

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาสารดูดซับเมโซพอร์สคาร์บอน สำหรับดูดซับ Poly nuclear aromatics (PNA)



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี

RCH
TP
245
-C4
กข๖8 ก

งบประมาณ 2552

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 116905
วันเดือนปี 16 ส.ค. 2554

b. 12326422
1.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนและการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิจัย การพัฒนาสารดูดซับเมโซพอร์สคาร์บอนสำหรับดูดซับ Poly nuclear aromatics (PNA)

หัวหน้าโครงการ ผศ.ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2552 จำนวนเงิน 100,000 บาท ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2551 ถึง กันยายน 2552

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัด Heavy polynuclear aromatics (HPNA) ด้วยวิธีการดูดซับ โดยสารดูดซับคาร์บอนทางการค้าและเมโซพอร์สคาร์บอนที่สังเคราะห์จากกรีซอร์ซินอลและฟอร์มัลดีไฮด์ HPNA ถูกดูดซับโดยสารดูดซับคาร์บอนด้วยการทดสอบ 2 ส่วน คือ 1.ประสิทธิภาพการดูดซับและ 2. ความจุในการดูดซับ สารดูดซับคาร์บอนถูกวิเคราะห์ความพรุนด้วยเครื่องดูดซับแก๊สไนโตรเจนและ HPNA ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร จากผลการทดลอง ประสิทธิภาพการดูดซับแสดงให้เห็นว่า RF5 ซึ่งมีปริมาณเมโซพอร์มากที่สุดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนขนาดใหญ่สามารถกำจัด HPNA ในน้ำมันจากหน่วยแตกโมเลกุลโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมประมาณ 77 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่า AC1 สารดูดซับคาร์บอนทางการค้า 6.2 เท่า และการทดลองความจุในการดูดซับ พบว่า RF5 มีความจุมากกว่า สารดูดซับคาร์บอนทางการค้าประมาณ 2.9 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา II ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Development of mesoporous carbon adsorbents for Adsorption of poly nuclear aromatics (PNA)

Researcher Asst. Dr. Kriangsak Kraiwattanawong

Granted by Revenue from Faculty of Engineering in Fiscal 2009 at 100,000 Baht

Researched for 1 year from October 2008 to September 2009

ABSTRACT

This project is to study about the HPNA removal by commercial carbon adsorbents and mesoporous carbons synthesized from resorcinol and formaldehyde. HPNA is adsorbed by carbon adsorbents by the batch tests: 1 Adsorption performance and 2 Adsorption capacity. The carbon adsorbents are characterized by nitrogen adsorption apparatus and HPNA is analyzed by X-ray fluorescence at 510 nm of wavelength. In section 1, the results show that RF5 possessing the highest mesopore volume and large pore size diameter can remove HPNA in oil from hydrocracking unit around 77 % and is higher than AC1 which is the commercial carbon adsorbents around 6.2 times. In section 2, the results show the adsorption capacity of RF5 is higher than AC1 around 2.9 times.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2552

ผศ.ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IV นี้ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กระบวนการแตกโมเลกุลด้วยสารปฏิกิริยาโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking unit).....	4
2.1.1 Basic Unit Configuration of Hydrocracking Unit.....	4
2.1.1.1 Once-through Hydrocracking Unit.....	4
2.1.1.2 Single-stage Hydrocracking Unit.....	5
2.1.1.3 Two-stage Hydrocracking Unit.....	5
2.1.2 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการ.....	6
2.1.2.1 อุณหภูมิ.....	6
2.1.2.2 ความดันของเครื่องปฏิกรณ์.....	6
2.1.2.3 Space Velocity.....	6
2.2 โพลีไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatics Hydrocarbon).....	6
2.2.1 การเปลี่ยนแปลงของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม.....	6
2.2.2 ความเป็นพิษ.....	7
2.2.3 การเข้าสู่ร่างกาย.....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3	คาร์บอนกัมมันต์.....	8
2.3.1	ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์.....	9
2.3.1.1	แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น.....	9
2.3.1.2	แบ่งตามขนาดของรูพรุนบนผิวของคาร์บอนกัมมันต์.....	9
2.3.1.3	แบ่งตามลักษณะของรูปร่าง.....	9
2.3.1.4	แบ่งตามความหนาแน่นของคาร์บอนกัมมันต์.....	10
2.3.1.5	แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ.....	10
2.4	การดูดซับ.....	10
2.4.1	กลไกการดูดซับ.....	11
2.4.1.1	การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption).....	11
2.4.1.2	การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption).....	12
2.4.2	ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherms).....	12
2.4.3	ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	14
2.4.3.1	พื้นที่ผิวและ โครงสร้างของรูพรุน.....	14
2.4.3.2	ขนาดของสารดูดซับ.....	14
2.4.3.3	ความสามารถในการละลาย.....	14
2.4.3.4	น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล.....	14
2.4.3.5	ความมีขั้วของ โมเลกุล.....	14
2.4.3.6	ผลของอุณหภูมิ.....	14
2.5	รีซอร์ซินอลฟอร์มาลดีไฮด์คาร์บอนเจล.....	15
2.5.1	การสังเคราะห์และสมบัติของรีซอร์ซินอลฟอร์มาลดีไฮด์คาร์บอนเจล.....	15
2.5.2	สารตั้งต้นในการสังเคราะห์.....	16
2.5.3	กระบวนการเกิดเจลและการบ่ม.....	16
2.5.4	การแลกเปลี่ยนตัวทำละลาย.....	17
2.5.5	ไฟโรไลซิส.....	17
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การทดลอง.....	21
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	21
3.2 สารเคมีและวัสดุที่ใช้.....	21
3.3 วิธีการทดลอง.....	21
3.3.1 การสังเคราะห์คาร์บอนซีโรเจดโดยวิธีการโซลเจล.....	22
3.3.2 ศึกษาหาจุดสมดุลในการดูดซับ (Adsorption Equilibrium) แบบกะ.....	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	25
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	26
4.2 ผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของการ ดูดซับ (Adsorption performance)แบบกะ.....	27
4.2.1 ผลการดูดซับ HPNA	27
4.2.2 วิเคราะห์ผลการทดลองการหาประสิทธิภาพของสารดูดซับคาร์บอน	28
4.3 ผลการทดลองเพื่อหาความจุในการดูดซับ (Adsorption capacity) แบบกะ.....	29
4.2.1 ผลการดูดซับ HPNA	29
4.2.2 วิเคราะห์ผลการทดลองการหาความจุในการดูดซับของสารดูดซับคาร์บอน.....	30
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	31
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	31
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	31
เอกสารอ้างอิง.....	32
ภาคผนวก.....	34
ภาคผนวก ก.....	35
ภาคผนวก ข.....	38
ภาคผนวก ค.....	40
ภาคผนวก ง.....	42

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การแบ่งกลุ่มขนาดรูพรุนตามระบบ IUPAC.....	9
ตารางที่ 3.1 เวลาดูดซับของสารที่ใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพของสารดูดซับ.....	23
ตารางที่ 3.2 เวลาการดูดซับของสารที่ใช้ในการทดลองหาความจุในการดูดซับ.....	24
ตารางที่ 4.1 ชนิดของสารดูดซับที่นำมาทดสอบการดูดซับ HPNA แบบกะ.....	25
ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบสมบัติของสารดูดซับคาร์บอนด้วยแบบจำลอง BET.....	26
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละ HPNA ในน้ำมันหลังการดูดซับด้วยสารดูดซับ ที่เวลาต่างๆ กัน.....	27
ตารางที่ 4.4 ความจุในการดูดซับ HPNA ของสารดูดซับคาร์บอน.....	29
ตารางที่ ข-1 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของการดูดซับของสารดูดซับชนิดต่างๆ.....	38
ตารางที่ ข-2 ผลการทดลองหาความจุในการดูดซับของสารดูดซับชนิดต่างๆ.....	39
ตารางที่ ง-1 ผลการกระจายตัวขนาดของรูพรุนของ RF1.....	42
ตารางที่ ง-2 ผลการกระจายตัวขนาดของรูพรุนของ RF2.....	43
ตารางที่ ง-3 ผลการกระจายตัวขนาดของรูพรุนของ RF3.....	44
ตารางที่ ง-4 ผลการกระจายตัวขนาดของรูพรุนของ RF5.....	45
ตารางที่ ง-5 ผลการกระจายตัวขนาดของรูพรุนของ AC1.....	46

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	Once-through Hydrocracking Unit.....	4
รูปที่ 2.2	Two-stage Hydrocracking Unit.....	5
รูปที่ 2.3	ตัวอย่างโครงสร้างและชื่อเรียกเฉพาะของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกส์ ไฮโดรคาร์บอน.....	8
รูปที่ 2.4	กลไกการดูดซับและคายซับ.....	12
รูปที่ 2.5	ไอโซเทอร์มของการดูดซับตามการจำแนกของ IUPAC.....	13
รูปที่ 2.6	ปฏิกิริยาการเติม (Addition reaction)	16
รูปที่ 2.7	ปฏิกิริยาการควบแน่น (Condensation reaction)	16
รูปที่ 2.8	สมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ชนิด A และ ชนิด B ที่ใช้ในการทดลอง.....	18
รูปที่ 2.9	การกระจายตัวขนาดของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากปาล์ม.....	18
รูปที่ 2.10	การกระจายตัวขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ F400.....	19
รูปที่ 2.11	ไอโซเทอร์มการดูดซับของ (1) เบนซีน และ (2) โทลูอีน.....	19
รูปที่ 2.12	ไอโซเทอร์มการดูดซับ-คายซับของแก๊สไนโตรเจน.....	20
รูปที่ 2.13	การกระจายตัวขนาดของรูพรุนของเมโซพอร์สคาร์บอน.....	20
รูปที่ 4.1	การกระจายตัวขนาดรูพรุนของสารดูดซับคาร์บอน AC1 RF1 RF2 RF3 และ RF5.....	26
รูปที่ 4.2	กราฟข้อมูลผลการดูดซับ HPNA ด้วยสารดูดซับคาร์บอน 5 ชนิด ได้แก่ AC1 RF1 RF2 RF3 และ RF5 โดยแสดงเป็นร้อยละปริมาณของสาร HPNA ที่ถูกดูดซับเทียบกับเวลา.....	28
รูปที่ 4.3	กราฟปริมาณความจุของสารดูดซับคาร์บอน 2 ชนิด ได้แก่ AC1 และ RF5 โดยแสดง ปริมาณความจุของสารดูดซับคาร์บอนเทียบกับเวลา.....	30
รูปที่ ก-1	รังสีเอ็กซ์พุ่งเข้าชนสารตัวอย่างทำให้อิเล็กตรอนวงในสุดหลุดออก.....	35
รูปที่ ก-2	การปลดปล่อยรังสีเอ็กซ์ทุติยภูมิในการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน1.....	36
รูปที่ ก-3	การปลดปล่อยรังสีเอ็กซ์ทุติยภูมิในการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน2.....	36
รูปที่ ก-4	ส่วนประกอบหลักของเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์	37
รูปที่ ค-1	เครื่องดูดซับแก๊สไนโตรเจน.....	41
รูปที่ ง-2	การกระจายตัวขนาดรูพรุนของคาร์บอนซีโรเจล RF2.....	43
รูปที่ ง-3	การกระจายตัวขนาดรูพรุนของคาร์บอนซีโรเจล RF3.....	44
รูปที่ ง-4	การกระจายตัวขนาดรูพรุนของคาร์บอนซีโรเจล RF5.....	45
รูปที่ ง-5	การกระจายตัวของขนาดรูพรุนของ AC1.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IX นี้ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย

ปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมประเภทปิโตรเคมีโดยเฉพาะโรงกลั่นน้ำมันมักจะพบปัญหาเกี่ยวกับการเกิดฟาวลิ่ง (Fouling) ในหน่วยแตกโมเลกุลด้วยสารเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking Unit) เมื่อเกิดฟาวลิ่งในกระบวนการแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง ซึ่งฟาวลิ่งที่เกิดขึ้นมักเกิดจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดของโมเลกุลขนาดใหญ่ ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทโพลีอะโรมาติกส์

Heavy Polynuclear Aromatic Hydrocarbon (HPNA) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบไปด้วยวงเบนซีนหลายวงและมากกว่า 11 วงขึ้นไป [1] มีสมบัติทางกายภาพคือ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ต่ำ ซึ่งทำให้เกิดเป็นแว็กซ์ (Wax) เคลือบที่ผนังของท่อหรือรู โดยเฉพาะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน [2] ของหน่วยแตกโมเลกุลด้วยสารเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม ทำให้ยากต่อการนำส่วนที่ผ่านจากกระบวนการแตกโมเลกุลด้วยสารเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมแล้ว กลับมาผ่านกระบวนการใหม่อีกครั้ง (Recycle) ในกระบวนการดังกล่าวจำเป็นต้องมีการกำจัดสาร HPNA ที่เกิดขึ้นออกจากส่วนล่างของหน่วยแตกโมเลกุลด้วยสารเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม โดยการนำน้ำมันที่ได้จากส่วนล่างของหน่วยแตกโมเลกุลด้วยสารเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม มาผ่านกระบวนการดูดซับด้วยสารดูดซับ (Adsorbent) ก่อนที่จะนำกลับมาป้อนใหม่ในกระบวนการแตกโมเลกุลด้วยสารเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม เพื่อลดปริมาณ HPNA และเป็นการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวของ HPNA ซึ่งอาจจะทำให้เกิดโครงสร้างของ HPNA ที่ใหญ่ขึ้น และเกิดเป็นฟาวลิ่งขึ้นมาได้

วิธีการกำจัด HPNA ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบันใช้วิธีการดูดซับโดยอาศัยสารดูดซับประเภทคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว (Coconut shell activated carbon) แต่เนื่องจากประสิทธิภาพของคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าวเพื่อใช้ในการดูดซับ HPNA มีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ต่ำ โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาสารดูดซับประเภทคาร์บอนที่เหมาะสมในการดูดซับ HPNA โดยจะใช้คาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุชนิดต่างๆ และเมโซพอร์รัสคาร์บอนที่สังเคราะห์จากกรีซอร์ซินอลฟอร์มัลดีไฮด์มาทดสอบการดูดซับ HPNA

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและทำการสังเคราะห์กรีซอร์ซินอลฟอร์มัลดีไฮด์คาร์บอนเจลเพื่อใช้ในการดูดซับ HPNA การนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารดูดซับประเภทคาร์บอนชนิดต่างๆในการดูดซับ HPNA

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 สังเคราะห์รีซอร์ซินอลฟอร์มาลดีไฮด์คาร์บอนเจล และทำให้แห้งแบบสุญญากาศในอัตราส่วนต่างๆ กันจำนวน 4 สภาวะ ได้แก่ RF1 RF2 RF3 และ RF5

1.3.2 วิเคราะห์สมบัติของรีซอร์ซินอลฟอร์มาลดีไฮด์คาร์บอนเจลที่สังเคราะห์ได้และคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า โดยอาศัยเครื่องดูดซับแก๊สไนโตรเจน

1.3.3 ทดสอบการดูดซับ HPNA โดยใช้วิธีทดสอบแบบกะ ได้แก่ การทดสอบหาประสิทธิภาพการดูดซับ ด้วยสารดูดซับ 5 ชนิด ได้แก่ AC1 RF1 RF2 RF3 และ RF5

1.3.4 จากผลการทดลองหาประสิทธิภาพของการดูดซับ นำคาร์บอนกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดของสารดูดซับคาร์บอนทางการค้า และรีซอร์ซินอลฟอร์มาลดีไฮด์คาร์บอนเจลที่สังเคราะห์มาศึกษาหาความจุในการดูดซับ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดซับของสารดูดซับ

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์รีซอร์ซินอลฟอร์มาลดีไฮด์คาร์บอนเจลโดยใช้อัตราส่วนของสารตั้งต้นต่างๆ กัน

