

การคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว

นางสาววารุณี ศุภเสวตหิรัญ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-687-7

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REGENERATION OF SPENT ACTIVATED CARBON



MISS VARUNEE SUPASAWETHIRUN

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

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-333-687-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว
โดย นางสาววารุณี ศุภเสวตหิรัญ
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ศรัณย์พงศ์ อติชาติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....
(รศ.ดร.ธวัชชัย สุมิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุภาบุญจันท์)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล)

.....
(อาจารย์ศรัณย์พงศ์ อติชาติ)

.....
(ดร.สมประสงค์ ศรีชัย)

วารุณี ศุภเขตตวิทย์ : การคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว (REGENERATION OF SPENT ACTIVATED CARBON) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ.ศรณีย์พงษ์ อติชาติ, 109 หน้า. ISBN 974-333-687-7.

กรดน้ำส้มเข้มข้น(Glacial Acetic Acid) เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางในการทำให้ยางแข็งตัว ตัวทำละลายชนิดนี้ระเหยง่าย และ ใอะเหยมีความเป็นพิษสูง วิธีการขจัดใอะเหยของกรดน้ำส้มเข้มข้นนี้ ทำได้โดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งโดยทั่วไปเมื่อใช้จนกระทั่งประสิทธิภาพของการดูดซับลดลงจนไม่เหมาะสมที่จะใช้งานต่อไปแล้ว จำเป็นต้องทิ้ง และเปลี่ยนถ่านกัมมันต์ใหม่มาใช้แทน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นในการนำถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับใอะเหยของกรดน้ำส้มเข้มข้นแล้ว มาทำการคืนสภาพ(Regeneration) โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการคืนสภาพ เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปของสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วนี้เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

ในงานวิจัยนี้ วิธีที่เลือกใช้ในการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารเคมี คือ การทำให้เป็นกลางโดยใช้สารละลายอัลคาไลน์และตัวทำละลายอินทรีย์ โดยทำการทดลองกับถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ตัวแปรที่ศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการคืนสภาพ ได้แก่ ชนิด และ ความเข้มข้นของสารละลายอัลคาไลน์, ชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ และ ระยะเวลาของการคืนสภาพ ในการวิเคราะห์ผลของการคืนสภาพนั้น กำหนดใช้วิธีการวัดค่าการดูดซับจำเพาะ ซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงจากการวัดค่าการดูดซับไอโอดีนตามมาตรฐาน ASTM D4607-86

จากผลการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพ โดยใช้ทั้งสารละลายอัลคาไลน์และตัวทำละลายอินทรีย์ มีค่าการดูดซับจำเพาะต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพโดยใช้สารละลายอัลคาไลน์เพียงอย่างเดียว และจากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการคืนสภาพ สรุปได้ว่า การคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 17 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว 10 กรัม ระยะเวลาของการคืนสภาพ 30 นาที และ 60 นาที เป็นสภาวะการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ดีที่สุด ในขณะที่ เมื่อพิจารณาผลที่ได้เทียบกับค่าใช้จ่ายจากการคืนสภาพ พบว่า การคืนสภาพโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 11 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว 10 กรัม ระยะเวลาของการคืนสภาพ 15 นาที เป็นสภาวะที่การคืนสภาพมีความคุ้มค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการคืนสภาพ นั่นคือ ผลจากงานวิจัยนี้เป็นการเสนอทางเลือกที่เป็นไปได้ในการนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการจัดเก็บกรดน้ำส้มเข้มข้น หรือ สารละลายอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ได้ อีกทั้งยังเป็นการลดขยะอันตรายซึ่งเป็นมลภาวะของโลกอีกด้วย

ภาควิชา _____ วิศวกรรมเคมี _____

สาขาวิชา _____ วิศวกรรมเคมี _____

ปีการศึกษา _____ 2542 _____

ลายมือชื่อนิสิต _____ 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____ 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____ 

3971659021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : REGENERATION / ACTIVATED CARBON / GLACIAL ACETIC ACID / ORGANIC SOLVENT /
ALKALINE SOLUTION

VARUNEE SUPASAWETHIRUN : REGENERATION OF SPENT ACTIVATED CARBON. THESIS
ADVISOR : ASSIST. PROF. TAWATCHAI CHARINPANICHKUL, Ph.D. THESIS COADVISOR :
MR.SARUNPHONG ARTICHART. 109 pp. ISBN 974-333-687-7.

