถึงคุณภาพของถ่านหินที่จะนำมาใช้ และค่าใช้จ่ายในการผลิตเป็นสำคัญ และปัญหาที่พบมากในปัจจุบันนี้คือ คุณภาพของถ่านหินที่นำมาใช้ในกระบวนการแปรรูปให้เป็นของเหลวมีคุณภาพค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการนำพลาสติกมาใช้เพื่อเป็นแหล่งให้ไฮโดรเจนในกระบวนการแปรรูปถ่านหินให้เป็นของเหลว จึงเป็นแนวทางที่ดีในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจากขยะพลาสติก และยังช่วยปรับปรุงกระบวนการแปรรูปถ่านหินให้เป็นของเหลวด้วย ปัจจุบันมีการใช้พอลิพรอพิลีนอย่างกว้างขวาง โดยมีอัตราการผลิตเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 7 - 8 ต่อปี พร้อม ๆ กันนั้นก็ยังมีขยะพลาสติกเหล่านี้เกิดขึ้นในแต่ละวันเป็นจำนวนมากเช่นกันด้วย งานวิจัยนี้ได้นำกระบวนการแปรรูปร่วมระหว่างถ่านหินลิกไนต์กับพอลิพรอพิลีนมาใช้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในกระบวนการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลว ข้อดีประการหนึ่งในกระบวนการร่วมของพลาสติกกับถ่านหินคือ พลาสติกส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอัตราส่วนไฮโดรเจนต่อคาร์บอนสูงกว่าเมื่อเทียบกับถ่านหินจึงเป็นแหล่งให้ไฮโดรเจน เมื่อพอลิพรอพิลีนได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ กับไฮโดรเจน และมีบางส่วนของอนุมูลอิสระของถ่านหินมาทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของพอลิพรอพิลีนซึ่งเป็นผลดีต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลว และได้มีการนำความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายในภาวะเหนือวิกฤตมาประยุกต์ใช้ร่วมด้วย ดังนั้นการใช้

ประโยชน์จากของไหลเหนือวิกฤต จะมุ่งเน้นที่การนำมาใช้เป็นตัวทำละลายในการแปรสภาพถ่านหินให้เป็นของเหลว เนื่องจากของไหลเหนือวิกฤต มีความหนืดต่ำ และมีสัมประสิทธิ์การแพร่สูง ทำให้สามารถกระจายตัวได้อย่างทั่วถึง และแทรกซึมเข้าไปในเมทริกซ์ของตัวถูกละลายได้ดี และทำให้ตัวถูกละลายที่ละลายเข้าไปในของไหลเหนือวิกฤต กระจายออกจากบริเวณที่มีการสกัด ไปบริเวณอื่นได้ง่าย

เมื่อเกิดปฏิกิริยาระหว่างถ่านหินลิกไนต์กับพอลิพรอพิลีน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปรวมจะมีน้ำหนักโมเลกุลลดลง ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็นของเหลวและกากซึ่งเป็นของแข็งเป็นส่วนใหญ่ และถ่านหินที่เหลือจากปฏิกิริยาในกระบวนการแปรรูปรวมสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงอย่างอื่นได้ เช่น นำไปทำเป็นถ่านกัมมันต์ หรือ เชื้อเพลิงอื่นที่มีคุณภาพดี นับว่าเป็นกระบวนการที่สามารถใช้ประโยชน์จากถ่านหินให้เกิดประโยชน์สูงสุดและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับขยะพลาสติกอีกด้วย

การศึกษาดังกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหินเพื่อนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ได้ศึกษาดังกระบวนการแปรรูปรวมระหว่างถ่านหินลิกไนต์กับพอลิพรอพิลีน โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหินลิกไนต์และพอลิพรอพิลีน ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ ความดัน อัตราส่วนระหว่างถ่านหินลิกไนต์กับพอลิพรอพิลีน และชนิดตัวทำละลาย รวมทั้งศึกษาปริมาณและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการแปรรูปรวมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤต
2. ศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการแปรรูปรวมให้เป็นของเหลว รวมทั้งหาภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลว

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัยนี้

1. ได้ภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการแปรรูปรวมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤต
2. นำพลาสติกเหลือทิ้งกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

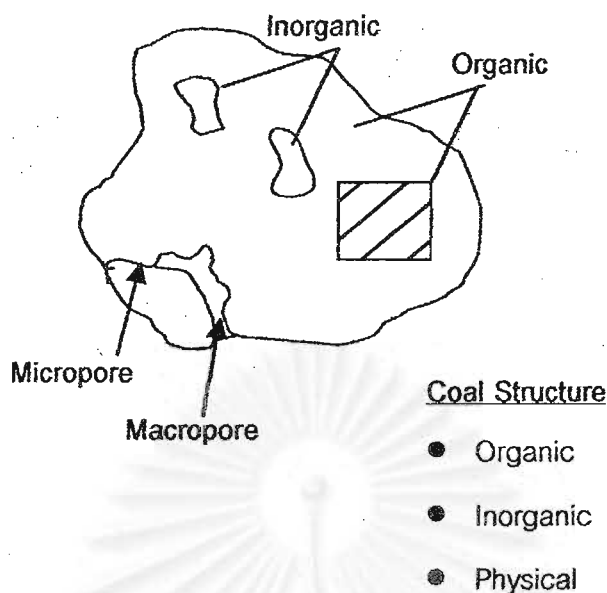
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถ่านหิน (R.A. Meyers, 1981)

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมีลักษณะเป็นหินตะกอนที่เกิดจากการทับถมของซากพืชที่ตาย สิ่งมีชีวิต ชิ้นส่วนของพืช ตลอดจนดินโคลนที่มีอินทรีย์วัตถุที่ทับถมกันแล้วสะสม จนเมื่อเวลาผ่านไปเป็นร้อยล้านปี ทำให้สิ่งเหล่านั้นยุบตัว แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาของโลก เกิดความร้อนและความกดดันมากขึ้น จนตะกอนซากพืชที่ทับถมกันเหล่านั้นเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา จนแปรสภาพเป็นถ่านหินที่สามารถติดไฟได้ จึงมีการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง

2.1.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของถ่านหิน (R.A. Meyers, 1981 and R.H. Schlosburg, 1985)

ถ่านหินโดยทั่วไปมีองค์ประกอบหลักคือ คาร์บอน เป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบมากที่สุด และอยู่เป็นโครงสร้างโมเลกุลของถ่านหินที่เป็นส่วนอินทรีย์ (Organic Coal Matrix) ซึ่งเป็นส่วนของถ่านหินที่ให้พลังงาน นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบที่เป็นไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน เป็นองค์ประกอบอยู่เล็กน้อย เรียกรวมส่วนนี้ว่า Maceral Matter และยังมีธาตุอื่นๆ ที่รวมเป็นสารประกอบอนินทรีย์แทรกอยู่ในเนื้อถ่านหินหรือรวมตัวเป็นก้อนอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเรียกรวมส่วนนี้ว่า Mineral Matter (Crystalline Inorganic Compound) อยู่กระจัดกระจายทั่วไปในเนื้อถ่านหิน เมื่อนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสารประกอบอินทรีย์จะเกิดการเผาไหม้และให้ความร้อนเกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊ส ส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้คือเถ้า (Ash) ซึ่งเป็นส่วนของสารประกอบแร่ธาตุ แต่ส่วนประกอบของแร่ธาตุบางส่วนเมื่อเกิดการเผาไหม้จะไม่เกิดเป็นเถ้า เช่น ที่อุณหภูมิสูง ๆ ไฟไรต์ถูกออกซิไดซ์ กำมะถันจะสลายตัวให้แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนเตตระสลายตัวให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนเหล็กจะถูกเปลี่ยนสภาพให้อยู่ในรูปของสารประกอบออกไซด์ของเหล็ก ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเถ้า โครงสร้างโมเลกุลของถ่านหินแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามสมบัติทางเคมี คือ ส่วนโครงสร้างอินทรีย์ (Organic Structure) และส่วนที่เป็นองค์ประกอบแร่ธาตุตามรูปที่ 2.1



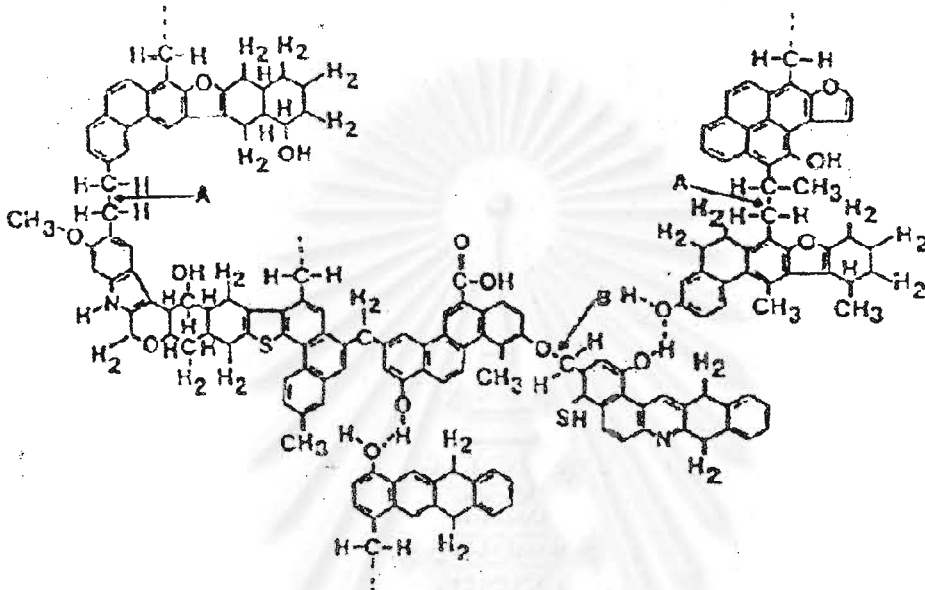
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของถ่านหิน (R.A. Meyers, 1981)

โครงสร้างอินทรีย์ (R.A. Meyers, 1981 and R.H. Schlosburg, 1985)

โครงสร้างทางเคมีของถ่านหินประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และมีปริมาณของกำมะถันและไนโตรเจนเป็นส่วนน้อย เมื่อคิดจากพื้นฐานของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของอะตอมธาตุ (Atomic Ratio) พบว่าไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในโครงสร้างถ่านหินซึ่งเมื่อศักดิ์ของถ่านหินสูงขึ้น อัตราส่วนโดยน้ำหนักของอะตอมไฮโดรเจนต่อคาร์บอนและออกซิเจนต่อคาร์บอนจะลดลง ส่วนกำมะถันและไนโตรเจนมีน้อยมากจนคิดว่าไม่มีส่วนสำคัญ

จากการศึกษาสารประกอบอินทรีย์ในโครงสร้างของถ่านหินโดยใช้ Spectroscopy Chromatography เพื่อศึกษาโครงสร้างทางเคมีของถ่านหินหรือสูตรโมเลกุลของถ่านหินนั้น ยังไม่เป็นที่ทราบแน่นอน ทั้ง ๆ ที่มนุษย์รู้จักนำถ่านหินมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ มาเป็นเวลานาน แต่พอจะทราบว่าโครงสร้างทางเคมีของถ่านหินประกอบด้วยกลุ่มโมเลกุลวงแหวนแอโรแมติกส์ (Aromatics) และไฮโดรแอโรแมติกส์ (Hydroaromatics) เกาะอยู่ด้วยเป็นกลุ่ม ๆ แต่ละกลุ่มอาจเชื่อมกันอยู่ด้วยแขนของโมเลกุลอะลิฟาติก (Aliphatic) ที่อ่อนแอ ภายในกลุ่มแต่ละกลุ่มยังมีวงแหวนที่มีอะตอมของธาตุออกซิเจนหรือกำมะถันหรือไนโตรเจนประกอบอยู่กับคาร์บอน รวมทั้งกลุ่มที่ทำหน้าที่คือความเป็นกรด - เบส อีเทอร์และอื่นๆ หมู่ฟังก์ชันซึ่งแทนที่ไฮโดรเจนในวงแหวน เช่น ไฮดรอกซี คาร์บอกซี อะมิโน และไทออล ดังแสดงเป็นโมเลกุลสมมติในรูปที่ 2.2 ซึ่งโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ จะเชื่อมโยงด้วยพันธะเคมีเป็นพอลิเมอร์เชื่อมขวาง (Crosslinked Polymer) และมีบางส่วนที่ไม่เป็นโครงสร้างพอลิเมอร์ จากการวัดความสามารถของการเป็นผลึก (Crystallinity) ของถ่านหินโดยใช้ X-ray Scattering Technique พบว่า เมื่อศักดิ์ของ

ถ่านหินสูงขึ้นไป วงแหวนแอโรแมติกส์จะเชื่อมกันมากขึ้นและผลึกมีลักษณะคล้ายแกรไฟต์ และเมื่อโมเลกุลของถ่านหินได้รับความร้อน จะเกิดการสลายตัวซึ่งปัจจัยที่สำคัญคือ จำนวนไฮโดรเจนที่มีอยู่ในโมเลกุลวงแหวนไฮโดรแอโรแมติกส์ และแขนอะลิฟาติก ซึ่งแตกตัวออกง่ายที่สุด ทำให้กลุ่มโมเลกุลวงแหวนแตกออกจากกันเป็นกลุ่ม ๆ จำนวนมาก



รูปที่ 2.2 โมเลกุลสมมติของถ่านหิน (R.H. Schlosburg, 1985)

ส่วนประกอบที่เป็นแร่ธาตุ

สารประกอบแร่ธาตุที่พบมากที่สุดในถ่านหินคือ ซิลิโคน นอกจากนี้ยังประกอบด้วย อะลูมิเนียม เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม รวมตัวกันเป็นสารประกอบหรือ รวมตัวกับอะตอมของธาตุอื่นๆ 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) เป็นแร่ธาตุที่พบหลังจากการเกิดออกซิเดชันของไพไรต์ ได้แก่ ยิปซัม (Gypsum) แอนไฮไดรต์ (Anhydrite) เป็นต้น
4. กลุ่มซิลิเกต (Silicate) หรือ กลุ่มอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) หรือ ดินเหนียว (Clay) ซึ่งเป็นหมู่แร่ธาตุที่มีมากที่สุดในถ่านหิน เช่น อิลไลต์ (Illite) และ เคโอลินไนต์ (Kaolinite) เป็นต้น

5. แร่ธาตุอื่น ๆ เช่น ควอร์ตซ์ (Quartz) เฟลด์สปาร์ (Feldspar) เป็นต้น

2.1.2 การจำแนกถ่านหิน (ASTM D388, 1994 and R.A. Meyers, 1981)

ระบบมาตรฐานอเมริกา (American Societies for Testing and Materials, ASTM) เป็นระบบที่ใช้จำแนกถ่านหินในปัจจุบัน โดยจำแนกถ่านหินตามค่าคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนของถ่านหินดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยจัดให้ถ่านหินมี 4 ลำดับ คือ ลิกไนต์ ซับบิทูมินัส บิทูมินัส และ แอนทราไซต์

1. ลิกไนต์ (Lignite) เป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำที่สุด มีสีน้ำตาล กำเนิดจากถ่านพีต โดยยังคงปรากฏร่องรอยของเนื้อไม้อยู่บ้าง โครงสร้างเป็นแผ่น มีความแข็งพอประมาณ มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างสูง มีสารระเหยและความชื้นสูง ให้ค่าความร้อนต่ำ
2. ซับบิทูมินัส (Subbituminous) เป็นถ่านหินลักษณะผิวหน้าเรียบ ไม่เห็นเป็นชั้น มีสีน้ำตาลคล้ายขี้ผึ้ง มีความชื้นประมาณ 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

2.1.3 กระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหิน (D. Merrick, 1984 , G.K. Goldman, 1972 , P. Nowacki, 1979 , R.H. Schlosburg, 1985 , R.T. Ellington, 1997 and Y.T. Shah, 1981)

ในการผลิตของเหลวจากถ่านหินเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมีหลักการคือ การทำให้โมเลกุลของถ่านหินซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน เกิดการแตกตัวของพันธะต่าง ๆ ออกเป็นโมเลกุลที่มีองค์ประกอบเป็นคาร์บอนขนาดเล็ก มีโครงสร้างทางเคมีขนาดเล็ก และสามารถจับเข้ากับโมเลกุลของแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งจะทำให้สามารถได้ผลผลิตเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว ซึ่งจะมีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากถ่านหิน

| | | | | | | | | | | |
|------------|-------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------------------|
| 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.

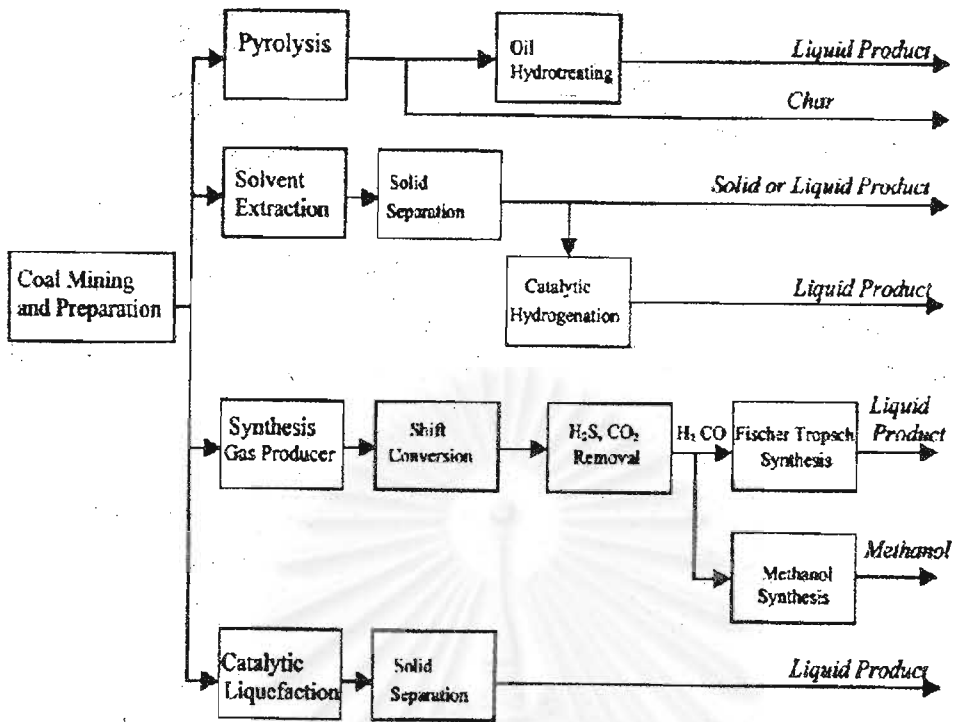
ประกอบด้วย สมบัติของถ่านหินชนิดต่าง ๆ อุณหภูมิ ความดัน และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา รวมถึงอาจต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวได้อย่างรวดเร็วและมีองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามต้องการ

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหิน(P. Nowacki,1979 and R.H. Schlosburg,1985)

1. ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของถ่านหิน โดยถ่านหินที่มีศักดิ์ต่าง ๆ กันจะมีความสามารถในการแปรสภาพเป็นของเหลวได้แตกต่างกัน อาทิ ถ่านหินที่มีศักดิ์ต่ำ ๆ เช่น ลิกไนต์ สามารถแปรสภาพภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมได้ผลิตภัณฑ์เป็นของเหลว แต่ให้ผลผลิตต่ำ เป็นต้น
2. อัตราการให้ความร้อนกับกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากถ่านหิน เลือกให้อยู่ที่อุณหภูมิ 400 – 550 องศาเซลเซียส และต้องเพิ่มอัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการรวมตัวของพอลิเมอร์ที่แตกตัวแล้วจากการให้ความร้อน
3. เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ต้องไม่นานมากนัก เนื่องจากจะทำให้องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไป หรือแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลเล็ก ๆ จนเป็นแก๊สไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้
4. ความดันที่ใช้ในปฏิกิริยา อยู่ในระหว่าง 500 – 4000 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเกจ โดยที่ภาวะความดันต่ำ ๆ ถ่านหินที่มีศักดิ์ต่ำก็สามารถเกิดเป็นของเหลวได้ แต่ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลวต่ำ
5. ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวได้อย่างรวดเร็ว ส่วนใหญ่จะใช้พวกโลหะ

สำหรับกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหินตามรูปที่ 2.3 สามารถแบ่งได้เป็น 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)

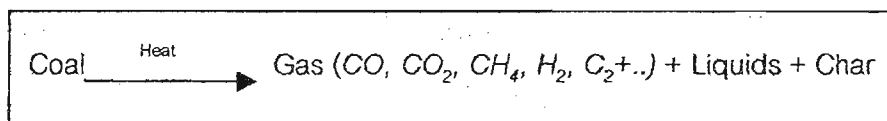


รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหิน (P. Nowacki, 1979)

กระบวนการไพโรไลซิส

เป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่ถ่านหินในระบบที่ปราศจากออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วย น้ำมันหนัก (Heavy Oil) น้ำมันเบา (Light Oil) แก๊สไฮโดรคาร์บอน และถ่านโค้ก (Coke) กระบวนการนี้มีข้อดีที่สามารถเกิดได้ที่ความดันไม่สูงมาก หรือที่ความดันบรรยากาศ ใช้เวลาไม่นาน และสามารถเกิดปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์อย่างง่ายได้ แต่มีข้อเสียที่ให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเพียงหนึ่งในสาม (โดยน้ำหนักของถ่านหิน) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำมันหนัก ไม่คุ้มค่าที่จะแยกแ่กและถ่านโค้กออกจากน้ำมันหนัก รวมถึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของเหลวก่อนนำมาใช้งาน เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์คือ การให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว ขนาดของถ่านหิน ความดันแก๊สไฮโดรเจน โดยภาวะที่ให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวดีที่สุดจะขึ้นอยู่กับ การเพิ่มความร้อนให้กับถ่านหินขนาดเล็กในอัตราที่รวดเร็ว และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่นานมาก

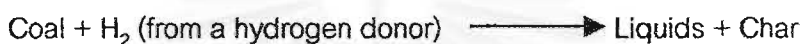
สมการทั่วไปสำหรับกระบวนการไพโรไลซิส คือ



กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

เป็นกระบวนการทำให้ถ่านหินแตกตัวในภาวะที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียสโดยใช้ตัวทำละลายที่มีสมบัติในการให้ไฮโดรเจนอะตอมอิสระแก่ถ่านหิน ทำให้ถ่านหินเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวชั้น ที่มีโมเลกุลเล็กกลง หลังจากนั้นจะผ่านกระบวนการเติมแก๊สไฮโดรเจนเพื่อให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลแล้วจึงจับตัวกันเป็นโมเลกุลใหม่ที่มีสภาพเป็นของเหลว กระบวนการนี้มีข้อดีที่สามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่ากระบวนการไพโรไลซิส และสามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของเหลวได้

สมการทั่วไปสำหรับกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย คือ



กระบวนการผลิตของเหลวโดยอ้อม

มีกระบวนการคล้ายกับการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน (Gasification) โดยในขั้นแรกได้แก๊สไฮโดรคาร์บอน เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สผสมอื่น ๆ จากนั้นจะแยกแก๊สที่ปะปนออกไปเพื่อให้บริสุทธิ์ โดยปรับสัดส่วนของแก๊สไฮโดรเจนให้สูงขึ้นโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี เหล็ก หรือ โคบอลต์เป็นองค์ประกอบ เพื่อให้เกิดการจับตัวของโมเลกุลเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (Aliphatic Hydrocarbons) กระบวนการนี้มักจะใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed Bed) หรือแบบ ฟลูอิดไรซ์เบด (Fluidized Bed) โดยมีข้อดีที่สามารถใช้ประโยชน์จากถ่านหินทุกชนิดในการเปลี่ยนให้เป็นของเหลวได้ สามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งจะไม่มียังองค์ประกอบของไนโตรเจน และ ซัลเฟอร์ในผลิตภัณฑ์ แต่มีข้อจำกัดที่จะต้องมีการแยกแก๊สอื่น ๆ หรือสารเจือปนที่ปะปนอยู่ในกระบวนการผลิตแก๊สจากถ่านหินเพื่อให้มีความบริสุทธิ์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของกระบวนการนี้มีค่าต่ำกว่ากระบวนการเติมไฮโดรเจนให้กับถ่านหินอื่น ๆ

สมการทั่วไปสำหรับกระบวนการผลิตของเหลวโดยทางอ้อม คือ

ขั้นตอนการสังเคราะห์มีทานอล คล้ายกับกระบวนการ Fischer-Tropsch



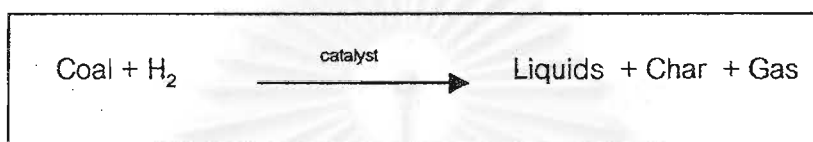
ขั้นตอนการเปลี่ยนมีทานอลไปเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน



กระบวนการสังเคราะห์ของเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

เป็นกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหิน โดยที่ทำให้โมเลกุลของถ่านหินซึ่งมีขนาดใหญ่ และมีโครงสร้างซับซ้อนแตกตัวโดยมีแก๊สไฮโดรเจนร่วมอยู่ในปฏิกิริยา และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้มีการกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาในถ่านหินอย่างสม่ำเสมอโดยผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดได้ที่ความดันไม่สูงมาก ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาได้รวดเร็วขึ้น

สมการทั่วไปสำหรับกระบวนการผลิตของเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ



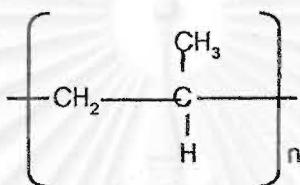
นอกจากผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถช่วยทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้รวดเร็วขึ้น อันจะช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายจากการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหินแล้วก็ตาม แต่จากข้อจำกัดของกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวที่จำเป็นต้องกระทำภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนและต้องอยู่ในภาวะที่ความดันสูง การใช้แก๊สไฮโดรเจนปริมาณมาก ๆ จะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตของเหลว จึงได้มีงานวิจัยที่ศึกษาถึงการนำสารประกอบที่สามารถให้ไฮโดรเจนแก่กระบวนการสังเคราะห์ของเหลว เช่น การเติมตัวทำละลายจำพวก H-donor Solvent การใช้พลาสติกที่เป็นพอลิเมอร์ของไฮโดรคาร์บอน มาร่วมในปฏิกิริยาอันจะสามารถช่วยลดการใช้แก๊สไฮโดรเจนได้ หนทางหนึ่งที่มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การนำขยะพลาสติกซึ่งเป็นขยะที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงมากในแต่ละวัน และเป็นวัสดุที่ไม่มีคุณค่ากลับมาใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งให้ไฮโดรเจนแก่กระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหิน จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงปฏิกิริยาระหว่างพอลิพรอพิลีนและถ่านหินพบว่า พอลิพรอพิลีนมีองค์ประกอบที่เป็นไฮโดรเจนจำนวนมาก เมื่อเทียบกับองค์ประกอบของถ่านหิน ซึ่งสามารถเป็นแหล่งให้ไฮโดรเจนแก่กระบวนการแปรรูปเป็นของเหลวของถ่านหินได้เป็นอย่างดี โดยเมื่อพอลิพรอพิลีนได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (Free Radical) กับ ไฮโดรเจน และบางส่วนของอนุมูลพอลิพรอพิลีนทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของถ่านหินให้เป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวได้และสามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงเหลวได้

2.2 พอลิพรอพิลีน (E.P.Jr. Moore, 1996 and R.J. Ehrig, 1992)

พอลิพรอพิลีนเป็นพลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติก ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน มีสมบัติเฉพาะตัวคือ ความถ่วงจำเพาะต่ำ ความแข็งเปราะสูง อุณหภูมิบดตัวสูง ทนทานต่อสารเคมีได้ดี มีสมบัติต้านไฟฟ้าได้ดี จึงมีการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หลายชนิด เช่น

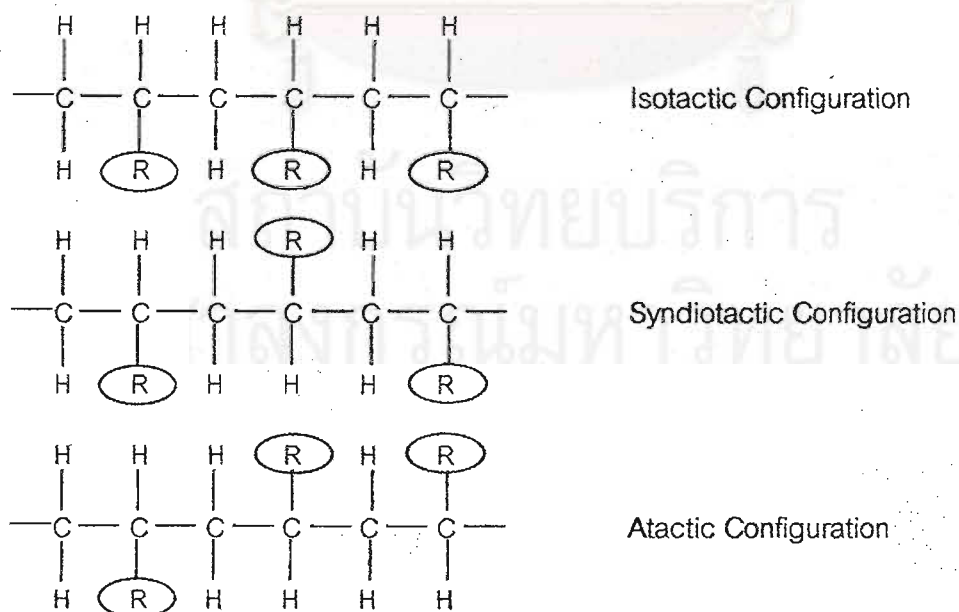
อุปกรณ์ในครัวเรือน ภาชนะ บรรจุภัณฑ์ ของเด็กเล่น พอลิพรอพิลีนเป็นไฮโดรคาร์บอนพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงและประกอบด้วยโครงสร้างที่ไม่มีอิมิตว์น้อยมาก หรือ ไม่มีเลยตามรูปที่ 2.4 การสลับที่ของหมู่เมทิล ไปตามคาร์บอนอะตอมบนสายโซ่โมเลกุลทำให้สมบัติของพอลิเมอร์แตกต่างกันได้มากมาย โดยหมู่เมทิลเป็นตัวกำหนดโครงสร้างแทกติกซิตี (Tacticity) ของพอลิเมอร์ได้ตามรูปที่ 2.5 โดยแบ่งเป็นแบบต่าง ๆ กันดังนี้

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



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทั่วไปของพอลิพรอพิลีน (E.P.Jr. Moore, 1996)

โครงสร้างแทกติกซิตี จะมีอิทธิพลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ ทำให้พอลิพรอพิลีนไม่สามารถเกิดโครงสร้างผลึกในระนาบแบบพอลิเอทิลีนได้ เนื่องจากหมู่เมทิลเกาะกะอยู่ แต่จะเกิดผลึกในลักษณะเกลียว พอลิพรอพิลีนทางการค้าจะประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบไอโซแทกติกประมาณร้อยละ 90-95



รูปที่ 2.5 โครงสร้างแทกติกซิตีของพอลิพรอพิลีน (E.P.Jr. Moore, 1996)

2.2.1 สมบัติทางเคมีของพอลิพรอพิลีน (ปรีชา, 2536)

1. ความต้านทานต่อสารเคมี พอลิพรอพิลีนเป็นสารที่ไม่มีขั้ว (Non Polar) จึงแสดงสมบัติการต้านทานต่อสารเคมีได้เป็นอย่างดี โดยสามารถทนต่อกรด (ยกเว้น Oxidizing Acid) เบส สารละลายจำพวกเกลือ ตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ ได้ที่อุณหภูมิห้อง แต่จะไม่ทนต่อสารแอโรแมติกส์ เช่น เบนซีน ที่อุณหภูมิสูง ๆ
2. ความต้านทานต่อสภาพแวดล้อม พอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบ Tertiary มีการเกาะตัวของโมเลกุลอย่างไม่แน่นหนา มีโอกาสถูกย่อยสลายได้ง่าย จึงไม่ทนต่อสภาพแวดล้อม เช่น แสงแดด
3. ความสามารถในการติดไฟ พอลิพรอพิลีนสามารถติดไฟได้เองที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส

จากสมบัติที่แตกต่างกันเนื่องจากการจัดเรียงของหมู่เมทิลเหล่านี้ ทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติแตกต่างกัน เช่น มีจุดเดือด จุดหลอมเหลว สมบัติเชิงกล ความต้านทานแรงดึง ที่แตกต่างกันไป พอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นไป มีจุดหลอมเหลวและความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้น แต่สมบัติด้านความแข็ง อุณหภูมิอ่อนตัว อุณหภูมิเปราะตัวลดลง จึงสามารถสันนิษฐานได้ว่า เมื่อพอลิพรอพิลีนมีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นไปจะเกิดเป็นผลึกได้ยากกว่าเมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ และปริมาณความเป็นผลึก (Degree of Crystallization) มีอิทธิพลต่อสมบัติของพอลิเมอร์

2.2.2 สมบัติของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน

สมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิพรอพิลีนนอกจากขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่เป็นแบบไอโซแทกติกแล้ว ยังขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ด้วย ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนทางการค้า ซึ่งทำการผลิตจากแหล่งเดียวกัน ทดสอบวิธีเดียวกัน และมีปริมาณโครงสร้างไอโซแทกติกใกล้เคียงกันมาก แต่น้ำหนักโมเลกุลต่างกัน ปรากฏว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น คือเมื่อดรรชนีการไหล (Melt Flow Index) ลดลง พลาสติกจะมีความต้านทานแรงดึงขาด ความแข็งดึง ความแข็ง และ อุณหภูมิจุดเปราะตัวลดลง ในขณะที่ความต้านทานแรงกระแทกสูงขึ้น

2.2.3 เอแทกติกพอลิพรอพิลีน

เอแทกติกพอลิพรอพิลีน สามารถทำการผลิตได้โดยตรง หรือเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต ตามปกติพอลิพรอพิลีนชนิดเอแทกติกอย่างสมบูรณ์จะมีโครงสร้างอสัณฐาน แต่ในทางการค้ายังมีส่วนที่เป็นผลึกหลงเหลืออยู่บ้าง น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 20,000 - 80,000 และมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.86 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เอแทกติกพอลิพรอพิลีนมีลักษณะอยู่

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิพรอพิลีน (นงเยาว์, 2533)

| สมบัติ | วิธีการทดสอบ | โพลิเมอร์ | | |
|--|-------------------|-----------|------|------|
| | | | | |
| ดรรชนีการไหล | (ก) | 3 | 0.7 | 0.2 |
| ความต้านทานแรงดึงขาด (ปอนด์/ตารางนิ้ว) (เมกะพาสคาล) | (ข) | 5000 | 4400 | 4200 |
| ร้อยละการยืดตัวเมื่อขาด | (ข) | 34 | 30 | 29 |
| มอดูลัสการบิดโค้ง (ปอนด์/ตารางนิ้ว)(* 10 ⁵) (เมกะพาสคาล) | (ข) | 350 | 115 | 175 |
| อุณหภูมิเปราะตัว (°C) | - | 1.9 | 1.7 | 1.6 |
| จุดอ่อนตัวไวแคท (°C) | ici/ASTM D.476 | 1310 | 1170 | 1100 |
| ความแข็งตามสเกลรีดเวล (สเกล อาร์) | BS 2782 | 15 | 0 | 0 |
| ความต้านทานแรงกระแทก (ฟุต-ปอนด์) (จูล) | - | 145-150 | 148 | 148 |
| | (ค) | 95 | 90 | 90 |
| | (ค) | 10 | 25 | 34 |
| | (ค) | 13.5 | 34 | 46 |

(ก) ใช้พอลิเอทิลีนเกรดมาตรฐาน ขึ้นรูปครั้งละ 2.16 กิโลกรัม อุณหภูมิการขึ้นรูป 230 °C

(ข) อัตราเร็วในการดึง (Straining Rate) 18 นิ้ว/นาที

(ค) ทดสอบโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน ขนาดศูนย์กลาง 14 นิ้ว ทดสอบ ณ อุณหภูมิ 20 °C

กึ่งกลางระหว่างไซและยาง สามารถทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจน ได้เช่นเดียวกับไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน แต่ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนจะเกิดการบวมอย่างมากในสารไฮโดรคาร์บอนทั้งประเภทอิมิตัวและไม่อิมิตัว และรวมตัวได้ดีกับตัวเติมจำพวกแรบิโทมินัส และเรซินต่างๆ

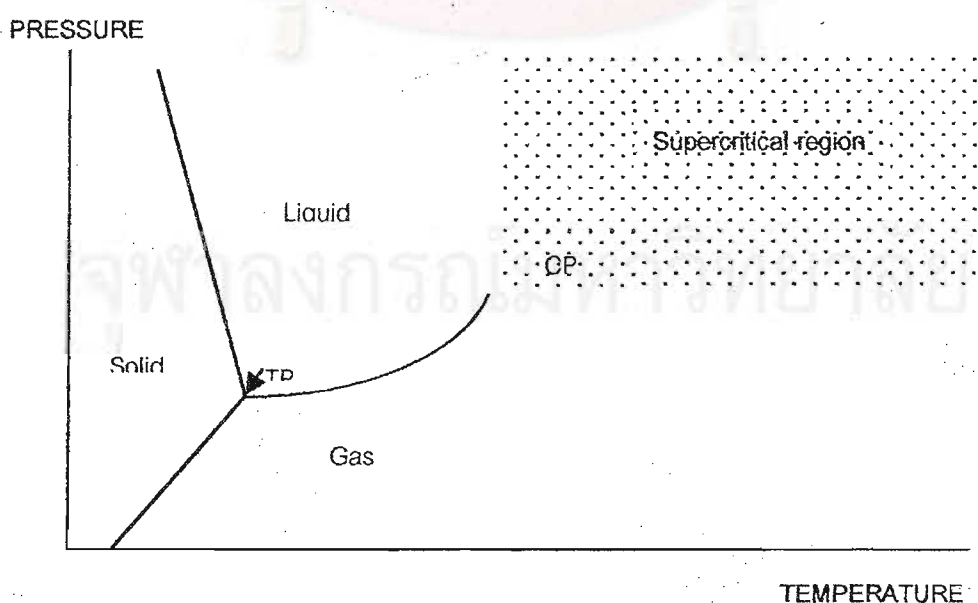
ในอดีตไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนเป็นผลพลอยได้ที่ไม่เป็นที่ปรารถนาในการผลิต แต่ในปัจจุบันเริ่มมีการนำมาใช้งานมากขึ้น ในยุโรปใช้ผสมกับบิโทมินัส เพื่อใช้ทำรอยต่อต่างๆ การผสมพลาสติกชนิดนี้จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น

2.2.4 พอลิพรอพิลีนชนิดไฮโมพอลิเมอร์

ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนในเชิงธุรกิจมี 3 แบบ คือ ไฮโมพอลิเมอร์ บล็อกโคพอลิเมอร์ และ แรนดัมโคพอลิเมอร์ พอลิพรอพิลีนชนิดไฮโมพอลิเมอร์ถูกผลิตขึ้นจากพรอพิลีนมอนอเมอร์เพียงอย่างเดียว นำไปใช้ในการผลิต Fiber, Filament, Cast Film เป็นต้น

2.3 ของไหลภาวะเหนือวิกฤต (อุทัย ไสธนะพันธ์ และ รพีพล ภาโววาท, 2536)

ของไหลภาวะเหนือวิกฤต (Supercritical Fluids, SCF) หมายถึงสารใด ๆ ในภาวะซึ่งจำแนกไม่ได้ว่าเป็นแก๊สหรือของเหลว ภาวะเช่นนี้สามารถอธิบายได้จาก Pressure-temperature Phase Diagram ของสารบริสุทธิ์ใดๆ เช่นตามรูปที่ 2.6 จะแสดงบริเวณที่สารอยู่ในสถานะของแข็งของเหลว และแก๊ส โดยมี Sublimation Line อยู่ระหว่างบริเวณที่สารอยู่ในสถานะของแข็งกับแก๊ส Fusion Line อยู่ระหว่างของแข็งกับของเหลว และ Vapor Pressure Line (Boiling Line) อยู่ระหว่างแก๊สกับของเหลว จุดที่อยู่ระหว่างทั้ง 3 สถานะเรียกว่า Triple Point (TP) และเมื่อพิจารณาถึงแก๊สที่สามารถเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้ซึ่งมี 2 วิธีโดยการเพิ่มความดัน หรือลดอุณหภูมิเพื่อลดพลังงานจลน์ ทำให้ระยะทางระหว่างโมเลกุลลดลงเกิดแรงดึงดูดระหว่างกันควบแน่นเป็นของเหลว แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุด ๆ หนึ่ง โมเลกุลของแก๊สจะมีพลังงานจลน์มากแม้จะให้ความดันเท่าใด ก็ไม่สามารถทำให้แก๊สเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวได้ อุณหภูมิสูงสุดที่แก๊สยังสามารถควบแน่นเป็นของเหลวได้เรียกว่า อุณหภูมิวิกฤต (Critical Temperature, T_c) และความดันที่จุดนี้จะเรียกว่า ความดันวิกฤต (Critical Pressure, P_c) จุดที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิวิกฤต และความดันเท่ากับความดันวิกฤต เรียกว่า จุดวิกฤต (Critical Point, CP)



รูปที่ 2.6 เฟสไดอะแกรมของของไหลภาวะเหนือวิกฤต (Lugue de Castro et al., 1994)

ที่อุณหภูมิมากกว่า อุณหภูมิกวิกฤต และ ความดันมากกว่า ความดันวิกฤต สารจะอยู่ในสถานะที่มีสมบัติจำแนกไม่ได้ว่าเป็นแก๊สหรือของเหลว เรียกสารที่อยู่ในภาชนะนี้ว่า ของไหลภาวะเหนือวิกฤต โดยค่าอุณหภูมิกวิกฤต และ ความดันวิกฤตของสารต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

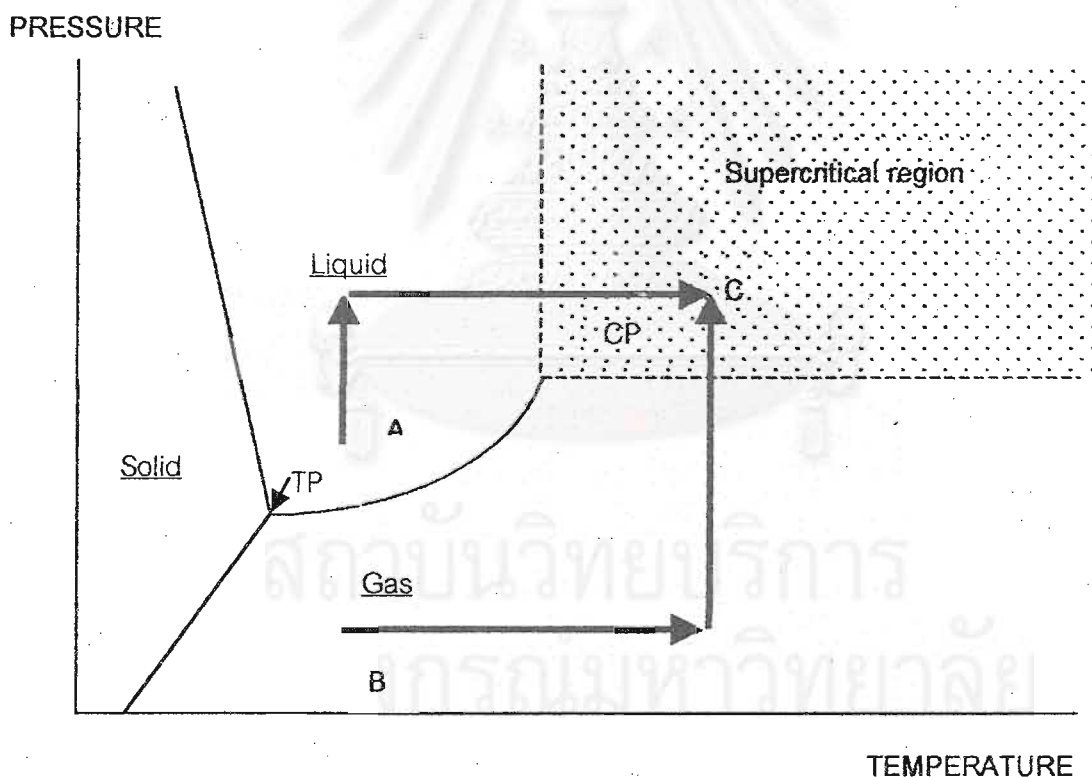
ตารางที่ 2.3 สมบัติวิกฤตของสารชนิดต่าง ๆ (อุทัย ไสธนะพันธ์ และ รพีพล ภาโวาท, 2536)

| Substance | Critical Temperature(K) | Critical Pressure (MPa) | Critical Density (g/cm ³) |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Methane | 190.6 | 4.60 | 0.162 |
| Ethylene | 282.4 | 5.03 | 0.218 |
| Chlorotrifluoromethane | 302.0 | 3.92 | 0.579 |
| Carbon dioxide | 304.2 | 7.38 | 0.468 |
| Ethane | 305.4 | 4.88 | 0.203 |
| Propylene | 365.0 | 4.62 | 0.233 |
| Propane | 369.8 | 4.24 | 0.217 |
| Ammonia | 405.6 | 11.30 | 0.235 |
| Diethyl ether | 467.7 | 3.64 | 0.265 |
| n-Pentane | 469.6 | 3.37 | 0.237 |
| Acetone | 508.1 | 4.70 | 0.278 |
| Methanol | 512.6 | 8.09 | 0.272 |
| Benzene | 562.1 | 4.89 | 0.302 |
| Toluene | 591.7 | 4.11 | 0.292 |
| Pyridine | 620.0 | 5.63 | 0.312 |
| Water | 647.3 | 22.00 | 0.322 |
| Xenon | 289.7 | 5.84 | 1.113 |
| Ethanol | 516.0 | 6.40 | 0.276 |
| Tetralin | 719.0 | 3.60 | 0.302 |

ของไหลภาวะเหนือวิกฤตมีสมบัติอยู่ระหว่างแก๊สกับของเหลว ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ความหนาแน่นของของไหลภาวะเหนือวิกฤตมีค่าใกล้เคียงกับของเหลว เมื่อนำมาใช้เป็นตัวทำละลาย โมเลกุลของสารที่ต้องการละลายจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของของไหลภาวะเหนือวิกฤต เกิดอันตรกิริยา (Interaction) กัน ลดพลังงานเอนทาลปี เกิดการละลายได้ดี และขณะเดียวกัน

ของไหลภาวะเหนือวิกฤตก็มีความหนืดและการแพร่กระจายใกล้เคียงกับแก๊ส ทำให้สามารถแทรกเข้าไปในโครงสร้างภายในของตัวถูกละลาย (Solute Matrix) ได้ดี ด้วยสมบัติเหล่านี้จึงนำของไหลภาวะเหนือวิกฤต มาใช้เป็นตัวทำละลายซึ่งมีข้อดีเหนือตัวทำละลายที่เป็นของเหลวคือ มีอัตราการถ่ายโอนมวล เร็วกว่า และมีความสามารถในการทำละลาย (Solvent Power) ที่ดีกว่า

มีเส้นทางที่แตกต่างกัน 2 เส้นทาง ตามรูปที่ 2.7 ในการทำให้เป็นของไหลภาวะเหนือวิกฤตตามที่ต้องการ เส้นทางแรกคือ เริ่มต้นที่จุด A สารอยู่ในสถานะของเหลว เพิ่มความดันให้สูงกว่าความดันวิกฤตของสารนั้นที่อุณหภูมิคงที่ต่อมาเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตของสารนั้นที่ความดันคงที่จนกระทั่งสารนั้นเข้าสู่ภาวะเหนือวิกฤตที่จุด C เส้นทางที่สองคือ เริ่มต้นที่จุด B สารนั้นอยู่ในสถานะแก๊ส ให้ความร้อนแก่สารนั้นจนกระทั่งสารนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตที่ความดันคงที่ ต่อมาเพิ่มความดันให้สูงกว่าความดันวิกฤตของสารนั้นที่อุณหภูมิคงที่



รูปที่ 2.7 เส้นทาง การเข้าสู่ภาวะเหนือวิกฤต (จุด C) จากของเหลว (จุด A) และ จากแก๊ส (จุด B) (Lugue de Castro et al., 1994)

ตารางที่ 2.4 สมบัติของของไหลภาวะเหนือวิกฤตเปรียบเทียบกับแก๊สและของเหลว

(อุทัย ไสธนะพันธ์ และ รพีพล ภโวภาท, 2536)

| State of Fluid | Density (g/cm ³) | Diffusivity (cm ² /sec) | Viscosity (g/cm sec) |
|--|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Gas | | | |
| P = 1 atm, T = 15-30°C | (0.6 - 2) × 10 ⁻³ | 0.1 - 0.4 | (1 - 3) × 10 ⁻⁴ |
| Liquid | | | |
| P = 1 atm, T = 15-30°C | 0.6 - 1.6 | (0.2 - 2) × 10 ⁻⁵ | (0.2 - 3) × 10 ⁻² |
| Supercritical | | | |
| P = P _c , T = T _c | 0.2 - 0.5 | 0.7 × 10 ⁻³ | (1 - 3) × 10 ⁻⁴ |
| P = 4P _c , T = T _c | 0.4 - 0.9 | 0.2 × 10 ⁻³ | (3 - 9) × 10 ⁻⁴ |

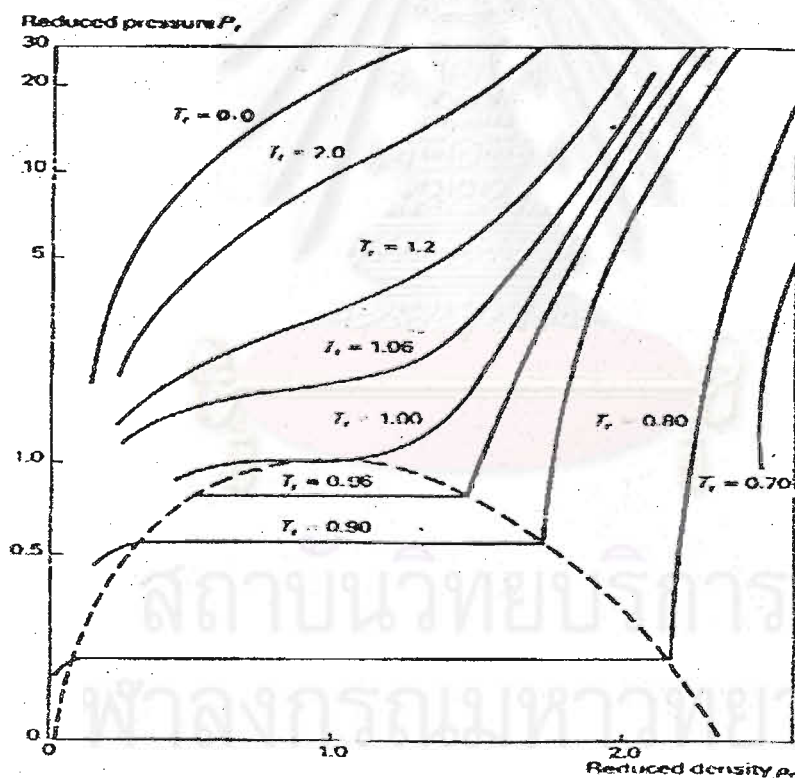
การศึกษากการละลายของสารในของไหลภาวะเหนือวิกฤต ครั้งแรกในปี 1879 โดย J.B. Hannay และ J.Hogarth แสดงการละลายของ Methyl Halides ในของไหลภาวะเหนือวิกฤตของเอทานอลและคาร์บอนเตตระคลอไรด์ แต่ไม่ได้รับความสนใจมากนัก มีการศึกษาถึงประโยชน์ของของไหลภาวะเหนือวิกฤตอย่างจริงจังเมื่อไม่นานมานี้เอง ตัวอย่างการศึกษาทางของไหลภาวะเหนือวิกฤตซึ่งลงตีพิมพ์ใน Journal Analytical Chemistry ก่อนปี 1986 มีเพียง 2 เรื่องเท่านั้น แต่ตั้งแต่ปี 1986 จนถึงกลางปี 1989 มีมากถึง 26 เรื่อง เหตุผลสำคัญที่ทำให้ของไหลภาวะเหนือวิกฤตได้รับความสนใจได้แก่ การค้นพบว่าตัวทำละลายที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ทำลายสิ่งแวดล้อม และแหล่งของตัวทำละลายมีจำกัดลง

การใช้ประโยชน์จากของไหลภาวะเหนือวิกฤตเริ่มต้นในราวทศวรรษ 1930 ซึ่งในระยะแรกจะมุ่งเน้นที่การนำมาใช้เป็นตัวทำละลายในงานสกัด (Supercritical Fluid Extraction, SFE) โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และอุตสาหกรรมอาหาร และถูกนำมาใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) ในงานวิเคราะห์ (Supercritical Fluid Chromatography, SFC) ครั้งแรกในปี 1962

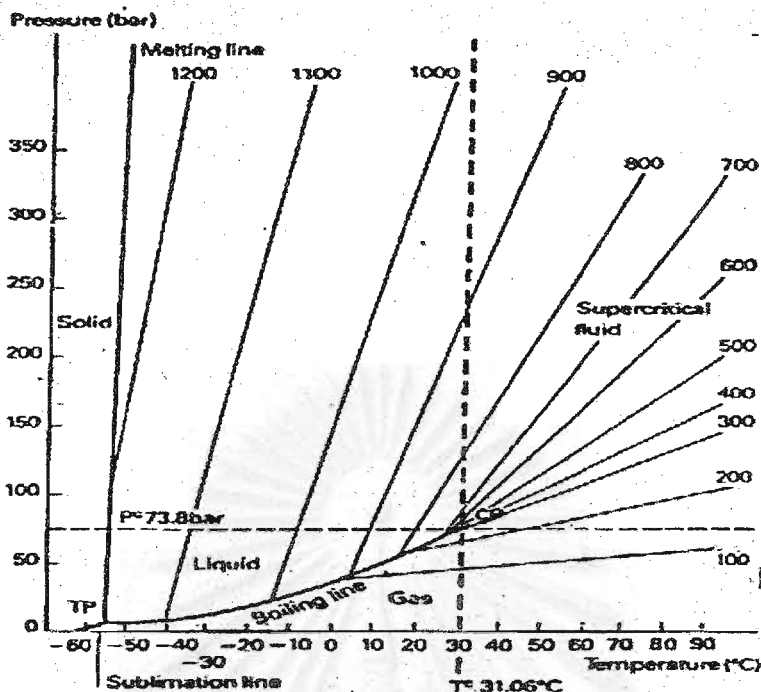
ในปี 1981 D.F. Williams อธิบายสมบัติของคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความหนาแน่นและความดัน นำเสนอในรูปของตัวแปรรีดิวซ์ ($T_r = T/T_c$, $P_r = P/P_c$) จากรูปที่ 2.8 ในช่วงที่เป็นเส้นโค้งคือบริเวณที่ของเหลวและแก๊สมีความสมดุลกัน (ช่วงที่แก๊สเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว) ของไหลเหนือวิกฤตคือบริเวณที่อุณหภูมิรีดิวซ์และความดันรีดิวซ์มีค่ามากกว่า 1 ส่วนช่วงอุณหภูมิรีดิวซ์ 0.95-1.0 เรียกว่าของเหลวใกล้จุดวิกฤต (Near Critical) ที่บริเวณจุดวิกฤต การเปลี่ยนแปลงความดันเพียงเล็กน้อยจะทำให้ความหนาแน่น

เปลี่ยนแปลงไปมาก แต่ที่อุณหภูมิสูงๆ (อุณหภูมิวิปริตมีค่ามาก) กราฟมีลักษณะลาดชัน การเพิ่มความหนาแน่นจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างมาก ก่อให้เกิดปัญหาด้านเครื่องมือ และที่อุณหภูมิสูงๆ ความหนาแน่นจะมีค่าค่อนข้างต่ำจนไม่เหมาะสมที่จะใช้งาน ดังนั้นจึงนิยมใช้ของไหลเหนือวิกฤตในภาวะบริเวณเหนือจุดวิกฤตเล็กน้อยเนื่องจากสามารถเปลี่ยนความสามารถในการทำละลายโดยการปรับความดันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เมื่อนำเส้นความหนาแน่นที่มาเขียนลงบนแผนภูมิวิภูภาคจะได้ตามรูปที่ 2.9 ที่ความดันและอุณหภูมิสูงสุด (ตามรูป คือ 400 บาร์, 100 องศาเซลเซียส) คาร์บอนไดออกไซด์จะมีความสามารถในการทำละลายสูงสุด ที่บริเวณจุดวิกฤตแม้จะมีความสามารถในการทำละลายต่ำกว่า แต่ความหนาแน่นมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดันมาก ที่บริเวณนี้จึงได้รับความสนใจมากกว่า จึงเลือกที่จะทำงานกับของไหลเหนือวิกฤตในบริเวณจุดวิกฤต ซึ่งสามารถปรับความสามารถในการทำละลายด้วยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความดันเพียงเล็กน้อย

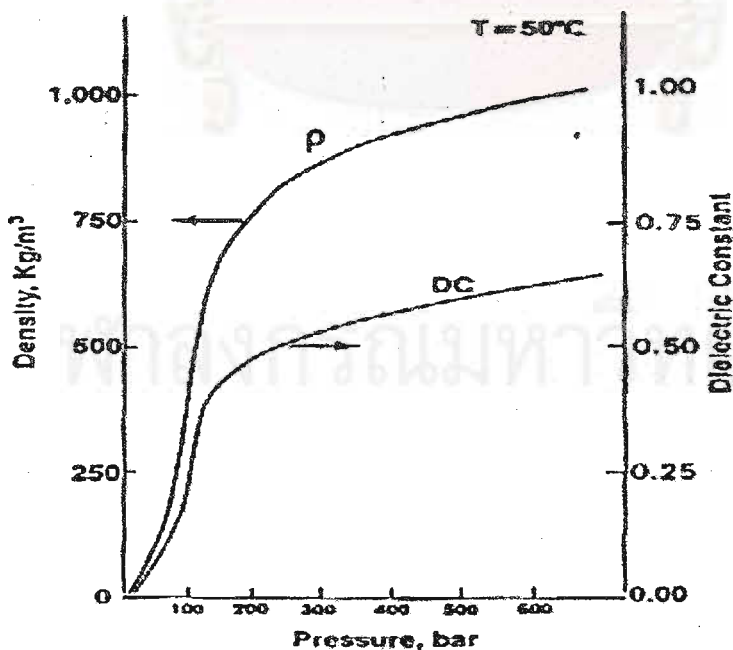


รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความหนาแน่น และความดันในรูปของตัวแปรวิปริต (อุทัย ไสธนะพันธ์ และ รพีพล ภาโวภาท, 2536)



รูปที่ 2.9 ความหนาแน่นคงที่ที่อุณหภูมิต่างๆและความดันต่างๆของคาร์บอนไดออกไซด์ (อุทัย ไสธนะพันธ์ และ รพีพล ภโวภาว, 2536)

ความสามารถในการปรับเปลี่ยนความสามารถในการทำละลายของของไหลภาวะเหนือวิกฤต แสดงให้เห็นได้ชัดเจนในรูปที่ 2.10 เมื่ออุณหภูมิตั้งที่ 50 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มความดันที่ให้ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant) ของคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถเพิ่มขึ้น เทียบกับความเป็นขั้ว (Polarity) ได้ตั้งแต่เพนเทน (Pentane) จนถึงอะซิโตน (Acetone)



รูปที่ 2.10 ผลของความดันที่มีต่อค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและความหนาแน่นของคาร์บอนไดออกไซด์ ภาวะเหนือวิกฤต (Lugue de Castro et al., 1994)

2.3.1 สมบัติของของไหลภาวะเหนือวิกฤต

ก. สมบัติการถ่ายโอน (Transport Properties) จากการที่ของไหลภาวะเหนือวิกฤตมีความหนืดต่ำและสัมประสิทธิ์การแพร่สูงทำให้สามารถกระจายตัวได้อย่างทั่วถึง สามารถแทรกซึม (Penetrate) เข้าไปในโครงสร้างภายในของตัวถูกละลายได้ดี ทำให้ตัวถูกละลายที่ละลายเข้าไปในของไหลภาวะเหนือวิกฤตกระจายออกจากบริเวณที่เกิดการสกัดไปบริเวณอื่นได้ง่าย คือมีอัตราการถ่ายโอนมวลดี ส่งผลให้ของไหลภาวะเหนือวิกฤต เป็นตัวทำละลายที่ดี อย่างไรก็ตาม ความหนืดและสัมประสิทธิ์การแพร่ของของไหลภาวะเหนือวิกฤต มีความสัมพันธ์กับปัจจัยหลายประการเช่น อุณหภูมิ ความดัน และชนิดของของไหลภาวะเหนือวิกฤต จึงต้องมีการปรับภาวะให้เหมาะสมเพื่อให้สกัดสารที่ต้องการได้ดีที่สุดและมีสารที่ไม่ต้องการปนออกมาน้อยที่สุด อัตราเร็วของการถ่ายโอนมวล นอกจากเป็นผลโดยตรงจากความหนืดและความสามารถในการแพร่ของของไหลภาวะเหนือวิกฤตแล้ว ยังขึ้นกับ Diffusion Distance และ Diffusion Barriers ซึ่งเป็นปัจจัยจากโครงสร้างภายในของตัวถูกละลาย

ตารางที่ 2.5 ข้อดีและข้อเสียของของไหลภาวะเหนือวิกฤตที่ใช้กันทั่วไปมากที่สุด

(Lugue de Castro et al., 1994)

| Properties | Inorganic | | | | Organic | | |
|---|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------|---------|----|------|
| | CO ₂ | NH ₃ | H ₂ O ^a | N ₂ O | CFCs | HC | MeOH |
| Toxicity | + | - | + | | + | + | - |
| Inflammability | + | - | + | | + | - | - |
| Cost | + | - | + | | + | + | - |
| Reactivity | + | - | - | - | + | + | - |
| Ease of reaching supercritical conditions | + | - | - | + | + | + | - |
| Environmental aggressiveness | + | | + | | - | | |
| Gaseous under ambient conditions | + | | - | + | + | + | - |
| Compatibility with detector | + | | | | | - | |
| Polarity | - | + | | + | + | - | + |

^a Not used as extracting fluid.

CFCs = chlorofluorocarbons ; HC = hydrocarbons ; MeOH = methanol.