1.4.3 ศึกษาและออกแบบการทดลองที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของสารดูดซับประเภทคาร์บอน ซึ่งได้แก่ คาร์บอนกัมมันต์ทางการค้า และเมโซพอร์รัสคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยรีซอร์ซินอลฟอร์มาลดีไฮด์

1.4.4 เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการเพื่อนำข้อมูลไปเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกสารดูดซับประเภทคาร์บอนที่มีความสามารถในการดูดซับ HPNA ได้ดีกว่าเดิมในโรงกลั่นน้ำมัน

1.4.5 วิเคราะห์ประสิทธิภาพ และสรุปผลการทดลอง

1.4.6 จัดทำรายงานปริญาานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย

เอกสาร 1.5.1 นี้ได้รับความรู้เกี่ยวกับกระบวนการดูดซับ และปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ HPNA | ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.2 ได้รับความรู้เกี่ยวกับการสังเคราะห์รีซอร์ซินอลฟอรั่มัลดีไฮด์คาร์บอนเจล

1.5.3 สามารถนำข้อมูลจากงานวิจัยไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันได้ใน

อนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการแตกโมเลกุลด้วยสารปฏิกิริยาโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม (Hydrocracking unit) [2]

กระบวนการนี้เป็นการรวมเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดคาร์โบเนียมไอออน (คาร์โบเนียมไอออนคือ การที่ไฮโดรคาร์บอนสูญเสียไอออนที่มีประจุลบออกไป ทำให้ไฮโดรคาร์บอนนั้นมีสภาพเป็นบวก) ของกระบวนการคาตาลิติกแครกกิง (Catalytic Cracking) เข้ากับเคมีด้านการเติมไฮโดรเจน เริ่มต้นจากการเกิดโอเลฟินขึ้นบริเวณที่เป็น โลหะของตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วโอเลฟินก็จะไปทำให้เกิดเป็นคาร์โบเนียมไอออน จากนั้นจะเกิดการแตกตัวแล้วจะถูกเติมไฮโดรเจนให้อิ่มตัวทันที

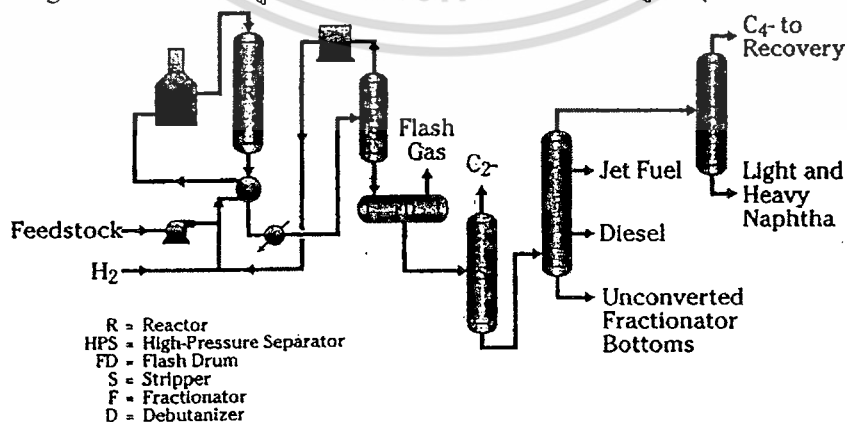
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแล้วจะเป็นประเภทคายความร้อน จึงทำให้เกิดการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ การออกแบบกระบวนการจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นอย่างดี เพราะถ้าคุมไม่อยู่อาจส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสียหรืออาจเกิดฟาวลิงขึ้นมาได้

2.1.1 Basic Unit Configuration of Hydrocracking Unit

โดยหลักๆ แล้วกระบวนการแตกโมเลกุลด้วยสารปฏิกิริยาโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมมีรูปแบบกระบวนการผลิตต่างๆ ไป 3 แบบ คือ

2.1.1.1 Once-through Hydrocracking Unit

เหมาะสำหรับโรงกลั่นที่สามารถใช้ผลิตภัณฑ์ส่วนหนักๆ ที่ยังแตกตัวได้ไม่หมด (Unconverted Fractionator Bottoms) ไปใช้ประโยชน์ทางอื่นที่ได้มูลค่าดีกว่า เช่น นำไปเป็นสารป้อนให้โรงงานทำน้ำมันเครื่องเพราะมีคุณภาพดีและมีความเหมาะสม หรือนำไปเป็นสารป้อนเข้าหน่วยแครกเกอร์เพราะจะเป็นสารป้อนที่สะอาด ให้ผลิตภัณฑ์คุณภาพดีและตรงกับความต้องการสูง รูปแบบกระบวนการแบบ Once-through Hydrocracking Unit แสดงได้ดังรูป 2.1 ซึ่งโรงงานแบบนี้จะมีราคาถูกที่สุด



รูปที่ 2.1 Once-through Hydrocracking Unit [2]

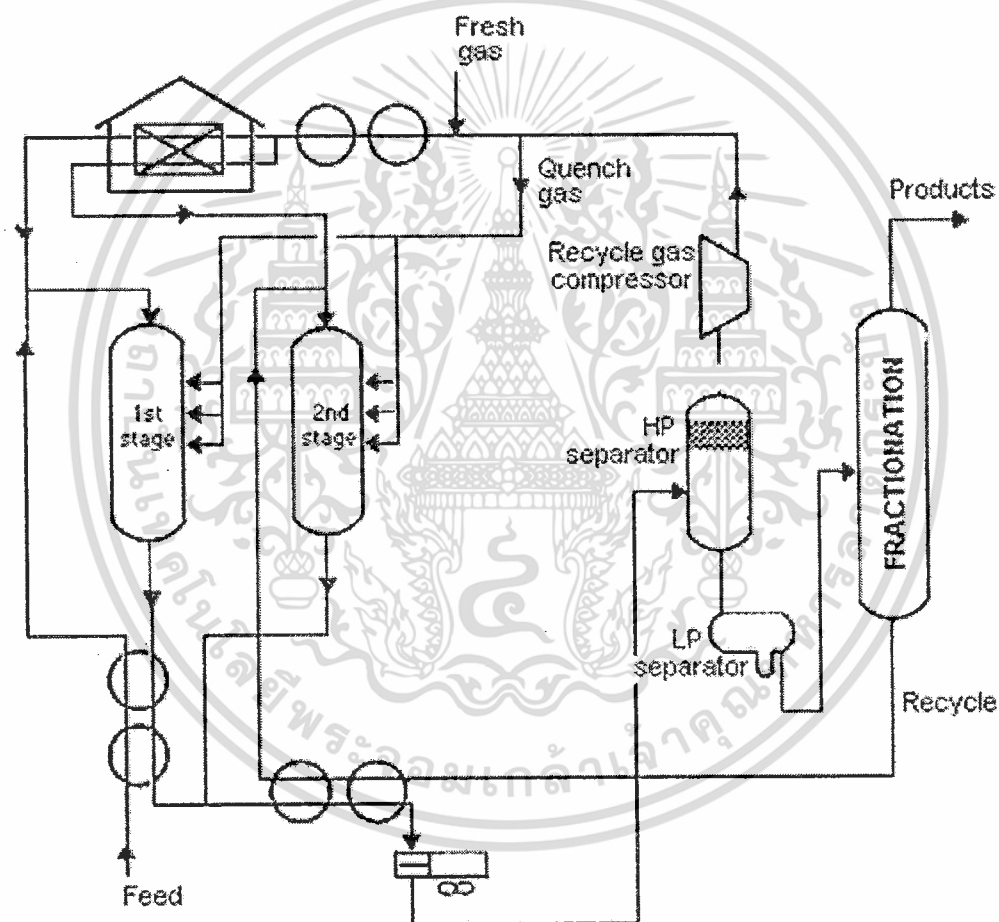
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 Single-stage Hydrocracking Unit

จะมีรูปแบบของกระบวนการคล้ายกับ Once-through แต่มีข้อแตกต่างคือ ด้านล่างของส่วนที่ผ่านกระบวนการแตกโมเลกุลด้วยสารปฏิกิริยาโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม ส่วนใหญ่จะส่งกลับเข้าสู่กระบวนการ กับสารป้อนใหม่เพื่อทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ถ้าสารป้อนมีคุณภาพดีจะสามารถเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจนหมดได้

2.1.1.3 Two-stage Hydrocracking Unit

จะมีรูปแบบของกระบวนการดังแสดงในรูป 2.2 ซึ่งจะมีเครื่องปฏิกรณ์ 2 เครื่องต่อกัน โดยเครื่องที่ 2 จะสามารถเปลี่ยนสายป้อนกลับ (Recycle stream) ได้จนหมด แบบนี้จะ ได้ผลิตภัณฑ์ที่สูงมาก



รูปที่ 2.2 Two-stage Hydrocracking Unit [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการ

2.1.2.1 อุณหภูมิ เป็นตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมอัตราการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ ให้อยู่ในระดับที่ต้องการ เมื่อใช้ไประยะเวลาหนึ่ง ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเสื่อมคุณภาพลง จำเป็นต้องปรับอุณหภูมิที่เครื่องปฏิกรณ์เพิ่มขึ้นประมาณ 0.1-0.2 องศาฟาเรนไฮต์ เพื่อรักษาระดับของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับที่ต้องการ โดยทั่วไปตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีอายุ 2-4 ปี

2.1.2.2 ความดันของเครื่องปฏิกรณ์ จะมีผลต่อความดันย่อยของไฮโดรเจน จากการศึกษาพบว่าการเพิ่มความดันจะช่วยเพิ่มอัตราการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์

2.1.2.3 สเปซเวโรซิตี (Space Velocity) ซึ่งนิยามวัดเป็น LHSV (Liquid Hourly Space Velocity) ซึ่งเมื่อมีค่าสูงขึ้นจะทำให้เวลาที่เกิดปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ดังนั้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารป้อน จึงต้องเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ตามด้วย

ปฏิกิริยาการแตกโมเลกุลด้วยสารปฏิกิริยาโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม จะทำให้เกิดสาร Heavy Polynuclear Aromatics (HPNA) ขึ้นใน Recycle stream ซึ่งจะไปเกาะตามอุปกรณ์ต่างๆ ทำให้เกิดการอุดตันของอุปกรณ์ได้

2.2 โพลีไซคลิกอะโรมาติกส์ ไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatics Hydrocarbon) [3,4]

โพลีไซคลิก อะโรมาติกส์ ไฮโดรคาร์บอน หรือ พีเอเอช (PAHs) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป จัดเรียงเป็นเส้นตรง เป็นมุม หรือเป็นกลุ่ม มีเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอน ส่วนใหญ่จะไม่ละลายน้ำ และเป็นส่วนประกอบในน้ำมัน ถ่านหิน สามารถเกิดได้เองตามธรรมชาติจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นเชื้อเพลิงจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์ และเชื้อเพลิงชีวมวลหรือเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ รวมทั้งควันจากท่อไอเสียรถยนต์และควันบุหรี่ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม การกลั่นน้ำมันดิบ อุตสาหกรรมไม้ซึ่งใช้สารเคลือบทาเนื้อไม้เพื่อป้องกันแมลง PAHs พบได้ทั้งในน้ำ ดิน ดินตะกอน อากาศ น้ำใต้ดิน และบริเวณริมถนน ความเข้มข้นของ PAHs ในสิ่งแวดล้อมขึ้นกับระยะห่างระหว่างบริเวณที่ปนเปื้อนกับแหล่งที่ผลิต PAHs

2.2.1 การเปลี่ยนแปลงของ PAHs ในสิ่งแวดล้อม เมื่อ PAHs เข้าสู่สิ่งแวดล้อม อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

- การย่อยสลายทางชีวภาพโดยสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ
- การย่อยสลายโดยแสง PAHs ถูกออกซิไดส์ด้วยแสงได้
- การแตกสลายด้วยน้ำ ซึ่งจะเกิดได้น้อยมาก
- การรวมตัวกับดิน PAHs เป็นสารที่ไม่ชอบน้ำ จึงยึดเกาะกับอนุภาคของดินหรือดินตะกอนได้ดี จึงสามารถพบการปนเปื้อนในบริเวณดังกล่าวได้สูง การกระจายในดินชั้นต่างๆ ขึ้นกับขนาดของ

อนุภาคและชั้นดิน PAHs ที่มีวงเบนซีน 2-3 วง มีแนวโน้มจะพบมากในชั้นของทรายบริเวณน้ำใต้ดินมากกว่ากรณิใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิน ส่วน PAHs ที่มีวงเบนซีน 5-6 วง มีแนวโน้มที่จะพบในชั้นของดินที่มีสารอินทรีย์มาก และ PAHs เหล่านี้มีแนวโน้มจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียยากอีกด้วย

2.2.2 ความเป็นพิษ

โดยทั่วไป โพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอนเป็นสารเคมีที่มีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำ ในสิ่งมีชีวิตชั้นสูงจะพบความเป็นพิษเรื้อรัง การได้รับแบบเรื้อรังอาจทำให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบต่างๆของร่างกายได้ แต่อาการไม่รุนแรงนัก ความเป็นพิษที่สำคัญของ PAHs คือความสามารถในการก่อมะเร็งในอวัยวะหลายชนิด แต่ไม่มีผลต่อการพัฒนาของตัวอ่อนและพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิต

2.2.3 การเข้าสู่ร่างกาย

PAHs เข้าสู่ร่างกายได้หลายวิธี ทั้งโดยการกินอาหารที่ปนเปื้อน PAHs สูดดมไอระเหยหรือเขม่าควันไฟที่มี PAHs ผสมอยู่ หรือ โดยการสัมผัสทางผิวหนัง มีรายงานว่า PAHs เข้าสู่ร่างกายโดยการสูดดมพบ เมตาบอไลต์ของเบนโซเอไพรีนในปัสสาวะของอาสาสมัครชายที่สูบบุหรี่ 15 -20 มวนต่อวัน เป็นเวลานานกว่า 10 ปี และเมตาบอไลต์ในปัสสาวะของอาสาสมัครที่ยังมีสุขภาพดีมีค่าสูงกว่าในอาสาสมัครที่เป็นมะเร็งปอด และในอาสาสมัครที่กินเนื้อย่างที่ปนเปื้อนเบนโซเอไพรีนจะพบเบนโซเอไพรีนในอุจจาระแต่จะไม่พบในอาสาสมัครที่กินเนื้อย่างที่ไม่ปนเปื้อน

การแพร่กระจายของ PAHs ในร่างกายของสัตว์ทดลองพบว่าเมื่อได้รับโดยการสูดดมและการกินจะแพร่ไปยัง ปอด ตับ ไต และทางเดินอาหาร หนูที่ได้รับเบนโซเอไพรีน โดยการหยอดเข้าหลอดคอ พบว่าเบนโซเอไพรีนจะกระจายไปยังปอด ตับ และทางเดินอาหาร โดยเมตาบอไลต์ในลำไส้จะมากขึ้นเมื่อเวลานานขึ้น แสดงว่ามีการขับออกทางน้ำดีและมีการหมุนเวียนระหว่างลำไส้และตับ อีกทั้งยังสามารถแพร่ไปยังลูกอ่อนในครรภ์ได้ แต่ไม่มีรายงานเกี่ยวกับการแพร่กระจายหลังการสัมผัสทางผิวหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chemical compound		Chemical compound	
Anthracene		Benzo[a]pyrene	
Chrysene		Coronene	
Corannulene		Naphthacene	
Naphthalene		Pentacene	
Phenanthrene		Pyrene	
Triphenylene		Ovalene	

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างโครงสร้างและชื่อเรียกเฉพาะของสารประกอบโพลีไซคลิก อะโรมาติกส์ ไฮโดรคาร์บอน [4]

2.3 คาร์บอนกัมมันต์ [5-8]

คาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำมีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปใช้เป็นสารดูดซับ (Adsorbent) ในกระบวนการแยกแก๊สผสม ดูดซับกลิ่น กำจัดรส หรือดูดซับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย เป็นต้น คาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตได้จะเป็นที่รู้จักกันมานานในแง่ของการใช้เป็นสารดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับสูง ทั้งนี้เนื่องจากคาร์บอนกัมมันต์มีพื้นที่ผิวสูงและมีรูพรุนมาก นอกจากนี้ตามผิวของรูพรุนเหล่านี้ยังมีอิเล็กตรอนอิสระที่พร้อมจะแลกเปลี่ยนประจุและยึดเหนี่ยวโมเลกุลของสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ชนิดของคาร์บอนกัมมันต์

สามารถแบ่งได้โดยใช้หลักต่าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้ใช้ ตัวอย่างการแบ่งชนิดของคาร์บอนกัมมันต์ ได้แก่

2.3.1.1 แบ่งตามชนิดของการกระตุ้น

- กระตุ้นทางเคมี (Chemical activated carbon)

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวของคาร์บอน มักเป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ สารเคมีที่ใช้กระตุ้น ได้แก่ $ZnCl_2$, H_3PO_4 และ $NaCl$

- กระตุ้นทางฟิสิกส์ (Physical activated carbon)

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการใช้แก๊สออกซิไดซ์ เช่น ไออน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็ก นิยมใช้ในการดูดซับแก๊สและไอระเหย

2.3.1.2 แบ่งตามขนาดของรูพรุนบนผิวของคาร์บอนกัมมันต์

การแบ่งกลุ่มขนาดของรูพรุนแบ่งได้ตามระบบ International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) เป็น 3 ประเภท ได้แก่

ตารางที่ 2.1 การแบ่งกลุ่มขนาดรูพรุนตามระบบ IUPAC [6]

ประเภทของรูพรุน	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน (นาโนเมตร)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน (อังสตรอม)
ไมโครพอร์ (Micropore)	< 2	< 20
เมโซพอร์ (Mesopore)	2-50	20-500
มาโครพอร์ (Macropore)	>50	>500

ขนาดของรูพรุนนี้จะส่งผลต่อพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพเมื่อนำไปใช้งาน คาร์บอนกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นกลุ่มของคาร์บอน รูปร่างลักษณะเป็นผลึกคล้ายแกรไฟต์ แต่แตกต่างกันที่พื้นที่ผิวภายในของคาร์บอนกัมมันต์ซึ่งมีมากกว่า โดยทั่วไปขนาดและรูปร่างโครงสร้างของผลึกเหล่านี้จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่เผา ถ้าอุณหภูมิที่เผาสูงผลึกคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จะมีขนาดเล็ก นอกจากนี้รูปร่างอะตอมของคาร์บอนยังเปลี่ยนตามส่วนประกอบและโครงสร้างของวัตถุดิบ

2.3.1.3 แบ่งตามลักษณะของรูปร่าง

- ประเภทเป็นผง (Powder activated carbon หรือ PAC)

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผง นิยมใช้สำหรับการฟอกสีในของเหลว ดูดกลิ่นสารละลายได้หลาย

ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ประเภทเป็นเม็ด (Granular activated carbon หรือ GAC)

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นเม็ด ซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัด หรืออาจทำเป็นเกล็ด ใช้สำหรับทำแก๊สให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการเกิดปฏิกิริยาของแก๊ส และใช้ทำหน้ากักป้องกันแก๊สและไอพิษต่างๆ

2.3.1.4 แบ่งตามความหนาแน่นของคาร์บอนกัมมันต์

- ความหนาแน่นต่ำ

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่มักใช้ประโยชน์ในสถานะที่เป็นสารละลาย เช่น ฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือทำน้ำให้บริสุทธิ์

- ความหนาแน่นสูง

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับแก๊ส หรือไอระเหย

2.3.1.5 แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ

- ดูดซับแก๊ส

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับแก๊สพิษ กลิ่น และไอของสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นถ่านประเภทที่ได้จากเมล็ดของผลไม้ และถ่านไม้ที่เผาที่ความดันสูง

- ดูดซับสี

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวฟอกสี ส่วนมากเป็นการเผาถ่านประเภทที่ได้จากถ่านไม้ ถ่านชานอ้อย ถ่านจากเกล็ด ถ่านจากหินน้ำมัน และถ่านจากกากน้ำตาล

- ดูดซับโลหะ

เป็นคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้เป็นตัวแยกพวกโลหะต่างๆ เช่น ถ่านที่ใช้ในการแยกทอง เงิน แพลตทินัมจากแร่

คาร์บอนกัมมันต์ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวให้มากที่สุด โดยการทำให้มีรูพรุนหรือโพรงในเนื้อคาร์บอนมากเท่าที่จะทำได้ ความพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้น เป็นผลเนื่องจากการกระตุ้นทางเคมีหรือการกระตุ้นทางกายภาพทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผลึกเพิ่มขึ้น มีพื้นที่ผิวภายใน (Internal surface area) เพิ่มขึ้น ซึ่งจะสามารถดูดซับกลิ่นและสีได้มากกว่าถ่านกัมมันต์ธรรมดา

2.4 การดูดซับ [8]

การดูดซับเป็นขบวนการแยกสารประเภทหนึ่ง ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนสารที่อยู่ในสถานะของของไหล (Fluid phase) เคลื่อนที่เข้าสู่ผิวของของแข็งที่เป็นสารดูดซับ (Adsorbent) โดยทั่วไปแล้วจะทำการบรรจุสารดูดซับไว้ในเบดนิ่ง (Fixed bed) แล้วจึงป้อนสารที่เป็นของไหลไหลผ่านอย่างต่อเนื่อง จนกว่าสารดูดซับจะถึงจุดอิ่มตัวหรือได้สารที่ต้องการแยกตรงตามเป้าหมายที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้วสารดูดซับที่ใช้จะเป็นวัสดุที่มีความเป็นรูพรุนสูง ซึ่งจะเกิดกระบวนการดูดซับในขั้นตอนแรกที่ผิวของผนังหรือบนรูพรุนที่มีลักษณะจำเพาะต่อการดูดซับ กระบวนการแยกสารนั้นเกิดขึ้นได้เมื่อมีความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุล ความเป็นขั้วของสาร ลักษณะรูปร่างของสารที่นำมาดูดซับ เป็นต้น จุดประสงค์ที่สำคัญในการศึกษากระบวนการดูดซับ คือ เพื่อหาความสามารถในการดูดซับสารที่ต้องการต่อน้ำหนักของสารดูดซับที่ใช้ (Adsorption capacity) และเวลาที่สารดูดซับนั้นจะถึงจุดอิ่มตัว การหาความสามารถในการดูดซับสารต่อน้ำหนักของสารดูดซับที่ใช้เป็นวัตถุประสงค์สำคัญที่ใช้ในการอธิบายถึงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งจะต้องมองออกเป็นสองกรณี คือ 1. อัตราเร็วในการเปลี่ยนสารดูดซับ 2. ขนาดของเครื่อง และชนิดของอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ ซึ่งการหาความสามารถในการดูดซับนั้น โดยทั่วไปจะต้องทดลองในห้องปฏิบัติการหรือจำเป็นต้องจำลองหน่วยปฏิบัติงานในโรงงานมาใช้ในการทดสอบ

2.4.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทตามลักษณะของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

2.4.1.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

การดูดซับประเภทนี้ แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างสารดูดซับและสารที่ต้องการดูดเป็นแรงที่เกิดขึ้นมาจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลชนิดอ่อน เช่น แรงลอนดอนหรือแรงแวนเดอร์วาลส์ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของแรงไดโพล-ไดโพล เป็นต้น

ลักษณะการเกาะจับด้วยแรงทางกายภาพเกิดจากผล 3 ประการ คือ

1. เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและสารดูดซับต่างก็เป็น โมเลกุลมีขั้วทั้งคู่
2. เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว สามารถเปลี่ยนเป็นไดโพล โมเลกุลได้ ถ้าอิเล็กตรอนเคลื่อนที่มาอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมาก และเมื่อมีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะแบบเดียวกันเข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดกัน แรงที่เกิดขึ้นจะเป็นแรงอ่อนๆ ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของสารดูดซับและตัวถูกดูดซับต่างก็เป็น โมเลกุลที่ไม่มีขั้วทั้งคู่
3. เกิดจากโมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว แล้วเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงกันข้ามแล้วเกิดการดึงดูดกัน ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเป็น โมเลกุลมีขั้วและโมเลกุลของสารดูดซับเป็น โมเลกุลไม่มีขั้ว

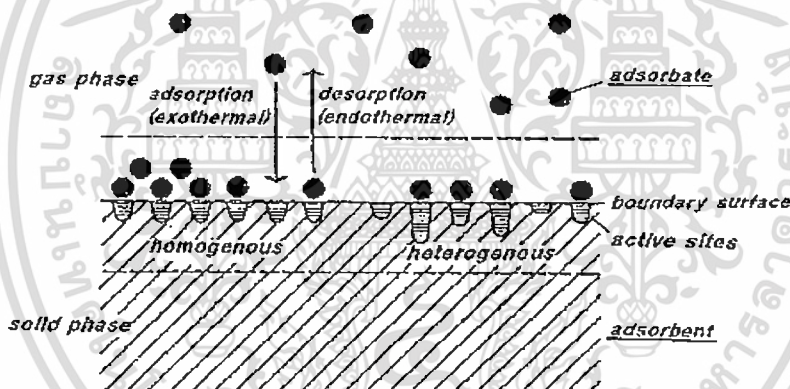
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

การดูดซับทางเคมีจะเกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างสารดูดซับและสารที่ต้องการดูดซับ หรือเกิดพันธะทางเคมีของตัวถูกดูดซับกับสารที่ต้องการดูดซับ ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยา การเกาะของสารที่ต้องการดูดซับที่ผิวของสารดูดซับจะคล้ายกับแรงที่ใช้ยึดเหนี่ยวกันระหว่างอะตอมภายในโมเลกุล การดูดซับทางเคมีบางครั้งต้องอาศัยพลังงานเข้าร่วมด้วย

ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

1. การดูดซับทางกายภาพไม่มีการถ่ายเทหรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน สามารถผันกลับได้ในสภาวะอุณหภูมิเดียวกัน แต่การดูดซับทางเคมีจะผันกลับไม่ได้
2. การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดขึ้นได้ทั่วๆ ไป บนพื้นผิวสารดูดซับที่ไม่มีบริเวณจำเพาะ ในการเกิดกระบวนการดูดซับภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะเกิดการดูดซับหลายชั้นได้ การดูดซับทางเคมีจะเกิดในบริเวณจำเพาะเท่านั้น และโดยทั่วไปการดูดซับทางเคมีจะเกิดแบบชั้นเดียวเท่านั้น
3. ความร้อนที่เกิดจากการดูดซับทางกายภาพจะน้อยกว่าการดูดซับทางเคมี



รูปที่ 2.4 กลไกการดูดซับและคายซับ [9]

2.4.2 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption isotherms)

เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่จะถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ และความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่หนึ่งๆ เมื่อนำเอาความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือไปเขียนกราฟ กับปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักสารดูดซับจะได้ไอโซเทอร์มของการดูดซับซึ่งสามารถนำไปใช้หาความสามารถของสารดูดซับในการดูดซับสารและสามารถใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของสารดูดซับชนิดต่างๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอโซเทอร์มของการดูดซับทางกายภาพสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 กลุ่มดังนี้

ชนิดที่ 1. Langmuir ได้มาจาก Langmuir equation isotherm รูปร่างของไอโซเทอร์มแบบนี้จะพบมากในสารดูดซับที่มีรูพรุนขนาดเล็กมากและมีพื้นที่ผิวภายนอกน้อยมาก เช่น คาร์บอนกัมมันต์ ซิลิกาเจล และซีโอไลต์ การดูดซับจะเป็นแบบชั้นเดียว

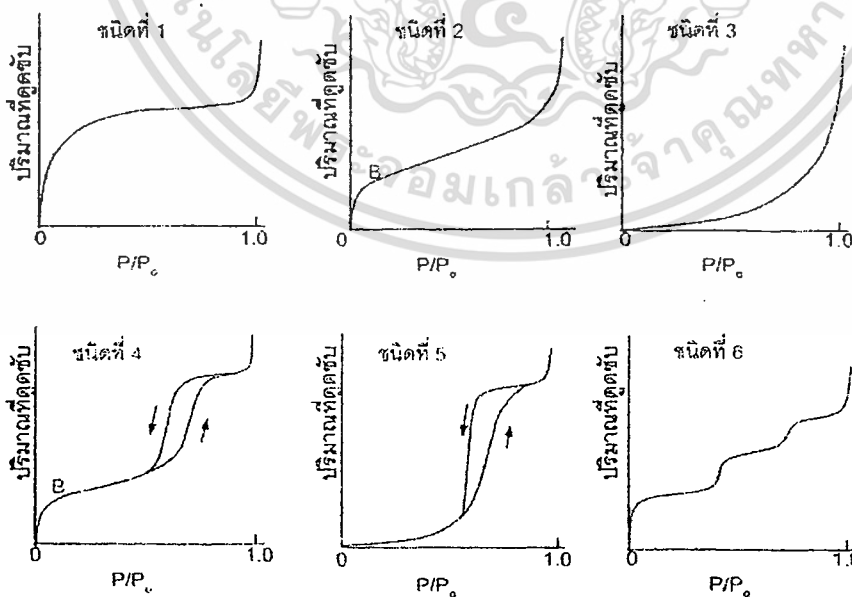
ชนิดที่ 2. Sigmoid หรือ S-shaped isotherm จะพบในสารดูดซับที่ไม่มีรูพรุนหรือมีรูพรุนขนาดใหญ่ ที่จุด B จะเป็นตำแหน่งที่มีการดูดซับแบบชั้นเดียวอย่างสมบูรณ์และเริ่มมีการดูดซับแบบหลายชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5

ชนิดที่ 3. Convex isotherm ที่ไม่มีจุด B จะเป็นแบบที่พบได้ยาก เกิดขึ้นในกรณีที่มีการดูดซับระหว่างสารดูดซับและตัวถูกดูดซับมีแรงดึงดูดที่อ่อน ทำให้สารที่ต้องการดูดซับไม่เทียบบณผิวของสารดูดซับ เช่น ใช้น้ำบนแกรไฟต์

ชนิดที่ 4. มีลักษณะเหมือนกับแบบ Sigmoid isotherm จะพบในสารดูดซับที่มีขนาดของรูพรุนอยู่ในช่วงประมาณ 2 - 50 นาโนเมตร ที่ค่า P/P_0 ต่ำ ลักษณะของเส้นไอโซเทอร์มจะเหมือนกับแบบ Sigmoid เมื่อค่า P/P_0 มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะเกิด Capillary condensation ขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิด Hysteresis effect ขึ้น ไอโซเทอร์มชนิดนี้จะพบกับตัวเร่งปฏิกิริยาในทางอุตสาหกรรม

ชนิดที่ 5. เหมือนกับแบบ Convex isotherm แต่จะเกิด Capillary condensation ที่ P/P_0 สูงๆ ไอโซเทอร์มชนิดนี้พบได้ยาก

ชนิดที่ 6. มีลักษณะเหมือนขั้นบันได (stepped isotherm) ซึ่งพบได้ไม่บ่อยนัก เกิดจากการดูดซับที่ละชั้นบนผิวหน้าที่มีหลายชั้นและความเป็นระเบียบสูง ความชันของเส้นกราฟจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ



รูปที่ 2.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับตามการจำแนกของ IUPAC [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

2.4.3.1 พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน

พื้นที่ผิวเป็นสมบัติอย่างหนึ่ง ที่มีผลต่อความสามารถของสารดูดซับในการดูดซับ ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวของสารดูดซับมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวของสารดูดซับไม่เพียงพอที่จะอธิบายความสามารถในการดูดซับได้เพียงอย่างเดียว โครงสร้างของรูพรุนก็มีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ถ้าขนาดของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับได้ ความสามารถในการดูดซับก็จะต่ำลง