Glacial Acetic acid is an organic solvent used in rubber manufacturing as a catalyst in the vulcanization process. This solvent is volatile and toxic. The method in taking away its vapor is by using activated carbon absorption process. Generally, the after-use/inactive activated carbon will be discarded and replaced with new activated carbon. The purpose of this research is to regenerate the after-use/inactive activated carbon by studying the factors that have effect in the regeneration process and lead to the most appropriate condition in the regenerating of used activated carbon, in which will help to reduce solid waste.

The methods used for regenerating activated carbon in this research are Neutralization by using alkali solutions and organic solvents. The studied factors are; type and concentration of alkali solutions, type of organic solvent and time used in regenerating. The measurement method of the specific absorption value which have been modified from the Iodine number of standard ASTM 4607-86 is used in analyzing the data.

From the experiment, it is found that the carbon regenerated activated by using both alkali solution and organic solvent has lower specific absorbability than the one determined by using only alkali solution. In studying with the condition of regenerating, it shows that by using 17 cm³ of 10% by weight of Potassium Hydroxide solution with 10 grams of used activated carbon, regenerating times of 30 minutes and 60 minutes provide the best regeneration efficiency. While using 11 cm³ of 10% by weight of Sodium Hydroxide solution with 10 grams of used activated carbon, regenerating time of 15 minutes is the best cost effectiveness condition. This research can confirm there is a considerable cost reduction for the storage of glacial Acetic acid. In addition, it is a potential alternative to reduce hazardous solid waste to the environment.


ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

ลายมือชื่อนิสิต 

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 



กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจากท่านรองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา แนะนำ ให้ข้อเสนอแนะและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ศรัณย์พงษ์ อติชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความกรุณาแก่ผู้วิจัยมาตั้งแต่เริ่มต้นศึกษาหัวข้องานวิจัย การให้คำปรึกษาแนะนำแนวทาง ตลอดจนเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยจนงานวิจัยนี้สำเร็จ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาที่ได้รับจากท่านทั้งสองเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุกาญจน์จที ประธานกรรมการ, ดร.สมประสงค์ ศรีชัย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณสมบัติ โกมลมณี และ คุณชาญชัย บุญเลขา จากบริษัท เลนโซ่ เทอร์มินอล จำกัด ในการให้ความอนุเคราะห์แก่ผู้วิจัยในด้านสถานที่ และเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง รวมถึงวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัยนี้

วารุณี ศุภเสวตศิริธัญญ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง.
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ.
กิตติกรรมประกาศ	ฉ.
สารบัญตาราง	ญ.
สารบัญรูปภาพ	ณ.
บทที่	
1. บทนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	2
2. ทฤษฎีบท	4
2.1 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์	4
2.1.1 โครงสร้างรูพรุน	4
2.1.2 โครงสร้างทางเคมี	7
2.1.3 เถ้า	10
2.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์	10
2.2.1 แบ่งตามรูปร่างลักษณะ	10
2.2.2 แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น	11
2.2.3 แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ	12

	หน้า
2.2.4 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์	12
2.2.5 แบ่งตามขนาดของรูพรุนบนผิวคาร์บอน	12
2.3 การผลิตถ่านกัมมันต์	12
2.4 ทฤษฎีการดูดซับ	13
2.4.1 คำจำกัดความ	13
2.4.2 สภาวะการดูดซับ	14
2.4.3 แรงการดูดซับ	14
2.4.4 จลนศาสตร์การดูดซับ	14
2.4.5 สภาวะจลน์ของการดูดซับ	16
2.4.6 ปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญในการดูดซับทางสภาวะจลน์ ความยาว และรูปร่างของ MTZ	19
2.5 การคืนสภาพสารดูดซับที่ใช้แล้ว	22
2.6 การคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วด้วยวิธีการทางเคมี	23
2.6.1 การคืนสภาพโดยสารละลายอินทรีย์	23
2.6.2 การคืนสภาพโดยฟอร์มัลดีไฮด์	24
2.6.3 การคืนสภาพด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว	24
2.6.4 การคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์เหลวและตัวทำละลายอินทรีย์ ..	25
2.6.5 การคืนสภาพโดยกรดกำมะถันและแอมโมเนีย	26
2.6.6 การคืนสภาพโดยใช้สารละลายไอโอดีน	27