ข. ความสามารถในการทำละลาย (Solvent Power) เป็นสมบัติเด่นประการหนึ่งของของไหลภาวะเหนือวิกฤต ที่เหนือกว่าตัวทำละลายที่เป็นของเหลวทั่วไปเนื่องจากสามารถปรับให้มีความเข้มข้นได้ง่ายกว่า โดยการปรับภาวะของของไหลภาวะเหนือวิกฤต ประการแรกคือ อุณหภูมิ โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิให้กับตัวทำละลายที่เป็นของเหลว จะทำให้มีการละลายเพิ่มขึ้น แต่ในของไหลภาวะเหนือวิกฤต การเพิ่มอุณหภูมิ จะก่อให้เกิดผล 2 ประการที่ขัดแย้งกัน

1. เพิ่มการละลายของตัวถูกละลาย

2. ลดความหนาแน่น ทำให้โมเลกุลของของไหลภาวะเหนือวิกฤตกับตัวถูกละลายอยู่ห่างกัน การละลายของตัวถูกละลายจึงลดลง

ผลรวมของผลที่ขัดแย้งกัน 2 ประการนี้คือความสามารถในการทำละลายของของไหลภาวะเหนือวิกฤต ซึ่งข้อขัดแย้งในประการที่สอง สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มความดันให้กับของไหลภาวะเหนือวิกฤต เพื่อคงสภาพความหนาแน่นให้ใกล้เคียงกับภาวะเดิมก่อนที่จะมีการเพิ่มอุณหภูมิ กล่าวโดยสรุปคือ ตัวแปรที่มีผลโดยตรงต่อความสามารถในการละลาย คือ อุณหภูมิและความหนาแน่น และความดันจะมีผลทางอ้อม โดยส่งผ่านความหนาแน่น

ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการทำละลาย, อุณหภูมิ และความหนาแน่นของของไหลภาวะเหนือวิกฤต สามารถแสดงในรูปสมการของ Chrastill ดังนี้

$$C = d^k \exp(a/(T+b)) \quad (2.1)$$

C = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในของไหลภาวะเหนือวิกฤต (g/l)

d = ความหนาแน่นของ ของไหลภาวะเหนือวิกฤต (g/l)

k = Association Number ซึ่งได้แสดงถึง Complex Formed ระหว่าง ตัวถูกละลาย-ตัวทำละลาย

T = อุณหภูมิ (K)

a, b = ค่าคงที่

ค. สมบัติการเลือก(Selectivity Properties) เป็นสมบัติของของไหลภาวะเหนือวิกฤต ที่สามารถปรับอุณหภูมิ และความดัน เพื่อให้มีความสามารถในการทำละลาย ที่เหมาะสมเฉพาะกับสารที่ต้องการสกัดให้มีการสกัดที่มากที่สุด โดยที่มีสารที่ไม่ต้องการปนออกมาน้อยที่สุด จากการศึกษาของไหลภาวะเหนือวิกฤตมีสมบัติการเลือกค่อนข้างดี ยังสามารถนำมาใช้ในการสกัดแบบ Fractionated Extraction ภาวะที่ใช้จะเริ่มต้นจากบริเวณจุดวิกฤต แล้วค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิและ

ความดัน ด้วยเทคนิคนี้ สามารถสกัดแยกสารออกเป็นส่วนต่างๆ เช่น การสกัดพริกไทย แยกเป็นส่วนที่ให้รสเผ็ด และ ส่วนที่ให้กลิ่นหอม เป็นต้น

2.3.2 การเลือกชนิดของของไหลภาวะเหนือวิกฤต

การเลือกชนิดของของไหลภาวะเหนือวิกฤตเพื่อนำมาใช้เป็นตัวทำละลายขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ที่สำคัญคือ ความสามารถในการทำละลายของของไหลภาวะเหนือวิกฤตแต่ละชนิด ความสามารถในการทำละลายอาจแสดงในรูปของ Hildebrand Solubility Parameter (δ_s) ตามรูปที่ 2.11

การเติม Modifiers (Entrainers or Entrained Solvent) คือ 2nd Solvent ได้แก่ Conventional Solvents ชนิดต่างๆ ซึ่ง ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับ Primary Fluid ได้อย่างสมบูรณ์ มีผลให้เพิ่มความสามารถในการทำละลายของของไหลภาวะเหนือวิกฤต

อย่างไรก็ตาม การเติม Modifiers ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเฟสไดอะแกรม การทำนายพฤติกรรมของตัวทำละลายจึงเป็นไปได้ยาก เนื่องจากความรู้ทางด้านนี้ยังมีจำกัด ผลของ Modifiers จึงต้องใช้ในการทดลองเป็นเครื่องตัดสิน

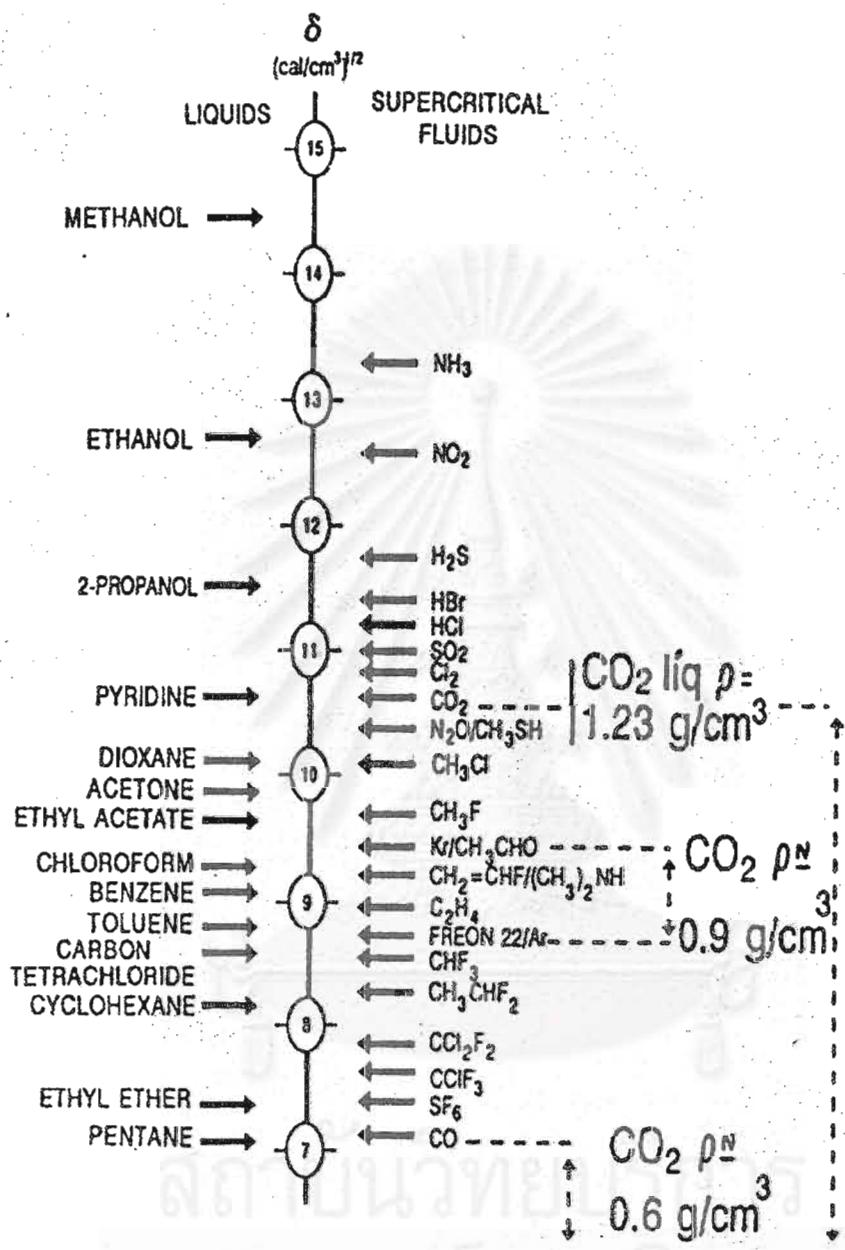
ตัวอย่างการใช้ Modifiers เช่น

- การเติมโทเรเพนลงในคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต เพื่อช่วยในการสกัด ไตรกลีเซอไรด์ และกรดไขมัน
- การเติมอะซีโตนลงในคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต เพื่อสกัดไตรกลีเซอไรด์ สามารถลดความดันที่ใช้จาก 13.5 MPa (1,960 psi) เหลือเพียง 8 MPa (1,160 psi) ลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 30 %
- การเติม 0.1% H₂O ในคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต ช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการขจัด 1-Butanol และ n - Butyl Acetate ที่ติดมาในการสกัดแยก Penicillin G

2.3.3 ประโยชน์ของของไหลภาวะเหนือวิกฤต

แม้ว่าของไหลภาวะเหนือวิกฤตจะเป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว แต่การนำมาใช้ประโยชน์เพิ่งเริ่มแพร่หลายเมื่อไม่นานมานี้เอง สามารถสรุปประโยชน์ของของไหลภาวะเหนือวิกฤตได้ดังนี้

1. ใช้เป็นตัวทำละลายในงานสกัด (Supercritical Fluid Extraction) ทั้งงานสกัดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์จำนวนมาก ๆ และที่ได้รับการพัฒนาค่อนข้างมากคือ งานสกัดในปริมาณน้อย ๆ จุดประสงค์เพื่อนำสารสกัดไปวิเคราะห์ต่อไป
2. ใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ในงานวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี (Supercritical Fluid Chromatography)



รูปที่ 2.11 ความสามารถในการทำละลายของของไหลภาวะเหนือวิกฤตและตัวทำละลายที่นิยมใช้กันทั่วไปในรูปของ Hildebrand Solubility Parameter (Lugue de Castro et al., 1994)

ส่วนประโยชน์อื่นๆ ได้แก่

- พบว่าผลิตภัณฑ์ของสารบางชนิดที่ได้จากการสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤตจะอยู่ในรูป Microfine Crystals (10-50 micrometres) เมื่อนำมาศึกษาโดย X-ray Diffraction แสดงให้เห็นว่า Crystal Structure ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จะมีลักษณะเหมือนสารนั้นในสภาพเริ่มต้น จึงมีการเสนอว่าวิธีนี้สามารถใช้เป็น Milling ได้ เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิสูง
- พบว่าวิธีสกัดสารด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤตสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ จึงมีการเสนอว่าวิธีนี้สามารถใช้ในการ Sterilization สารที่ไม่ทนความร้อน หรือใช้เป็น Preliminary ในการสกัดผลิตภัณฑ์จากเชื้อจุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงไว้

2.4 กระบวนการแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อน (C.N. Satterfield, 1991 and H.H. Schobert, 1991)

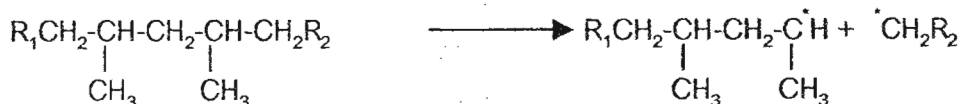
เป็นกระบวนการเปลี่ยนโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ให้มีขนาดของโมเลกุลเล็กลง โดยใช้อุณหภูมิสูง โดยหากควบคุมให้การแตกตัวเป็นไปได้อย่างพอดี จะมีการเลือกเกิดผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม สามารถได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ เนื่องจากการให้ความร้อนจนเกินพอดีจะทำให้การแตกโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กเกินไปจนอยู่ในรูปแก๊ส $C_1 - C_4$ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ และไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนจะมีความว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยเฉพาะส่วนที่มีแขนไฮเลฟินและไดไฮเลฟิน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากันเองต่อไป

กระบวนการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนเป็นปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical) แบบห่วงโซ่ ประกอบด้วยปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นเริ่มต้น (Initiation) คือ เป็นการเกิดอนุมูลอิสระ เกิดจากพันธะคาร์บอนแตกออกจากกัน เกิดเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งจะทำปฏิกิริยาในขั้นต่อไป
2. ขั้นการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องแบบลูกโซ่ (Chain Carrying) เกิดจากอนุมูลอิสระในขั้นเริ่มต้นทำปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง เกิดการเปลี่ยนรูปของไฮโซเมอร์ และแตกเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง พร้อมกับเกิดอนุมูลอิสระตัวใหม่ขึ้น นอกจากนี้อนุมูลอิสระนั้นอาจทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนตัวอื่น เกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ และโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลงต่อเนื่องไปเรื่อยๆ
3. ขั้นหยุดปฏิกิริยา (Termination) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะหยุดปฏิกิริยาต่อเนื่อง โดยจะทำปฏิกิริยากันเอง เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ใหญ่ขึ้น โดยอาจเกิดเป็นโมเลกุลใหม่ โมเลกุลเดี่ยว หรือ เกิดเป็นโมเลกุลย่อย 2 โมเลกุล

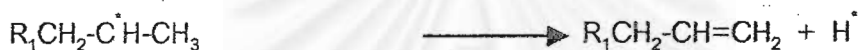
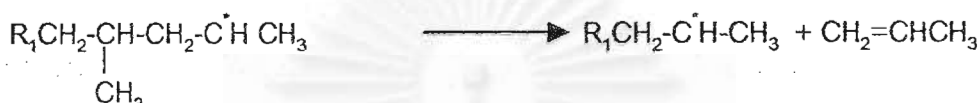
สมการแสดงปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลด้วยความร้อนของพอลิพรอพิลีน

1. Initiation

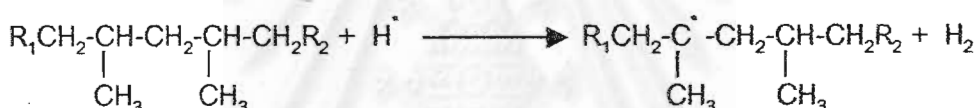


2. Chain Carrying

2.1 Beta Fission



2.2 Chain Transfer



3. Termination



2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shishido, M., Mashiko, T. and Arai, K. (1991) ศึกษาผลของตัวทำละลายร่วม คือ เตตราลีน และ เอทานอล ต่อการสกัดถ่านหินโดยใช้โทลูอีนภาวะเหนือวิกฤติ ในการทดลองใช้ ถ่านหิน จาก 11 แหล่ง และสกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ตัวคือ โทลูอีน, โทลูอีน-เตตราลีน, และ โทลูอีน-เอทานอล จากการทดลองพบว่า การเติมเตตราลีน หรือเอทานอล ลงไปในโทลูอีน ทำให้ ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของถ่านหินทั้ง 11 ชนิดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะเกิดเสถียรภาพของส่วน ที่เป็นอนุมูลอิสระที่เกิดจากการถ่ายโอนไฮโดรเจนจากเตตราลีนไปยังยัง การรวมกันของอนุมูล อิสระกับถ่านหิน และการเสื่อมของสารสกัดได้ ดังนั้นการเติมเตตราลีนจึงช่วยในการเพิ่มร้อยละ

ของการเปลี่ยนแปลง และผลได้ที่เป็นของเหลวของถ่านหิน ส่วนเอทานอลนั้นถึงแม้ว่าจะมีความสามารถในการทำละลายน้อยกว่าโทลูอิน แต่ว่าเอทานอลเข้าไปปะทะกับโครงสร้างของถ่านหิน ซึ่งผลได้ที่เป็นของเหลวที่ถูกผลิตขึ้นจะได้มาจากการปะทะนี้ และยังพบอีกว่าการเติมเอทานอลให้มากขึ้นทำให้ความสามารถในการทำละลายของของผสม โทลูอิน-เอทานอลลดลง ส่วนร้อยละของการเปลี่ยนแปลง และ ผลได้ที่เป็นของเหลวมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดจากนั้นลดลง ตามปริมาณเอทานอลที่เติมลงไป

Taghiei, M.M., Feng, Z., Huggins, F.E. and Huffman, G.P.(1994) ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการนำพลาสติกได้แก่ พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE), พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP), พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Poly ethylene Teraphthalate, PET) และผสมพลาสติกเหล่านี้กับถ่านหินเพื่อแปรรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ภายใต้ภาวะอุณหภูมิ 420 – 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ที่ความดัน 800 ปอนด์/ตารางนิ้ว โดยเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ Iron-based Catalyst และ HZSM-5 Zeolite Catalyst จากการศึกษาพบว่ากระบวนการสังเคราะห์ของเหลวโดยใช้พลาสติกเพียงอย่างเดียว ภายใต้ภาวะอุณหภูมิ 430 – 450 องศาเซลเซียส บนตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 Zeolite ให้ผลผลิตเป็นน้ำมันถึงร้อยละ 80 – 98 และมีร้อยละของการเปลี่ยนแปลงถึงร้อยละ 90 – 100 และเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Iron-based ก็ให้ผลผลิตใกล้เคียงกันเพียงแต่ภาวะที่ใช้จะต้องทำที่อุณหภูมิสูงกว่า สำหรับการทดลองซึ่งผสมถ่านหินกับพลาสติกในอัตราส่วน 1 : 1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 Zeolite และ Iron-based ให้ผลผลิตเป็นน้ำมันสูงร้อยละ 60 – 80 และมีร้อยละของการเปลี่ยนแปลงสูงถึง 90 %

Huffman, G.P., Feng, Z., Huggins, F.E. and Mahajan, V.(1995) ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากพลาสติกเหลือทิ้งและผสมถ่านหินกับพลาสติกเหลือทิ้ง โดยทำการผสมพลาสติกชนิดต่าง ๆ กับถ่านหินซับบิทูมินัสด้วยอัตราส่วน 1 : 1 ในภาวะอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 800ปอนด์/ตารางนิ้ว ที่มีแก๊สไฮโดรเจน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 Zeolite พบว่าการผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับถ่านหินซับบิทูมินัสให้ผลผลิตที่มีร้อยละของการเปลี่ยนแปลงสูงกว่าพอลิเอทิลีนกับถ่านหินซับบิทูมินัสภายใต้ภาวะเดียวกัน การศึกษาผลของตัวทำละลาย 2 ชนิดที่เติมลงไปในกระบวนการทำให้พลาสติกเป็นของเหลวคือเตตราลินและน้ำมันหล่อลื่น พบว่าการเติมตัวทำละลายน้ำมันหล่อลื่นจะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันได้สูงขึ้น ส่วนการทดลองเมื่อเติมตัวทำละลายเตตราลินลงในกระบวนการทำให้พลาสติกเป็นของเหลวโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ พบว่าเมื่อเติมตัวทำละลายเตตราลินลงในกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากถ่านหินและพลาสติกจะให้ของเหลวที่มีร้อยละของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า โดยคณะผู้วิจัยพบว่ากระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา SiAl ให้ผลต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์ได้สูงกว่ากระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 Zeolite

Anderson, L.L., Tuntawiroon, W. and Ding, W.B.(1995) ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากวัสดุเหลือทิ้งจำพวกพลาสติกได้แก่ พอลิเอทิลีน (Polyethylene) พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) พอลิสไตรีน (Polystyrene) และ พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate) ผ่านหินซัลฟิวไรต์ และ ผ่านหินซัลฟิวไรต์ผสมกับพลาสติกเหลือทิ้ง โดยทำการศึกษาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % $TiCl_3$ ที่อุณหภูมิ 400, 420 และ 430 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ให้ค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene) ได้สูงถึงเกือบ 100 % และให้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงกว่า 80 % โดยเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวได้มากขึ้น พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการเปลี่ยนพลาสติกที่มีความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene) อยู่ที่ภาวะอุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 1000 psig โดยมี 5 % $TiCl_3$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่าเมื่อผสมซัลฟิวไรต์กับพลาสติกแล้ว ปริมาณของเหลวที่เกิดขึ้นมีปริมาณลดลง เนื่องจากการแตกตัวของถ่านหินที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่และมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่า การแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กลงจึงทำได้ยากในภาวะที่ไม่รุนแรง โดยในระบบที่ใช้ซัลฟิวไรต์ผสมกับพลาสติกได้เป็นของเหลวได้ถึง 50 % แต่ในระบบที่มีเฉพาะถ่านหินซัลฟิวไรต์เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวน้อยกว่า 50 %

Ding, W.B., Tuntawiroon, W., Liang, J. and Anderson, L.L.(1995) ศึกษาผลจากการเร่งปฏิกิริยาของกระบวนการเติมไฮโดรเจน และกระบวนการแตกตัวโดยไฮโดรเจน (Hydrogenation- hydrocracking) ของกระบวนการร่วมในการทำให้เป็นของเหลวของถ่านหินผสมกับพอลิเอทิลีนและพลาสติกผสม โดยระบบนี้ได้รับความสนใจภายใต้ภาวะที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ที่ความดันภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยมีซิลิกา-อะลูมินา ถูก Impregnate โดยโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น Pt, Ni, Pd และ Fe พบว่าโลหะเหล่านี้ช่วยเพิ่มความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา โดยที่ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์มากกว่าที่ไม่มีโลหะอยู่ด้วย ในส่วนของปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันจะเกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ผิวของโลหะที่ว่องไว สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรแครกกิง จะเกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ผิวที่ว่องไวของซิลิกา-อะลูมินาและพบว่าปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันนั้นจะค่อยๆลดลงเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้ $Ni / Al_2O_3-SiO_2 > Fe / Al_2O_3-SiO_2 > Pd / Al_2O_3-SiO_2$, $Pt / Al_2O_3-SiO_2 > Thermal > Al_2O_3-SiO_2$ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ 2 หน้าที่ ซึ่งได้แก่ $Ni / Al_2O_3-SiO_2$, $Fe / Al_2O_3-SiO_2$ และ $Pd / Ni / Al_2O_3-SiO_2$ ให้ผลดีต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำมัน และร้อยละการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ และพบว่าถึงปฏิกิริยาที่ต่างชนิดกันให้ผลต่างกันอีกด้วย

Ades, H.F. and Subbaswamy, K.R.(1996) ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากพลาสติกพอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน ถ่านหินซัลฟิวไรต์ Black Thunder โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ซีโอไลต์พบว่าเมื่อผสมพอลิพรอพิลีนกับถ่านหินปิโตรมิเนสให้ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวได้สูงกว่าพอลิเอทิลีนผสมกับถ่านหินปิโตรมิเนส แต่ในระบบของพอลิเอทิลีนผสมกับถ่านหินให้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบเป็น Preasphaltene และ Asphaltene ได้สูงกว่า จากการทดลองสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมของกระบวนการสังเคราะห์ของเหลวโดยทราบถึงการศึกษาทางควอนตัมเคมี จากการวิเคราะห์ถึงการแตกตัวของพอลิเมอร์พลาสติกแต่ละชนิด โดยเมื่อมีการเติมโซลิวต์ลงไปจะส่งผลต่อระบบของพอลิเอทิลีนได้มากกว่าพอลิพรอพิลีน โดยทำให้พอลิเอทิลีนมีน้ำหนักสูงขึ้น แต่ทำให้การเคลื่อนที่ของไฮโดรเจนไปยัง Benzylic Cation จากพอลิเมอร์ที่อยู่ห่างไกลพบว่าพอลิพรอพิลีนสามารถเกิดได้ดีกว่าพอลิเอทิลีน

Nakamura, I. and Fujimoto, K.(1996) ศึกษาการแตกตัวเป็นของเหลวของพอลิพรอพิลีนที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนคาร์บอน โดยศึกษาผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก-คาร์บอน (Yallourm-coal-base) และปฏิกิริยาที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าระบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงของพอลิพรอพิลีนไปเป็นของเหลวได้ดีกว่าการไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีร้อยละของการเปลี่ยนแปลงถึงร้อยละ 92 โดยพอลิพรอพิลีนมีกลไกของปฏิกิริยาเป็นแบบการเกิดอนุมูลอิสระ (Free Radical) และหากมีการใช้ CS_2 ร่วมในปฏิกิริยาดังกล่าวจะช่วยให้มีการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนได้ดีโดยพบว่ามีกากของแข็งเหลืออยู่น้อยมาก จากการศึกษาผลของการเพิ่มอุณหภูมิ พบว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณมากขึ้นสัมพันธ์ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยความร้อนที่สูงขึ้นจะช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนให้เป็นอนุมูลอิสระและเกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ต่อเนื่องจนได้สายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่เล็กลงและอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว และเมื่อใช้ CS_2 ร่วมในปฏิกิริยาจะให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์สูงถึง 70 % โดยน้ำหนัก จากการศึกษาอิทธิพลของซัลเฟอร์ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการแตกตัวด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียว(Thermal Cracking) พบว่าการเติม H_2S ทำให้พอลิพรอพิลีนแตกตัวเป็นของเหลวได้ดีกว่าการใช้ CS_2 เนื่องจากสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาในการเปิดโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนและเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนได้ดีกว่า จากการศึกษาผลของการเติมตัวทำละลายบางชนิดลงไปในปฏิกิริยาเช่นเตตราลีนจะช่วยทำให้ปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนเป็นของเหลวได้ดีขึ้นด้วย

Feng, Z., Zhao, J., Rockwell, J., Bailey, D. and Huffman, G.(1996) ศึกษาปฏิกิริยาการทำให้เป็นของเหลวโดยตรงสำหรับพลาสติกเหลือทิ้งจำพวกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและความหนาแน่นปานกลาง พอลิพรอพิลีน และถ่านหินผสมกับพลาสติก พบว่าตัวทำละลาย Waste Oil มีส่วนช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับระบบที่มีการใช้ตัวทำละลายพวกเตตราลีน และพบว่าพอลิพรอพิลีนจะให้ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ส่วนพลาสติกผสมจะให้ผลิตภัณฑ์ที่สูงในช่วงอุณหภูมิสูง 445-460 องศา

เซลเซียส พบว่าปริมาณน้ำมันและผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวทั้งหมดที่ได้จากพอลิเอทิลีน และ พลาสติคผสมนั้นจะลดลงเล็กน้อยเมื่อความดันของไฮโดรเจนลดลงโดยในงานวิจัยนี้ได้นำเอา พลาสติคพอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน และพลาสติคผสมมาใช้ร่วมกับถ่านหินในอัตราส่วน 50 : 50 โดยในการทดลองนี้จะให้ผลดีที่สุดเมื่อมีการเติมตัวทำละลายเตตราลิน หรือ เตตราลินผสม Waste Oil ส่วนในการเติม Waste Oil เพียงอย่างเดียว หรือไม่เติมตัวทำละลายเลยนั้น จะเกิดผลิตภัณฑ์ ต่ำ โดยพบว่าปริมาณน้ำมันและผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นประมาณ 10 % เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM - 5 หรือ $Al_2O_3-SiO_2$ Ferrihydrite ที่อุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส และพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพอลิพรอพิลีนผสมกับถ่านหินจะมากกว่าพอลิเอทิลีนผสมกับถ่านหิน

Dariva, C., Oliviera, J.V., Vale, M.G.R. and Caramao, E.B.(1997) ศึกษาการสกัด ถ่านหินบราซิลเลียนที่มีปริมาณกำมะถันสูงโดยใช้ของไหลภาวะเหนือวิกฤต โดยศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด ความดัน และการเติมน้ำ ที่มีต่อค่าผลได้ของของเหลวและลักษณะของสารที่สกัดได้ และสารที่เหลือจากการสกัดโดยใช้ของไหลภาวะเหนือวิกฤตของถ่านหินบราซิลเลียน การทดลอง ทำในหน่วยทดลองแบบกึ่งกะในช่วงของการเกิดการแตกตัวด้วยความร้อนคือ อุณหภูมิ 598 - 698 เคลวิน ที่ความดันสูงถึง 12.5 เมกะพาสคัล โดยใช้เอทานอลและไอโซโพรพานอลภาวะเหนือวิกฤต เป็นตัวทำละลายช่วงแรก การเพิ่มขึ้นของทั้งอุณหภูมิและความดันมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าผลได้ ของของเหลวสำหรับทั้งการใช้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์และแอลกอฮอล์-น้ำ ถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิและความดันเดียวกันแอลกอฮอล์-น้ำจะให้ค่าผลได้ของของเหลวต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแอลกอฮอล์ บริสุทธิ์ สารที่สกัดได้ถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีลิควิดโครมาโทกราฟี (Liquid Chromatography Method) แบ่งได้เป็น 8 ส่วน ปริมาณสารที่เบาที่สุดในสารที่สกัดได้ลดลงเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ในขณะที่แนวโน้มในทางตรงกันข้ามถูกสังเกตได้เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถ่านหินภายหลังจากสกัดยังคง มีค่าความร้อนอยู่มาก เอทานอลและ ไอโซโพรพานอลถูกนำมาเปรียบเทียบกับกันทั้งในด้านผลได้ของ ของเหลวและความว่องไวในการเกิดแก๊สของถ่านหินที่เหลือ

Ding, W., Liang, J. and Anderson, L.L.(1997) ศึกษาถึงการสังเคราะห์ของเหลวจาก พลาสติคเหลือทิ้งเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ โดยภาวะที่ใช้คือ อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส และ 525 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที และ ศึกษาถึงผลของตัวเร่ง ปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ประกอบด้วย $NiMo/Al_2O_3$, $NiMo/(HZSM-5+SiO-Al_2O_3)$, $Ni/(HZSM-5+SiO-Al_2O_3)$ และ KC-2600 ที่สามารถให้ร้อยละองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสูง และนำ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เมื่อทำการศึกษาค้นคว้าผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ในระบบที่ใช้ตัวเร่ง ปฏิกิริยาสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวได้ดีกว่า และใช้ภาวะที่รุนแรง น้อยกว่า นอกจากนี้เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 20 % wt ของ $NiMo/(HZSM-5+SiO-Al_2O_3)$ และ 20 % wt ของ $Ni/(HZSM-5+SiO-Al_2O_3)$ ในภาวะอุณหภูมิ 375 องศา

เซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 1000 psig เป็นเวลา 60 นาที ให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวถึงร้อยละ 47.9 และ 64.8 ตามลำดับ

Gimouhpoolos, K., Poulia, D. and Ssides, A.V.(1999) ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ของเหลว โดยใช้กระบวนการร่วมระหว่างถ่านหินลิกไนต์และวัสดุเหลือทิ้งจำพวกพลาสติก โดยศึกษาลิทธิพันธ์ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ประกอบด้วย VaN, MoN, NiO และ ZrO รวมถึงการเติมตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น Petroleum Residual, Coal Derived Solvent, Petroleum Residual และ Waste Tire Oil ลงไปในปฏิกิริยาของกระบวนการร่วมนี้ ที่ภาวะอุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนที่ 800 psig เป็นเวลา 60 นาที พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา หรือ การเติมตัวทำละลาย มีส่วนช่วยส่งเสริมให้พลาสติกและลิกไนต์สามารถแตกตัวได้ง่ายขึ้น สามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวได้มากกว่าในระบบที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเมื่อศึกษาถึงอิทธิพลของตัวทำละลายพบว่าปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์ของตัวทำละลายอินทรีย์และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยา ซึ่งตัวทำละลายอินทรีย์ Waste Tire Oil มีความเหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวได้มากที่สุด โดยมีส่วนช่วยส่งเสริมการแตกตัวของลิกไนต์ได้ง่ายขึ้น และช่วยส่งเสริมการแตกตัวของพลาสติกให้มีโมเลกุลขนาดเล็กจนสามารถเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวได้

ฤทัย ลีสุขสันต์(2540) ศึกษาการนำพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วมาสังเคราะห์เป็นของเหลวเพื่อใช้เป็นน้ำมันแก๊สโซลีน ศึกษาปฏิกิริยาแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมของพอลิเอทิลีนใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภท 2 หน้าที่ ได้แก่ Pt/F บนอะลูมินา, Pt/Sn/Cl/Fบนอะลูมินา, Ni/Sn/Cl/Fบนอะลูมินา และ Co/Sn/Si/F บนอะลูมินา เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่ให้อัตราของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวได้ดีที่สุดถึงร้อยละ 94.8 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว 40 % โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดัน 600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

สมสุข ไตรศุกกิตติ(2540) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพอลิเอทิลีนไปเป็นแก๊สโซลีนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีน ประกอบด้วย อุณหภูมิระหว่าง 400 - 480 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 10 - 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 - 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ HZSM-5, ซิลิกาบนอะลูมินา และ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสัดส่วนโมลของซิลิกาต่ออะลูมินาบนซีโอไลต์ HZSM-5 ต่าง ๆ กัน โดยทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก พบว่าเมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยการหาค่าการกระจายตัวตามคาบจุดเดือด พบว่าภาวะที่ให้อัตราผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ดีที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 45 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ซีโอไลต์ที่มีสัดส่วนโมลของซิลิกาต่ออะลูมินา ($Si/Al = 44$) จะให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวถึง 69.20 % และค่าการกระจายตัวเป็นผลิตภัณฑ์โดยเป็นแนฟทาถึงร้อยละ 43.60 %

ธารินี กิตติเรืองทอง(2543) ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากลิกไนต์โดยใช้กระบวนการร่วมของพอลิพรอพิลีนกับลิกไนต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งได้ศึกษาอิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของเหล็กเป็น 1 % 5 % 10 % และไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิระหว่าง 380 - 440 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน 27 - 75 บาร์ ใช้เวลาในการทดลอง 15 - 90 นาที และผลของสัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนและลิกไนต์ โดยทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กระดับห้องปฏิบัติการ ภาวะที่มีแนวโน้มที่ดีที่สุดในการให้ปริมาณของเหลวสูงสุดคือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนต่อลิกไนต์เป็น 4 ต่อ 1 ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน เริ่มต้น 62 บาร์ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที โดยให้ปริมาณของเหลว 53.36 % แก๊ส 18.89 % และกากของแข็ง 27.75 % โดยน้ำหนัก จากการวิเคราะห์โดยเครื่องวิเคราะห์ Simulated Distillation Gas Chromatography พบว่าแนวโน้มที่ดีที่สุดในการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์จำพวกแนฟทาและคีโรซีนได้สูงที่สุด คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีนต่อลิกไนต์เป็น 4 ต่อ 1 ที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจนเริ่มต้น 62 บาร์ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที โดยที่น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา และเปอร์เซ็นต์ของเหล็กบนถ่านกัมมันต์ให้ผลของการกระจายตัวเป็นผลิตภัณฑ์ค่าใกล้เคียงกัน โดยให้ผลของการกระจายตัวเป็นผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย แนฟทา 35.6 % คีโรซีน 7.41 % แก๊ส 28.95 %