2.4.3.2 ขนาดของสารดูดซับ

ถ้าสารดูดซับไม่มีรูพรุน พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีขนาดเล็กลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ถ้าสารดูดซับมีรูพรุนมากๆ พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุน ขนาดของสารดูดซับจะไม่มีผลกับความสามารถในการดูดซับ

2.4.3.3 ความสามารถในการละลาย

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดึงออกจากน้ำ และไปเกาะติดบนพื้นผิวของสารดูดซับ ตัวถูกดูดซับที่ละลายน้ำได้ ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นจึงเป็นสารที่ยากต่อการดูดซับ ตัวถูกดูดซับที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อย มักสามารถเกาะติดบนผิวของสารดูดซับได้ดี

2.4.3.4 น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล

เมื่อน้ำหนักโมเลกุลและขนาดของ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าโมเลกุลของสารดูดซับเป็นสารอินทรีย์ เมื่อจำนวนคาร์บอนอะตอมมากขึ้น การดูดซับจะมากขึ้น เพราะการเพิ่มน้ำหนักของ โมเลกุลจะเป็นผลให้ความสามารถในการละลายลดลง แต่ในทางกลับกัน ถ้าโมเลกุลมีขนาดใหญ่มากเกินกว่าจะแพร่เข้าสู่รูพรุนของสารดูดซับได้ ก็จะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับลดลง

2.4.3.5 ความมีขั้วของโมเลกุล

ในกรณีที่สารดูดซับเป็นสารที่ไม่มีขั้ว ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อตัวถูกดูดซับมีสภาพมีขั้ว (Polarity) เพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มสภาพมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

2.4.3.6 ผลของอุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น ถ้ากระบวนการดูดซับเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน อัตราเร็วในการดูดซับจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง เนื่องจากค่าคงที่ของอัตราเร็วของการดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของ Arrhenius ดังสมการที่ (1)

$$k = k_0 e^{-Ea/RT} \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 รีซอร์ซินอลฟอร์มัลดีไฮด์คาร์บอนเจล [10]

การสังเคราะห์รีซอร์ซินอลฟอร์มัลดีไฮด์จะมีกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอนในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ ขั้นตอนแรกมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการผสมสารและเตรียมสารละลาย การเกิดเจล และการบ่มเจล ในขั้นตอนที่สองจะมีความเกี่ยวข้องกับการทำให้แห้ง (Drying) ส่วนขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการทำให้เจนนั่นกลายเป็นสารประกอบคาร์บอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนนี้จะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติของคาร์บอนเจลที่เกิดขึ้น อย่างเช่น ในขั้นตอนแรก ปัจจัยที่ส่งผลกระทบ คือ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลของสารตั้งต้น ความเป็นกรด-เบส ของสารละลาย เป็นต้น ส่วนปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบในขั้นตอนที่สองคือ รูปแบบหรือวิธีการทำให้แห้ง และผลต่างของแรงดึงผิวที่เกิดขึ้นของตัวทำละลายก่อนและหลังจากกระบวนการทำให้แห้ง และขั้นตอนกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) และกระบวนการกระตุ้น (Activation) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสถานะต่างๆ ที่ใช้ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างและลักษณะจำเพาะต่างๆ ของเจล สมบัติที่สำคัญในการใช้งานคือ มีความพรุนสูง (>80%) มีพื้นที่ผิวสูง ($400-1200 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) และมีปริมาตรของรูพรุนสูง ซึ่งสมบัติเหล่านี้ก็จะขึ้นอยู่กับสถานะที่ใช้ในการสังเคราะห์

2.5.1 การสังเคราะห์และสมบัติของรีซอร์ซินอลฟอร์มัลดีไฮด์คาร์บอนเจล

รีซอร์ซินอลฟอร์มัลดีไฮด์คาร์บอนเจลได้สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อให้มีสมบัติเฉพาะ โดยอาศัยอัตราส่วนของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาแตกต่างกัน สามารถสรุปหลักการสังเคราะห์ได้ดังนี้ คือ รีซอร์ซินอล (Resorcinol:R) และ ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde:F) จะถูกผสมในอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมในสถานะที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนใหญ่จะใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีน้อยกรณีที่กระทำในสถานะที่เป็นกรด จากนั้นสารที่นำมาผสมกันจะถูกทำให้ร้อนขึ้น และปล่อยให้ระยะเวลาผ่านไประยะหนึ่งเพื่อทำให้สารนั้นเกิดโครงสร้างตาข่ายที่เสถียร หลังจากนั้นเจลที่เกิดขึ้นจะถูกนำมาล้างหรือไม่ต้องล้างก็ได้ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสม เพื่อทำการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายที่เป็นน้ำออกไป

จากนั้นเจลที่เปียกจะถูกทำให้กลายเป็นเจลที่แห้งโดยอาจใช้วิธี 1. การให้แห้งแบบซูเปอร์คริติคอลล (Supercritical drying) เป็นวิธีการทำให้แห้งที่ภาวะเหนือวิกฤต ซึ่งเจลที่เกิดขึ้นจะเรียกว่าแอโรเจล (Aerogel) 2. การทำให้แห้งแบบแช่แข็ง (Freeze drying) เป็นวิธีการทำให้แห้งทำให้ตัวทำละลายมีอุณหภูมิถึงจุดเยือกแข็งแล้วลดความดันลงจนเกิดการระเหิดของตัวทำละลายออกไปจะเรียกเจลที่เกิดขึ้นว่าไครโอเจล (Cryogel) 3. การทำให้แห้งแบบซับคริติคอลล (Subcritical drying) เช่น การอบแห้ง (Evaporative drying) การทำให้แห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave drying) การทำให้แห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum drying) จะเรียกเจลที่เกิดขึ้นว่าซีโรเจล (Xerogel)

เมื่อเจลแห้งแล้ว ก็จะนำมาเข้าสู่กระบวนการคาร์บอนไนเซชัน โดยเป็นการเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนของสารอินทรีย์ และสุดท้ายคือการกระตุ้น เพื่อเพิ่มความพรุนและพื้นที่ผิวให้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 สารตั้งต้นในการสังเคราะห์

รีซอร์ซินอล หรือ 1,3-dihydroxybenzene มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_6H_4(OH)_2$ เป็นสารประกอบฟีนอล ซึ่งเหมาะกับการเติมฟอร์มัลดีไฮด์ (CH_2O) ในตำแหน่งที่ 2,4 และ 6 ลงในวงของอะโรมาติกส์

ฟอร์มัลดีไฮด์หรือเมทานอลมีสูตรโมเลกุลเป็น CH_2O ความหลากหลายของอัตราส่วนความเข้มข้นของสารตั้งต้นจะมีผลต่อคุณสมบัติของเจล เช่น ถ้าใช้ปริมาณของฟอร์มัลดีไฮด์ สูงจะส่งผลให้ความเข้มข้นของสารละลายเจือจาง ซึ่งจะทำให้ขนาดของอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น และเจลที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำ

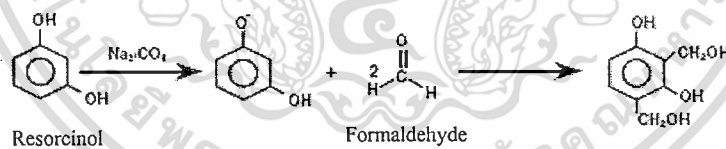
ตัวทำละลายที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำกลั่น หรือน้ำที่ปราศจากไอออน (Deionized water) หรือ อาจจะเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซีโตน เมทานอล เอทานอล นอร์มอล โพรพานอล เป็นต้น

ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ โซเดียมคาร์บอเนตมีสูตรโมเลกุลคือ Na_2CO_3 มีสมบัติเป็นเบสอ่อน เจลที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย จะถูกเรียกว่า ไฮโดรเจล (hydrogels) หรือ เอควเจล (aquagels) และเจลที่เกิดขึ้นจากการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์จะเรียกว่า ไลโอเจล (lyogels) รวมไปถึง แอลโคเจล (Alcogels) ซึ่งใช้ตัวทำละลายประเภทแอลกอฮอล์

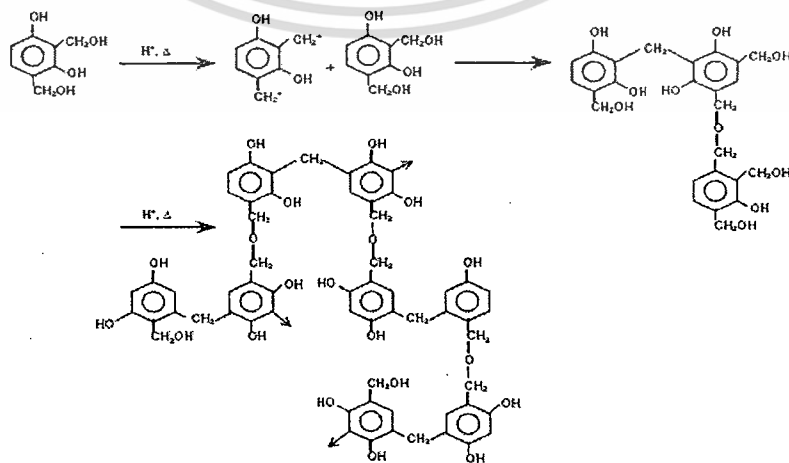
2.5.3 กระบวนการเกิดเจลและการบ่ม

ปัจจัยหลักในขั้นตอนการเกิดเจล คือ ตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาแบบดูดพลังงาน (Endothermic reaction) และปฏิกิริยาพอลิคอนเดนเซชัน (Polycondensation) ภายใต้การควบคุมสภาวะต่างๆ เพื่อทำให้เกิดโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์

ปฏิกิริยาหลักระหว่าง รีซอร์ซินอล กับ ฟอร์มัลดีไฮด์ คือ ปฏิกิริยาการเติม (Addition reaction) และปฏิกิริยาควบแน่น (Condensation reaction) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาการเติม (Addition reaction) [10]



รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาการควบแน่น (Condensation reaction) [10]

ไม่ผ่านการแก้ไขใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซเดียมคาร์บอเนตมีความสำคัญเป็นอย่างมากในขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาการเติมของริซอร์ซินอลกับฟอร์มัลดีไฮด์ จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาควมแน่น และปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยมีโมเลกุลของน้ำหลุดออกมา จนเกิดเป็นตะกอนของคอลลอยด์ และตกตะกอนรวมตัวกันเป็นโครงร่างของพอลิเมอร์

เมื่อเกิดเจลขึ้นแล้วเราจะต้องนำมาบ่มเพื่อทำให้เกิด โครงสร้างตาข่ายที่สมบูรณ์ โดยการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการบ่มประมาณ 1 สัปดาห์ แต่ถ้าระยะเวลาบ่มมากกว่านี้ก็จะเป็นการแน่ใจได้ว่า ปฏิกิริยาการเกิด โครงสร้างตาข่ายเกิดขึ้น ได้อย่างสมบูรณ์

2.5.4 การแลกเปลี่ยนตัวทำละลาย

ก่อนการนำเจลที่ได้จากการสังเคราะห์ไปทำให้แห้งนั้นการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยลดแรงคาปิลลารี (Capillary force) หรือแรงดึงผิวที่จะเกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการทำให้แห้งได้ โดยเฉพาะในการทำให้แห้งแบบซับริติคอลลที่จะเกิดเฟสระหว่างแก๊สกับของเหลวส่งผลให้เกิดแรงคาปิลลารีทำให้โครงสร้างของเจลหลังจากการทำแห้งเปลี่ยนไปจากก่อนการทำให้แห้ง การแลกเปลี่ยนตัวทำละลายทำได้โดยการเลือกตัวทำละลายอื่นที่มีค่าแรงดึงผิวที่มีค่าน้อยกว่าตัวทำละลายที่อยู่ในรูพรุนของเจล ตัวทำละลายที่นิยมใช้ได้แก่ เทออร์ทเทอริบิวทานอล อะซีโตน และโทลูอิน เป็นต้น

2.5.5 ไพโรไลซิส

เป็นกระบวนการเปลี่ยนเจลให้เป็นคาร์บอนบริสุทธิ์ โดยการกำจัดสารประเภทออกไซด์ และกลุ่มไฮโดรเจนต่างๆ ที่อยู่ในเจลออกไป ณ ที่อุณหภูมิสูง เจลที่ผ่านการทำให้ไพโรไลซิสจะเรียกว่า คาร์บอนเจล เช่น เจลที่สังเคราะห์จากริซอร์ซินอลและฟอร์มัลดีไฮด์ เมื่อผ่านการทำให้ไพโรไลซิสจะเรียกว่า ริซอร์ซินอลฟอร์มัลดีไฮด์คาร์บอนเจล โดยส่วนใหญ่การทำไพโรไลซิสนั้นจะใช้เตาเผา โดยขั้นตอนแรกจะให้เกิดเนื้อเยื่อ เช่น ไนโตรเจน อาร์กอน หรือ ฮีเลียมผ่านในเตาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาหนึ่ง เพื่อไล่อากาศออกจากเตาเผา หลังจากนั้นจะเผาที่ช่วงอุณหภูมิ 600-2100 องศาเซลเซียส โดยจะสามารถตั้งอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิได้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรเจต บุญพวง [11] ศึกษาการหาถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสาร PNA โดยทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ชนิด A และ ชนิด B สำหรับการกำจัดสาร PNA และยังวิเคราะห์หาผลของ โครงสร้างของรูพรุนในถ่านกัมมันต์ที่มีต่อความจุของการดูดซับ การศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาโครงสร้างรูพรุนในถ่านกัมมันต์ และการทดลองเพื่อหากราฟ breakthrough ในส่วนแรกเป็นการหาปริมาตรและพื้นที่ของรูพรุนขนส่งและรูพรุนดูดซับด้วยเครื่อง Mercury-intrusion porosimeter และเครื่อง Autosorb I นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบ ภาพลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ที่ถ่ายจากเครื่อง SEM ส่วนที่สองเป็นการทดลองที่สภาวะปฏิบัติการหนึ่งเพื่อให้ได้กราฟ breakthrough

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาดูงาน เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

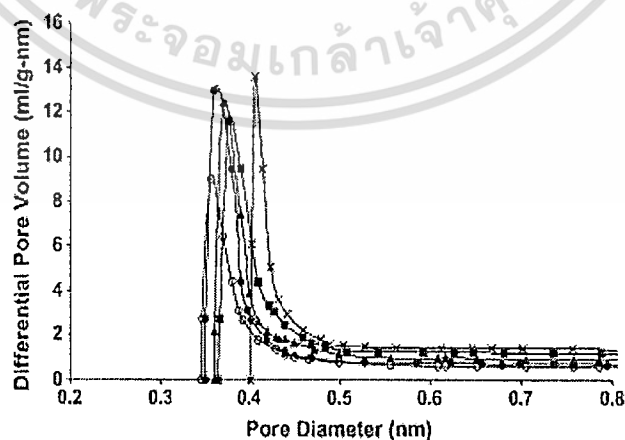
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง fluorescence spectrometer จะนำมาใช้หาค่าความเข้มข้นของ PNA เพื่อนำมาวาดกราฟ breakthrough โดยเทียบกับเวลาที่ทำการทดลอง จากผลที่ได้พบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิด A ให้ประสิทธิภาพในการกำจัด PNA สูงกว่าถ่านกัมมันต์ชนิด B เพราะให้กราฟที่มีความยาวของช่วงที่มีการถ่ายเทมวลสั้นกว่า และมีความจุของการดูดซับที่สูงกว่า ที่ความเข้มข้น PNA ในน้ำมันขาออกเป็น 15 ส่วนในล้านส่วนและที่ ปริมาณของน้ำมันขาเข้าเท่ากัน ผลที่ได้ยืนยันผลที่ได้จากการศึกษาโครงสร้างของรูพรุนที่ว่าถ่านกัมมันต์ ชนิด A มีรูพรุนขนส่งและรูพรุนดูดซับมากกว่าถ่านกัมมันต์ชนิด B ดังแสดงในรูป 2.8