	หน้า
2.6.7 การคืนสภาพโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก	28
2.6.8 การคืนสภาพโดยใช้กรดแอมโมเนีย	28
2.7 หลักการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์	29
2.7.1 การหาพื้นที่ผิวจำเพาะ	29
2.7.2 การหาปริมาณเถ้าของถ่านกัมมันต์	33
2.7.3 การหาความหนาแน่นเชิงปริมาตร	33
2.7.4 การหาความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู	34
2.7.5 การหาความสามารถในการดูดซับไอโอดีน	35
2.8 วิธีวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของผลการทดลอง	36
2.8.1 Test-retest	36
2.8.2 Q Test	37
3. การทดลอง	39
3.1 วิธีการทดลอง	39
3.1.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว	39
3.1.2 การทดลองคืนสภาพถ่านกัมมันต์	39
3.1.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ภายหลังการ คืนสภาพ	40
4. ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลอง	46
4.1 ผลการทดลอง	46

	หน้า
4.1.1 การคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยใช้ทั้งสารละลายอัลคาไลน์ และ ตัวทำละลายอินทรีย์	46
4.1.2 การคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยใช้เฉพาะสารละลายอัลคาไลน์ (ไม่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์)	48
4.1.3 การหาสถานะของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลาย อัลคาไลน์ที่เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด ครั้งที่ 1	48
4.1.4 การหาสถานะของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลาย อัลคาไลน์ที่เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด ครั้งที่ 2	50
4.1.5 การหาสถานะของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลาย อัลคาไลน์ที่เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด ครั้งที่ 3	52
4.2 วิจัยารณ์ผลการทดลอง	62
4.2.1 การคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยใช้ทั้งสารละลายอัลคาไลน์ และ ตัวทำละลายอินทรีย์	62
4.2.2 การคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยใช้เฉพาะสารละลายอัลคาไลน์ (ไม่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์)	63
4.2.3 การหาสถานะของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลาย อัลคาไลน์ที่เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด ครั้งที่ 1	66
4.2.4 การหาสถานะของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลาย อัลคาไลน์ที่เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด ครั้งที่ 2	67
4.2.5 การหาสถานะของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลาย อัลคาไลน์ที่เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด ครั้งที่ 3	68

	หน้า
5. สรุปผลการทดลอง	72
ข้อเสนอแนะ	74
รายการอ้างอิง	75
ภาคผนวก	77
ภาคผนวก ก. วิธีวิเคราะห์ค่าไอโอดีนของถ่านกัมมันต์	78
ภาคผนวก ข. ศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับถ่านกัมมันต์	83
ภาคผนวก ค. ผลการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของผลการทดลอง	88
ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์หาสภาวะที่คุ้มค่าที่สุดสำหรับการคืนสภาพ ถ่านกัมมันต์	95
ภาคผนวก จ. ตัวอย่างการคำนวณ	101
ภาคผนวก ฉ. ข้อมูลคุณสมบัติถ่านกัมมันต์ BPL 4 x 10 และการนำไปใช้งาน	104
ประวัติผู้วิจัย	109

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ค่าวิกฤตสำหรับ Critical Values for Rejection Quotient, Q_{crit} ที่ค่า ความเชื่อมั่น 90 %	38
3-1	สภาวะที่ใช้ทำการทดลอง	40
3-2	การเปรียบเทียบการทดลองระหว่างวิธีมาตรฐาน ASTM และ วิธีที่ ประยุกต์ใช้ในงานนี้	44
3-3	การเปรียบเทียบการคำนวณระหว่างวิธีมาตรฐาน ASTM และ วิธีที่ ประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้	45
4-1	ผลการทดลองคืบสภาพผ่านกัมมันต์ โดยสารละลายอัลคาไลน์ 5%, 15% , 25% โดยน้ำหนัก และ อะซิโตน ด้วยเวลาของการคืบสภาพ 30-150 นาที	47
4-2	ผลการทดลองคืบสภาพผ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ 5%, 15% และ 25% (โดยไม่ใช้อะซิโตน) ด้วยระยะเวลาการคืบสภาพ 30-150 นาที	49
4-3	ผลการทดลองคืบสภาพผ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ เข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก และระยะเวลาของการคืบสภาพ 15-150 นาที	50
4-4	ผลการทดลองคืบสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ที่ปริมาตรต่างๆ เพื่อปรับให้ค่า pH ของสารละลายจากการคืบสภาพ ใกล้เคียงจุดยุติ ด้วยระยะเวลาคืบสภาพ 30 นาที	51