วิษชากร จารุศิริ(2544) ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ของเหลวจากพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์ในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อร้อยละของผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบของเหลวที่ดีที่สุดประกอบด้วยสัดส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนต่อแอนทราไซต์ตั้งแต่ 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 % จากการทดลองพบว่า ภาวะที่เหมาะสมต่อการทดลองคือ อัตราส่วนของพอลิพรอพิลีนต่อแอนทราไซต์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 น้ำหนักรวม 20 กรัม อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 50 บาร์ เป็นเวลา 60 นาทีใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันสูงสุดถึงร้อยละ 59.40 โดยน้ำหนัก

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้จากการทดลองโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Simulated Distillation Gas Chromatography) พบว่าภาวะที่ส่งผลต่อการเกิดปริมาณแนฟทา

ได้มากที่สุดคือ ที่อัตราส่วนของพอลิพรอพิลีนต่อแอนทราไซด์เป็น 0.8 ต่อ 0.2 น้ำหนักรวม 20 กรัม อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความดันแก๊สไฮโดรเจน 40 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % เหล็กบนถ่านกัมมันต์ ผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มีปริมาณร้อยละของแนฟทา 32.07 % คีโรซีน 7.48 % น้ำมันก๊าด 8.82 % และโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว 5.08 %



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

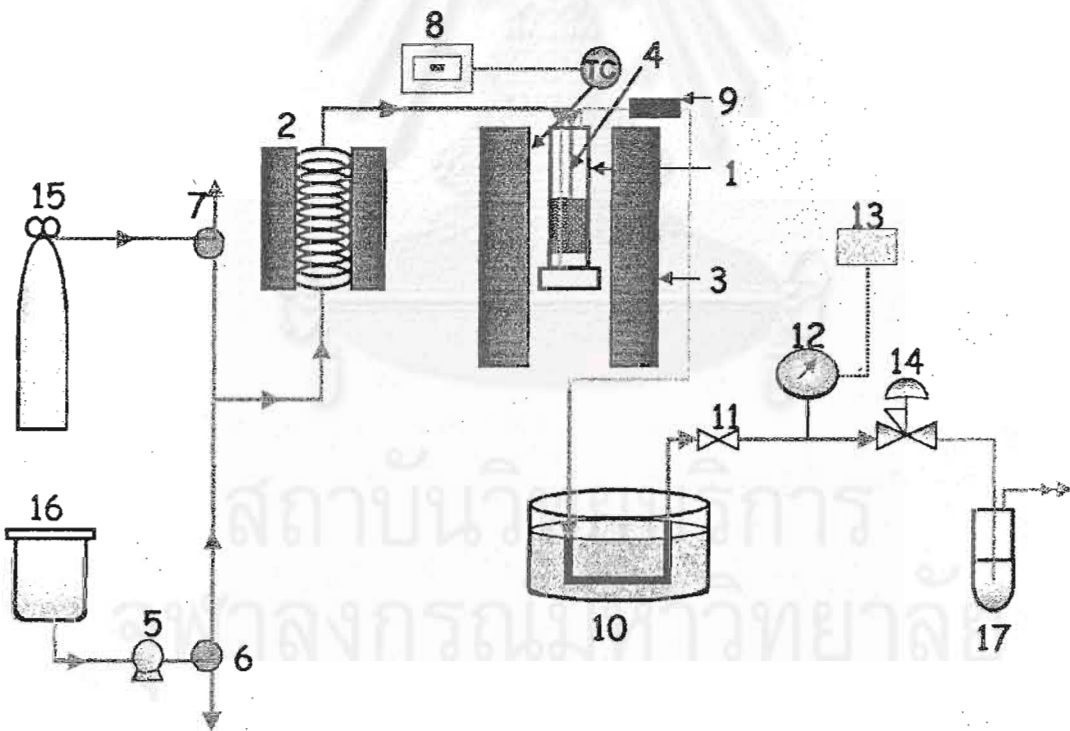
บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ของเหลวจากลิกไนต์ โดยเป็นกระบวนการร่วมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับลิกไนต์ด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤต และทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้เพื่อหาภาวะของการทดลองที่ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเหลว และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด

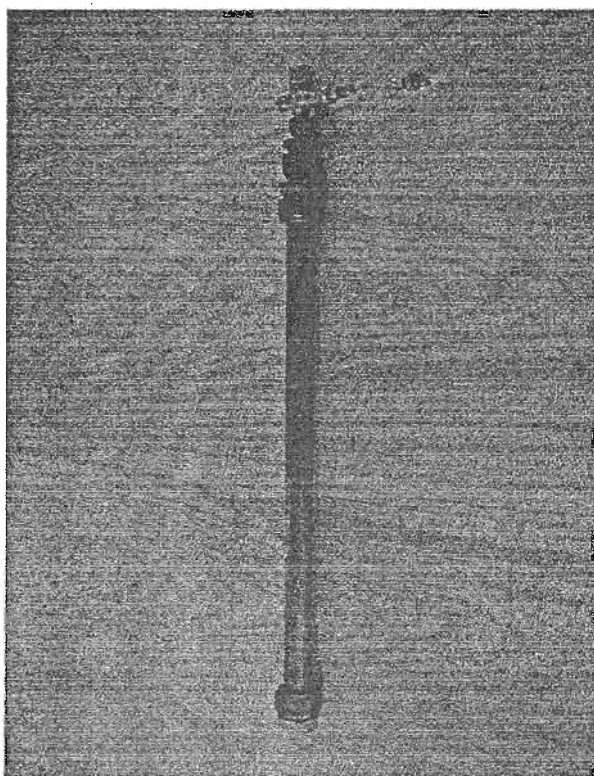
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

ก. ชุดเครื่องปฏิกรณ์กึ่งต่อเนื่อง



รูปที่ 3.1 แผนผังชุดเครื่องปฏิกรณ์กึ่งต่อเนื่อง

1. เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กรูปทรงกระบอก ปริมาตร 78 มิลลิลิตร ทำจากเหล็กกล้าเหนียวไร้สนิม SS 316 ตามมาตรฐาน ASTM A269 โดยด้านบนมีชุดสำหรับใส่เทอร์โมคัปเปิล สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างทำการทดลองทำจากเหล็กกล้าเหนียวไร้สนิมอย่างดีและมีท่อ 1/16 นิ้ว ต่อเข้ามาภายในเครื่องปฏิกรณ์เพื่อป้องกันตัวทำละลายให้ทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นตามรูปที่ 3.2 สามารถทำการทดลองภายใต้ภาวะที่ทนความร้อนได้ถึง 600 องศาเซลเซียส และความดัน 12.2 เมกะพาสคัล



รูปที่ 3.2 เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็กขนาด 78 มิลลิลิตร

2. เครื่องให้ความร้อนเพื่ออุ่นตัวทำละลายให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ (Preheater)
3. เตาเผาแบบท่อ (Tubular Furnace) ของ Carbolite
4. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1/16 นิ้ว
5. ปั๊มแรงดันสูง (High Pressure Liquid Chromatography Pump) รุ่น PU-1580 ของ JASCO อัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อนาที
6. วาล์ว 3 ทาง (3-way Ball Valve) ขนาด 1/8 นิ้ว
7. วาล์ว 3 ทาง (3-way Ball Valve) ขนาด 1/8 นิ้ว
8. เครื่องแสดงอุณหภูมิ (Temperature Indicator) รุ่น SD 10 ของ Shimaden
9. ตัวกรอง (Filter) ของ Swagelok (Inline Filter ; F-series) ความละเอียดไส้กรอง 0.5

ไมโครเมตร

10. อ่างหล่อเย็น (Cooling Bath) โดยใช้ น้ำ เป็นสารหล่อเย็น
11. บอลวาล์ว (Ball Valve) ขนาด 1/4 นิ้ว
12. เครื่องวัดความดัน (Pressure Transducer)
13. เครื่องแสดงความดัน (Pressure Indicator) รุ่น 1000 ของ Love
14. วาล์วควบคุมความดัน (Back Pressure Regulator) ของ Tescom
15. แก๊สไนโตรเจน
16. ตัวทำละลาย (โทลูอีน-เตตราลินและโทลูอีน-เอทานอล)
17. ขวดเก็บผลิตภัณฑ์ของเหลว

ข. เครื่องบดถ่านหินพร้อมชุดอุปกรณ์รองรับ

- Hammer Mill เป็นเครื่องบดชนิดหยาบ เนื่องจากตัวอย่างถ่านหินที่นำมาจากเหมืองมีขนาดค่อนข้างใหญ่ จึงต้องบดอย่างหยาบให้มีขนาดเล็กลงเพื่อนำไปเข้าเครื่องบดชนิดอื่นต่อไปได้
- Cross Beater Mill ประกอบด้วยตะแกรงขนาดต่างๆ ได้แก่ 1.0, 0.75, และ 0.25 มิลลิเมตร และสามารถเปลี่ยนขนาด เพื่อบดถ่านหินให้มีขนาดเล็กตามต้องการ
- Ball Mill เป็นเครื่องบดชนิดละเอียด

ค. ตะแกรงร่อนถ่านหิน และเครื่องร่อนแยก ตะแกรงที่ใช้มีขนาดต่างๆ ได้แก่

- 250 ไมโครเมตร (เบอร์ 60)
- 1 มิลลิเมตร (เบอร์ 18)
- 2 มิลลิเมตร (เบอร์ 10)

3.2 สารตั้งต้นและสารเคมี

1. ลิกไนต์ ขนาด 1-2 มิลลิเมตร จากบริษัทบ้านปู จำกัด
2. พอลิพรอพิลีน ขนาดโดยประมาณ 2-3 มิลลิเมตร (หมายเลข HME 6331) จากบริษัท อุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัด (มหาชน)
3. แก๊สไนโตรเจน 99.5 % บรรจุในถังเก็บแบบ High Pressure ขนาด 6 ลูกบาศก์เมตร จากบริษัท Prax Air
4. โทลูอีน 95.0 %

5. เติตราลิน 99.5 %
6. เมทานอล 95.0 %
7. ซิลิกาเจล
8. เพนเทน
9. เฮกเซน
10. โซเดียมซัลเฟต
11. เบนซีน
12. เมทานอล
13. ไดคลอโรมีเทน

3.3 วิธีการศึกษา

1. การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบแฟกทอเรียล โดยแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ และทำการทดลองครบทุกการทดลอง ตัวแปรที่ทำการศึกษามี 3 ตัวแปร คือ อุณหภูมิ, ความดัน, อัตราส่วนถ่านหินต่อพอลิพรอพิลีน

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา

| ตัวแปร | ต่ำ | สูง |
|------------------------------------|-----|-----|
| 1. อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส | 400 | 450 |
| 2. ความดัน, เมกะพาสคัล | 5 | 10 |
| 3. อัตราส่วนถ่านหินต่อพอลิพรอพิลีน | 6:4 | 9:1 |

เนื่องจากตัวแปรที่ศึกษามี 3 ตัวแปร และแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมดคือ 2^3 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ข้อมูลการทดลองที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป เพื่อดูอิทธิพลของตัวแปรแต่ละตัว ในช่วงที่ทำการศึกษาวว่าตัวแปรใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อร้อยละของการเปลี่ยนแปลงและร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้

ตารางที่ 3.2 จำนวนการทดลองทั้งหมดที่ต้องทำการทดลอง

| การทดลองที่ | อุณหภูมิ องศาเซลเซียส | ความดัน เมกะพาสคัล | อัตราส่วนถ่านหินต่อ พอลิพรอพิลีน |
|-------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| 1. | 400 | 5 | 9:1 |
| 2. | 400 | 10 | 9:1 |
| 3. | 450 | 5 | 9:1 |
| 4. | 400 | 5 | 6:4 |
| 5. | 450 | 10 | 9:1 |
| 6. | 400 | 10 | 6:4 |
| 7. | 450 | 5 | 6:4 |
| 8. | 450 | 10 | 6:4 |

2. การเตรียมตัวอย่างถ่านหินเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมบัติเริ่มต้นและใช้ในการทดลอง
 - 2.1 ตากถ่านหินทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อไล่ความชื้นอิสระจนน้ำหนักคงที่
 - 2.2 บดถ่านหินให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องบด Hammer Mill
 - 2.3 นำตัวอย่างจากข้อ 2.2 มาบดต่อด้วยเครื่อง Cross Beater Mill สามารถเปลี่ยนขนาดตะแกรงได้ตามต้องการ
 - 2.4 นำตัวอย่างที่บดแล้วไปร่อนแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อนแยกขนาดและเครื่องร่อนแยก
 - 2.5 ตากถ่านหินจนมีความชื้นสมดุลกับอากาศประมาณ 3 วัน
 - 2.6 สำหรับถ่านหินที่จะนำไปวิเคราะห์สมบัติเริ่มต้น ต้องบดละเอียดด้วยเครื่อง Ball Mill แล้วนำมาผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 60 (250 ไมโครเมตร) ให้ผ่านได้ทั้งหมดและนำตัวอย่างไปเก็บในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด
3. วิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของลิกไนต์และพอลิพรอพิลีน ตาม ASTM D 3173 - 3175
 - ความชื้น (Moisture)
 - เถ้า (Ash)
 - สารระเหย (Volatile)
 - ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)
4. วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของลิกไนต์และพอลิพรอพิลีน ได้แก่ คาร์บอน, ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน, ออกซิเจน และซัลเฟอร์ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNS/O Analyser (Perkin Elmer PE2400 series II)

5. ศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการแปรรูปร่วมระหว่างลิกไนต์กับพอลิพรอพิลีน
- ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนัก (กรัม) ของลิกไนต์ และพอลิพรอพิลีน ดังนี้ 6:4 และ 9:1
 - ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปฏิกิริยา ดังนี้ 400 และ 450 องศาเซลเซียส
 - ศึกษาผลของความดันที่มีผลต่อปฏิกิริยา ดังนี้ 5 และ 10 เมกะพาสคัล
 - ศึกษาผลของตัวทำละลายที่ใช้ ดังนี้ โทลูอีน - เตตราลีน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)
โทลูอีน - เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร)
โดยทำการทดลอง Blank Test ด้วยตัวทำละลายโทลูอีน ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 และทำการทดลอง Blank Test โดยใช้อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 10:0 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล
6. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้แบ่งการวิเคราะห์เป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย
- วิเคราะห์หาปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการแปรรูปร่วม
 - วิเคราะห์หาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้โดยใช้วิธีของ SARA (P. Jokuty et al., 2000) เพื่อแยกผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ออกเป็น สารประกอบไฮโดรคาร์บอน อิมัตว สารประกอบแอโรแมติกส์ เรซิน และ แอสฟัลทีน
 - วิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิมัตวและสารประกอบแอโรแมติกส์ด้วย GC/MS
7. ขั้นตอนและวิธีการทดลอง
- ก. การเตรียมวัตถุดิบและสารตั้งต้น
- ลิกไนต์ นำไปร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาด 1 – 2 มิลลิเมตร แล้วอบในตู้อบแบบ Dry Oven ที่มีอุณหภูมิประมาณ 105 – 110 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่แล้วนำไปเก็บในเดสิคเคเตอร์ เพื่อเตรียมไว้ใช้ในการทดลองต่อไป
- พอลิพรอพิลีน นำไปอบในตู้อบแบบ Dry Oven ที่มีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่แล้วนำไปเก็บในเดสิคเคเตอร์ เพื่อเตรียมไว้ใช้ในการทดลองต่อไป
- โทลูอีน - เตตราลีน เตรียมตัวทำละลายร่วมโทลูอีนและเตตราลีนโดยให้มีอัตราส่วน 70 ต่อ 30 โดยปริมาตร

โกลูอิน - เอทานอล เตรียมตัวทำละลายร่วมโกลูอินและเอทานอลโดยให้มีอัตรา

ส่วน 90 ต่อ 10 โดยปริมาตร

ข. ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งลิกไนต์และพอลิพรอพิลีนที่อบไล่ความชื้นแล้วตามสัดส่วนที่กำหนด ให้มีน้ำหนักรวมกัน 8 กรัม ใส่ตะแกรงปิดด้านหนึ่งทำด้วยสแตนเลสเพื่อพองถ่านหินและพอลิพรอพิลีน
2. นำสารตั้งต้นใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก แล้วปิดฝาให้เรียบร้อย
3. ชั่งน้ำหนักเครื่องปฏิกรณ์ทั้งหมดก่อนเริ่มทำการทดลอง
4. นำจนวนสอดลงด้านล่างของเตาให้ความร้อนหลักให้ได้ระยะที่เครื่องปฏิกรณ์อยู่บริเวณกึ่งกลางเตापอดี จากนั้นใส่เครื่องปฏิกรณ์ลงในเตาให้ความร้อน
5. ใส่เทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์
6. ใส่ตัวกรองขนาด 0.5 ไมครอนเพื่อกรองส่วนของแข็งที่อาจหลุดมากับผลิตภัณฑ์ของเหลว
7. นำเครื่องปฏิกรณ์ไปทำการไล่อากาศที่อยู่ภายในออกโดยผ่านแก๊สไนโตรเจนเข้าไปอย่างช้า ๆ แล้วทำการอัดแก๊สไนโตรเจนจนได้ความดันที่กำหนด โดยสังเกตความดันจาก Pressure Indicator ทำการตรวจสอบรอยรั่วของเครื่องปฏิกรณ์โดยใช้สารทดสอบรอยรั่ว(Snoop) ทดสอบตามข้อต่อต่างๆของเครื่องปฏิกรณ์ หากปรากฏว่าไม่มีการรั่วของแก๊สไนโตรเจนแล้ว จึงเริ่มทำการทดลอง
8. ปรับความดันรวมภายในระบบ โดยปรับความดันของแก๊สไนโตรเจนที่เข้าไปในระบบและปรับวาล์วควบคุมความดันให้ได้ความดันในระบบตามต้องการ
9. เปิดเตาเผาและตั้งอุณหภูมิ ให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน
10. เปิดปั๊มแรงดันสูง ตั้งอัตราการไหลของสารละลาย 2.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปรับวาล์ว 3 ทางให้แก๊สไนโตรเจนไหลออกจากระบบ และให้ตัวทำละลายไหลเข้าไปแทนที่แก๊สไนโตรเจนภายในระบบ
11. เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ถึงอุณหภูมิที่ต้องการและมีของเหลวหยดแรกออกมาจากระบบ

12. ในระหว่างทำการทดลองบันทึกค่าอุณหภูมิภายในระบบ อุณหภูมิของผิวเตา ความดันของระบบ ความดันจากปั๊มแรงดันสูง และน้ำหนักของตัวทำละลายที่ใช้
13. เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้วจึงปิดปั๊ม ปิดเตาเผา และลดความดัน หลังจากนั้นจึงเปิดแก๊สไนโตรเจนเพื่อไล่ของเหลวที่ค้างอยู่ในระบบออกจนหมด
14. ชั่งน้ำหนักรวมของถ่านหิน พอลิพรอพิลีนและเครื่องปฏิกรณ์ทั้งหมดหลังจากเกิดปฏิกิริยา บันทึกผล
15. คำนวณหาร้อยละการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นและปริมาณตัวทำละลายที่ใช้
16. นำผลิตภัณฑ์ของเหลวไปทำการระเหยเอาตัวทำละลายออกด้วยวิธี Rotary Evaporation
17. คำนวณหาร้อยละการเปลี่ยนแปลงไปเป็นของเหลวของสารตั้งต้น
18. วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ระเหยเอาตัวทำละลายออกแล้วด้วยวิธีของ SARA เพื่อแยกผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ออกเป็น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว สารประกอบแอโรแมติกส์ เรซิน และ แอสฟัลทีน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการศึกษากระบวนการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤตได้ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการแปรรูปร่วมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลแต่ละตัวแปรที่ศึกษามี 2 ระดับและทำการทดลองครบทุกการทดลอง (Montgomery, 1976) เพื่อศึกษาว่าตัวแปรใดบ้างในช่วงที่ทำการศึกษามีผลต่อ ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว จากนั้นจะศึกษาค่าการกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอน และองค์ประกอบทางเคมี โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ ความดัน อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน และชนิดตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤต โดยใช้ตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลิน(ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤต และตัวทำละลายโทลูอีน - เอทานอล(ร้อยละ 10 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤต เนื่องจากพบว่าการเติมเตตราลินหรือเอทานอลลงไปในโทลูอีน ทำให้ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเพิ่มขึ้น (Shishido et al., 1991)

4.1 สมบัติของสารตั้งต้น

4.1.1 สมบัติเบื้องต้นของถ่านหิน

ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านหิน

| การวิเคราะห์แบบประมาณ (dry basis) | ถ่านหิน |
|--|---------|
| ปริมาณเถ้า (Ash) | 8.04 |
| ปริมาณสารระเหยได้ (Volatile Matter) | 47.31 |
| ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) | 44.65 |

4.1.2 องค์ประกอบธาตุของพอลิพรอพิลีนและถ่านหิน

ทำการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) เจาะธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNS/O Analyser (Perkin Elmer PE2400 series II) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของพอลิพรอพิลีนและถ่านหิน

| การวิเคราะห์องค์ | | |
|------------------------------|--------------|---------|
| ประกอบธาตุ (dry ash free) | พอลิพรอพิลีน | ถ่านหิน |
| C | 85.57 | 72.97 |
| H | 14.43 | 5.72 |
| N | 0.00 | 0.93 |
| O | 0.00 | 18.45 |
| S | 0.00 | 1.93 |
| Gross Calorific Value, MJ/kg | | 24.49 |

จากตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติการวิเคราะห์เบื้องต้นของถ่านหินที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในงานวิจัยนี้มีปริมาณคาร์บอนคงตัว 44.65 % และมีปริมาณสารระเหยได้สูงถึง 47.31 % ส่วนการวิเคราะห์หาองค์ประกอบธาตุของพอลิพรอพิลีน แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าพอลิพรอพิลีนมีองค์ประกอบเป็นคาร์บอนและไฮโดรเจนเท่านั้น เมื่อเทียบองค์ประกอบระหว่างพอลิพรอพิลีนและถ่านหินพบว่าถ่านหินมีองค์ประกอบที่เป็นคาร์บอนและไฮโดรเจนน้อยกว่า แต่มีไนโตรเจนและกำมะถันสูงกว่าเล็กน้อย รวมถึงการมีออกซิเจนที่มีอยู่มากถึง 18.45 % ซึ่งเป็นข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดระหว่างพลาสติกและถ่านหินทั่วไป

4.1.3 การแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีนภาวะเหนือวิกฤต

การแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีนภาวะเหนือวิกฤตแสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อใช้ตัวทำละลายโทลูอีนเปรียบเทียบกับตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลิน(ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล

อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 พบว่าให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 81 และให้ค่าร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเพิ่มขึ้นจาก 48 เป็น 65 ส่วนตัวทำละลายไฮลูอินเปรียบเทียบกับตัวทำละลายไฮลูอิน-เอทานอล(ร้อยละ 10 โดยปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 พบว่าให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนเพิ่มขึ้นจาก 60 เป็น 64 และให้ค่าร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเพิ่มขึ้นจาก 48 เป็น 52 ซึ่งจากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shishido, M., Mashiko, T. and Arai, K.(1991) จึงเลือกใช้ตัวทำละลายไฮลูอิน-เตตราลิน(ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)และตัวทำละลายไฮลูอิน-เอทานอล(ร้อยละ 10 โดยปริมาตร)เป็นตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤตในงานวิจัยนี้

4.1.4 การแปรรูปพร้อมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤตเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิพรอพิลีน

การแปรรูปพร้อมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤตเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิพรอพิลีนแสดงในตารางที่ 4.3 สำหรับตัวทำละลายไฮลูอิน-เตตราลิน(ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 10:0 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล เปรียบเทียบกับอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 ที่ภาวะเดียวกัน พบว่าให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนเพิ่มขึ้นจาก 65 เป็น 81 และให้ค่าร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเพิ่มขึ้นจาก 44 เป็น 65 ส่วนตัวทำละลายไฮลูอิน-เอทานอล(ร้อยละ 10 โดยปริมาตร) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 10:0 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล เปรียบเทียบกับอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 ที่ภาวะเดียวกัน พบว่าให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนเพิ่มขึ้นจาก 43 เป็น 64 และให้ค่าร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเพิ่มขึ้นจาก 29 เป็น 52 จึงใช้พอลิพรอพิลีนในกระบวนการแปรรูปพร้อมและพบว่าปริมาณพอลิพรอพิลีนที่ใส่ได้มากที่สุดคือ ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก(Coal:PP=6:4)ซึ่งเป็นข้อจำกัดของเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้

ตารางที่ 4.3 การแปรปรูร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวเมื่อใช้โทลูอีนและอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 10:0 เป็นการทดลองเปรียบเทียบ

| การทดลอง | ตัวแปร | | | ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน | ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว | ร้อยละตัวทำละลายน้ำหนัก |
|--------------------------|-------------------------|----------------------|--|--|-----------------------------|-------------------------|
| | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ความดัน (เมกะพาสคัล) | อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน | | | |
| โทลูอีน (100:0) | 450 | 10 | 6 : 4 | 60 | 48 | 95 |
| โทลูอีน-เตตราลีน (70:30) | 450 | 10 | 6 : 4 | 81 | 65 | 94 |
| โทลูอีน-เอทานอล (90:10) | 450 | 10 | 6 : 4 | 64 | 52 | 90 |
| โทลูอีน-เตตราลีน (70:30) | 450 | 10 | 10 : 0 | 65 | 44 | 95 |
| โทลูอีน-เอทานอล (90:10) | 450 | 10 | 10 : 0 | 43 | 29 | 89 |

4.2 ผลของตัวแปรต่างๆต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤต

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและหาภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดผลิตภัณฑ์ของเหลวจากกระบวนการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤตในภาวะของตัวแปรต่าง ๆ กัน ซึ่งจากงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกันกับงานวิจัยนี้ พบว่าภาวะที่ดีที่สุดในการเชิงปริมาณมีความแตกต่างกับภาวะที่ดีที่สุดในการเชิงคุณภาพ งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาภาวะที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากกระบวนการแปรรูปร่วมทั้งในเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ โดยสามารถหาร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว และร้อยละตัวทำละลายนำกลับ แล้วนำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ระเหยเอาตัวทำละลายออกแล้วไปทำการวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ของเหลวโดยแยกออกเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว สารประกอบแอมโมเนีย เรซิน และแอสฟัลทีน ด้วยวิธีของ SARA (P. Jokuty et al., 2000) แล้วนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและสารประกอบแอมโมเนียไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่อโดยใช้เครื่อง GC/MS

4.2.1 ผลของตัวแปรต่าง ๆ ต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน

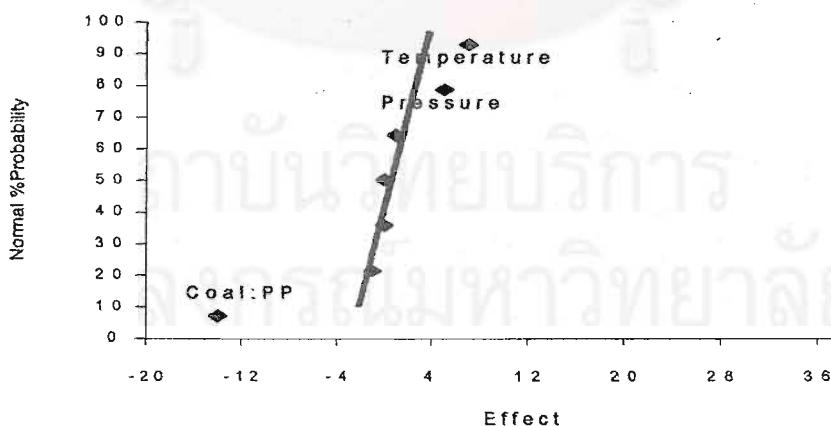
สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยโทลูอีน - เติตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตซึ่งทดลองแบบแฟกทอเรียลพบว่าผลของตัวแปรหลักและผลของปฏิริยาสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว และร้อยละตัวทำละลายนำกลับแสดงในตารางที่ 4.4ก ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนช่วง 54 - 81 ขึ้นกับอุณหภูมิ ความดัน และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนซึ่งตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากแนวเส้นตรงเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญ ดังนั้นจากรูปที่ 4.1ก แสดงว่าตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนมากที่สุดคืออัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน อุณหภูมิ และความดันตามลำดับ การเพิ่มอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน อุณหภูมิ และความดันในช่วงที่ศึกษาทำให้โมเลกุลที่ซับซ้อนของถ่านหินเกิดการแตกตัวออกเป็นโมเลกุลที่เล็กลงได้มากขึ้นและเกิดเสถียรภาพของอนุมูลอิสระจากโมเลกุลของถ่านหินจากไฮโดรเจน ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนจึงมากขึ้น ภาวะที่ดีที่สุดคืออัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10

เมกะพาสคัล(การทดลองที่ 8)ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนสูงสุดคือ 81 และค่าร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดคือ 65

สำหรับการแปรปรูปรวมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยโทลูอีน - เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤตซึ่งทดลองแบบแฟกทอเรียลพบว่าผลของตัวแปรหลักและผลของปฏิกริยาสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว และร้อยละตัวทำละลายนำกลับแสดงในตารางที่ 4.4ข ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนช่วง 39 - 66 ขึ้นกับความดัน และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนซึ่งตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากแนวเส้นตรงเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญ ดังนั้นจากรูปที่ 4.1ข แสดงว่าตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนมากที่สุดคืออัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน และความดันตามลำดับ ภาวะที่ดีที่สุดคืออัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล(การทดลองที่ 8)ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน 64 และค่าร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดคือ

ตารางที่ 4.4ก ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว แบบไม่รวมความชื้นและร้อยละตัวทำละลายนำกลับ สำหรับการแปรปรูร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤต

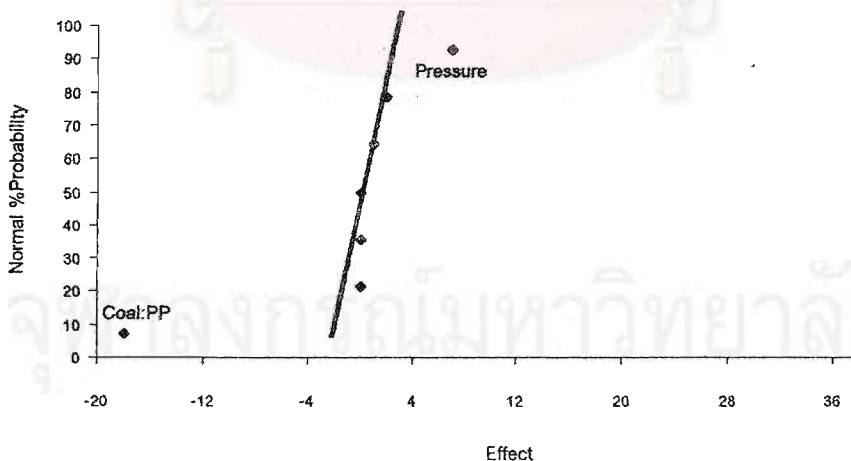
| การทดลอง | ตัวแปร | | | ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน | ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว | ร้อยละตัวทำละลายนำกลับ |
|----------|-------------------------|----------------------|--|--|-----------------------------|------------------------|
| | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ความดัน (เมกะพาสคัล) | อัตราส่วนระหว่างถ่านหินและพอลิพรอพิลีน | | | |
| 1 | 400 | 5 | 9 : 1 | 54 | 43 | 89 |
| 2 | 400 | 10 | 9 : 1 | 61 | 47 | 95 |
| 3 | 450 | 5 | 9 : 1 | 62 | 45 | 89 |
| 4 | 400 | 5 | 6 : 4 | 70 | 53 | 90 |
| 5 | 450 | 10 | 9 : 1 | 67 | 50 | 91 |
| 6 | 400 | 10 | 6 : 4 | 73 | 58 | 94 |
| 7 | 450 | 5 | 6 : 4 | 76 | 55 | 90 |
| 8 | 450 | 10 | 6 : 4 | 81 | 65 | 94 |



รูปที่ 4.1ก Normal Probability Plot ของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนสำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤต

ตารางที่ 4.4x ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว แบบไม่รวมความชื้นและร้อยละตัวทำละลายน้ำกลับ สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน – เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤต

| การทดลอง | ตัวแปร | | | ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน | ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว | ร้อยละตัวทำละลายน้ำกลับ |
|----------|-------------------------|----------------------|--|--|-----------------------------|-------------------------|
| | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ความดัน (เมกะพาสคัล) | อัตราส่วนระหว่างถ่านหินและพอลิพรอพิลีน | | | |
| 1 | 400 | 5 | 9 : 1 | 39 | 32 | 90 |
| 2 | 400 | 10 | 9 : 1 | 47 | 38 | 88 |
| 3 | 450 | 5 | 9 : 1 | 41 | 25 | 94 |
| 4 | 400 | 5 | 6 : 4 | 60 | 38 | 97 |
| 5 | 450 | 10 | 9 : 1 | 49 | 36 | 89 |
| 6 | 400 | 10 | 6 : 4 | 66 | 50 | 90 |
| 7 | 450 | 5 | 6 : 4 | 58 | 26 | 92 |
| 8 | 450 | 10 | 6 : 4 | 64 | 52 | 90 |

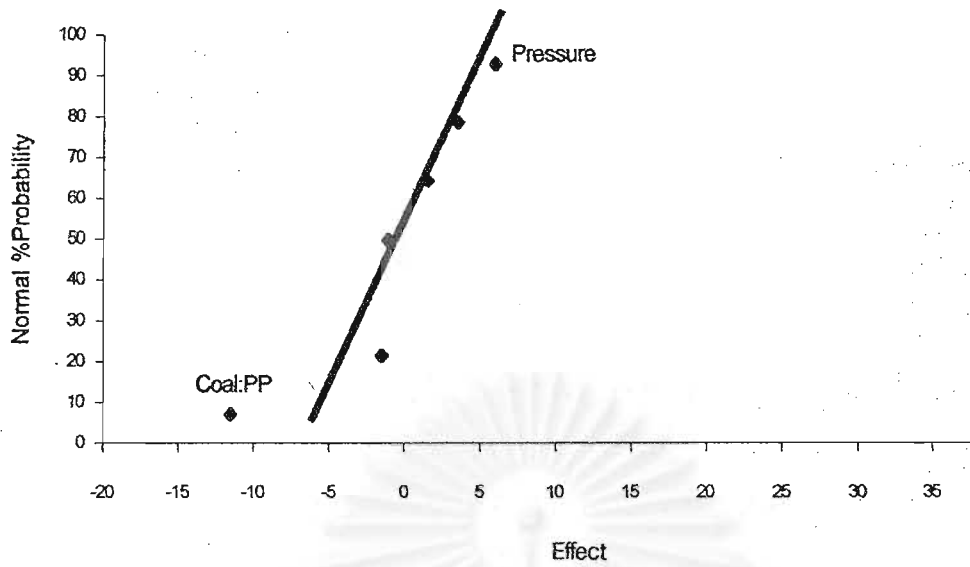


รูปที่ 4.1x Normal Probability Plot ของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนสำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลายโทลูอีน – เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤต

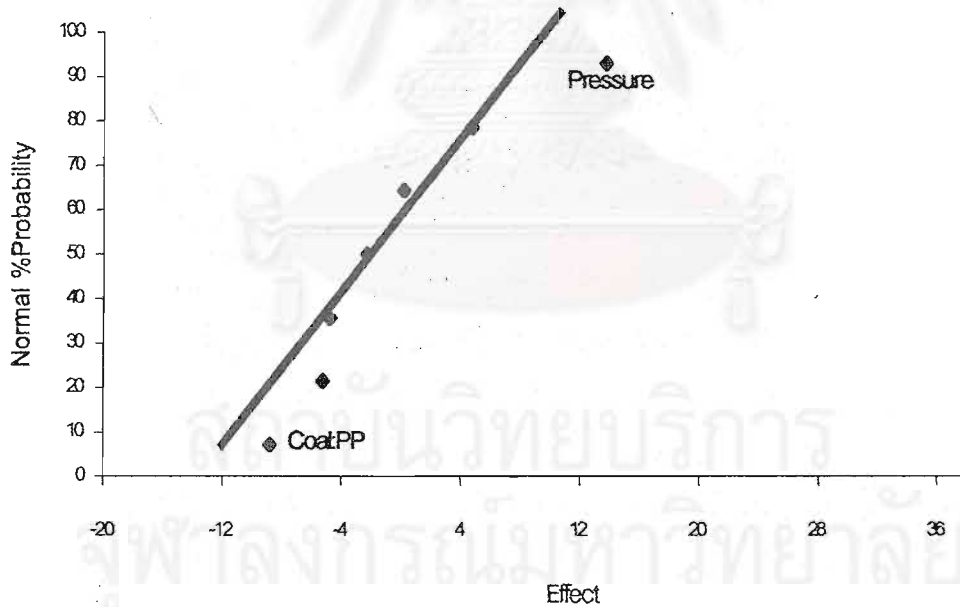
4.2.2 ผลของตัวแปรต่าง ๆ ต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว

สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลาย ไทลูอิน - เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตซึ่งทดลองแบบแฟกทอเรียลพบว่าผลของตัวแปรหลักและผลของปฏิริยาสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวแสดงไว้ในรูปที่ 4.2ก ซึ่งตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากแนวเส้นตรงเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญ ดังนั้นตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากที่สุดคืออัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนและความดันตามลำดับ พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนมีผลทำให้ผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของพอลิพรอพิลีนมีหมู่เมทิลเกาะอยู่บนสายโซ่หลัก ทำให้มีโครงสร้างแบบหลวม ๆ มีโอกาสที่จะแตกตัวเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กได้ง่าย นอกจากนี้การแตกตัวของพอลิพรอพิลีนยังสามารถให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระจากโมเลกุลของถ่านหินได้ ปริมาณของเหลวที่ได้จึงสูงขึ้น (Gimouhpoolos et al., 1999) ส่วนความดันทำให้ผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลจากความหนาแน่นของตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤตมีค่าสูงขึ้น ค่าการละลายของตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤตจึงมีค่าสูงขึ้น ทำให้มีความสามารถในการสกัดสารไฮโดรคาร์บอนมากขึ้นปริมาณของเหลวที่ได้จึงสูงขึ้น (Dariva et al., 1997) ดังนั้นภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยไทลูอิน - เตตราลินภาวะเหนือวิกฤตคือ อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล (การทดลองที่ 8) ให้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดคือ 65

สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลาย ไทลูอิน - เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตซึ่งทดลองแบบแฟกทอเรียลพบว่าผลของตัวแปรหลักและผลของปฏิริยาสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวแสดงไว้ในรูปที่ 4.2ข ซึ่งตัวแปรที่เบี่ยงเบนออกจากแนวเส้นตรงเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญ ดังนั้นตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากที่สุดคือความดัน และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนตามลำดับ เหตุผลเหมือนการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลาย ไทลูอิน - เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤต ดังนั้นภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยไทลูอิน - เอทานอลภาวะเหนือวิกฤตคือ อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล (การทดลองที่ 8) ให้ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดคือ 52



รูปที่ 4.2ก Normal Probability Plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลายไหลอื่น - เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤต



รูปที่ 4.2ข Normal Probability Plot ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลายไหลอื่น - เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤต

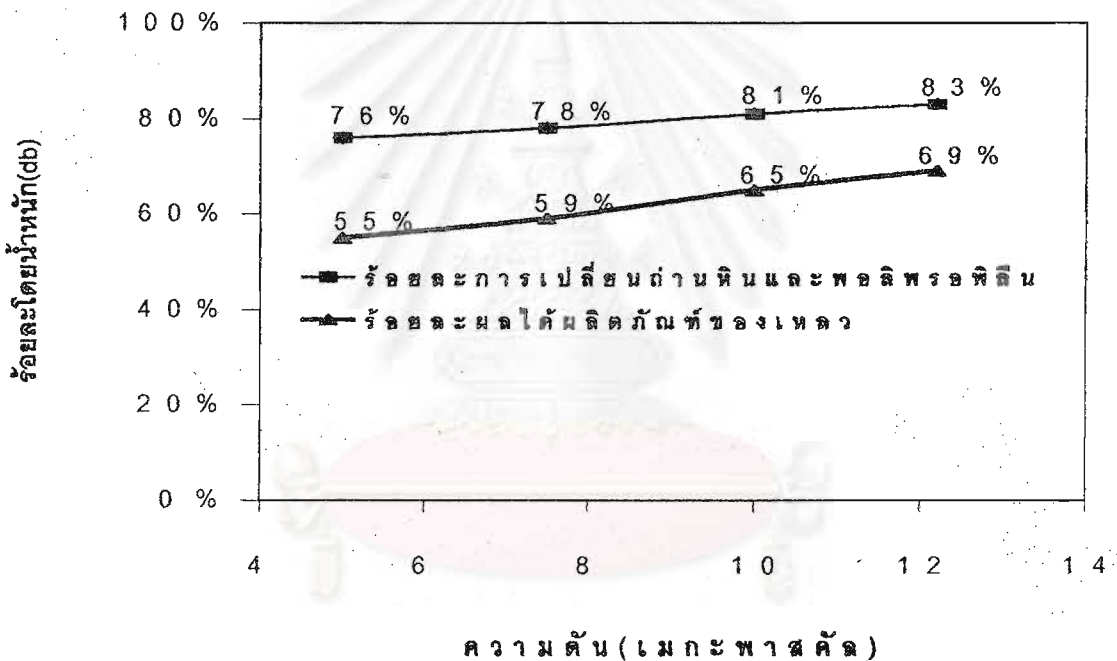
4.2.3 ผลของความดันต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผล ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว

การแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤตซึ่งทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลจะได้คุณสมบัติ ความดัน และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนที่ให้ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากที่สุดคือ คุณสมบัติ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 สำหรับตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต ให้ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน 81 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว 65 และสำหรับตัวทำละลายโทลูอีน - เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต ให้ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน 64 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว 52 ดังนั้นในหัวข้อนี้ศึกษาผลของความดันต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 ดังที่ดังนี้

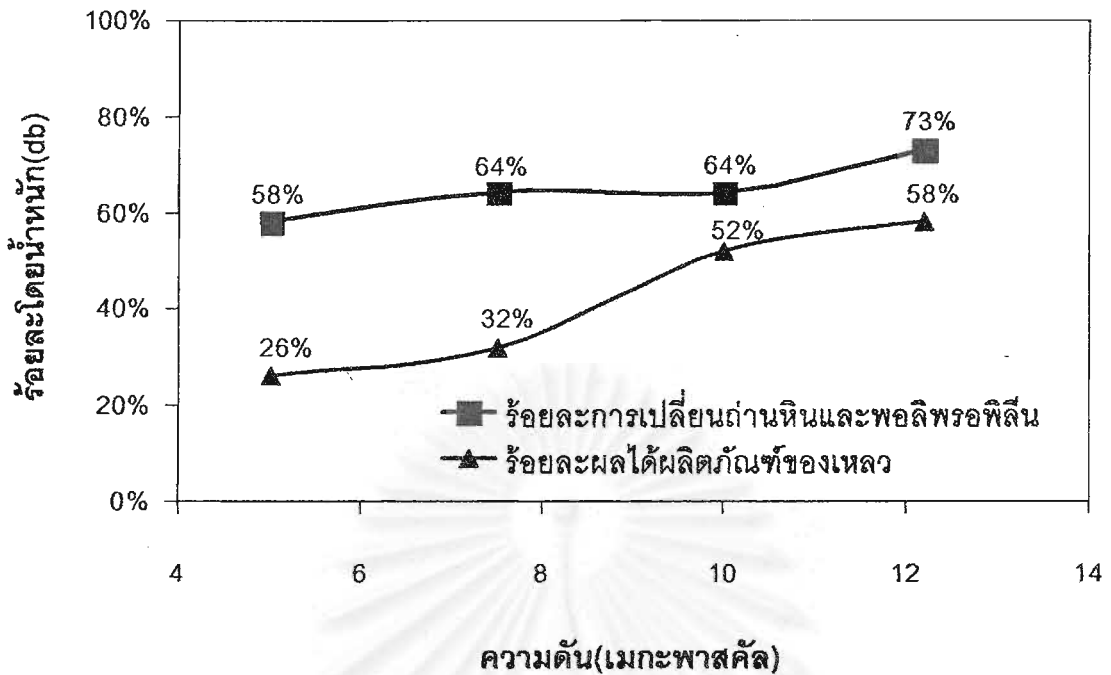
สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลินภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่ และความดันแปรในช่วง 5 - 12.2 เมกะพาสคัล แสดงใน รูปที่ 4.3ก เมื่อความดันมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจะเพิ่มขึ้น เหตุผลเหมือนในข้อ 4.2.2 ซึ่งที่ความดัน 12.2 เมกะพาสคัล คุณสมบัติ 450 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดคือ 83 และ 69 ตามลำดับ

สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เอทานอลภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่ และความดันแปรในช่วง 5 - 12.2 เมกะพาสคัล แสดงใน รูปที่ 4.3ข เมื่อความดันมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจะเพิ่มขึ้น เหตุผลเหมือนการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤต ดังนั้นที่ความดัน 12.2 เมกะพาสคัล คุณสมบัติ 450 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดคือ 73 และ 58 ตามลำดับ

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dariva, C., Oliveira, J.V., Vale, M.G.R. and Caramao, E.B.(1997) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการสกัดถ่านหินให้เป็นของเหลวโดยใช้เอทานอลและไอโซโพรพานอลภาวะเหนือวิกฤตเป็นตัวทำละลายพบว่า การเพิ่มขึ้นของทั้งอุณหภูมิและความดันมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสำหรับทั้งการใช้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์และแอลกอฮอล์ - น้ำ ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นของตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤตเพิ่มขึ้นและการแตกตัวของถ่านหินเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.3ก ผลของความดันต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่



รูปที่ 4.3ข ผลของความดันต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่

4.2.4 ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว

การแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤตซึ่งทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลจะได้ข้อมูล ความดัน และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนที่ให้ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากที่สุดคือ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 สำหรับตัวทำละลายโทลูอีน - เตาธาลินภาวะเหนือวิกฤต ให้ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน 81 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว 65 และสำหรับตัวทำละลายโทลูอีน - เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต ให้ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน 64 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว 52 ดังนั้นในหัวข้อนี้ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ความดัน 10 เมกะพาสคัลและอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่ดังนี้

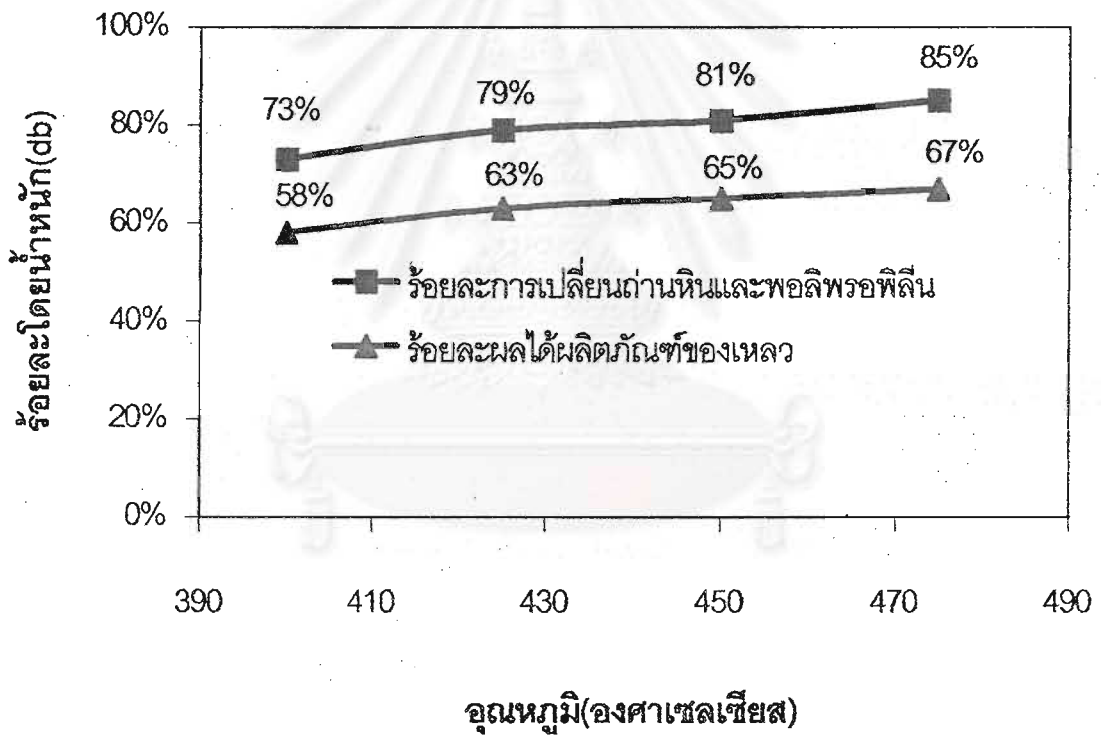
สำหรับการแปรรูปรวมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน

- เติตราลินภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 10 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่ และอุณหภูมิแปรในช่วง 400-475 องศาเซลเซียส แสดงใน รูปที่ 4.4ก เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจะเพิ่มขึ้น เพราะถ่านหินเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัวออกเป็นอนุมูลอิสระที่มีขนาดเล็กลง และจะแตกตัวได้มากขึ้นเมื่อได้รับความร้อน ส่วนโมเลกุลของพอลิพรอพิลีนเมื่อได้รับความร้อนจะแตกตัวเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลงและให้อนุมูลอิสระของไฮโดรเจน ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณมากขึ้นสัมพันธ์ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยความร้อนที่สูงขึ้นจะช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนให้เป็นอนุมูลอิสระและเกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ต่อเนื่องจนได้สายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่เล็กลงและอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว (Ikusei Nakamura and Kaoru Fujimoto, 1996) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวด้วยความร้อนของถ่านหินจะถูกเติมไฮโดรเจนและทำให้มีเสถียรภาพได้เป็นโมเลกุลที่อยู่ในสถานะของเหลวทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมากขึ้น และเติตราลินสามารถทำให้อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวด้วยความร้อนของถ่านหินมีเสถียรภาพ และช่วยยับยั้งการแตกตัวของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสถานะของเหลวอีกด้วย (Tadafumi et al., 1996) ซึ่งที่อุณหภูมิ 475 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดคือ 85 และ 67 ตามลำดับ

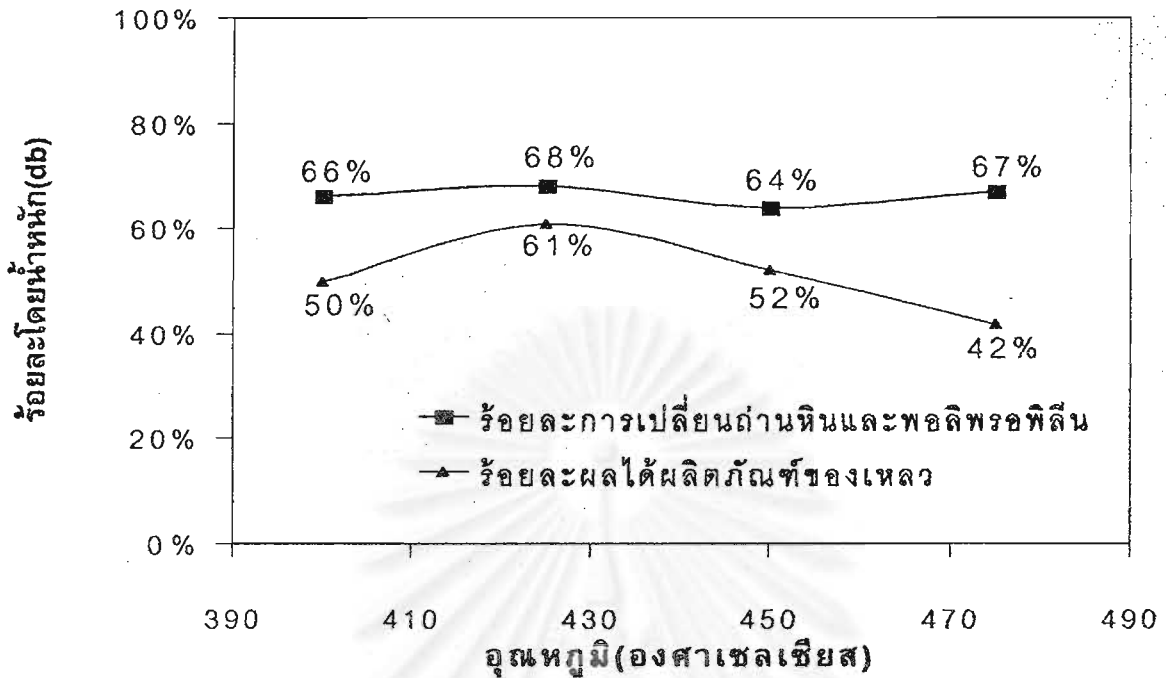
สำหรับการแปรรูปรวมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน

- เอทานอลภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 10 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่ และอุณหภูมิแปรในช่วง 400-475 องศาเซลเซียส แสดงใน รูปที่ 4.4ข เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากอนุมูลอิสระที่เกิดจากการแตกตัวด้วยความร้อนของถ่านหินอาจกลับมารวมตัวกันอีกครั้ง (Repolymerization) ส่วนร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจะเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่ออุณหภูมิมากกว่า 425 องศาเซลเซียส เพราะถ่านหินเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการแตกตัวออกเป็นอนุมูลอิสระที่มีขนาดเล็กลง ซึ่งถ้าอุณหภูมิสูงมากจะทำให้แตกตัวจนโมเลกุลมีขนาดเล็กจนเป็นแก๊ส ซึ่งที่อุณหภูมิ 425 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดคือ 68 และ 61 ตามลำดับ

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rocha, S.R.P., Oliveira, J.V., Avila, S.G., Pereirat, D.M. and Lancast, F.M.(1997) ศึกษาผลของอุณหภูมิและความหนาแน่นของตัวทำละลายที่มีต่อองค์ประกอบของสารที่สกัดได้จากการสกัดด้วยของไหลภาวะเหนือวิกฤตของถ่านหินปริมาณต่ำสูงจากประเทศบราซิล โดยให้โทลูอีนเป็นตัวทำละลายหลัก ภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ อุณหภูมิระหว่าง 593 - 673 เคลวิน และ ความดันระหว่าง 4.7 - 11.5 เมกะพาสคัลในเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง พบว่าปริมาณขององค์ประกอบเบาในสารที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและส่งผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่จะลดลงถ้าอุณหภูมิสูงมากเกินไป



รูปที่ 4.4ก ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลีน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 10 เมกะพาสคัลและอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่



รูปที่ 4.4ข ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนผ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปพร้อมของผ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 10 เมกะพาสคัลและอัตราส่วนระหว่างผ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่

4.2.5 ผลของอัตราส่วนระหว่างผ่านหินกับพอลิพรอพิลีนต่อร้อยละการเปลี่ยนผ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว

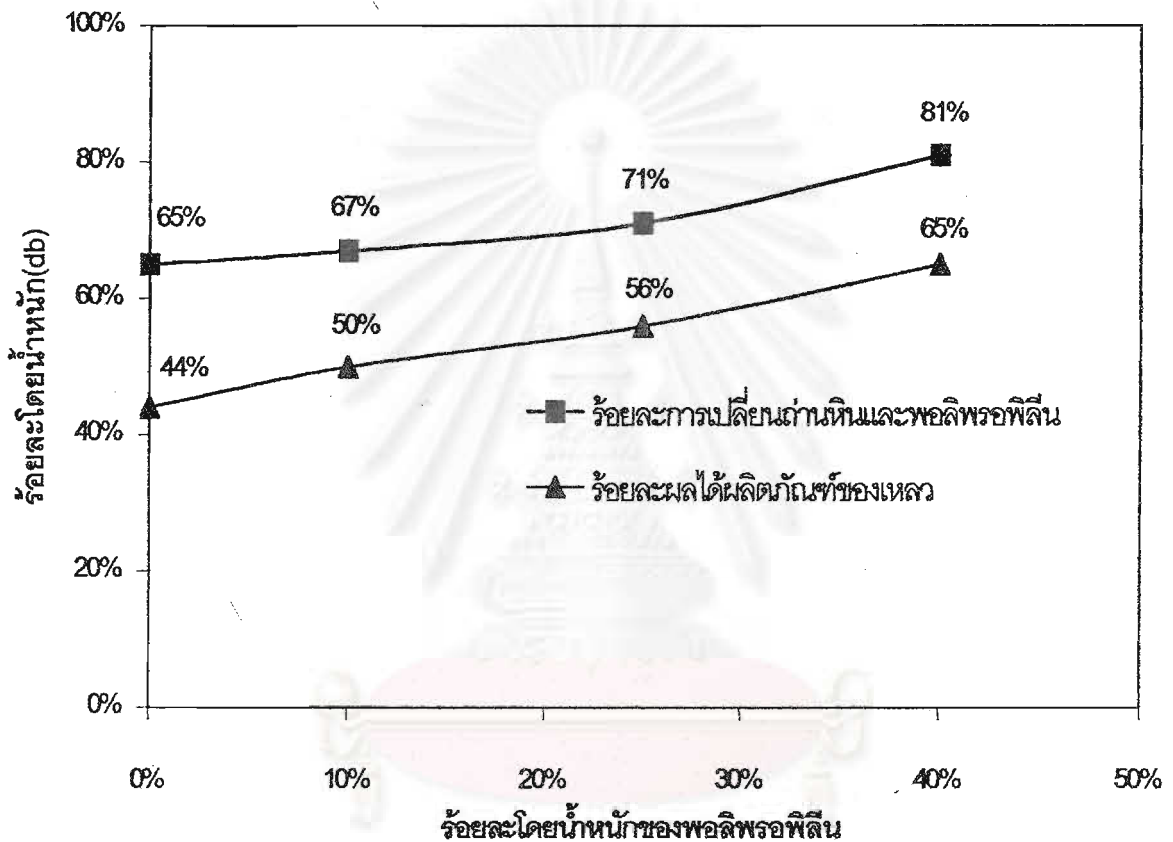
การแปรรูปพร้อมของผ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤตซึ่งทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลจะได้อุณหภูมิ ความดัน และอัตราส่วนระหว่างผ่านหินกับพอลิพรอพิลีนที่ให้ร้อยละการเปลี่ยนผ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากที่สุดคือ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนระหว่างผ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 สำหรับตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต ให้ร้อยละการเปลี่ยนผ่านหินและพอลิพรอพิลีน 81 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว 65 และสำหรับตัวทำละลายโทลูอีน - เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต ให้ร้อยละการเปลี่ยนผ่านหินและพอลิพรอพิลีน 64 ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว 52 ดังนั้นในหัวข้อนี้ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างผ่านหินกับพอลิพรอพิลีนต่อร้อยละการเปลี่ยนผ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และความดัน 10 เมกะพาสคัลคงที่ดังนี้

สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลินภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และความดัน 10 เมกะพาสคัลคงที่ และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนเป็น 10:0 , 9:1 , 7.5:2.5 และ 6:4 ตามลำดับ แสดงใน รูปที่ 4.5ก เมื่อปริมาณพอลิพรอพิลีนเพิ่มขึ้นร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผล ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิพรอพิลีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีปริมาณไฮโดรเจนสูงเมื่อเทียบกับถ่านหิน จึงสามารถเป็นแหล่งให้ไฮโดรเจนแก่กระบวนการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวได้ เพราะว่าพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างเป็นแบบ Isotactic ที่มีหมู่เมทิลเกาะอยู่บนสายโซ่หลักจะเกิดการแตกตัวของพันธะคาร์บอน - ไฮโดรเจนจากการให้ความร้อนเป็นอนุมูลอิสระซึ่งอนุมูลอิสระดังกล่าวจะไปดึงไฮโดรเจนอะตอมที่บริเวณ Tertiary Hydrogen บนสายโซ่หลักของพอลิพรอพิลีนทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระของไฮโดรเจน (Hydrogen Free Radical) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาถูกใช้ต่อเนื่องกันไปจนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนคาร์บอนขนาดเล็กลงได้เป็นสายโซ่โมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนขนาดกลาง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวจึงมากขึ้น นอกจากนี้อนุมูลอิสระของพอลิพรอพิลีนยังสามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระจากโมเลกุลของถ่านหินส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวได้อีกทางหนึ่ง และการแตกตัวของพอลิพรอพิลีนสามารถทำได้ง่ายกว่าเนื่องจากมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและเกาะตัวกันอย่างหลวม ๆ จึงสามารถแตกตัวไปเป็นโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กได้ง่ายกว่า ซึ่งที่อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และความดัน 10 เมกะพาสคัล ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผล ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดคือ 81 และ 65 ตามลำดับ

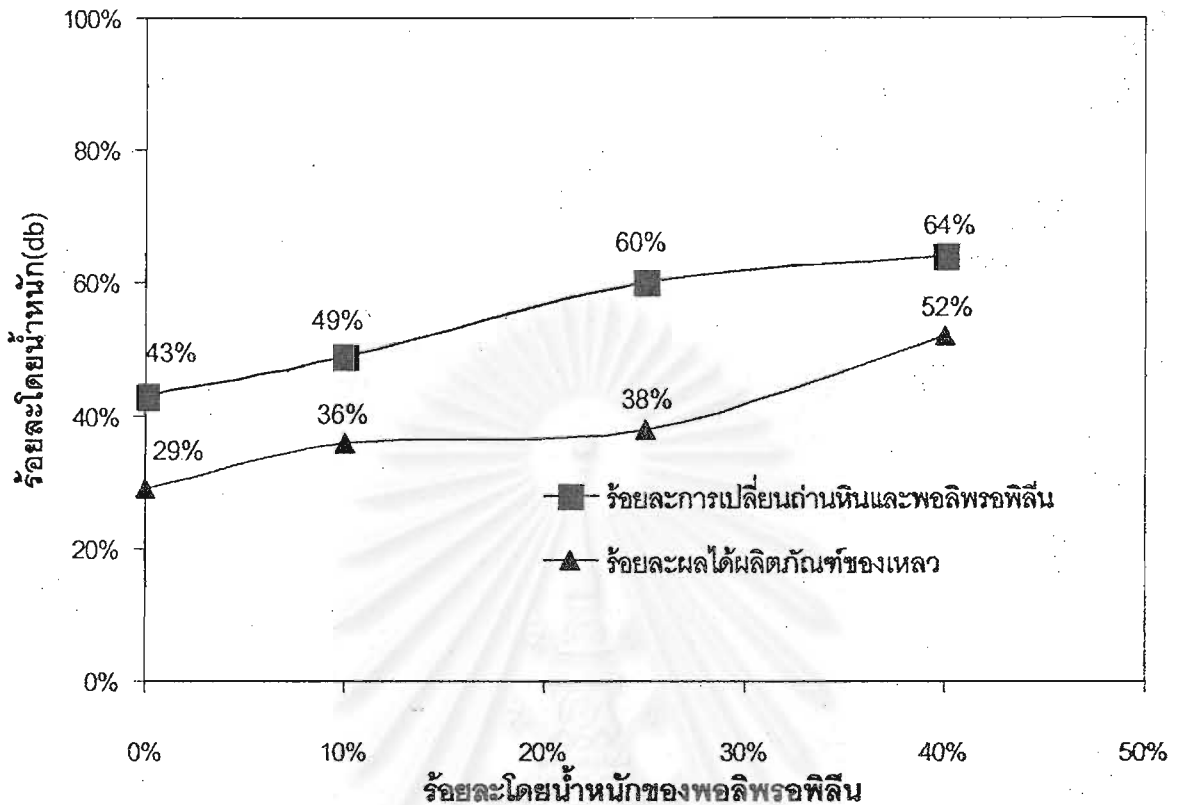
สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เอทานอลภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และความดัน 10 เมกะพาสคัลคงที่ และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนเป็น 10:0 , 9:1 , 7.5:2.5 และ 6:4 ตามลำดับ แสดงใน รูปที่ 4.5ข เมื่อปริมาณพอลิพรอพิลีนเพิ่มขึ้นร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผล ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจะเพิ่มขึ้น เหตุผลเหมือนการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤต ซึ่งที่อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และความดัน 10 เมกะพาสคัล ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผล ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวสูงสุดคือ 64 และ 52 ตามลำดับ

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Taghlei, M.M., Feng, Z., Huggins, F.E. and Huffman, G.P. (1994) ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการนำพลาสติกได้แก่ พอลิเอทิลีน (Polyethylene,

PE), พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP), พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Teraphthalate, PET) และผสมพลาสติกเหล่านี้กับถ่านหินเพื่อแปรรูปให้ได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว ภายใต้ภาวะอุณหภูมิ 420 – 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ที่ความดัน 800 ปอนด์/ตารางนิ้ว พบว่าการเพิ่มปริมาณพลาสติกมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของร้อยละการเปลี่ยนแปลงและร้อยละผลได้ของเหลว