Properties	Type A	Type B
Total intrusion volume (ml/g)	3.27(Base 1)	Base 1
Total pore area (m ² /g)	2.26(Base 2)	Base 2
Average pore diameter (µm)	1.45(Base 3)	Base 3
Porosity (%)	2.01(Base 4)	Base 4

รูปที่ 2.8 สมบัติของคาร์บอนกัมมันต์ชนิด A และ ชนิด B ที่ใช้ในการทดลอง

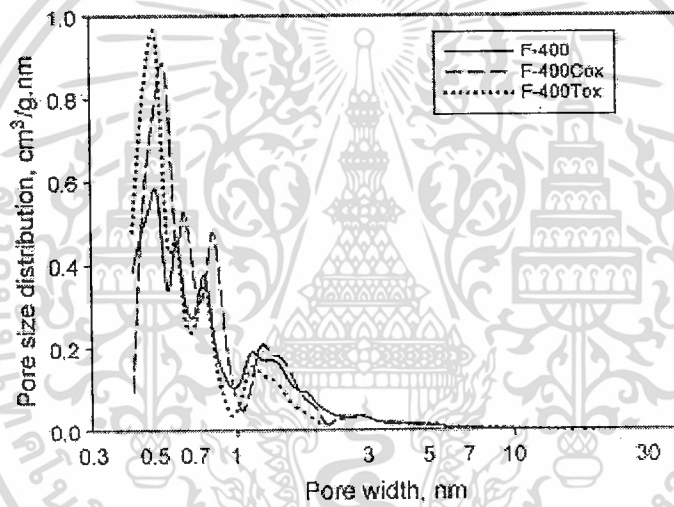
Ahamd M.A. และคณะ [12] ศึกษาการสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์โดยใช้ผลผลิตที่ได้จากต้นปาล์ม และนำมาเผาให้เป็นคาร์บอนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นมา กระตุ้นด้วยไอน้ำภายใต้สภาวะบรรยากาศ ผลการทดลองนั้นสามารถทำให้ทราบได้ว่า เมื่อนำคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตได้จากต้นปาล์มนั้น ไปทดสอบการดูดซับด้วยแก๊สไนโตรเจนเพื่อวิเคราะห์ลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตได้ พบว่าขนาดของรูพรุนที่ผลิตได้นั้น โดยส่วนใหญ่จะมีขนาดของรูพรุนระดับไมโครพอร์ อยู่ในช่วงประมาณ 0.3 -0.4 นาโนเมตร ดังแสดงในรูป 2.9



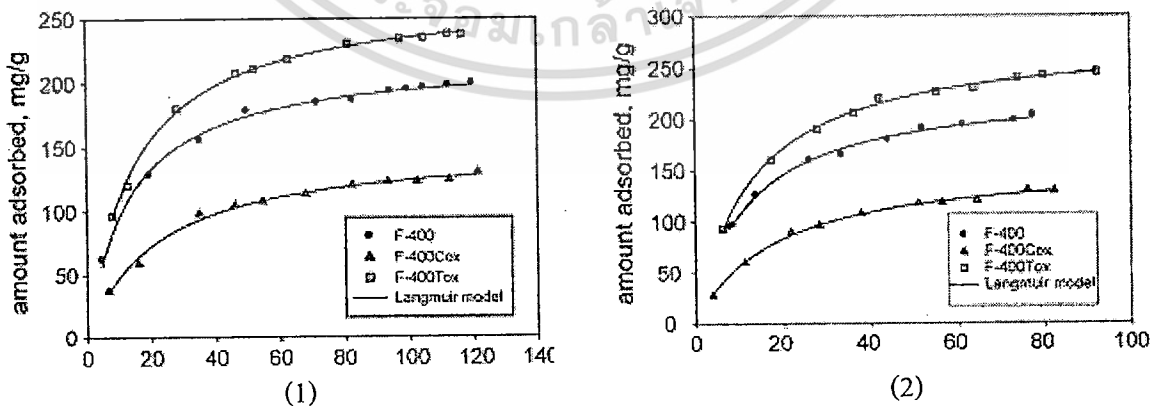
รูปที่ 2.9 การกระจายตัวขนาดของรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้จากปาล์ม [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wibowo N. และคณะ [13] ศึกษาการดูดซับเบนซีนและโทลูอินด้วยการนำคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตมาจากถ่านหิน ชนิด F400 ที่มีขายอยู่ในเชิงการค้า มาปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไนตริกที่มีความเข้มข้น 12 Molar หลังจากนั้นนำไปปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่ออนาที เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึง 800 องศาเซลเซียสแล้วจะต้องรักษาระดับของอุณหภูมิไว้ที่ 800 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง และทำการลดอุณหภูมิโดยการใช้แก๊สไนโตรเจนไหลผ่านคาร์บอนกัมมันต์จนอุณหภูมิลดถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาดูดซับสารละลายเบนซีนและโทลูอิน โดยใช้เครื่องมือ UV-visible spectrophotometer ในการหาความสามารถในการดูดซับ และทำการวิเคราะห์ขนาดของรูพรุน การกระจายตัวของรูพรุนและพื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ พบว่าเมื่อคาร์บอนกัมมันต์ชนิดถ่านหิน F400 เมื่อผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยกรดไนตริกและการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนแล้วจะทำให้มีการกระจายตัวของขนาดรูพรุนต่ำ พื้นที่ผิวสัมผัสสูงขึ้นและมีปริมาตรของรูพรุนที่สูงขึ้น



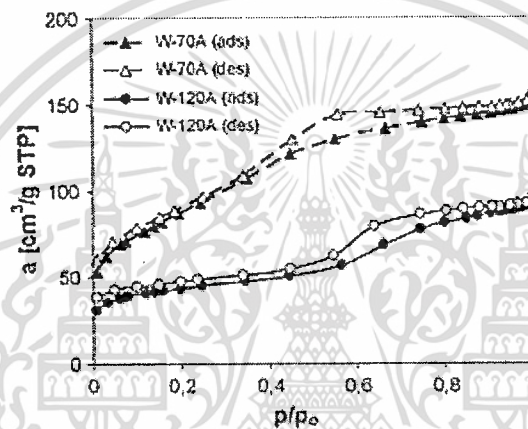
รูปที่ 2.10 การกระจายตัวของขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ F400 [13]



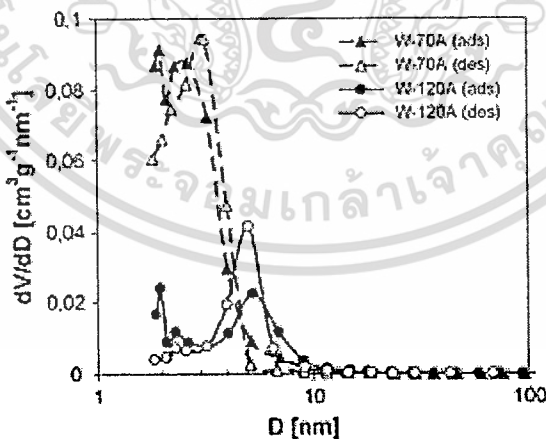
รูปที่ 2.11 ไอโซเทอร์มการดูดซับของ (1) เบนซีน และ (2) โทลูอิน [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Marczewski W.Adam [14] ศึกษาการดูดซับไนโตรเจนใน 4-ไนโตรเบนซีนและ4-คลอโรฟีนอลในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีสภาพเป็นกรด โดยใช้เมโซพอร์รัสคาร์บอน 2 ชนิด และทำการศึกษาสมบัติและวิเคราะห์สมบัติของเมโซพอร์รัสคาร์บอนด้วยวิธีการดูดซับด้วยไนโตรเจน ซึ่งการดูดซับสารจำพวกสารประกอบอินทรีย์หรือสารจำพวกโพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่นั้น การใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดที่มีขนาดของรูพรุนที่มีขนาดเล็กอาจใช้ไม่ได้ผลที่ไม่ดีพอ เนื่องจากโมเลกุลของสารที่จะทำการดูดซับมีขนาดโมเลกุลใหญ่ไม่สามารถที่จะดูดซับเข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับได้ โดยทำการทดลองดูดซับสารเหล่านั้นด้วยเมโซพอร์รัสคาร์บอน 2 ชนิด นำสารละลายตัวอย่างที่ทราบความเข้มข้นเริ่มต้นผสมรวมกับเมโซพอร์รัสคาร์บอนแล้วนำไปเขย่าในเครื่องเขย่า ที่ควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการดูดซับแล้วไปคำนวณหาความเข้มข้นที่เหลือด้วยเครื่องมือวิเคราะห์



รูปที่ 2.12 ไอโซเทอร์มการดูดซับ-คายซับของแก๊สไนโตรเจน [14]



รูปที่ 2.13 การกระจายตัวขนาดของรูพรุนของเมโซพอร์รัสคาร์บอน [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดแก้วมีฝาปิด
2. เครื่องชั่งละเอียด 5 ตำแหน่ง
3. ปีกเกอร์ (Beakers) 500 ml
4. ช้อนตักสาร (Spatula)
5. หลอดหยด (Dropper)
6. แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)
7. นาฬิกาจับเวลา
8. เครื่องทำให้แห้งแบบสุญญากาศ
9. เครื่องไฟโรไลซิส
10. ตู้อบ (Oven)
11. เครื่องเขย่าชนิดควบคุมอุณหภูมิ (Shaker)
12. เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence spectrometry)
13. เครื่องดูดซับแก๊สไนโตรเจน (Micromeritics, ASAP 2020, Surface area and porosity analyzer)

3.2 สารเคมีและวัสดุที่ใช้

1. รีซอร์ซินอล ความบริสุทธิ์ $\geq 99.0\%$
2. โซเดียมคาร์บอเนต ความบริสุทธิ์ 99.8%
3. ฟอรัมดีไฮด์ ความเข้มข้น 37.0%
4. เทอร์ทเทอรีบิวทานอล ความเข้มข้น $\geq 99.0\%$
5. น้ำกลั่น
6. แก๊สไนโตรเจน
7. น้ำมันที่ได้จากส่วนล่างของหน่วยแตกโมเลกุลด้วยสารเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ไฮโดรเจนร่วม
8. AC1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การสังเคราะห์คาร์บอนซีโรเจลโดยวิธีการโซลเจล

1. ขั้นตอนการเตรียมคาร์บอนซีโรเจล ซึ่งจะทำการเตรียมที่อัตราส่วน โดย โมลของสารตั้งต้นด้วยอัตราส่วนต่างๆ กัน 4 สภาวะ

ตัวอย่างการเตรียมคาร์บอนซีโรเจลชนิดที่ 1

1.1 เตรียมคาร์บอนซีโรเจลชนิดที่ 1 โดยซังรีซอร์ซินอล และ โซเดียมคาร์บอเนต ผสมกันในสภาพที่เป็นผงในบีกเกอร์แล้วเติมน้ำกลั่นลงในบีกเกอร์ คนให้ละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมฟอร์มาลดีไฮด์ลงไป คนให้ละลายเข้ากันอีกครั้ง

1.2 เทสารละลายที่เตรียมไว้ในข้อ 1.1 ลงในขวดแก้วทรงกระบอกที่มีฝาปิดมิดชิด

1.3 วางสารละลายในข้อ 1.2 ที่อุณหภูมิห้องจนเกิดการแข็งตัว แล้วจึงนำเข้าตู้อบ

1.4 นำเจลในข้อ 1.3 ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วแลกเปลี่ยนตัวทำละลายด้วยเทอร์ทเทอร์บิวทานอล

2. นำเจลที่ผ่านการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายแล้วมาทำให้แห้ง

3. นำเจลที่ผ่านการทำให้แห้งแล้ว มาเผาในเตาเผาแบบอับอากาศ (pyrolysis)

3.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ (Adsorption performance) แบบกะ

ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งน้ำมัน ใสในขวดแก้วที่มีฝาปิดมิดชิด

2. ชั่งสารดูดซับแต่ละชนิด

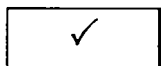
3. เขียนระบุลำดับที่ของขวดเพื่อใช้เป็นลำดับที่ในการเก็บตัวอย่าง

4. นำสารดูดซับแต่ละชนิดจากข้อที่ 2 ใสในขวดแก้วที่เตรียมจากข้อที่ 1 ตามที่แสดงในตารางที่ 3.1 แล้วนำขวดน้ำมันทั้งหมดเข้าเครื่องเขย่าชนิดควบคุมอุณหภูมิ

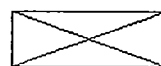
5. เก็บตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการดูดซับแล้ว ตามเวลาที่แสดงในตารางที่ 3.1 ไปวิเคราะห์ปริมาณ HPNA ที่เหลืออยู่ด้วยเครื่องเอ็กสเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

ตารางที่ 3.1 เวลาดูฉบับของสารที่ใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพของสารดูฉบับ

เวลาที่ใช้ในการดูฉบับ	ชนิดของสารดูฉบับคาร์บอน				
	RF1	RF2	RF3	RF5	AC1
1 ชั่วโมง	✓	✓	✓	✗	✓
2 ชั่วโมง	✗	✗	✗	✗	✓
4 ชั่วโมง	✓	✓	✓	✗	✓
8 ชั่วโมง	✗	✗	✗	✗	✓
12 ชั่วโมง	✓	✓	✓	✗	✗
16 ชั่วโมง	✗	✗	✗	✗	✓
24 ชั่วโมง	✓	✓	✓	✓	✓
48 ชั่วโมง	✓	✓	✓	✓	✗
72 ชั่วโมง	✓	✓	✓	✗	✗
96 ชั่วโมง	✓	✓	✓	✗	✗



ข้อมูลที่สามารถทดลอง



ข้อมูลที่ไม่ได้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ศึกษาความจุในการดูดซับ (Adsorption capacity) แบบกะ

ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งน้ำมัน ใสในขวดแก้วที่มีฝาปิดมิดชิด
2. ชั่งเมโซพอร์สคาร์บอนที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุดกับสารดูดซับคาร์บอนทางการค้า
3. เขียนระบุลำดับที่ของขวดเพื่อใช้เป็นลำดับที่ในการเก็บสารตัวอย่าง
4. นำสารดูดซับแต่ละชนิดจากข้อที่ 2 ใสในขวดแก้วที่เตรียมจากข้อที่ 1 จากนั้นนำเข้าเครื่องเขย่าชนิดควบคุมอุณหภูมิ
5. เขย่าน้ำมันเป็นเวลา 1 วัน เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วจึงเปลี่ยนน้ำมันที่ดูดซับใหม่ โดยใช้สารดูดซับตัวเดิม เก็บน้ำมันที่ผ่านการดูดซับแล้วตามเวลาที่แสดงในตารางที่ 3.2 ไปวิเคราะห์ผลด้วยเครื่องเครื่องเอ็กสเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

ตารางที่ 3.2 เวลาการดูดซับของสารที่ใช้ในการทดลองหาความจุในการดูดซับ

เวลาที่เก็บสารตัวอย่าง	ชนิดของสารดูดซับคาร์บอน	
	สารดูดซับคาร์บอนทางการค้า	เมโซพอร์สคาร์บอนที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุด
1 วัน	✓	✓
2 วัน	✓	✓
3 วัน	✓	✓
4 วัน	✓	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

โครงการวิจัยนี้ได้แบ่งหัวข้อในการศึกษาออกเป็น 2 หัวข้อ คือ

1. การสังเคราะห์รีซอร์ซินอลฟอร์มัลดีไฮด์คาร์บอนเจลเพื่อใช้ในการดูดซับ HPNA
2. การทดสอบการดูดซับ HPNA แบบกะ ด้วยสารดูดซับคาร์บอนชนิดต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารดูดซับ สามารถแบ่งสารดูดซับคาร์บอนได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ชนิดของสารดูดซับที่นำมาทดสอบการดูดซับ HPNA แบบกะ

สารดูดซับคาร์บอนทางการค้า	เมโซพอร์สคาร์บอนที่สังเคราะห์ขึ้น
AC1	RF1
	RF2
	RF3
	RF5

จากนั้นทดสอบการดูดซับ โดยออกแบบการทดลองดูดซับ HPNA โดยวิธีแบบกะ ทดลองดูดซับด้วยสารดูดซับคาร์บอนชนิดดังกล่าวตามตารางที่ 4.1 ซึ่งได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษา 2 การทดลอง คือ

1. การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของการดูดซับ (Adsorption performance)
2. การทดลองเพื่อหาความจุในการดูดซับ (Adsorption capacity)

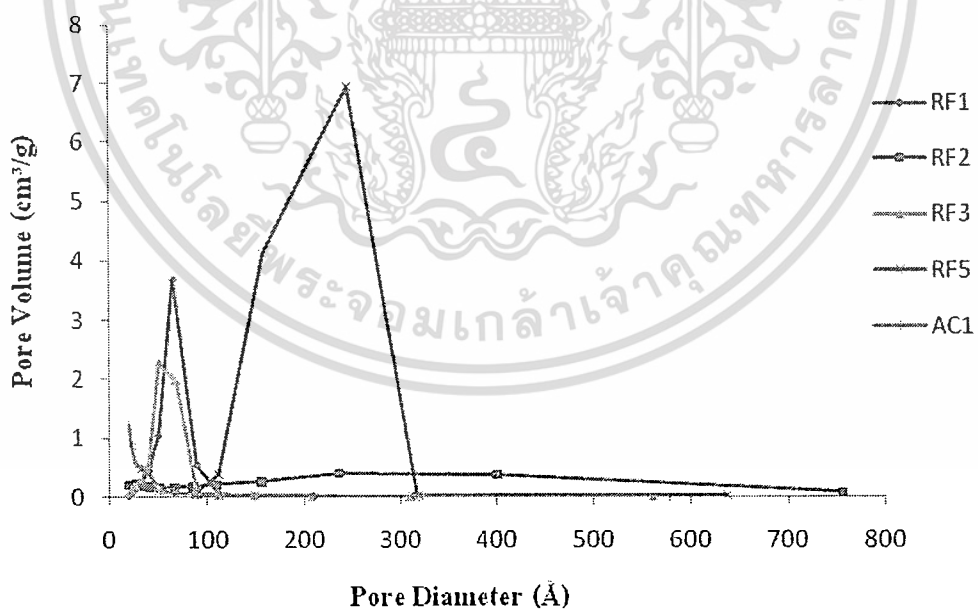
โดยทดลองดูดซับ HPNA ภายในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิคงที่ ณ ความดันบรรยากาศ ใช้ปริมาณน้ำมันและสารดูดซับตามขั้นตอนการทดลองข้อ 3.3.2 เก็บตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการดูดซับแล้ว ไปวิเคราะห์หาปริมาณ HPNA ที่เหลือ ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของสารดูดซับคาร์บอน

จากการศึกษาการสังเคราะห์รีซอร์ซินอลฟอรมาลดีไฮด์คาร์บอนเจล ด้วยอัตราส่วนต่างๆ กัน เพื่อให้เมโซพอร์สคาร์บอนมีสมบัติทางกายภาพต่างกัน เช่น ปริมาตรของรูพรุน การกระจายตัวของรูพรุน และขนาดของรูพรุน เป็นต้น จากนั้นนำสารดูดซับคาร์บอน 5 ชนิด ได้แก่ AC1 RF1 RF2 RF3 และ RF5 ไปทดสอบสมบัติของสารดูดซับคาร์บอนด้วยการดูดซับแก๊สไนโตรเจน ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1 และการกระจายตัวของรูพรุนแสดงดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบสมบัติของสารดูดซับคาร์บอนด้วยแบบจำลอง BET

ชนิดสารดูดซับคาร์บอน	ปริมาตรเมโซพอร์ (cm ³ /g)	ปริมาตรไมโครพอร์ (cm ³ /g)	พื้นที่ผิว Single point (m ² /g)	D _{peak} (Å)
AC1	0.30	0.17	876.75	19
RF1	0.80	0.16	710.33	64
RF2	0.41	0.22	625.77	235
RF3	0.64	0.13	628.43	50
RF5	1.50	0.13	515.85	244



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของรูพรุนของสารดูดซับคาร์บอน AC1 RF1 RF2 RF3 และ RF5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของการดูดซับ (Adsorption performance) แบบกะ

4.2.1 ผลการดูดซับ HPNA

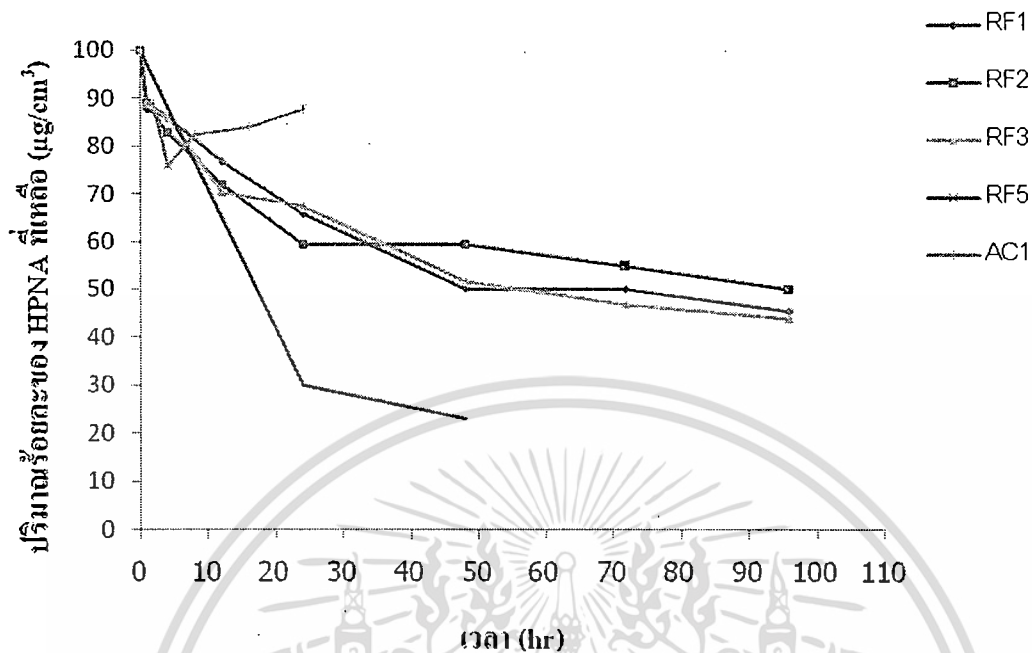
เมื่อนำสารดูดซับคาร์บอนจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ AC1 RF1 RF2 RF3 และ RF5 มาทดสอบการดูดซับ HPNA โดยทำการทดลองตามข้อ 3.3.2 แล้วเก็บตัวอย่างน้ำมัน ไปวิเคราะห์หาปริมาณ HPNA โดยคิดเป็นร้อยละของ HPNA ที่เหลือ ซึ่งเปรียบเทียบว่า ปริมาณ HPNA ในน้ำมัน $64 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ คิดเป็น 100% ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และนำข้อมูลจากตารางที่ 4.2 ไปสร้างกราฟปริมาณร้อยละ HPNA ที่เหลือเทียบกับเวลา แสดงได้ดังรูป 4.2

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละ HPNA ในน้ำมันหลังการดูดซับด้วยสารดูดซับที่เวลาต่างๆ กัน

เวลาที่เก็บสารตัวอย่าง	ปริมาณร้อยละ HPNA ที่เหลืออยู่ในน้ำมัน				
	ชนิดของสารดูดซับคาร์บอน				
	RF1	RF2	RF3	RF5	AC1
0 ชั่วโมง	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1 ชั่วโมง	87.50	89.06	89.06	-	88.71
2 ชั่วโมง					88.71
4 ชั่วโมง	85.94	82.81	85.94	-	75.81
8 ชั่วโมง					82.26
12 ชั่วโมง	76.56	71.88	70.31	-	-
16 ชั่วโมง					83.87
24 ชั่วโมง	65.63	59.38	67.19	30.00	87.50
48 ชั่วโมง	50.00	59.38	51.56	23.00	-
72 ชั่วโมง	50.00	54.69	46.88	-	-
96 ชั่วโมง	45.31	50.00	43.75	-	-

*หมายเหตุ ปริมาณ HPNA ในน้ำมันก่อนการดูดซับมีค่าเท่ากับ $64 \mu\text{g}/\text{cm}^3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟข้อมูลผลการดูดซับ HPNA ด้วยสารดูดซับคาร์บอน 5 ชนิด ได้แก่ AC1 RF1 RF2 RF3 และ RF5 โดยแสดงเป็นร้อยละปริมาณของสาร HPNA ที่ถูกดูดซับเทียบกับเวลา

4.2.2 วิเคราะห์ผลการทดลองการหาประสิทธิภาพของสารดูดซับคาร์บอน

จากผลการทดสอบสมบัติของสารดูดซับคาร์บอนและการทดลองการดูดซับ HPNA พบว่า

จากผลการทดลองดูดซับ HPNA ของสารดูดซับคาร์บอนทางการค้า AC1 เมื่อเปรียบเทียบผลการดูดซับ HPNA กับเมโซพอร์สคาร์บอนดังแสดงในรูป 4.2 พบว่าเมโซพอร์สคาร์บอนที่สังเคราะห์ขึ้นมา มีประสิทธิภาพในการกำจัด HPNA ได้สูงกว่าสารดูดซับทางการค้า อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของ ปริมาตรเมโซพอร์ การกระจายตัวขนาดของรูพรุน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน

ปริมาตรเมโซพอร์ของ AC1 จะมีปริมาณใกล้เคียงกับ RF2 แต่มีการกระจายตัวขนาดของรูพรุนที่ ต่างกัน และ RF2 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนมากกว่า AC1 เมื่อนำผลการทดลองหาประสิทธิภาพของ การดูดซับ แล้วพบว่า RF2 มีประสิทธิภาพในการกำจัด HPNA ได้ดีกว่า AC1 แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัว ขนาดของรูพรุนและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนมีผลต่อการดูดซับ HPNA

เมื่อเปรียบเทียบปริมาตรของเมโซพอร์ RF5 จะมีปริมาตรของเมโซพอร์สูง คือ $1.50 \text{ cm}^3/\text{g}$ และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนใหญ่ คือ 244 \AA ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของ RF5 จะมีขนาด ใกล้เคียงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของ RF2 แต่จะมีการกระจายตัวขนาดของรูพรุนที่ต่างกัน และ RF5 มีปริมาตรเมโซพอร์ที่สูงกว่า RF2 เมื่อนำผลการทดลองหาประสิทธิภาพของการดูดซับ แล้วพบว่า RF5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีประสิทธิภาพในการกำจัด HPNA ได้ดีกว่า RF2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของเมโซพอร์และการกระจายตัวขนาดของรูพรุนมีผลต่อการดูดซับ HPNA

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของเมโซพอร์ของ RF1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $0.80 \text{ cm}^3/\text{g}$ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน 64 อังสตรอม กับ RF2 ที่มีปริมาณของเมโซพอร์เท่ากับ $0.41 \text{ cm}^3/\text{g}$ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน 235 อังสตรอม สารดูดซับคาร์บอนทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันทั้งปริมาณของเมโซพอร์และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน แต่ให้ผลการดูดซับ HPNA ที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าทั้งปริมาณของเมโซพอร์และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนมีผลต่อการดูดซับทั้งคู่ ซึ่งการกำจัด HPNA ที่ดี จะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนและมีปริมาณของเมโซพอร์ที่เหมาะสม

4.3 ผลการทดลองเพื่อหาความจุในการดูดซับ (Adsorption capacity) แบบกะ

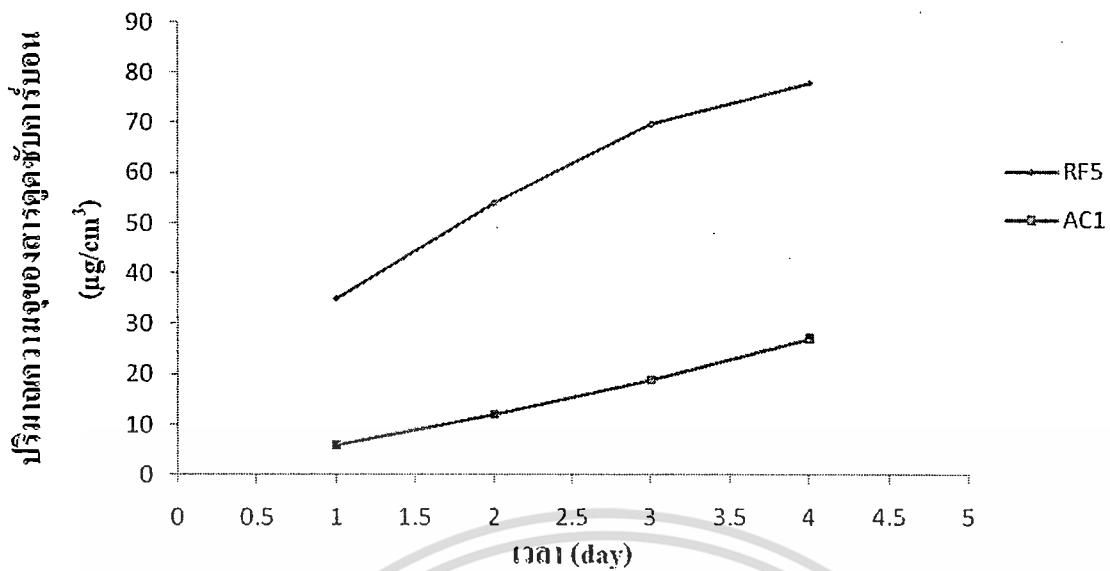
4.3.1 ผลการดูดซับ HPNA

จากการศึกษาการหาประสิทธิภาพของการดูดซับพบว่าคาร์บอนกัมมันต์ทางการค้าคือ AC1 ที่นำมาทดสอบและเมโซพอร์สคาร์บอน RF5 เป็นตัวที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด HPNA ของสารดูดซับคาร์บอนที่สังเคราะห์ขึ้น นำมาศึกษาเพิ่มเติมโดยทำการทดสอบหาความจุในการดูดซับ โดยทำการทดลองตามข้อ 3.3.3 แล้วเก็บตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการดูดซับตามตารางที่ 3.4 ไปวิเคราะห์หาปริมาณ HPNA ที่เหลือด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร คำนวณออกมาเป็นปริมาณความจุของสารดูดซับคาร์บอน แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 ความจุในการดูดซับ HPNA ของสารดูดซับคาร์บอน

ระยะเวลาที่ดูดซับ	ปริมาณความจุของสารดูดซับคาร์บอน ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)	
	ชนิดของสารดูดซับคาร์บอน	
	AC1	RF5
1 วัน	6	35
2 วัน	12	45
3 วัน	19	70
4 วัน	27	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟปริมาณความจุของสารดูดซับคาร์บอน 2 ชนิด ได้แก่ AC1 และ RF5 โดยแสดงปริมาณความจุของสารดูดซับคาร์บอนเทียบกับเวลา

4.3.2 วิเคราะห์ผลการทดลองการหาความจุในการดูดซับของสารดูดซับคาร์บอน

จากตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ HPNA ที่เหลือจากการดูดซับของตัวดูดซับ 2 ชนิด ได้แก่ AC1 และ RF5 และจากรูปที่ 4.3 กราฟแสดงปริมาณความจุของสารดูดซับคาร์บอน พบว่า RF5 ซึ่งเป็นสารดูดซับคาร์บอนที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากกรีซอร์ซินอลฟอร์มัลดีไฮด์มีความจุในการดูดซับมากกว่า AC1 ที่เป็นสารดูดซับทางการค้า