รูปที่ 4.5ก ผลของอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายหลายโทลูอีน - เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสและความดัน 10 เมกะพาสคัลคงที่



รูปที่ 4.5 ข ผลของอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายไหลอื่น - เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสและความดัน 10 เมกะพาสคัลคงที่

4.3 การกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลว

4.3.1 การแยกหมู่ไฮโดรคาร์บอนออกเป็นหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว แอโรแมติกส์ เรซิน และ แอสฟัลทีน

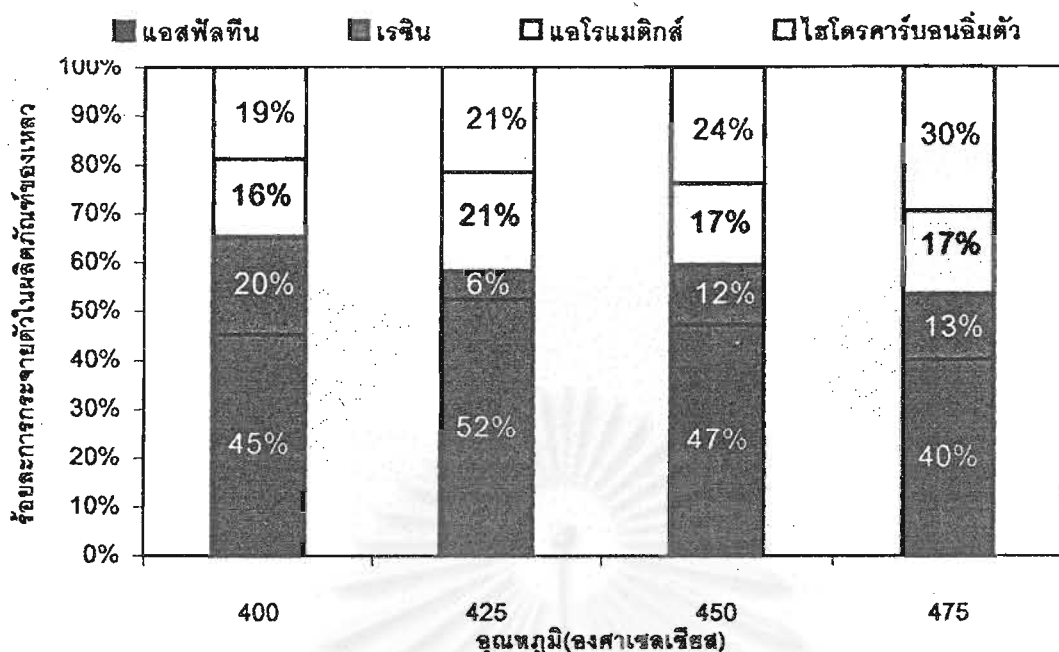
ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 10 เมกะพาสคัล อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่ และอุณหภูมิแปรในช่วง 400 - 475 องศาเซลเซียสถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีด้วยคอลัมน์แบบเปิดออกเป็นหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว แอโรแมติกส์ เรซิน และ แอสฟัลทีนดังนี้

สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายไหลอื่น-เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 10 เมกะพาสคัล และอัตรา

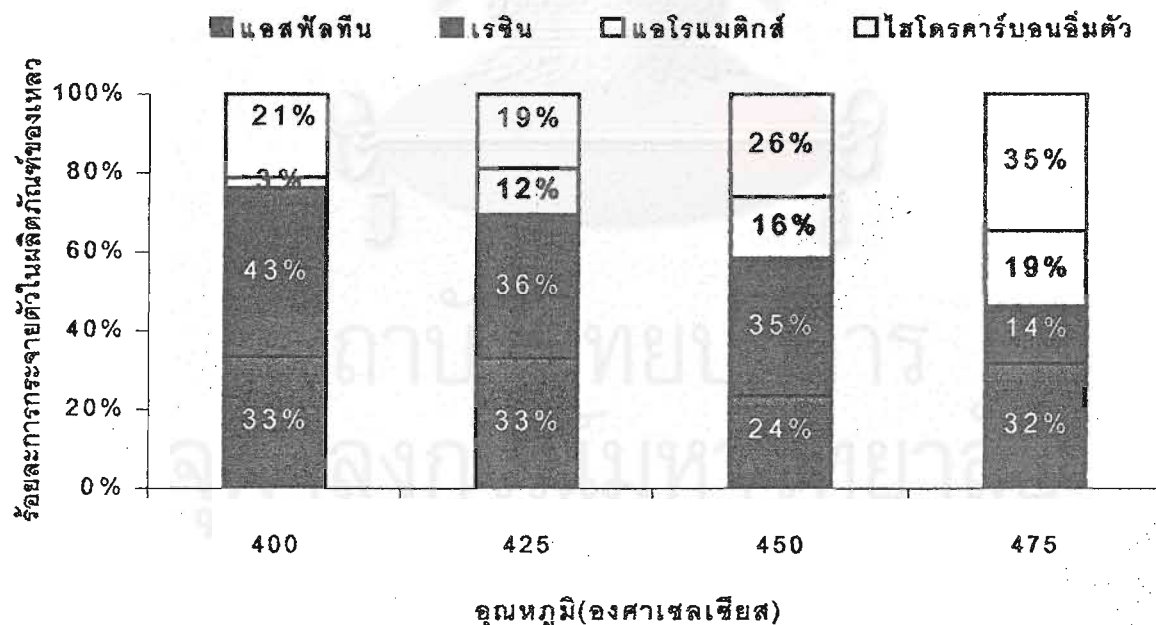
ส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คองที และอุณหภูมิแปรในช่วง 400 - 475 องศาเซลเซียสแสดงในรูปที่ 4.6ก เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นการกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลวมีมากขึ้นเพราะอุณหภูมิมีส่วนช่วยในการทำให้โมเลกุลของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนเกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลง และเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิทำให้หมู่ไฮโดรคาร์บอนแบบอิมิตัวและเอโรแมติกส์ในปริมาณน้อย แต่มีเรซินและแอสฟัลทีนในปริมาณที่มากเพราะว่าที่อุณหภูมิต่ำยังไม่สามารถทำให้โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่แตกตัวได้ ซึ่งต่างจากที่อุณหภูมิสูงปรากฏไฮโดรคาร์บอนแบบอิมิตัว และแบบเอโรแมติกส์ และจะมีมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากผลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอล(ร้อยละ 10 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 10 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คองที และอุณหภูมิแปรในช่วง 400 - 475 องศาเซลเซียสแสดงในรูปที่ 4.6ข เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นการกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลวมีมากขึ้น เหตุผลเหมือนการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เติตราลิน(ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6ก ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปรวมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤตที่อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่

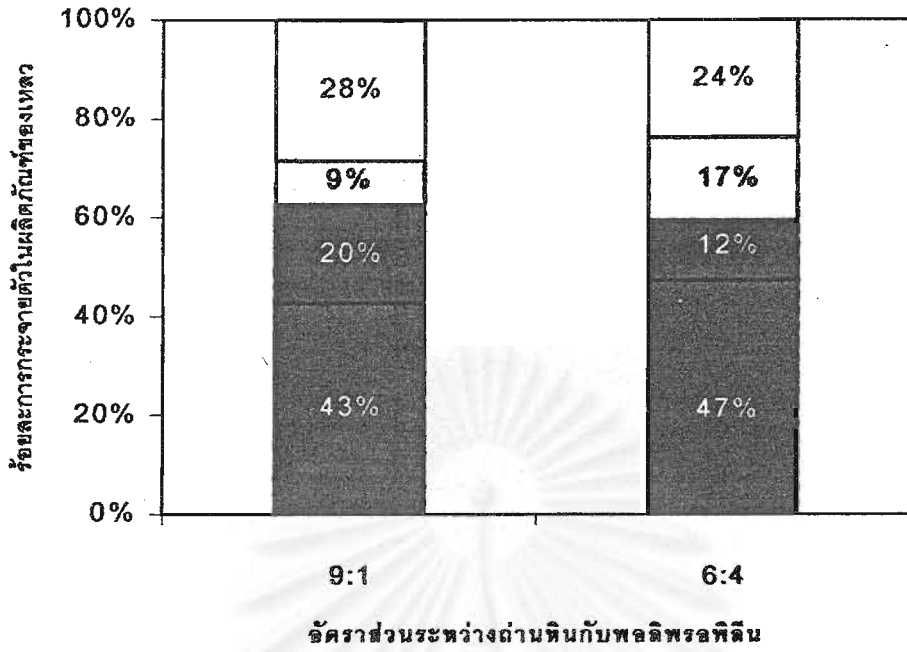


รูปที่ 4.6ข ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปรวมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤตที่อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่

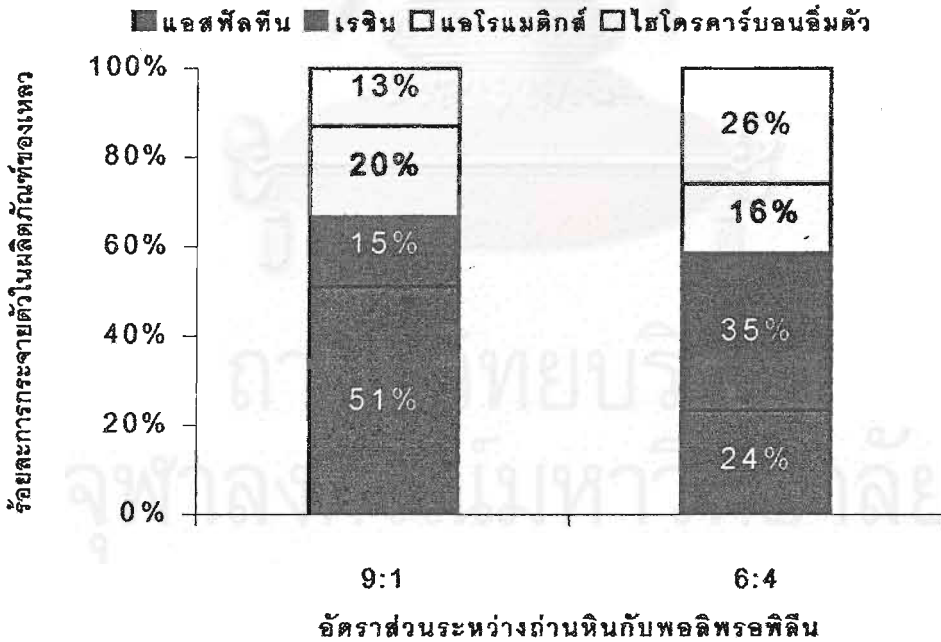
สำหรับผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัลคงที่ อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนแปรในช่วง 9:1 และ 6:4 ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีด้วยคอลัมน์แบบเปิดออกเป็นหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว แอโรแมติกส์ เรซิน และแอสฟัลทีนดังนี้

สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลิน(ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัลคงที่ อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนแปรในช่วง 9:1 และ 6:4 แสดงในรูปที่ 4.7ก เมื่อปริมาณพอลิพรอพิลีนเพิ่มสูงขึ้นการกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลวมีมากขึ้น เหตุผลเหมือนในข้อ 4.2.5 เห็นได้ว่าที่อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนเป็น 9:1 ให้หมู่ไฮโดรคาร์บอนแบบอิ่มตัวและแอโรแมติกส์ในปริมาณน้อย แต่มีเรซินและแอสฟัลทีนในปริมาณที่มากกว่าเล็กน้อยซึ่งต่างจากที่อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนเป็น 6:4 ปรากฏไฮโดรคาร์บอนแบบอิ่มตัว และแบบแอโรแมติกส์มากขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากผลของพอลิพรอพิลีนที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอล(ร้อยละ 10 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 10 เมกะพาสคัลคงที่ อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนแปรในช่วง 9:1 และ 6:4 แสดงในรูปที่ 4.7ข เมื่อปริมาณพอลิพรอพิลีนเพิ่มสูงขึ้นการกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลวมีมากขึ้น เหตุผลเหมือนการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลิน(ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤต



รูปที่ 4.7ก ผลของอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนต่อร้อยละการกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เตตราลิน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสและความดัน 10 เมกะพาสคัลคงที่



รูปที่ 4.7ข ผลของอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนต่อร้อยละการกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมด้วยตัวทำละลายโทลูอีน - เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร) ภาวะเหนือวิกฤตที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสและความดัน 10 เมกะพาสคัลคงที่

4.3.2 การวิเคราะห์ GC/MS ของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอมโรแมติกส์ในผลิตภัณฑ์ของเหลว

ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 10 เมกะพาสคัล อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่ และอุณหภูมิแปรในช่วง 400 – 475 องศาเซลเซียสนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีด้วยคอลัมน์แบบเปิดและเก็บส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอมโรแมติกส์ละลายเก็บไว้ในแยกเซนแล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง GC/MS ดังนี้

สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลิน(ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 10 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่ และอุณหภูมิแปรในช่วง 400 – 475 องศาเซลเซียสแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมีการกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น เหตุผลเหมือนในข้อ 4.3.1 เมื่อนำส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอมโรแมติกส์วิเคราะห์ด้วยGC/MS พบผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นแอมโรแมติกส์ และมีแนพทาลินซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลังจากที่เตตราลินได้ให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระจากโมเลกุลของถ่านหินแล้วสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shishido, M., Mashiko, T. and Arai, K.(1991)

สำหรับการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอล(ร้อยละ 10 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤตที่ความดัน 10 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 6:4 คงที่ และอุณหภูมิแปรในช่วง 400 – 475 องศาเซลเซียสแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นมีการกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น เหตุผลเหมือนในข้อ 4.3.1

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Guiliano, M., Boukir, A., Doumenq, P., Mille, G., Crampon, C., Badens, E. and Charbit, G.(2000) ศึกษาผลของความดัน อุณหภูมิ เวลาในการสกัด และตัวทำละลายร่วมต่อการสกัดแอลฟีลทิน BAL 150 ด้วยตัวทำละลายคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤต พบว่าความดันและตัวทำละลายร่วมจะเป็นอิทธิพลหลักคือความดันเพิ่มจาก 130 เป็น 300 บาร์ทำให้ได้ส่วนอัลเคน อัลเคนแบบวง อัลเคนแบบกิ่งและแอมโรแมติกส์มากขึ้น

4.4 ผลการเปรียบเทียบงานวิจัยที่ใกล้เคียงกัน

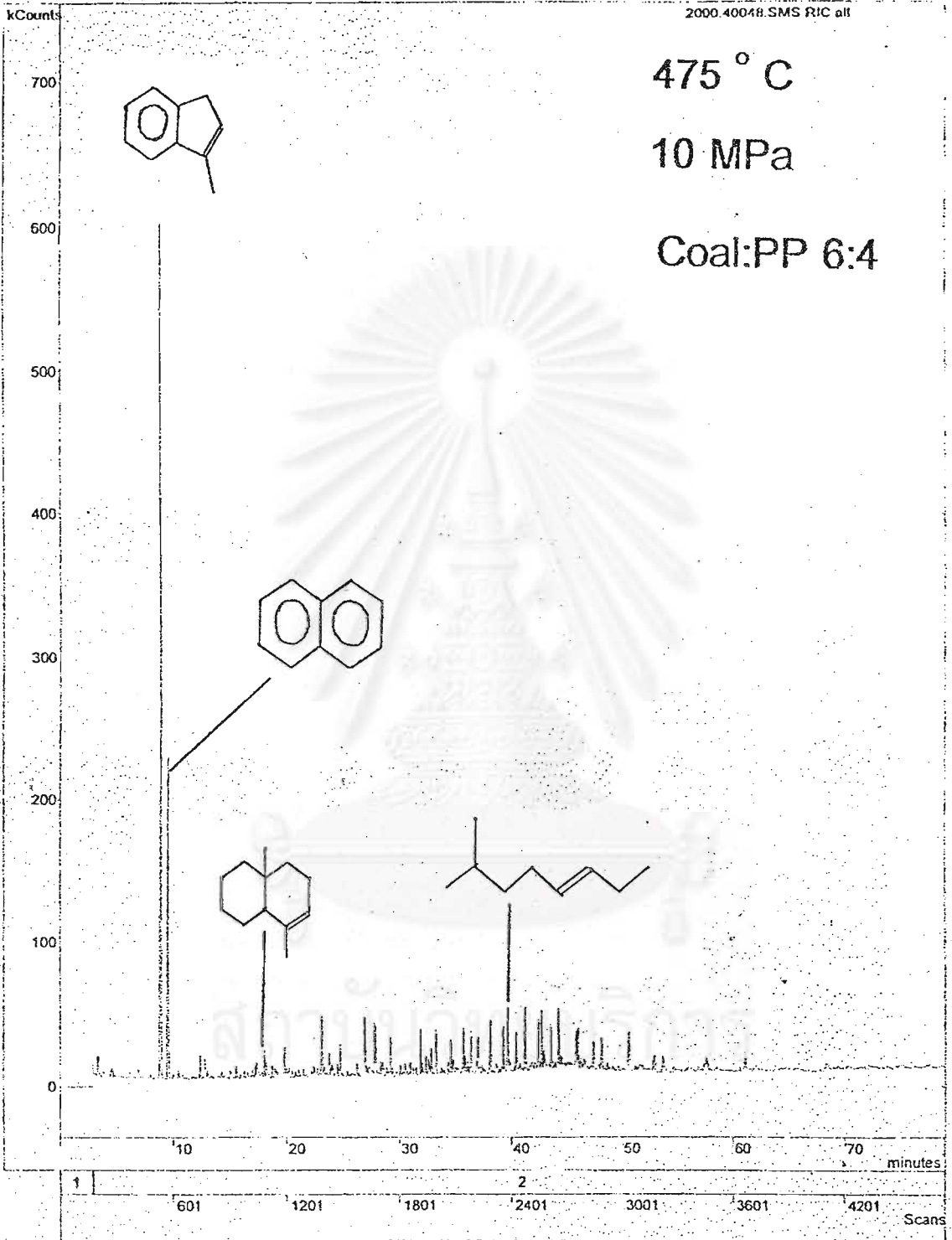
จากผลของตัวแปรกระบวนการที่มีผลต่อการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤต ได้เปรียบเทียบร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวกับงานวิจัยที่ใกล้เคียงกันแสดงผลในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวของงานวิจัยอื่น ๆ กับงานวิจัยนี้

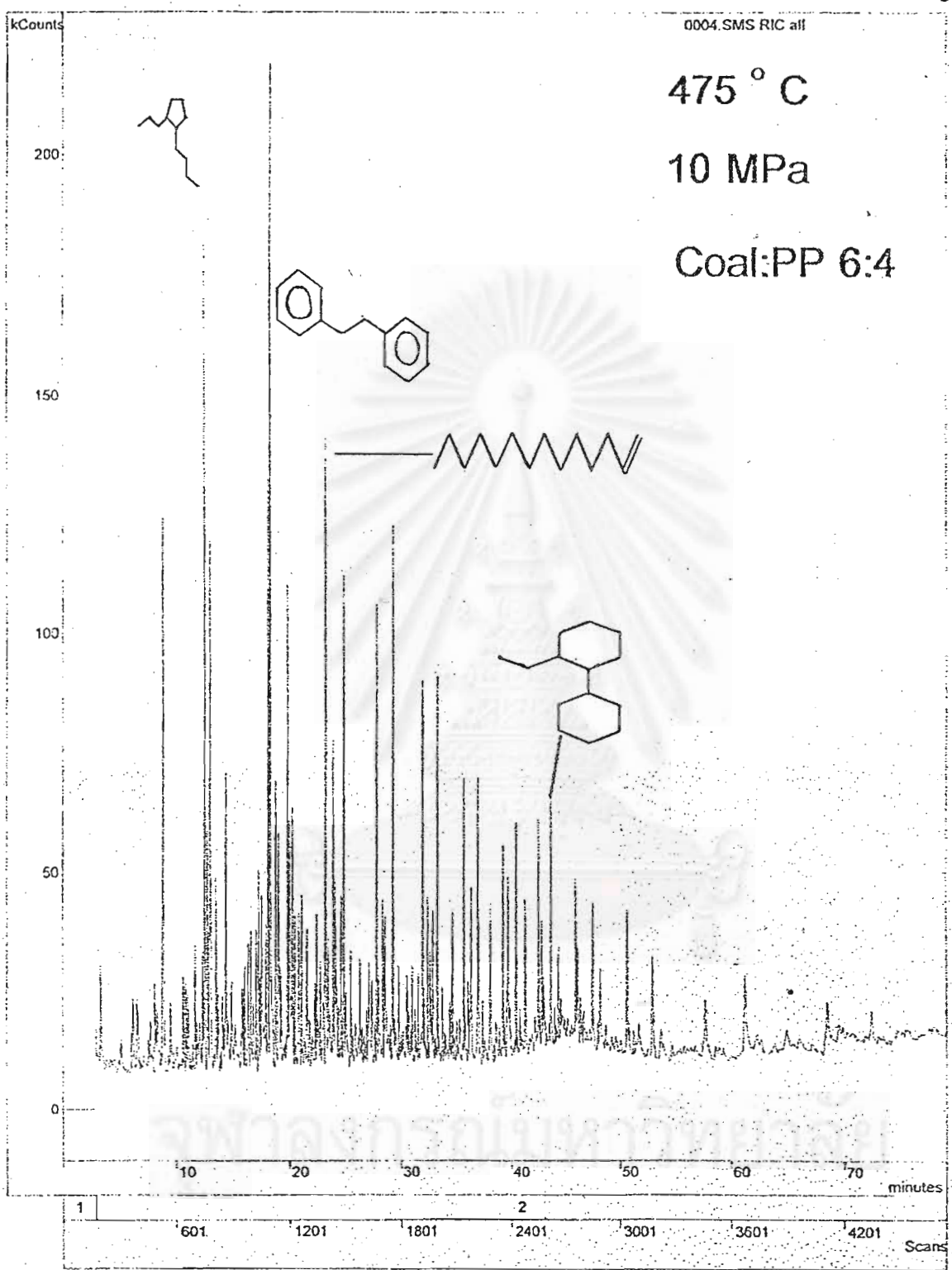
| ผู้วิจัย | สารตั้งต้น | ตัวทำละลาย | ตัวเร่งปฏิกิริยา | ภาวะการทดลอง | ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว |
|----------------------|--|-------------------------------------|------------------|--|-----------------------------|
| Tadafumi et al. | Taiheiyo Coal | Supercritical Toluene - tetralin | - | 380°C, 20MPa 120 min | 45 |
| Masahiro et al. | Taiheiyo Coal (11 Coals) | Supercritical Toluene - tetralin | - | 380°C, 20MPa | 60 |
| Muammer and Peter | Lignite | Supercritical Water | - | 550°C, 30MPa | 39 |
| Masahide et al. | Reductively Methylated Bituminous | Tetralin | - | 450°C, 10.1MPa(H ₂) 60 min | 66 |
| Tharinee | Lignite and Polypropylene Ratio = 1:4 | - | 5% Fe/A.C. | 400°C, 62 Bar(H ₂) 30 min, Coal:PP=1:4 | 53 |
| Witchakom | Anthracite and Polypropylene Ratio = 0.2:0.8 | - | 1% Fe/A.C. | 400°C, 50 Bar(H ₂) 60 min, Coat:PP=0.2:0.8 | 59 |

| ผู้วิจัย | สารตั้งต้น | ตัวทำละลาย | ตัวเร่งปฏิกิริยา | ภาวะการทดลอง | ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว |
|-----------------|--|--|----------------------|---|-----------------------------|
| Anderson et al. | High Density Polyethylene | - | 5% TiCl ₃ | 430°C, 1000 psig(H ₂) 60 min | 84 |
| Huffman et al. | Commingled Waste Plastic | Waste Oil | FHYD/Si/Al | 445°C, 800 psig(H ₂) 60 min | 91 |
| This Research | Lignite and Polypropylene Ratio = 6:4 | Supercritical Toluene – tetralin Toluene – ethanol | - | 450°C, 12.2 MPa 60 min, Coal:PP = 6:4 | 69 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอลิเมติกส์ของการแปรรูปร่วมของ ถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายอินทรีย์-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต



รูปที่ 4.9 GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอโรแมติกส์ของการแปรสภาพของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายภาวะเหนือวิกฤต 2 ชนิด ได้แก่ ไทลูอิน - เตตราลีน (ร้อยละ 30 โดยปริมาตร) และ ไทลูอิน - เอทานอล (ร้อยละ 10 โดยปริมาตร) ในช่วงอุณหภูมิ 400 - 475 องศาเซลเซียส ความดัน 5-12.2 เมกะพาสคัล และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน 10:0 , 9:1 , 7.5:2.5 และ 6:4 พบว่า

1. ปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนมากที่สุดได้แก่อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน และชนิดของตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนเช่นเตตราลีนหรือเอทานอล และการเพิ่มปริมาณพอลิพรอพิลีนทำให้ได้อนุมูลอิสระของไฮโดรเจนมากขึ้น
2. ปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากที่สุดได้แก่อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน ความดัน และชนิดของตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนและความดันช่วยให้การละลายและการสกัดผลิตภัณฑ์ของเหลวได้มากขึ้น ส่วนปริมาณพอลิพรอพิลีนทำให้ได้อนุมูลอิสระของไฮโดรเจนและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นของเหลวมากขึ้น
3. ปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละการกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลวได้แก่อุณหภูมิ การเพิ่มอุณหภูมิทำให้แนวโน้มการกระจายตัวของหมู่ไฮโดรคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ของเหลวดีขึ้น
4. ปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบเคมีในหมู่ไฮโดรคาร์บอนได้แก่ อุณหภูมิและชนิดของตัวทำละลาย ชนิดของตัวทำละลายและการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เกิดความหลากหลายขององค์ประกอบเคมีมากขึ้น
5. ตัวทำละลายไทลูอิน-เตตราลีนให้ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน และร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากกว่าตัวทำละลายไทลูอิน-เอทานอล
6. ภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลว

ตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลินร้อยละ 30 โดยปริมาตร

| | | |
|--|---|------------------|
| อุณหภูมิ | = | 450 องศาเซลเซียส |
| ความดัน | = | 12.2 เมกะพาสคัล |
| อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน | = | 6:4 |
| ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน | = | 83 (db) |
| ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว | = | 69 (db) |

ตัวทำละลายโทลูอีน-เฮกซานอลร้อยละ 10 โดยปริมาตร

| | | |
|--|---|------------------|
| อุณหภูมิ | = | 425 องศาเซลเซียส |
| ความดัน | = | 10 เมกะพาสคัล |
| อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน | = | 6:4 |
| ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน | = | 68 (db) |
| ร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว | = | 61 (db) |

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. นำขยะพลาสติกหลาย ๆ ชนิดมาใช้เป็นแหล่งให้ไฮโดรเจนแก่กระบวนการแปรรูปรวม
2. ศึกษาการเตรียมถ่านหินก่อนการทดลอง เช่น การทำให้บวม(Swelling)และผสมตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อให้ได้ค่าผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวมากขึ้น
3. วิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาว่ามีสารประกอบใดบ้างที่มีคุณค่า และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ต่อไป
4. จากผลการวิเคราะห์GC/MSโครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอโรแมติกส์พบสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ อยู่มาก ดังนั้นในระบบที่ทำการทดลองควรมีการเพิ่มปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อน(Thermal Cracking)ขององค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ กลายเป็นน้ำมันเบา(Light Oil)ที่มีคุณภาพดีขึ้นโดยการใช้ Fluidized Sand Bath

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ธารินี กิตติเรืองทอง. กระบวนการร่วมของพอลิพรอพิลีนและลิกไนต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

นงเยาว์ ชูติวงษ์ชยกุล. อิทธิพลของทัลดและไมกาที่มีต่อสมบัติของพอลิพรอพิลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.

ปรีชา พหลเทพ. พอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2536.

ฤทัย ลีสุขสันต์. เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากพอลิเอทิลีนใช้แล้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิตสาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

วิชากร จารุศิริ. กระบวนการร่วมของพอลิพรอพิลีนและแอนทราไซต์โดยใช้เหล็กบนถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

สมสุข ไตรศุกิตติ. การเปลี่ยนพอลิเอทิลีนไปเป็นแก๊สโซลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

อุทัย ไสธนะพันธ์ และ รพีพล ภาโววาท. Supercritical fluids ตอนที่ 1 : หลักการเบื้องต้น. วารสารศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 (มิถุนายน 2536) : 37-50.

ภาษาอังกฤษ

ASTM Standard, D 388. Coal by rank : American Society for Testing Materials. U.S.A., 1989.

ASTM Standard, D 3173. Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke : American Society for Testing Materials. U.S.A., 1989.

ASTM Standard, D 3174. Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke : American Society for Testing Materials. U.S.A., 1989.

- ASTM Standard, D 3175. Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke : American Society for Testing Materials. U.S.A., 1989.
- ASTM Standard, D 3177. Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke : American Society for Testing Materials. U.S.A., 1989.
- ASTM Standard, D 3286. Gross Calorific Values of Coal and Coke by the Isothermal-Jacket Bomb Calorimeter : American Society for Testing Materials. U.S.A., 1989.
- Ades, H.F. and Subbaswamy, K.R. Theoretical Modeling of Co-liquefaction Reaction of Coal and Polymers. Fuel Processing Technology 49 (1996) : 207-218.
- Canel, M. and Missal, P. Extraction of Solid Fuels with Sub- and Supercritical Water. Fuel 73 (1994) : 1776.
- Charles N. Satterfield. Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice. New York : McGraw-Hill Inc., 1991.
- Dariva, C., Oliveira, J.V., Vale, M.G.R. and Caramao, E.B. Supercritical Fluid Extraction of a High-ash Brazilian Coal. Fuel 76 (1997) : 585 – 592.
- Ehrig, R.J. Plastic Recycling Product and Process. New York : 1992.
- Ellington, R.T. Liquid Fuels from Coal. New York : Academic Press, 1997.
- Feng, Z., Zhao, J., Rockwell, J., Bailey, D. and Huffman, G. Direct Liquefaction of Waste Plastics and Co-liquefaction of Coal-plastic Mixtures. Fuel Processing Technology 49 (1996) : 17.
- Gimouhpoolos, K., Pooulia, D. and Ssides, A.V. Resource Conservation and Recycling 26 (1999) : 43-53.
- Goldman, G.K. Liquid Fuel from Coal. New Jersey : Noyes Data Corp, 1972.
- Guiliano, M., Boukir, A., Doumenq, P., Mille, G., Crampon, C., Badens, E. and Charbit, G. Supercritical Fluid Extraction of Bal 150 Crude Oil Asphaltenes. Energy & Fuels 14 (2000) : 89.
- Huffman, G.P., Feng, Z., Huggins, F.E. and Mahajan, V. Direct Liquefaction of Waste Plastics and Co-liquefaction of Waste Plastics with Coal. Int Conf Coal Science. (1995) : 1519-1522.
- Jokuty, P., Whiticar, S., Wang, Z., Fingas, M., Fieldhouse, B., Lambert, P. and Mullin, J. Properties of Crude Oils and Oil Products. Internet Version October (2000) : accessed via <http://www.etcentre.org/spills>.