จากผลการวิเคราะห์สมบัติของสารดูดซับคาร์บอนด้วยแบบจำลอง BET ในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าการที่ AC1 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 19 Å ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า RF5 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 244 Å ประมาณ 12.8 เท่า และมีปริมาตรของเมโซพอร์ที่ต่ำกว่า RF5 ถึง 5 เท่า จึงมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ HPNA ที่มีขนาดของโมเลกุลใหญ่ แม้ว่า AC1 จะมีพื้นที่ผิวมากกว่า RF5 ก็ตาม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า HPNA ไม่สามารถที่จะแพร่เข้าไปในรูพรุนของ AC1 ได้ จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับ HPNA ได้น้อย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. จากการทดสอบการดูดซับ HPNA ด้วยสารดูดซับคาร์บอนชนิดต่างๆ โดยควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับให้คงที่ และควบคุมน้ำหนักของสารดูดซับต่อน้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ดูดซับ จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณของ HPNA ที่เหลืออยู่ในน้ำมันที่ผ่านการดูดซับแล้วด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และทดสอบสมบัติของสารดูดซับด้วยวิธีการดูดซับแก๊สในโตรเจน โดยอาศัยแบบจำลองของ บีอีที (BET) แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดูดซับ HPNA ได้แก่ การกระจายตัวของรูพรุน ปริมาตรเมโซพอร์ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน

2. RF5 สารดูดซับคาร์บอนที่สังเคราะห์ขึ้นจากกรีซอร์ซินอลและฟอร์มัลดีไฮด์ซึ่งมีปริมาตรเมโซพอร์สูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนขนาดใหญ่ จะสามารถกำจัด HPNA ในน้ำมันจากหน่วยแตกโมเลกุลโดยใช้ไฮโดรเจนร่วมได้ประมาณ 77 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่าสารดูดซับคาร์บอนทางการค้า 4-5 เท่า อีกทั้งมีความจุในการดูดซับ HPNA มากกว่า สารดูดซับคาร์บอนทางการค้าถึง 2.9 เท่า

3. การสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอนจากกรีซอร์ซินอลและฟอร์มัลดีไฮด์โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสม จะทำให้ได้สารดูดซับคาร์บอนที่มีปริมาตรเมโซพอร์สูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนใหญ่ และการกระจายตัวของรูพรุนที่เหมาะสมต่อการกำจัด HPNA

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอนจากกรีซอร์ซินอลและฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้ในการทดสอบมีเพียง 5 อัตราส่วน โดยโมลของสารตั้งต้น ซึ่งอาจยังไม่สามารถได้เมโซพอร์สคาร์บอนที่ดีที่สุดในการดูดซับ HPNA ดังนั้นควรศึกษาการสังเคราะห์เมโซพอร์สคาร์บอนจากกรีซอร์ซินอลและฟอร์มัลดีไฮด์ที่อัตราส่วนโดยโมลของสารตั้งต้นอื่นๆ เพื่อให้ได้เมโซพอร์สคาร์บอนที่เหมาะสมในการกำจัด HPNA

2. การทดสอบการดูดซับ HPNA ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบแบบกะ เพื่อดูประสิทธิภาพการดูดซับของสารดูดซับคาร์บอนชนิดต่างๆ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการปรับปรุงและพัฒนาเป็นสารดูดซับที่ใช้ในการทดสอบการดูดซับแบบต่อเนื่องในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Adrian Gruia J. and Bluff Lake. **PROCESS FOR REFRACTORY COMPOUND CONVERSION IN A HYDROCRACKER RECYCLE LIQUID**. United State Patent. Patent number 5,007,998. 1991.
- [2] ปราโมทย์ ไชยเวช. **ปิโตรเลียมเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.
- [3] วิกิพีเดีย. **โพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน**. [Online]. Available : http://th.wikipedia.org/wiki/โพลีไซคลิก_อะโรมาติก_ไฮโดรคาร์บอน.
- [4] วิกิพีเดีย. **“ Polycyclic aromatic hydrocarbon ”**. [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Polycyclic_aromatic_hydrocarbon.
- [5] กระทรวงอุตสาหกรรม. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์**. กรุงเทพมหานคร. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2532.
- [6] Gregg S.J. and Sing K.S.W.. **Adsorption Surface Area and Porosity**. 2nd ed. New York. Academic Press. Subsidiary of Harcourt Brace Jovanovich Publishers. 1982. pp. 4,25.
- [7] กมลชนก ปานสง่า ธนินฐา ประสิทธิ์วิฑูรย์ศักดิ์ และชนันชนันท์ บุรกรรม. **การสังเคราะห์คาร์บอนกัมมันต์จากไม้ยูคาลิปตัสและกากคาร์บอน**. ปรินูญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
- [8] Fletcher Ashleigh. **“ Porsity and Sorption Behavior ”**. [Online]. Available : <http://www.staff.ncl.ac.uk/a.j.fletcher/adsorption.htm>. 2008.
- [9] Henning K.O. Degel J. **“ Fundamentals of Adsorption and desorption ”**. [Online]. Available : <http://www.activated-carbon.com/solrec3.html>. 2008.
- [10] Shaheen A. Muhtaseb Al. and Jame Ritter A. **Preparation and Properties of Resorcinol-Formaldehyde Organic and Carbon Gels**. Advance Materials. 16 January. 2003. pp. 101-114.
- [11] Boonphayong Teerachate. **Suitable Activated Carbon for PNA Removal**. A special Research Project for the degree of Master of Engineering. Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering. King Mongkut's institute of Technology Thonburi Bangkok. 1999 [12] Ahamd M.A. Wan Daud W.M.A. and Aroua M.K.. **Adsorption kinetics of vavious gases in carbon molecular sieves (CMS) produced from palm shell**. Physicochem. Eng.Aspects 312(2008). pp. 131-135.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] Wibowo N. Setyadni L. Wibowo D. and Setiawan J. **Adsorption of benzene and toluene from aqueous solution onto activated carbon and its acid and heat treated forms : Influence of surface chemistry on adsorption.** Journal Hazardous Materials. 146(2007). pp. 237-242.
- [14] Adam Marczewski W. **Kinetics and equilibrium of adsorption of organic solutes on mesoporous carbons.** Applied surface science. 253(2007). pp. 5818-5826.
- [15] ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. “X- ray fluorescence spectrometry ”. [Online]. Available : http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRF/GettingStartOf_XRFs.htm.
- [16] วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา. **จลนพลศาสตร์และการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี : Chemical Kinetics and Reactor Design.** กรุงเทพฯ. 2544. หน้า 312-319.
- [17] Particle & Surface Sciences Pty. Limited. “Micromeritics ASAP 2020 Accelerated Surface Area and Porosimetry analyzer”. [Online]. Available : http://www.pss.aus.net/products/micromeritics/equip_surface_area/2010/2020.html.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

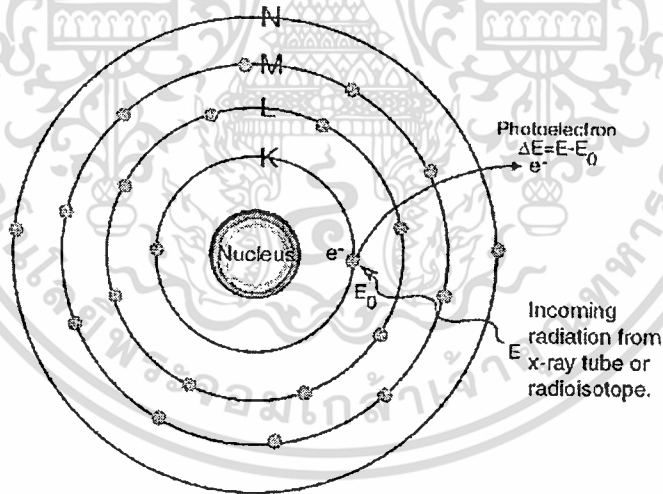
การวิเคราะห์ปริมาณสารด้วยเครื่องเอ็กซ์สเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารด้วยเทคนิค X-ray fluorescence spectrometry (XRF) [15]

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง โดยใช้การวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence) ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง

ก.2 หลักการและวิธีการวิเคราะห์

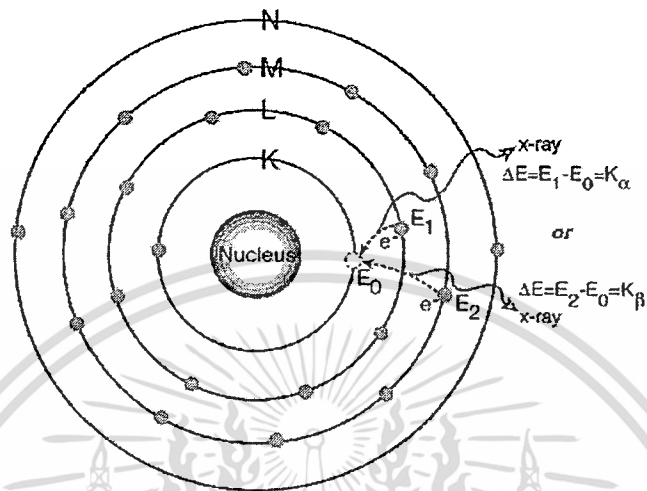
เมื่อรังสีเอ็กซ์ปฐมภูมิ (Primary X-ray photon) จากหลอดรังสีเอ็กซ์พุ่งเข้าชนสารตัวอย่างจะเป็นผลให้อิเล็กตรอนวงในสุด (K-shell) ของอะตอมภายในสารตัวอย่างหลุดออกจากอะตอมในรูปของโฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron) ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในวงอิเล็กตรอนนั้น ดังแสดงในรูปที่ ก.1



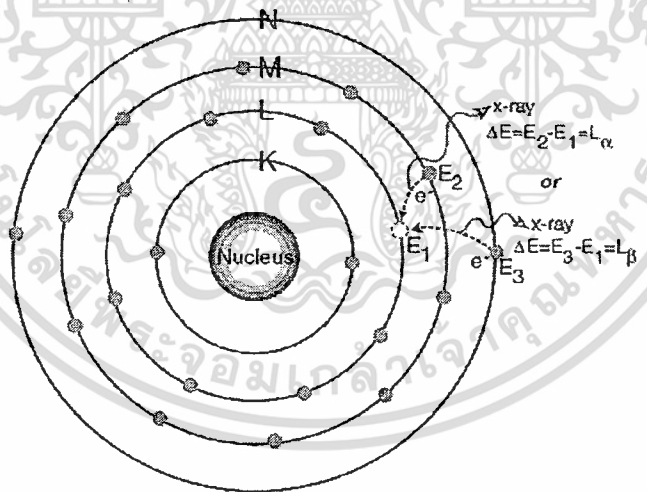
รูปที่ ก-1 รังสีเอ็กซ์พุ่งเข้าชนสารตัวอย่างทำให้อิเล็กตรอนวงในสุดหลุดออก [15]

ที่สถานะนี้อะตอมจะไม่เสถียร อะตอมจะกลับสู่สถานะที่เสถียรขึ้นโดยการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนวงนอกเข้ามาแทนที่ช่องว่างดังกล่าว ซึ่งในการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะมีการปลดปล่อยรังสีเอ็กซ์ทุติยภูมิ (Secondary X-ray photon) ดังแสดงในรูปที่ ก.2 และ ก.3 ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “ ฟลูออเรสเซนซ์ ” (Fluorescence) พลังงานของรังสีเอ็กซ์ทุติยภูมิที่ปลดปล่อยออกมาจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับความแตกต่างของระดับพลังงานเริ่มต้นของอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



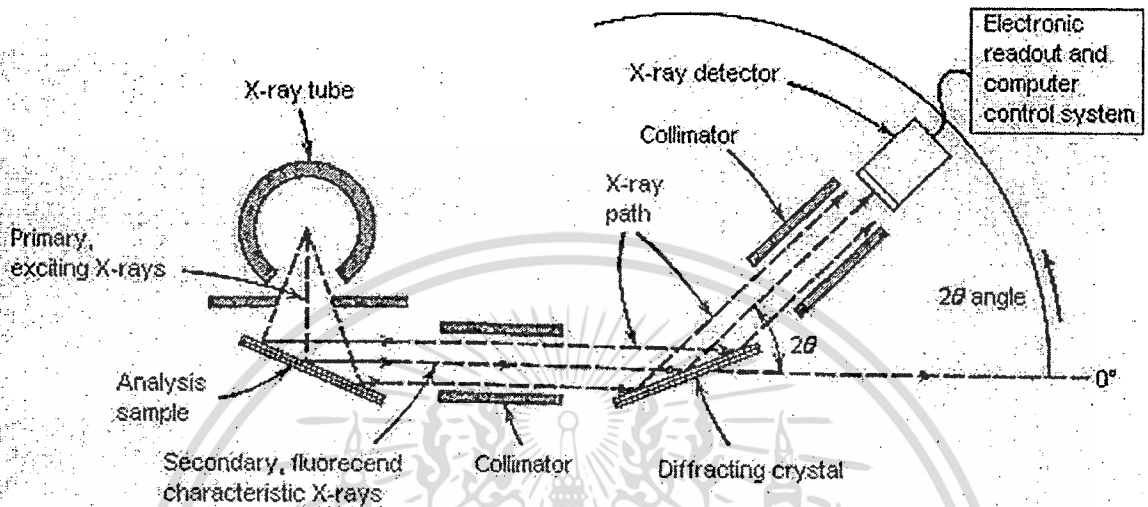
รูปที่ ก-2 การปลดปล่อยรังสีเอ็กซ์ทุติยภูมิในการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน1 [15]



รูปที่ ก-3 การปลดปล่อยรังสีเอ็กซ์ทุติยภูมิในการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน2 [15]

รังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่าน collimator ในรูปร่างขนานไปยัง Diffracting crystal ซึ่งมีค่าระยะห่างระหว่างระนาบผลึก (d) ที่แน่นอน เช่น ควอทซ์ ลิเทียม-ฟลูออไรด์ ไมกา เป็นต้น โดย Diffracting crystal จะทำให้รังสีเอ็กซ์เกิดการเลี้ยวเบนเข้าสู่เครื่องตรวจวัดรังสีเอ็กซ์ (X-ray detector) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติ Diffracting crystal จะทำมุม θ กับระนาบรังสีขนานจาก collimator และทำมุม 2θ กับเครื่องตรวจวัดตั้งแสดงในรูป ก.4



รูปที่ ก-4 ส่วนประกอบหลักของเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ [15]

การคำนวณหาค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ของรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ จากสารตัวอย่าง จะทำได้โดยแทนค่าในสมการ Bragg's law ดังสมการที่ (2) ค่าความยาวคลื่นที่คำนวณได้จะสามารถห้บอกได้ว่ารังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ของสารตัวอย่างประกอบด้วยธาตุใดบ้าง เทคนิคการวิเคราะห์นี้ เรียกว่า Wavelength dispersive XRF

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองการวิเคราะห์ปริมาณสารด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์
ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร

ตารางที่ ข-1 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของการดูดซับของสารดูดซับชนิดต่างๆ

เวลาที่เก็บสารตัวอย่าง	ปริมาณ HPNA ที่เหลืออยู่ในน้ำมัน ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)				
	ชนิดของสารดูดซับคาร์บอน				
	RF1	RF2	RF3	RF5	AC1
0 ชั่วโมง	64	64	64	64	64
1 ชั่วโมง	56	57	57	-	55
2 ชั่วโมง	-	-	-	-	55
4 ชั่วโมง	55	53	55	-	47
8 ชั่วโมง	-	-	-	-	51
12 ชั่วโมง	49	46	45	-	-
16 ชั่วโมง	-	-	-	-	52
24 ชั่วโมง	42	38	43	19	56
48 ชั่วโมง	32	38	33	15	-
72 ชั่วโมง	32	35	30	-	-
96 ชั่วโมง	29	32	28	-	-

*หมายเหตุ ปริมาณ HPNA ในน้ำมันก่อนการดูดซับมีค่าเท่ากับ $64 \mu\text{g}/\text{cm}^3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ผลการทดลองหาความจุในการดูดซับของสารดูดซับชนิดต่างๆ