- Lugue de Castro, M.D., Valcarcel M. and Tena M.T. Analytical Supercritical Fluid Extraction. Germany : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1994.
- Maddocks, R.R., Gibson, J. and Williams, D.F. Supercritical Extraction of Coal. Chem.Eng.Prog. 75 (1979) : 49.
- Merrick, D. Coal Combustion and Conversion Technology. London : Macmillan, 1984.
- Meyers, R.A. Coal Handbook 1st Ed. New York : M. Dekker Inc., 1981.
- Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments. United States of America : John Wiley & Sons, Inc.,1976.
- Moore, Edward P.Jr. Polypropylene Handbook. Munich : Hanser, 1996.
- Nakamura, I. and Fujimoto, K. Development of New Disposable Catalyst for Waste Plastics Treatment for High Quality Transport Fuel. Catalyst Today 27 (1996) : 175-179.
- Nowacki, P. Coal Liquefaction Process. New York : 1979.
- Rocha, S.R.P., Oliveira, J.V., Avila, S.G., Pereirat, D.M. and Lancast, F.M. The Effects of Temperature and Density on the Characteristics of the Extracts from SCFE of a High-ash Brazilian Coal. Fuel 76 (1997) : 93.
- Sasaki, M., Kotanigawa, T. and Yoshida, T. Liquefaction Reactivity of Methylated Illinois No.6 Coal. Energy & Fuels 14 (2000) : 76.
- Schlosburg, R.H. Chemistry of Coal Conversion. New York : Plenum Press, 1985.
- Schobert, H.H. The Chemistry of Hydrocarbon Fuel. New York : 1991.,
- Shah, Y.T. Reaction Engineering in Direct Coal Liquefaction,(Energy Science and Technology no. 3). Canada : Addison-Wesley Publishing Co.,Inc., 1981.
- Shishido, M., Mashiko, T. and Arai, K. Co-solvent Effect of Tetralin or Ethanol on Supercritical Toluene Extraction of Coal. Fuel 70 (1991) : 545.
- Shishido, M., Mashiko, T., Adschiri, T. and Arai, K. The Gasification Reactivity of Residual Coal Chars from Supercritical Fluid Extraction of Coal. Fuel 70 (1991) : 539.
- Tadafumi A., Shun-ichi T., Shinji A. and Kunio A. A New Two-stages Process for Supercritical Fluid Extraction of Coal with Tetralin Pretreatment. Fuel 75 (1996) : 1124-1128.
- Taghlei, M.M., Feng, Z., Huggins, F.E. and Huffman, G.P. Energy and Fuel 8 (1994) :

1228 – 1232.

Tuntawiroon, W., Anderson, L.L. and Ding, W.B. Coal Liquefaction of Coal and Waste Plastics. Int Conf Coal Sci. (1995) : 1515-1518.

Weibing, D., Jing, L. and Anderson, L.L. Catalysis and Processes for Heavy Oil Conversion. International Symposium on Advances in Catalysis and Processes for Heavy Oil Conversion. (1997) : 428-432.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การคำนวณ

1. การคำนวณร้อยละการเปลี่ยนผ่านหินและพอลิพรอพิลีน

$$\text{Conversion} = \frac{\text{นน.ตัวอย่างก่อนการทดลอง} - \text{นน.ตัวอย่างที่เหลือ}}{\text{นน.ตัวอย่างก่อนการทดลอง}} \times 100$$

2. การคำนวณร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว

$$\text{Liquid Yield} = \frac{\text{นน.ผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้}}{\text{นน.ตัวอย่างก่อนการทดลอง}} \times 100$$

3. การคำนวณร้อยละของตัวทำละลายนำกลับ

$$\% \text{ Solvent Recovery} = \frac{\text{นน.ตัวทำละลายที่กลั่นได้}}{\text{นน.ตัวทำละลายทั้งหมดที่ใช้}} \times 100$$

4. การคำนวณร้อยละที่สูญเสียจากการทดลอง

$$\% \text{ Loss} = \frac{[\text{Total Solvent Used} - (\text{Extract} + \text{Purge})]}{\text{Total Solvent Used}} \times 100$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลว

1. การแยกตัวทำละลายที่ผสมกับของเหลวที่ออกมาจากระบบให้เป็นผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีน
 - 1.1 ชั่งน้ำหนักของเหลวที่ออกมาจากระบบโดยใส่ในขวดระเหย จากนั้นประกอบเข้ากับเครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary Evaporator) แล้วทำการระเหยเพื่อแยกตัวทำละลายลงในขวดเก็บตัวทำละลาย
 - 1.2 ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวซึ่งเหลืออยู่ในขวดระเหย
 - 1.3 ชั่งน้ำหนักตัวทำละลายที่ควบแน่นลงมาสู่ขวดเก็บตัวทำละลาย จะเป็นค่าการนำกลับของตัวทำละลาย
2. การแยกผลิตภัณฑ์ของเหลวออกเป็นหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว, แอโรแมติกส์, เรซิน และแอสฟัลทีน (SARA Method)
 - 2.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้ประมาณ 2 กรัม แล้วเติมนอร์มัลเพนเทน (n-pentane) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นทำการกวนทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที
 - 2.2 นำตัวอย่างในข้อที่ 2.1 มาทำการกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วทำการชั่งน้ำหนักซึ่งส่วนที่ผ่านไปได้จะเป็นแอสฟัลทีน
 - 2.3 ส่วนที่ละลายในนอร์มัลเพนเทนและผ่านกระดาษกรองได้จะถูกนำมาระเหย นอร์มัลเพนเทนออกได้เป็นส่วนที่เหลือเรียกว่ามอลทีน (Maltenes)
 - 2.4 ทำการบรรจุซิลิกาเจล (Silica Gel) ที่อิ่มตัวด้วยแฮกเซนลงในคอลัมน์แก้วความยาว 400 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 19 มิลลิเมตร ซึ่งมีก๊อกหยุด (Stopcock) อยู่ที่ปลาย
 - 2.5 ใส่โซเดียมซัลเฟตที่ส่วนบนของคอลัมน์ในข้อที่ 2.4 ให้มีความหนา 1.5 เซนติเมตร

- 2.6 นำมอลทินน้ำหนัก 0.4 ถึง 0.7 กรัม มาผสมกับซิลิกาเจลเล็กน้อย แล้วเติมนอร์มัลเพนเทนเล็กน้อย จากนั้นทำการกวนจนกระทั่งนอร์มัลเพนเทนระเหยออกไปหมดทำให้มอลทินเคลือบอยู่บนซิลิกาเจล
- 2.7 นำมอลทินที่เคลือบบนซิลิกาเจลใส่ลงในคอลัมน์ที่เตรียมไว้ในข้อที่ 2.5
- 2.8 ให้นำเฮกเซนปริมาตร 100 มิลลิลิตรไหลผ่านคอลัมน์ในข้อที่ 2.7 และเก็บส่วนที่ผ่านคอลัมน์มาแล้วไประเหยเฮกเซนออกจะได้ส่วนที่เหลือในขวดระเหยเป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว
- 2.9 ให้นำเฮกเซนต่อเบนซีน (1:1) ปริมาตร 100 มิลลิลิตรไหลผ่านคอลัมน์ในข้อที่ 2.7 และเก็บส่วนที่ผ่านคอลัมน์มาแล้วไประเหยเฮกเซนต่อเบนซีนออก จะได้ส่วนที่เหลือในขวดระเหยเป็นแอโรแมติกส์
- 2.10 ส่วนที่ค้างในคอลัมน์หลังจากแยกไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอโรแมติกส์ออกไปแล้วจะเป็นเรซิน
- 2.11 ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาค่าร้อยละการกระจายตัวของไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว แอโรแมติกส์ และเรซินในมอลทิน และในผลิตภัณฑ์ของเหลว

3. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของเหลวในส่วนที่เป็นหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอโรแมติกส์

การวิเคราะห์หมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอโรแมติกส์ที่ได้จากการแยกตามหัวข้อ ข. นำมาละลายในนอร์มัลเฮกเซนให้มีความเข้มข้นไม่เกิน 1000 ppm แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS ยี่ห้อ Varian โดยมี GC รุ่น Star 3400 CX และ MS รุ่น Saturn 2000 Auto Electron-impact Mode , Source Temperature 180 °C คอลัมน์รุ่น DB-5 MX ขนาด 30 mm.x 0.25 mm x 0.25 μ m อุณหภูมิเตาที่ 70 °C เป็นเวลา 1 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 285 °C ด้วยอัตรา 5 °C/min และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 295 °C ด้วยอัตรา 10 °C/min และคงที่ที่ 295 °C เป็นเวลา 10 นาที

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณการวิเคราะห์ทางสถิติ

1. การทดลองแบบแฟกทอเรียล

1.1 สัญลักษณ์ของแฟกทอเรียล

- ก. อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ (A, B, C) แทนปัจจัยที่ต้องการศึกษาเช่น อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น
 - ข. อักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่เขียนรวมกัน (Combination) เช่น AB, AC, ABC หมายถึง ปฏิกริยาสัมพันธ์ (interaction)
 - ค. อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เขียนรวมกันเช่น ab, ac, abc หมายถึงการทดลองซึ่งเกิดจากการรวมกันของอิทธิพลปัจจัยต่าง ๆ เรียกว่า Treatment Combination
- การทดลองที่แต่ละปัจจัยมีเพียง 2 ระดับ จะแทนแต่ละระดับของแต่ละปัจจัยเป็น -1 และ +1 โดย -1 แทนระดับต่ำ และ +1 แทนระดับสูงตามลำดับ

| ปัจจัย | ระดับ | |
|--|-------|-----|
| | -1 | +1 |
| อุณหภูมิ (A), °C | 400 | 450 |
| ความดัน (B), MPa | 5 | 10 |
| อัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีน (C) | 6:4 | 9:1 |

สัญลักษณ์แทนการทดลองซึ่งเกิดจากการรวมกันของอิทธิพลปัจจัยต่าง ๆ มีความหมายคือการทดลองที่ปรากฏสัญลักษณ์ของปัจจัยใดแสดงว่าทำการทดลองที่ระดับ +1 ของปัจจัยนั้น และปัจจัยที่ไม่ปรากฏสัญลักษณ์ทำที่ระดับ -1 เช่น

- (1) แสดงว่าทำการทดลองที่ระดับ -1 ทุกปัจจัย
 - a ทำการทดลองที่ระดับอุณหภูมิ +1 และปัจจัยอื่นๆทำที่ระดับ -1 ดังนั้นภาวะของการทดลองคือ อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส ความดัน 5 เมกกะพาสคาล และอัตราส่วนระหว่างถ่านหินกับพอลิพรอพิลีนเป็น 6:4

abc ทำการทดลองที่ระดับ +1 ทุกปัจจัย เป็นต้น

1.2 ความหมายของค่าที่สำคัญ

อิทธิพลหลัก (Main Effect) หมายถึงอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา

ปฏิริยาสัมพันธ์ (Interaction) หมายถึงการแสดงผลของระดับต่าง ๆ ในปัจจัยหนึ่งไม่เท่ากันเมื่อเปรียบเทียบจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งของอีกปัจจัย

อิทธิพลแฟกทอเรียล (Factorial Effects) หมายถึงอิทธิพลต่าง ๆ ทั้งอิทธิพลหลักและปฏิริยาสัมพันธ์ทั้งหมดในการทดลองซึ่งจะมีเท่ากับ (จำนวนการรวมตัว-1) หรือเท่ากับองศาความอิสระ (Degree of Freedom) ของสิ่งทดลอง

2. ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะใช้ข้อมูลของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน รูปแบบของ Treatment Combinations อิทธิพลแฟกทอเรียล และค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการคำนวณแสดงในตาราง ค.1

เครื่องหมาย + และ - คือ +1 และ -1 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการเปรียบเทียบ หรืออิทธิพลแฟกทอเรียลต่าง ๆ นั้นเอง ดังนั้นอิทธิพลแฟกทอเรียล A คือการเปรียบเทียบระหว่างระดับ -1 และ +1 ของปัจจัย A

วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์คือ

อิทธิพลแฟกทอเรียล A : ให้ค่า + แก่ Treatment Combinations ที่มีสัญลักษณ์ a นอกนั้นให้ค่า -

อิทธิพลแฟกทอเรียล B : ให้ค่า + แก่ Treatment Combinations ที่มีสัญลักษณ์ b นอกนั้นให้ค่า -

อิทธิพลปฏิริยาสัมพันธ์ AB : ให้คูณสัมประสิทธิ์ของ A กับ B เข้าด้วยกันได้เป็นสัมประสิทธิ์ของ AB

ตาราง ค.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของอิทธิพลต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน

| Treatment Combinations | Factorial Effects | | | | | | |
|---------------------------|-------------------|----|----|----|----|----|-----|
| | A | B | C | AB | AC | BC | ABC |
| (1) | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 |
| a | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 |
| b | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 |
| ab | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 |
| c | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 |
| ac | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 |
| bc | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 |
| abc | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

ตัวอย่างการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองที่มี 2 ตัวแปรคือ A และ B ซึ่งมีจำนวนระดับเป็น a และ b ตามลำดับ แสดงในตาราง ค.2

ตาราง ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ 2 ตัวแปร

| SOV | SS | DF | MS | F_0 |
|-------|-----------|------------|-----------------------------|----------------|
| A | SS_A | a-1 | $MS_A = SS_A/DF_A$ | MS_A/MS_E |
| B | SS_B | b-1 | $MS_B = SS_B/DF_B$ | MS_B/MS_E |
| AB | SS_{AB} | (a-1)(b-1) | $MS_{AB} = SS_{AB}/DF_{AB}$ | MS_{AB}/MS_E |
| Error | SS_E | ab(n-1) | $MS_E = SS_E/DF_E$ | |
| Total | SS_T | Abn-1 | | |

SOV = Source of Variation

SS = Sums of Squares

DF = Degree of Freedom

MS = Mean of Square

เมื่อ

$SS_A = (\text{Contrast}_A)^2/n2^k$

$SS_B = (\text{Contrast}_B)^2/n2^k$

$SS_{AB} = (\text{Contrast}_{AB})^2/n2^k$

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

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB}$$

การหา Contrast ดังตารางที่ค.4 เพื่อดูอิทธิพลของปัจจัยใด ๆ หาได้โดยคุณเครื่องหมายบวกหรือลบในสดมภ์ของปัจจัยนั้น ๆ กับผลการทดลองที่ได้ในแต่ละ Treatment Combinations แล้วนำมาบวกกันทั้งหมด ในการทดลองที่มีหลายตัวแปรสามารถสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ ซึ่งเป็นตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ข้อมูลร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนของตัวทำละลายไทลูอิน-เตตราลิน(ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)ภาวะเหนือวิกฤต

ตาราง ค.3 ข้อมูลการทดลองร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนด้วยตัวทำละลายไทลูอิน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต

| Treatment Combinations | ร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีน (db) |
|------------------------|---|
| (1) | 70 |
| a | 76 |
| b | 73 |
| ab | 81 |
| c | 54 |
| ac | 62 |
| bc | 61 |
| abc | 67 |

ตาราง ค.4 การคำนวณหา Contrast ของการแปรปรุ่รวมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนด้วยตัว
ทำละลายโทลูอีน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต

| Treatment Combinations | Contrast | | | | | | |
|---------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | AB | AC | BC | ABC |
| (1) | -70 | -70 | -70 | 70 | 70 | 70 | -70 |
| a | 76 | -76 | -76 | -76 | -76 | 76 | 76 |
| b | -73 | 73 | -73 | -73 | 73 | -73 | 73 |
| ab | 81 | 81 | -81 | 81 | -81 | -81 | -81 |
| c | -54 | -54 | 54 | 54 | -54 | -54 | 54 |
| ac | 62 | -62 | 62 | -62 | 62 | -62 | -62 |
| bc | -61 | 61 | 61 | -61 | -61 | 61 | -61 |
| abc | 67 | 67 | 67 | 67 | 67 | 67 | 67 |

ตาราง ค.5 การวิเคราะห์ Factor Effect Estimate และ SS ของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหิน
และพอลิพรอพิลีนจากการแปรปรุ่รวมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-
เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต

| Model Term | Effect Estimate | SS | Percent Contribute |
|------------|--------------------|--------|-----------------------|
| A | 7.00 | 98.00 | 18.01 |
| B | 5.00 | 50.00 | 9.19 |
| C | -14.00 | 392.00 | 72.06 |
| AB | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| AC | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BC | 1.00 | 2.00 | 0.37 |
| ABC | -1.00 | 2.00 | 0.37 |

ตาราง ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพทีลีนจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพทีลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต

| Source of Variation | Degree of Freedom | Sum of Square | Mean Square | F _o |
|---------------------|-------------------|---------------|-------------|----------------|
| A | 1 | 98 | 98 | 98 |
| B | 1 | 50 | 50 | 50 |
| C | 1 | 392 | 392 | 392 |
| ERROR | 4 | 4 | 1 | |
| TOTAL | 7 | 544 | | |

ตาราง ค.7 การตรวจสอบการวินิจฉัยของการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพทีลีนด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต

| Treatment Combinations | y | \hat{y} | $e = y - \hat{y}$ |
|------------------------|-----|-----------|-------------------|
| (1) | 70 | 69 | 1 |
| a | 76 | 76 | 0 |
| b | 73 | 74 | -1 |
| ab | 81 | 81 | 0 |
| c | 54 | 55 | -1 |
| ac | 62 | 62 | 0 |
| bc | 61 | 60 | 1 |
| abc | 67 | 67 | 0 |

เมื่อ Regression Model ที่ให้หาค่า Estimate ของการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพทีลีน คือ

$$\hat{y} = 68 + 3.5x_A + 2.5x_B - 7x_C$$

ภาคผนวก ง

ตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอย

ตาราง ง.1 การวิเคราะห์ Factor Effect Estimate และ SS ของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและ
 พอลิพรอพิลีนจากการแปรปรวมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลาย
 โทลูอีน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต

| Model Term | Effect Estimate | SS | Percent Contribute |
|------------|-----------------|--------|--------------------|
| A | 7.00 | 98.00 | 18.01 |
| B | 5.00 | 50.00 | 9.19 |
| C | -14.00 | 392.00 | 72.06 |
| AB | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| AC | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BC | 1.00 | 2.00 | 0.37 |
| ABC | -1.00 | 2.00 | 0.37 |

ตาราง ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนจากการ
 แปรปรวมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลินภาวะ
 เหนือวิกฤต

| Source of Variation | Degree of Freedom | Sum of Square | Mean Square | F _o |
|---------------------|-------------------|---------------|-------------|----------------|
| A | 1 | 98 | 98 | 98 |
| B | 1 | 50 | 50 | 50 |
| C | 1 | 392 | 392 | 392 |
| ERROR | 4 | 4 | 1 | |
| TOTAL | 7 | 544 | | |

ตาราง ง.3 การตรวจสอบการวินิจฉัยของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพทิสันจากการแปร
รูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพทิสันให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายไหลอื่น-เตตราลินภาวะ
เหนือวิกฤต

| Treatment Combinations | y | \hat{y} | $e = y - \hat{y}$ |
|---------------------------|-----|-----------|-------------------|
| (1) | 70 | 69 | 1 |
| a | 76 | 76 | 0 |
| b | 73 | 74 | -1 |
| ab | 81 | 81 | 0 |
| c | 54 | 55 | -1 |
| ac | 62 | 62 | 0 |
| bc | 61 | 60 | 1 |
| abc | 67 | 67 | 0 |

ตาราง ง.4 การวิเคราะห์ Factor Effect Estimate และ SS ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว
จากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพทิสันให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายไหลอื่น-
เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต

| Model Term | Effect Estimate | SS | Percent Contribute |
|------------|--------------------|--------|-----------------------|
| A | 3.50 | 24.50 | 6.55 |
| B | 6.00 | 72.00 | 19.25 |
| C | -11.50 | 264.50 | 70.72 |
| AB | 1.50 | 4.50 | 1.20 |
| AC | -1.00 | 2.00 | 0.53 |
| BC | -1.50 | 4.50 | 1.20 |
| ABC | -1.00 | 2.00 | 0.53 |

ตาราง ง.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต

| Source of Variation | Degree of Freedom | Sum of Square | Mean Square | F _o |
|---------------------|-------------------|---------------|-------------|----------------|
| A | 1 | 24.50 | 24.50 | 8.65 |
| B | 1 | 72.00 | 72.00 | 25.41 |
| C | 1 | 264.50 | 264.50 | 93.35 |
| AB | 1 | 4.50 | 4.50 | 1.59 |
| ERROR | 3 | 8.50 | 2.83 | |
| TOTAL | 7 | 374.00 | | |

ตาราง ง.6 การตรวจสอบการวินิจฉัยของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต

| Treatment Combinations | y | \hat{y} | $e = y - \hat{y}$ |
|------------------------|-----|-----------|-------------------|
| (1) | 53 | 53.00 | 0.00 |
| a | 55 | 56.50 | -1.50 |
| b | 58 | 59.00 | -1.00 |
| ab | 65 | 62.50 | 2.50 |
| c | 43 | 41.50 | 1.50 |
| ac | 45 | 45.00 | 0.00 |
| bc | 47 | 47.50 | -0.50 |
| abc | 50 | 51.00 | -1.00 |

ตาราง ง.7 การวิเคราะห์ Factor Effect Estimate และ SS ของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและ
 พอลิพรอพิลีนจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลาย
 โทลูอีน-เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต

| Model Term | Effect Estimate | SS | Percent Contribute |
|------------|-----------------|--------|--------------------|
| A | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| B | 7.00 | 98.00 | 12.96 |
| C | -18.00 | 648.00 | 85.71 |
| AB | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| AC | 2.00 | 8.00 | 1.06 |
| BC | 1.00 | 2.00 | 0.26 |
| ABC | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

ตาราง ง.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนจากการ
 แปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอล
 ภาวะเหนือวิกฤต

| Source of Variation | Degree of Freedom | Sum of Square | Mean Square | F _o |
|---------------------|-------------------|---------------|-------------|----------------|
| B | 1 | 98.00 | 98.00 | 49.00 |
| C | 1 | 648.00 | 648.00 | 324.00 |
| BC | 1 | 2.00 | 2.00 | 1.00 |
| ERROR | 4 | 8.00 | 2.00 | |
| TOTAL | 7 | 756.00 | | |

ตาราง ง.9 การตรวจสอบการวินิจฉัยของร้อยละการเปลี่ยนถ่านหินและพอลิพรอพิลีนจากการแปร
รูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายไฮลูอิน-เอทานอลภาวะ
เหนือวิกฤต

| Treatment Combinations | y | \hat{y} | $e = y - \hat{y}$ |
|---------------------------|-----|-----------|-------------------|
| (1) | 60 | 58.50 | 1.50 |
| a | 58 | 58.50 | -0.50 |
| b | 66 | 65.50 | 0.50 |
| ab | 64 | 65.50 | -1.50 |
| c | 39 | 40.50 | -1.50 |
| ac | 41 | 40.50 | 0.50 |
| bc | 47 | 47.50 | -0.50 |
| abc | 49 | 47.50 | 1.50 |

ตาราง ง.10 การวิเคราะห์ Factor Effect Estimate และ SS ของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลว
จากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายไฮลูอิน-
เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต

| Model Term | Effect Estimate | SS | Percent Contribute |
|------------|--------------------|--------|-----------------------|
| A | -4.75 | 45.13 | 6.57 |
| B | 13.75 | 378.13 | 55.05 |
| C | -8.75 | 153.13 | 22.29 |
| AB | 4.75 | 45.13 | 6.57 |
| AC | 0.25 | 0.13 | 0.02 |
| BC | -5.25 | 55.13 | 8.03 |
| ABC | -2.25 | 10.13 | 1.47 |

ตาราง ง.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน-เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต

| Source of Variation | Degree of Freedom | Sum of Square | Mean Square | F _o |
|---------------------|-------------------|---------------|-------------|----------------|
| A | 1 | 45.13 | 45.13 | 8.80 |
| B | 1 | 378.13 | 378.13 | 73.78 |
| C | 1 | 153.13 | 153.13 | 29.88 |
| AB | 1 | 45.13 | 45.13 | 8.80 |
| BC | 1 | 55.13 | 55.13 | 10.76 |
| ERROR | 2 | 10.25 | 5.13 | |
| TOTAL | 7 | 686.88 | | |

ตาราง ง.12 การตรวจสอบการวินิจฉัยของร้อยละผลได้ผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน-เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต

| Treatment Combinations | y | \hat{y} | $e = y - \hat{y}$ |
|------------------------|-----|-----------|-------------------|
| (1) | 38 | 37.00 | 1.00 |
| a | 26 | 32.25 | -6.25 |
| b | 50 | 50.75 | -0.75 |
| ab | 52 | 46.00 | 6.00 |
| c | 32 | 28.25 | 3.75 |
| ac | 25 | 23.50 | 1.50 |
| bc | 38 | 42.00 | -4.00 |
| abc | 36 | 37.25 | -1.25 |

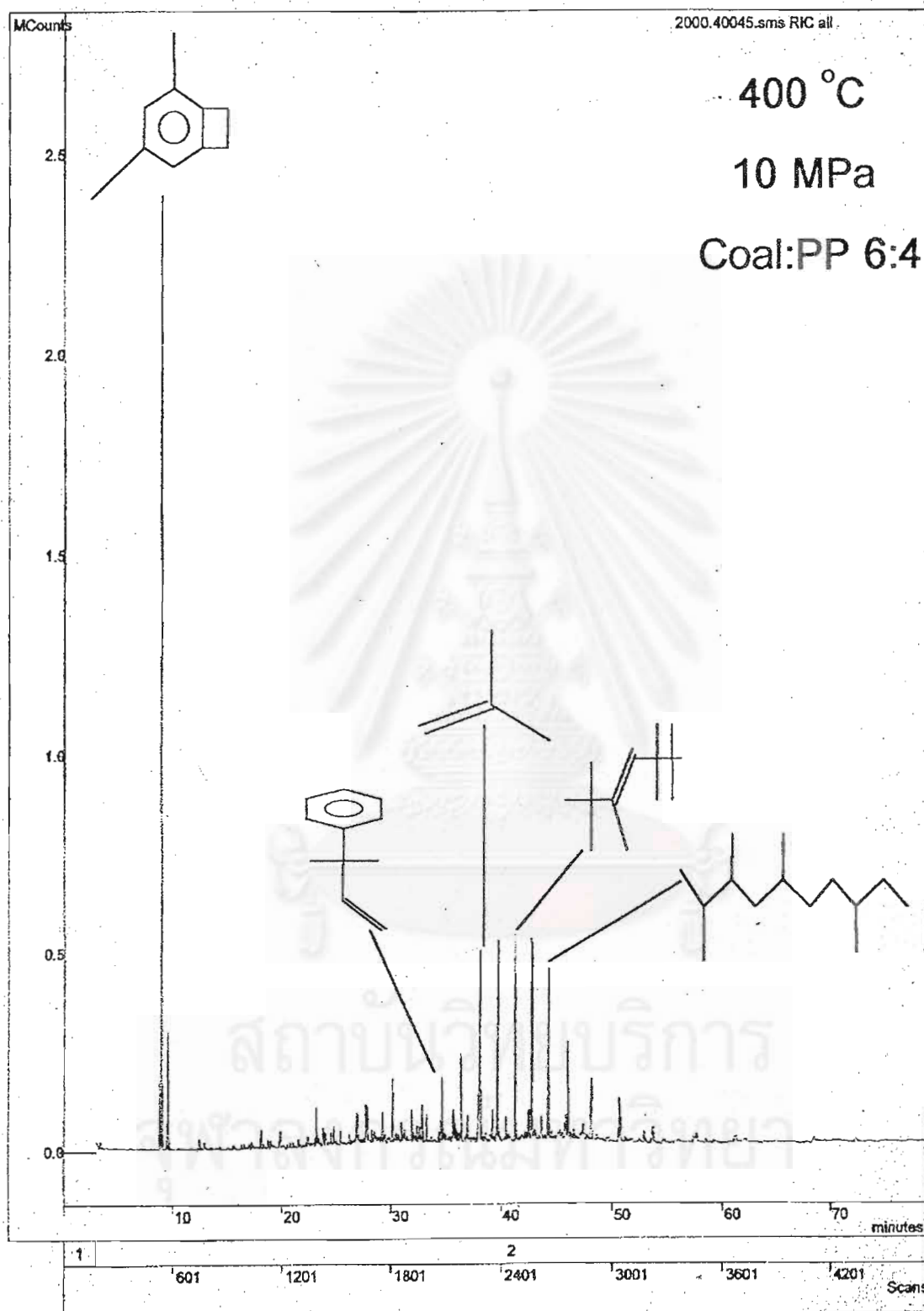
ภาคผนวก จ

GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอลโคแมติกส์

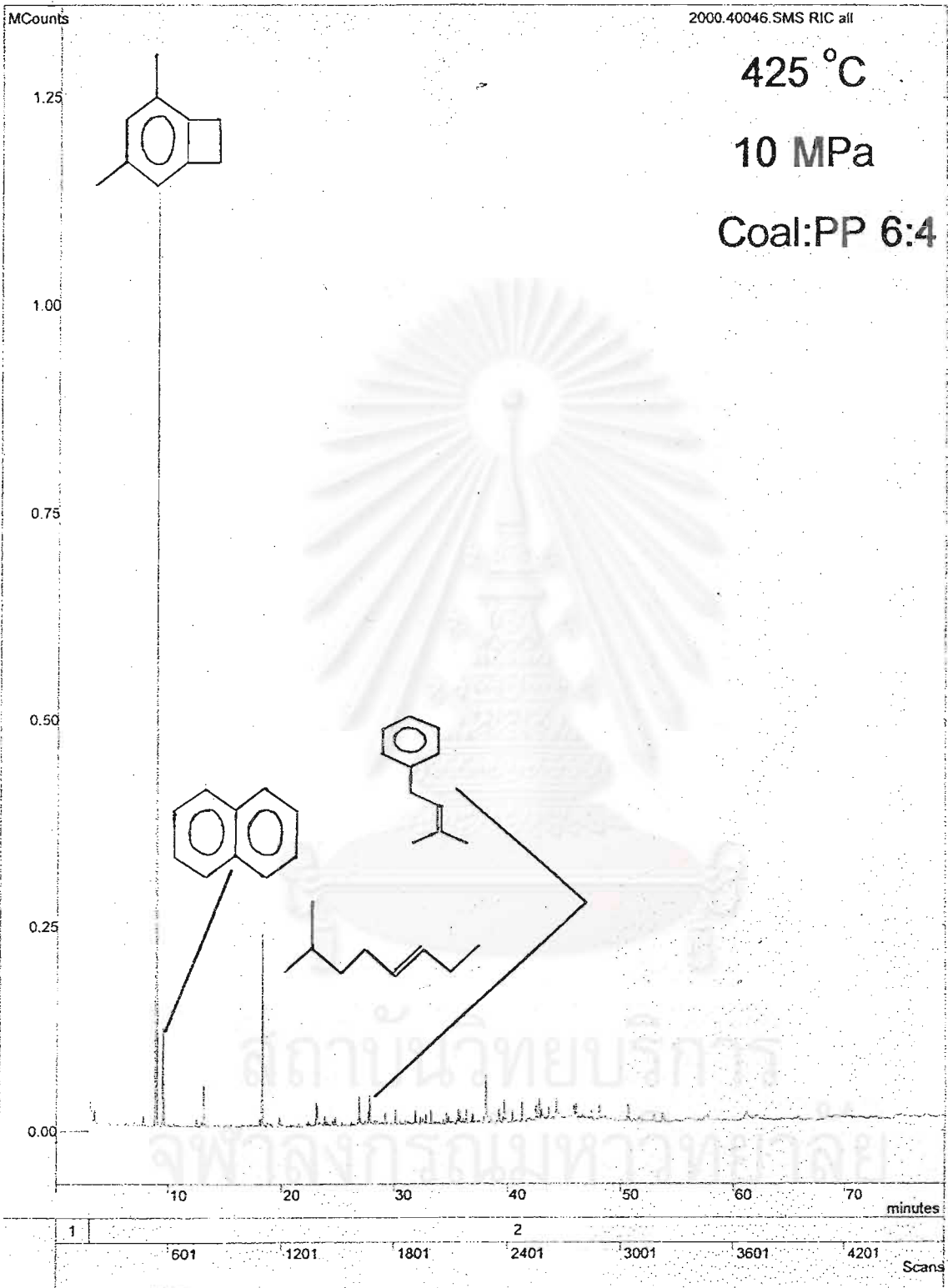
GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอลโคแมติกส์จากการแปรปรูร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอิน-เตตราลิน(ร้อยละ 30 โดยปริมาตร)แสดงในรูปที่ จ.1-จ.4 และตัวทำละลายโทลูอิน-เอทานอล(ร้อยละ 10 โดยปริมาตร)แสดงในรูปที่ จ.5-จ.8 พบว่าบางพีคสูงบางพีคต่ำเนื่องมาจากว่าเครื่อง GC/MSที่ใช้เป็นแบบ Auto Scaleซึ่งกำหนดความสูงของพีคที่สูงที่สุดไว้ ดังนั้นถ้าดึงพีคต่ำให้สูงขึ้นจะทำให้พีคที่สูงที่สุดเป็นพีคหัวตัด และมีพีคของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นในแต่ละตัวอย่างเป็นจำนวนมาก จึงเลือกเฉพาะบางพีคที่มีการแตกตัวของ Base Peak ตรงกันกับ Base Peak ของเครื่อง MS มากที่สุดมาแสดงเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ

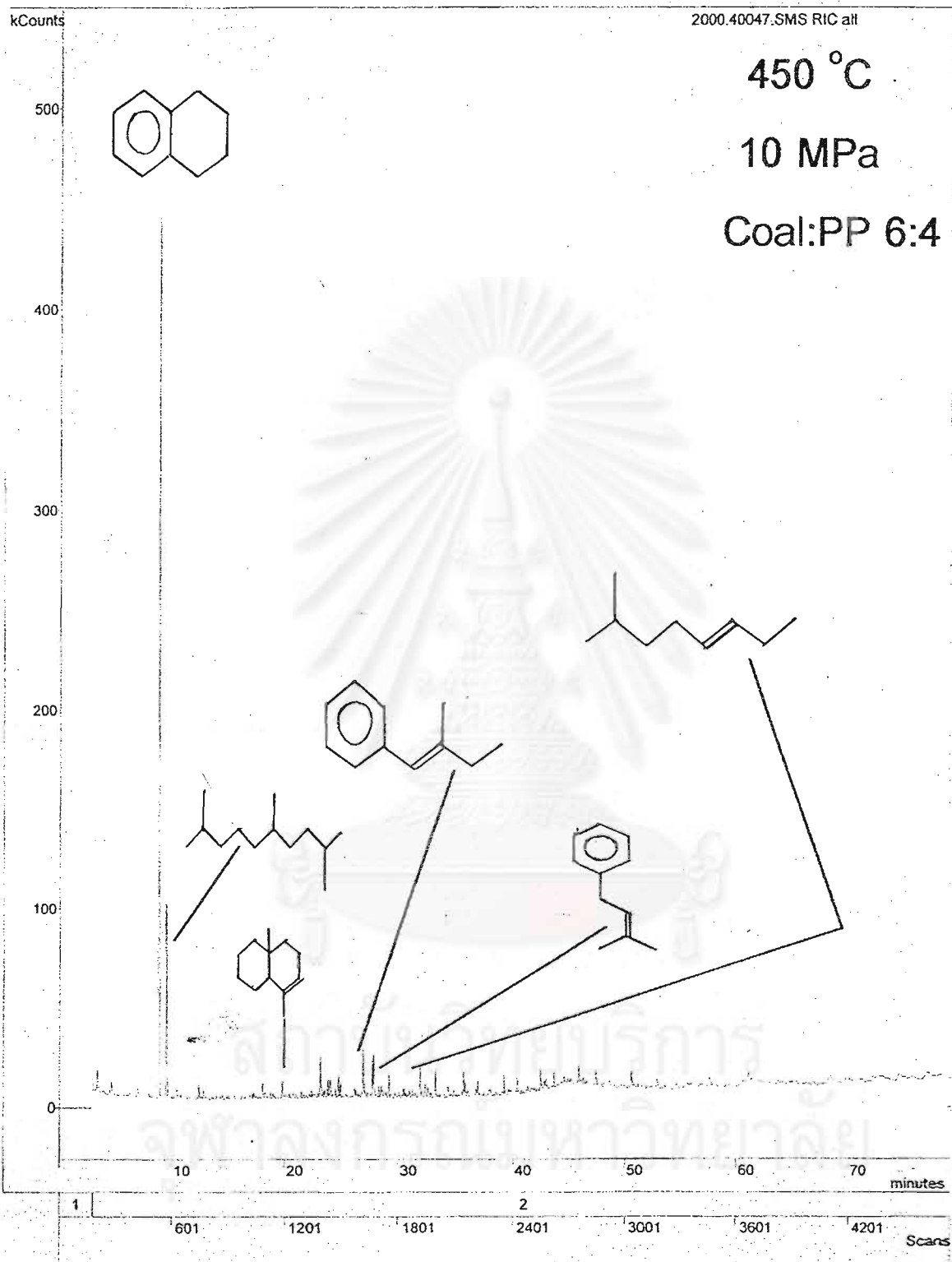
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



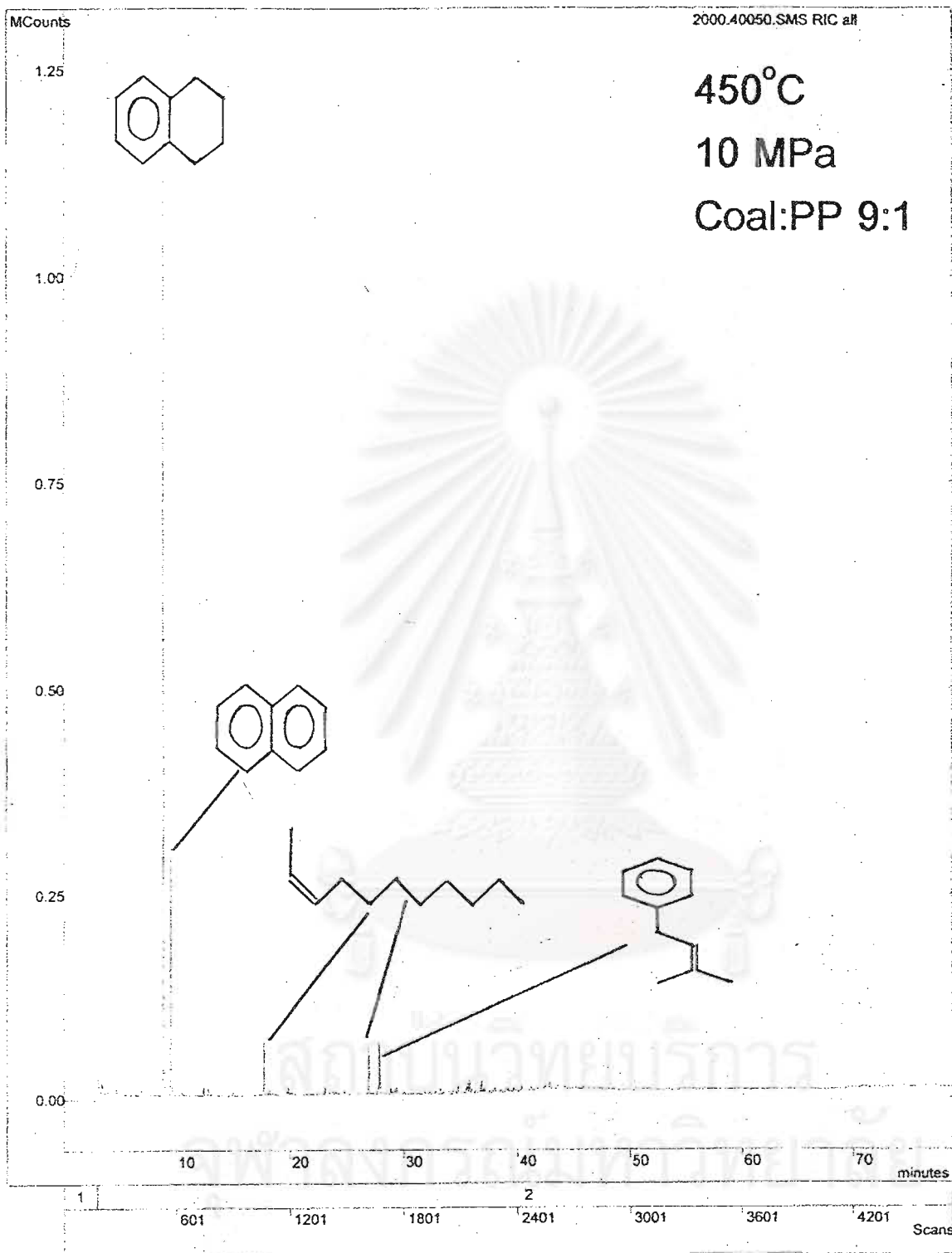
รูปที่ ๑.1 GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอมดิคส์ของการแปรรูปร่วมของ ถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลีนภาวะเหนือวิกฤต



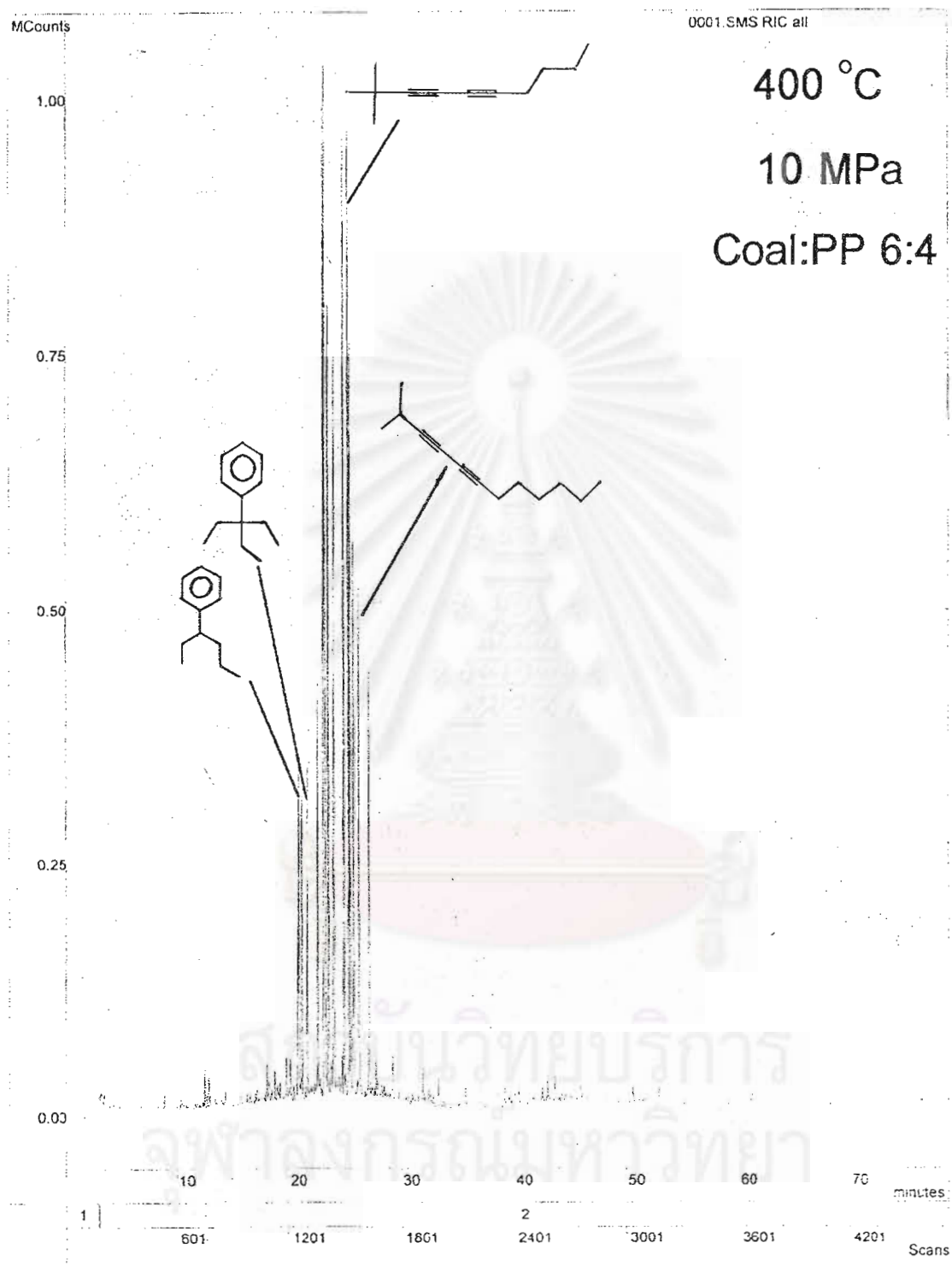
รูปที่ ๑.2 GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอลิเมติกส์ของการแปรปรวมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลินภาวะเหนือวิกฤต



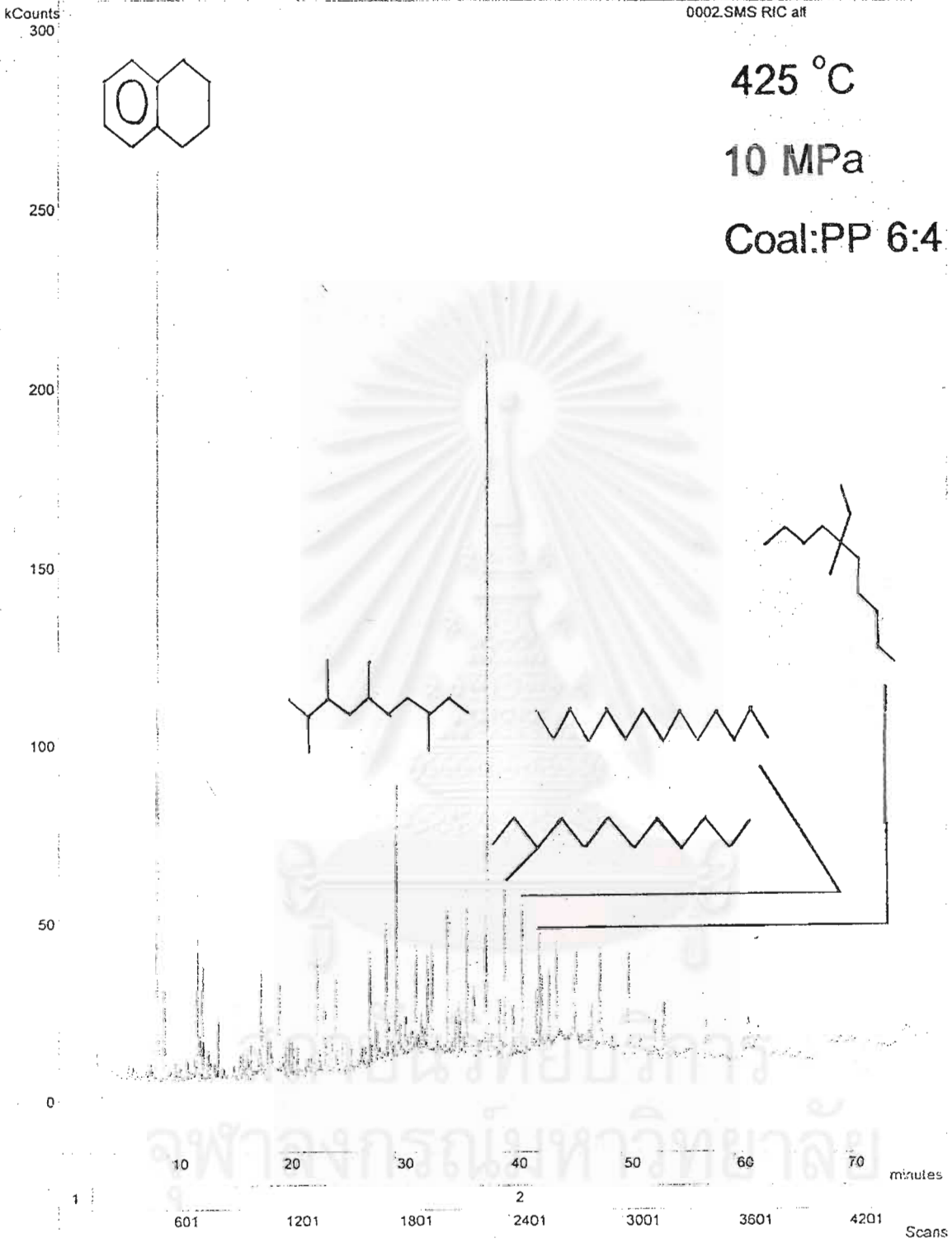
รูปที่ ๑.๓ GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอลไนด์ติกส์ของการแปรรูปร่วมของ ถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เตตราลีนภาวะเหนือวิกฤต



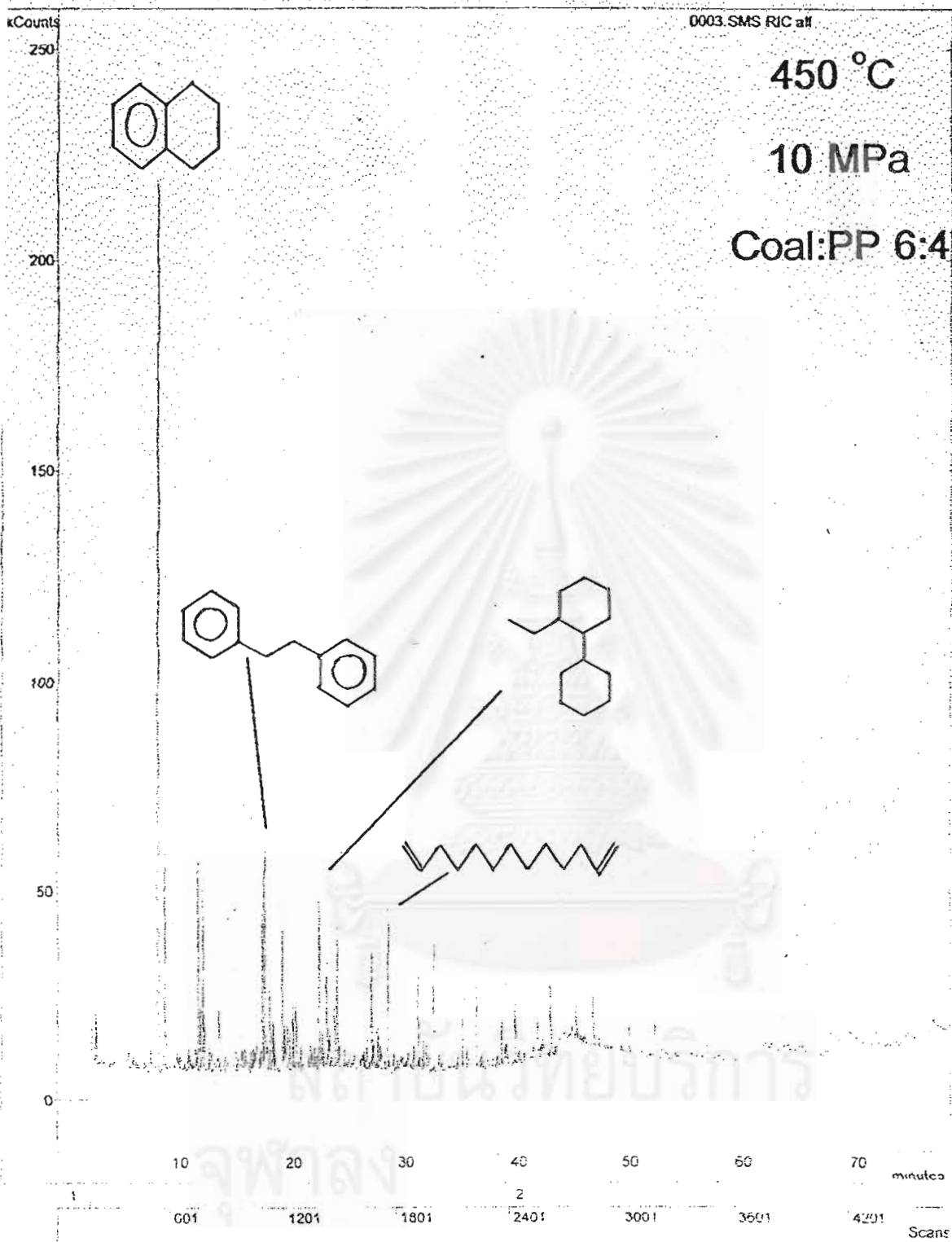
รูปที่ ๑.4 GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอมดิกล์ของการแปรรูปร่วมของ ถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายอินทรีย์-เตตราลีนภาวะเหนือวิกฤต



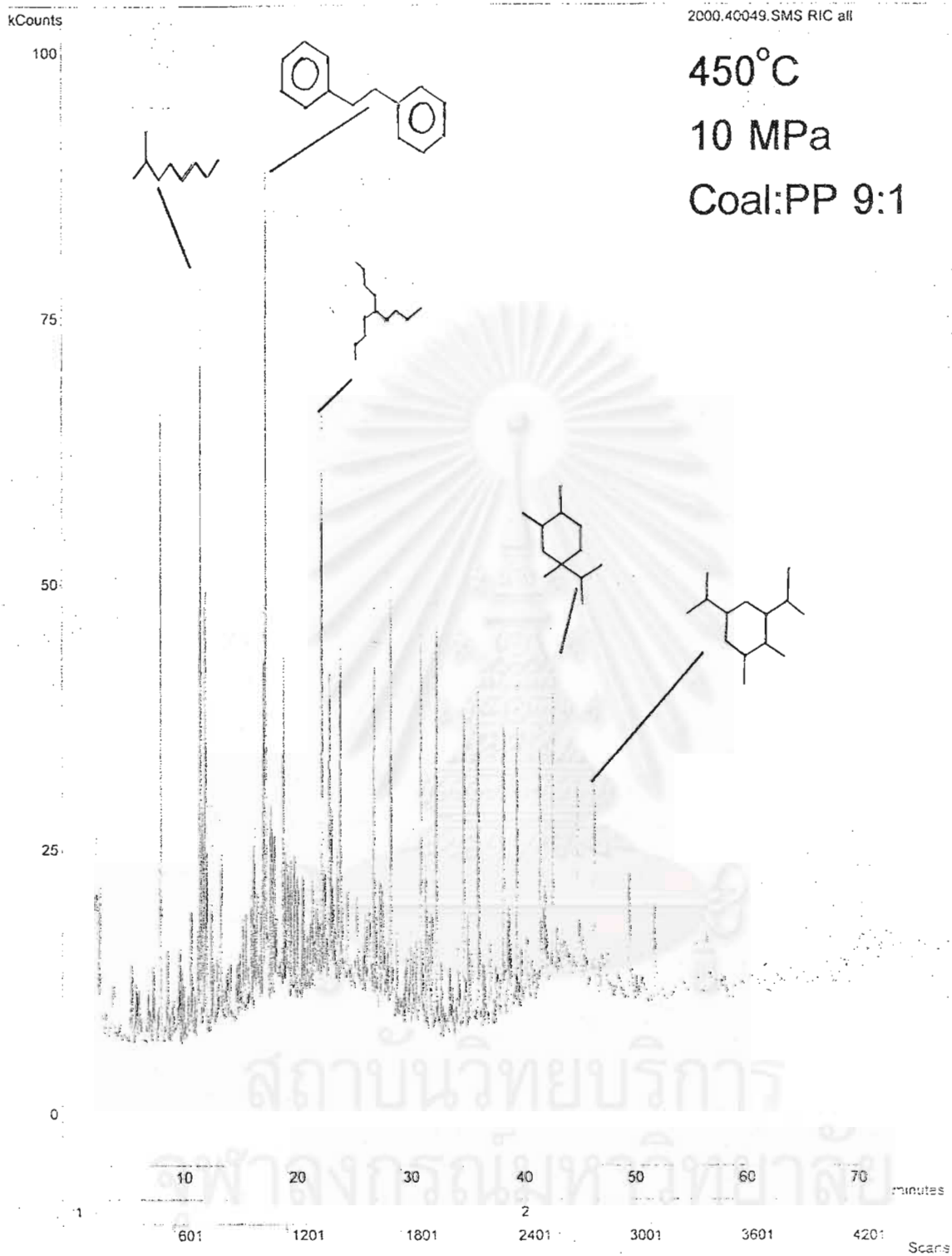
รูปที่ ๑.5 GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอโรแมติกส์ของการแปรรูปร่วมของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต



รูปที่ ๑.6 GC/MS โคโรมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอโรแมติกส์ของการแปรรูปรวมของ ถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เฮกซานอลภาวะเหนือวิกฤต



รูปที่ ๑.7 GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอมดิกล์ของการแปรปรู่มของถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เฮทานอลภาวะเหนือวิกฤต



รูปที่ ๑.๘ GC/MS โครมาโทแกรมของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอโรแมติกส์ของการแปรรูปร่วมของ ถ่านหินและพอลิพรอพิลีนให้เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายโทลูอีน-เอทานอลภาวะเหนือวิกฤต

ภาคผนวก จ

โครงสร้างของหมู่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวและแอโรแมติกส์จากการ
วิเคราะห์ GC/MS โครมาโทแกรม

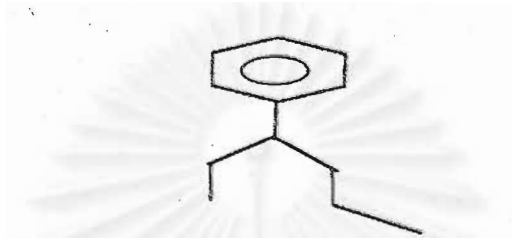
1.)

Benzene, (1-ethylbutyl)-

Formula : $C_{12}H_{18}$

MW : 162

CAS No. : 4468-42-2



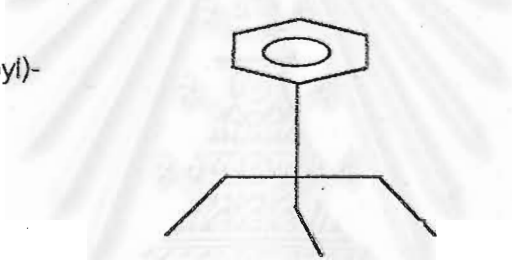
2.)

Benzene, (1,1-diethylpropyl)-

Formula : $C_{13}H_{20}$

MW : 176

CAS No. : 4170-84-7



3.)

3,5-Decadiyne, 2,2-dimethyl-

Formula : $C_{12}H_{18}$

MW : 162

CAS No. : 55682-73-0



4.)

3,5-Dodecadiyne, 2-methyl-

Formula : $C_{13}H_{20}$

MW : 176

CAS No. : 55638-52-3



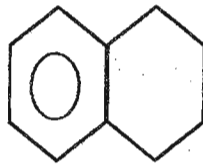
5.)

Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-

Formula : $C_{10}H_{12}$

MW : 132

CAS No. : 119-64-2



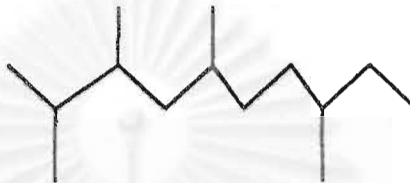
6.)

Decane, 2,3,5,8-tetramethyl-

Formula : $C_{14}H_{30}$

MW : 198

CAS No. : None



7.)

Dodecane

Formula : $C_{12}H_{26}$

MW : 170

CAS No. : 112-40-3



8.)

Tetradecane

Formula : $C_{14}H_{30}$

MW : 198

CAS No. : 629-59-4



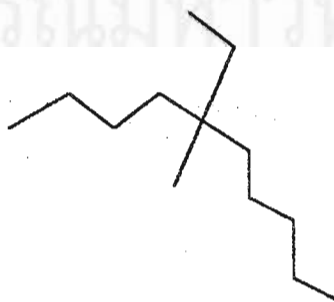
9.)

Decane, 5-ethyl-5-methyl-

Formula : $C_{13}H_{28}$

MW : 184

CAS No. : 17312-74-2



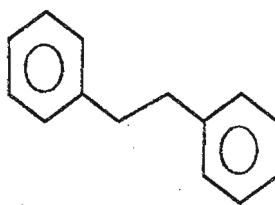
10.)

Bibenzyl

Formula : $C_{14}H_{14}$

MW : 182

CAS No. : 103-29-7



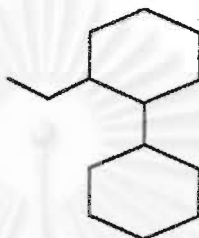
11.)

1,1'-Bicyclohexyl, 2-ethyl-, cis-

Formula : $C_{14}H_{26}$

MW : 194

CAS No. : 50991-12-3



12.)

1,12-Tridecadiene

Formula : $C_{13}H_{24}$

MW : 180

CAS No. : 21964-48-7



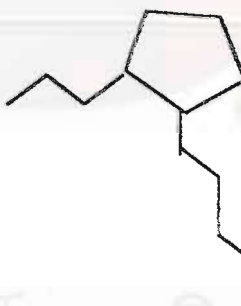
13.)

Cyclopentane, 1-pentyl-2-propyl-

Formula : $C_{13}H_{26}$

MW : 182

CAS No. : 62199-51-3



14.)

1-Tetradecene

Formula : $C_{14}H_{28}$

MW : 196

CAS No. : 1120-36-1



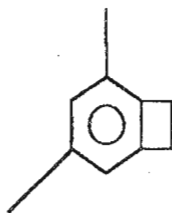
15.)

Bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene, 2,4-dimethyl-

Formula : $C_{10}H_{12}$

MW : 132

CAS No. : 28749-81-7



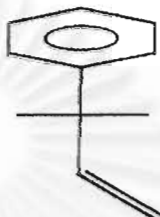
16.)

Benzene, (1,1-dimethyl-2-propenyl)-

Formula : $C_{11}H_{14}$

MW : 146

CAS No. : 18321-36-3



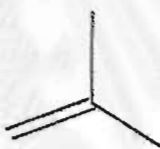
17.)

1-Propene, 2-methyl-, trimer

Formula : $C_{12}H_{24}$

MW : 168

CAS No. : 7756-94-7



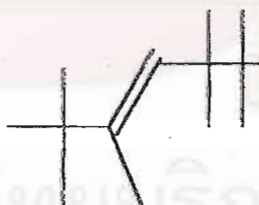
18.)

3-Heptene, 2,2,3,5,5,6,6-heptomethyl-

Formula : $C_{14}H_{28}$

MW : 196

CAS No. : 54845-26-0



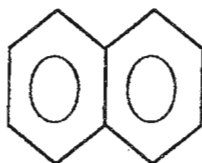
19.)

Naphthalene

Formula : $C_{10}H_8$

MW : 128

CAS No. : 91-20-3



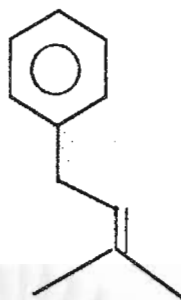
20.)

Benzene, (3-methyl-2-butenyl)-

Formula : $C_{11}H_{14}$

MW : 146

CAS No. : 4489-84-3



21.)

trans-7-Methyl-3-octene

Formula : C_9H_{18}

MW : 126

CAS No. : None



22.)

Decane, 2,5,9-trimethyl-

Formula : $C_{13}H_{28}$

MW : 184

CAS No. : 62108-22-9



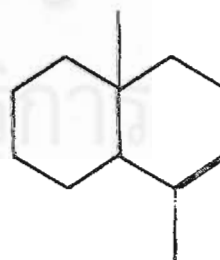
23.)

Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-4a,8-dimethyl-

Formula : $C_{12}H_{20}$

MW : 164

CAS No. : 55976-09-5



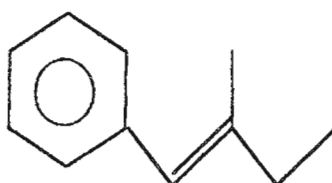
24.)

Benzene, (2-methyl-1-butenyl)-

Formula : $C_{11}H_{14}$

MW : 146

CAS No. : 56253-64-6



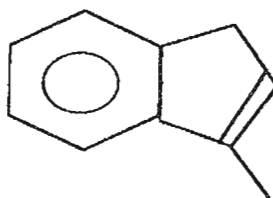
25.)

1H-Indene, 3-methyl-

Formula : $C_{10}H_{10}$

MW : 130

CAS No. : 767-60-2



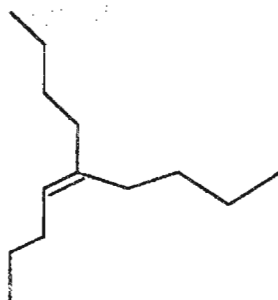
26.)

4-Nonene, 5-butyl-

Formula : $C_{13}H_{26}$

MW : 182

CAS No. : 7367-38-6



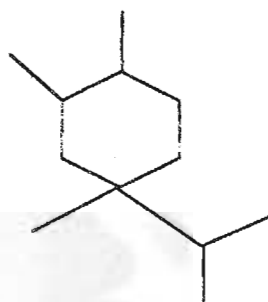
27.)

1-Isopropyl-1,4,5-trimethylcyclohexane

Formula : $C_{12}H_{24}$

MW : 168

CAS No. : None



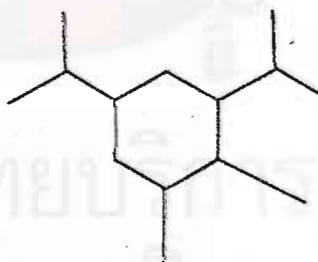
28.)

Cyclohexane, 1,5-diisopropyl-2,3-dimethyl-

Formula : $C_{14}H_{28}$

MW : 196

CAS No. : None



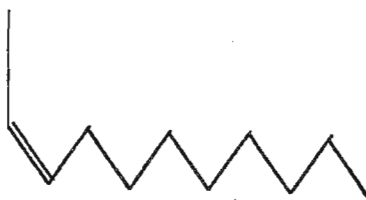
29.)

2-Undecene, (Z)-

Formula : $C_{11}H_{22}$

MW : 154

CAS No. : 821-96-5



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอภิชาติ ศิริพจนาวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนอัสสัมชัญ สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2543