เวลาที่เก็บสารตัวอย่าง	ปริมาณความเข้มข้นของ HPNA ที่เหลืออยู่ในน้ำมัน ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)	
	ชนิดของสารดูดซับคาร์บอน	
	AC1	RF5
0 วัน	64	64
1 วัน	58	29
2 วัน	58	45
3 วัน	57	48
4 วัน	56	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การทดสอบสมบัติของสารดูดซับโดยวิธีการดูดซับแก๊สไนโตรเจน [16]

แบบจำลองบีอีที (Brunauer-Emmett-Teller Method, BET method)

สำหรับแก๊สที่ดูดซับบนผิวของแข็งแบบ Multi-molecular layer ซึ่งรู้จักกันในชื่อของ BET จะใช้หลักการดูดซับก๊าซไนโตรเจนที่จุดเดือดปกติ อุณหภูมิประมาณ 77.5 เคลวิน โดยกรณีนี้วัสดุที่นำมาวัดจะมีรูพรุนเล็ก คือ 10-100 อังสตรอม ซึ่งก๊าซไนโตรเจนจะปล่อยให้ดูดซับที่ระดับความดันต่างๆ ต่ำกว่า 1 บรรยากาศ จนถึงสภาวะสมดุล แล้วทำการวิเคราะห์หาปริมาณของก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดซับไป ที่ความดันต่างๆ BET isotherm มีรูปแบบของสมการ คือ

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m c} + \frac{(c-1)P}{V_m c P_0} \quad (3)$$

- โดย V คือ ปริมาตรของก๊าซ N_2 ที่ดูดซับบนผิวรูพรุน (cm^3)
 V_m คือ ปริมาตรของก๊าซ N_2 ที่ดูดซับบนผิวรูพรุนแบบโมเลกุลชั้นเดียว (Monomolecule layer) ปกคลุมทั่วผิวรูพรุน (cm^3)
P คือ ความดันที่สภาวะใดๆ (mmHg)
 P_s คือ ความดันไอหรือความดันอิ่มตัว (Vapor or saturated vapor) (mmHg)
c คือ ค่าจำเพาะสำหรับการดูดซับของก๊าซแต่ละชนิด

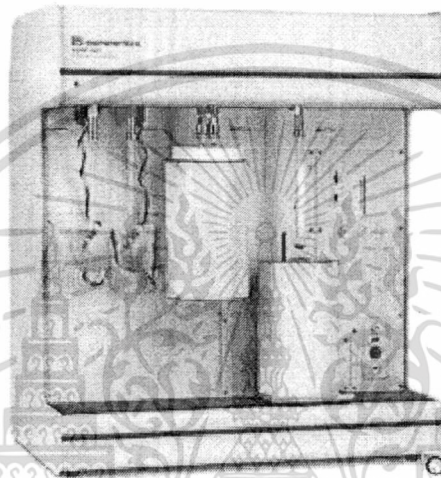
เมื่อเขียนกราฟจากสมการที่ (3) จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง V_m , c คำนวณหาได้จากจุดตัดและความชันเส้นตรง ค่า V_m ที่ได้นำมาเทียบเป็นพื้นที่ผิวรูพรุน S (m^2) ดังสมการที่ 4

$$S = \frac{V_m N_{AV}}{22400} a \quad (4)$$

- โดย S คือ พื้นที่ผิวรูพรุน (m^2)
 N_{AV} คือ Avogadro Number (6.02×10^{23} molecules mol^{-1})
a คือ พื้นที่ต่อหน่วยโมเลกุลก๊าซ (cm^2 molecule $^{-1}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในกรณีที่รูพรุนขนาดใหญ่ จะใช้วิธีวัดแบบ Porosimeter โดยใช้หลักการอัดปรอทเข้าไปในรูพรุน จากปริมาตรของปรอทที่เข้าไปแทนที่รูพรุน ณ ความดันต่างๆ ก็จะคำนวณหาปริมาตรการกระจายรูพรุนตามเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนได้ ดังนั้นเมื่อใช้วิธีการแบบ BET ร่วมกับวิธีการวัดแบบ Porosimeter ก็จะสามารถหาการกระจายปริมาตรรูพรุน ตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10^{-10} อังสตรอม ซึ่งการกระจายของรูพรุนนั้น อาจมีการกระจายตัวในบางช่วงของรัศมีรูพรุน หรือ หลายช่วงรัศมีรูพรุนก็ได้



รูปที่ ๓-1 เครื่องดูดซับแก๊สไนโตรเจน (Micromeritics, ASAP 2020, Surface area and porosity analyzer)

[17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

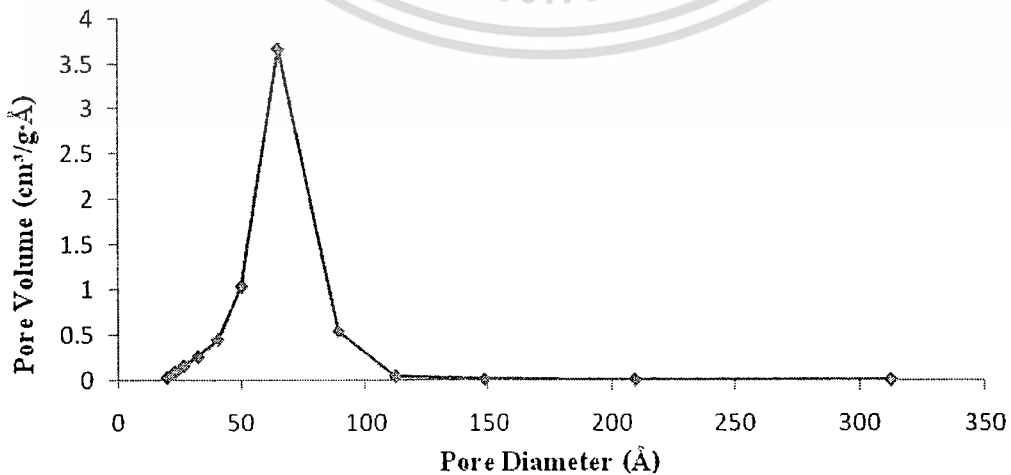
ภาคผนวก ง.

ผลการวิเคราะห์สมบัติของสารดูดซับโดยวิธีการดูดซับแก๊สไนโตรเจน
ด้วยเครื่อง Micromeritics, ASAP 2020, Surface area and porosity analyzer

ง.1 การกระจายตัวของขนาดรูพรุน (Pore size distribution)

ตารางที่ ง-1 ผลการกระจายตัวของขนาดรูพรุนของ RF1

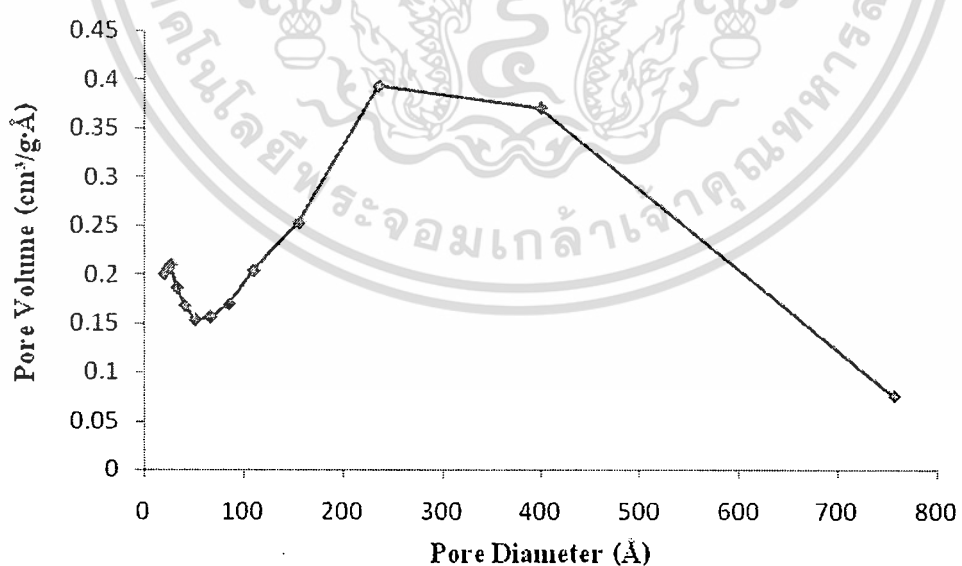
เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน Pore Diameter (Å)	ปริมาตรของรูพรุน Pore Volume (cm ³ /g)
312.1595	0.005078
209.2340	0.009962
148.1592	0.014741
111.8860	0.046254
88.9333	0.545199
64.8246	3.677397
49.9765	1.044291
40.3382	0.450578
32.2967	0.260656
26.5427	0.159329
23.0682	0.092887
19.7835	0.026982



รูปที่ ง-1 การกระจายตัวของขนาดรูพรุนของคาร์บอนซีโรเจต RF1 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-2 ผลการกระจายตัวขนาดของรูพรุนของ RF2

เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน Pore Diameter (Å)	ปริมาตรของรูพรุน Pore Volume (cm ³ /g)
756.3130	0.075708
400.1110	0.371354
235.9750	0.393703
155.6847	0.252884
109.9782	0.203577
85.2492	0.169100
66.2300	0.155684
51.1616	0.153084
40.4567	0.167480
32.6826	0.185625
26.4731	0.209507
22.9294	0.204997
19.7453	0.199945

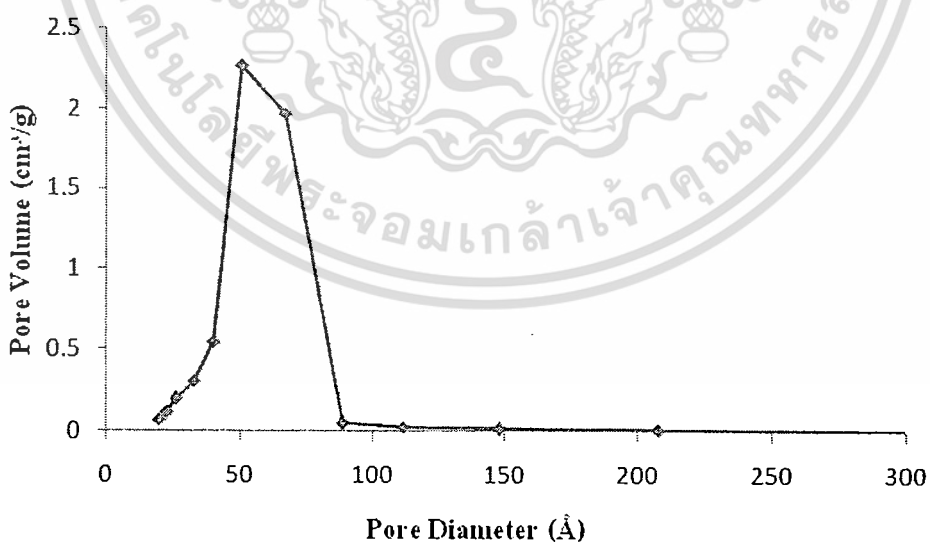


รูปที่ ง-2 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของคาร์บอนซีโรเจด RF2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-3 ผลการกระจายตัวขนาดของรูพรุนของ RF3

เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน Pore Diameter (Å)	ปริมาตรของรูพรุน Pore Volume (cm ³ /g)
561.3690	0.000804
308.7856	0.004414
207.8548	0.009572
147.5881	0.015251
111.4032	0.028180
88.8181	0.047946
67.1755	1.969400
50.6152	2.266175
40.0740	0.543021
32.4505	0.299952
25.8104	0.191346
22.7095	0.116003
19.7894	0.066477

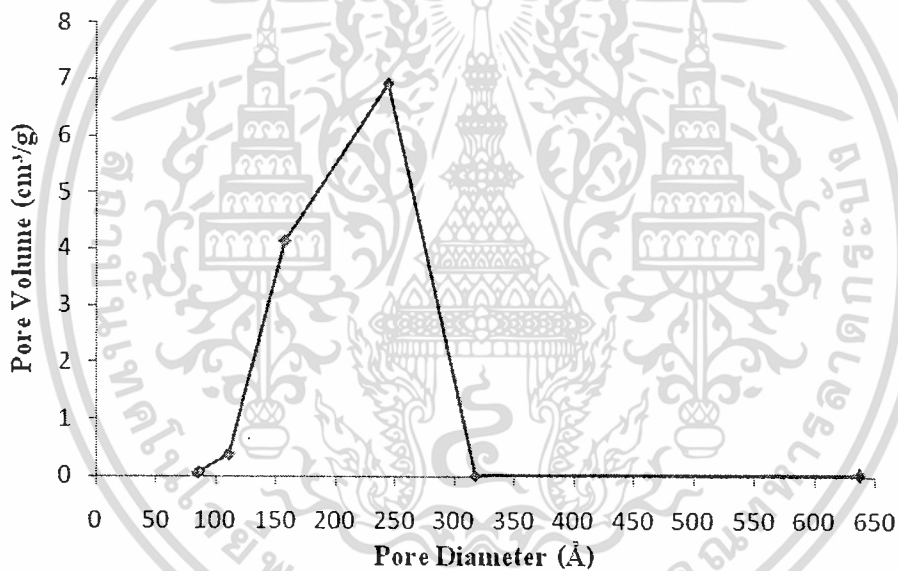


รูปที่ ง-3 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของคาร์บอนซีโรเจด RF3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-4 ผลการกระจายตัวขนาดของรูพรุนของ RF5

เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน Pore Diameter (Å)	ปริมาตรของรูพรุน Pore Volume (cm ³ /g)
636.6493	0.028246
317.0658	0.021446
244.1717	6.935357
156.8615	4.127085
111.0999	0.377926
85.2996	0.050926

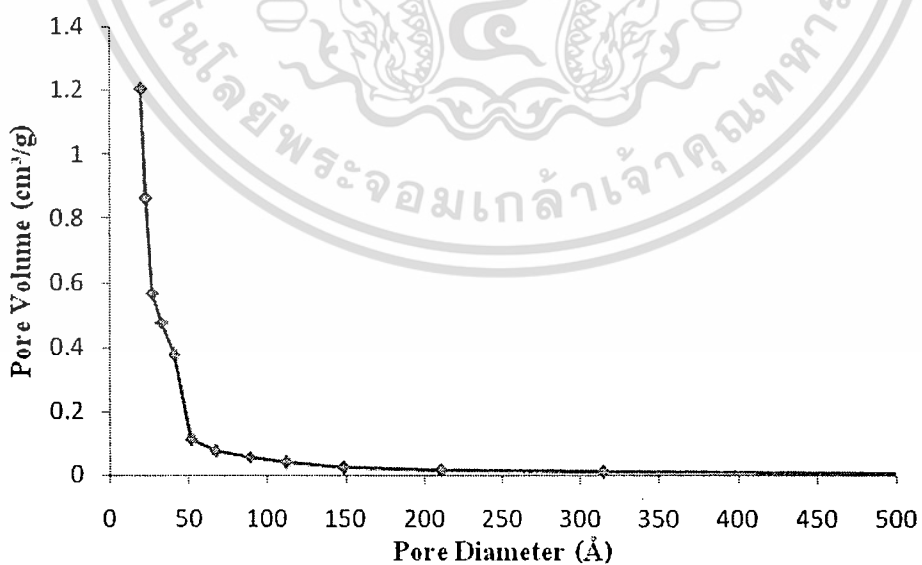


รูปที่ ง-4 การกระจายตัวขนาดรูพรุนของคาร์บอนซีโรเจล RF5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-5 ผลการกระจายตัวขนาดของรูพรุนของ AC1

เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน Pore Diameter (Å)	ปริมาตรของรูพรุน Pore Volume (cm ³ /g)
578.1345	0.001762
314.4843	0.010419
210.5016	0.017557
148.4047	0.025008
111.5321	0.039361
88.8075	0.056081
66.6653	0.075250
51.0133	0.111310
40.6557	0.377085
32.6048	0.475529
26.5590	0.565690
23.0395	0.860725
19.7944	1.202052



รูปที่ ง-5 การกระจายตัวของขนาดรูพรุนของ AC1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้