ตารางที่	หน้า
4-5 ค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M) ของถ่านกัมมันต์จากการคั้นสภาพโดย สารละลายอัลคาไลน์ที่ความเข้มข้น และ ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคั้นสภาพ 15 นาที	53
4-6 ค่าร้อยละของถ่านกัมมันต์ที่เหลือจากการคั้นสภาพถ่านกัมมันต์โดย สารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคั้นสภาพ 15 นาที	54
4-7 ค่า pH ของสารละลาย ที่ได้ภายหลังการคั้นสภาพถ่านกัมมันต์โดย สารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคั้นสภาพ 15 นาที	55
4-8 ค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M) ของถ่านกัมมันต์ จากการคั้นสภาพโดย สารละลายอัลคาไลน์ที่ความเข้มข้น และ ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคั้นสภาพ 30 นาที	56
4-9 ค่าร้อยละของถ่านกัมมันต์ที่เหลือจากการคั้นสภาพถ่านกัมมันต์โดย สารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคั้นสภาพ 30 นาที	57
4-10 ค่า pH ของสารละลาย ที่ได้ภายหลังการคั้นสภาพถ่านกัมมันต์โดย สารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคั้นสภาพ 30 นาที	58
4-11 ค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M) ของถ่านกัมมันต์ จากการคั้นสภาพโดย สารละลายอัลคาไลน์ที่ความเข้มข้น และ ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคั้นสภาพ 60 นาที	59

ตารางที่	หน้า
4-12	ค่าร้อยละของถ่านกัมมันต์ ที่เหลือจากการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดย สารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะ เวลาของการคืนสภาพ 60 นาที 60
4-13	ค่า pH ของสารละลาย ที่ได้ภายหลังการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดย สารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะ เวลาของการคืนสภาพ 60 นาที 61
4-14	เปรียบเทียบค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M ที่ C=0.02 N) ของถ่านกัมมันต์ ที่ได้จากการคืนสภาพ โดยสารละลายอัลคาไลน์ และอะซิโตน กับการ คืนสภาพ โดยใช้สารละลายอัลคาไลน์เพียงอย่างเดียว 65
4-15	ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดซับจำเพาะของผลการทดลองที่ได้รับการวิเคราะห์ ว่ายอมรับได้ จากการทดลองคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดย สารละลาย อัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และที่ปริมาตรต่างๆ ที่ระยะเวลาคืนสภาพ 15, 30, 60 นาที 69
4-16	ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย เทียบกับผลตอบแทน ที่ได้จากการคืนสภาพ ถ่านกัมมันต์ที่สภาวะต่างๆ 70
4-17	การเปรียบเทียบค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์ จากการคืนสภาพที่ ระยะเวลามากกว่า 60 นาที (จากการทดลองชุดก่อนๆ) เทียบกับ 30 และ 60 นาที (จากการทดลองชุดนี้) 71
ค.1	แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นโดยวิธีสอบซ้ำ ของผลการทดลอง 4.1.5 89

ตารางที่	หน้า
ค.2	แสดงการคำนวณค่าความเชื่อมั่นโดยวิธีสอบซ้ำของผลการทดลอง 4.1.5 90
ค.3	แสดงการพิจารณาผลการทดลอง 4.1.5 ที่เวลาการคืนสภาพ 15 นาที ตามวิธี Q Test ที่ค่าความเชื่อมั่น 90% ($Q_{crit} = 0.76$) 91
ค.4	แสดงการพิจารณาผลการทดลอง 4.1.5 ที่เวลาการคืนสภาพ 30 นาที ตามวิธี Q Test ที่ค่าความเชื่อมั่น 90% ($Q_{crit} = 0.76$) 92
ค.5	แสดงการพิจารณาผลการทดลอง 4.1.5 ที่เวลาการคืนสภาพ 60 นาที ตามวิธี Q Test ที่ค่าความเชื่อมั่น 90% ($Q_{crit} = 0.76$) 93
ค.6	ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดซับจำเพาะของผลการทดลอง ที่ได้รับการวิเคราะห์ ว่ายอมรับได้ จากการทดลอง 4.1.5 94
ง.1	แสดงค่าใช้จ่ายรวมจากการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ในแต่ละสภาวะการ ทดลอง 96
ง.2	แสดงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการคืนสภาพเพื่อให้ได้มาซึ่งถ่านกัมมันต์ 1 กิโลกรัม .. 97
ง.3	แสดงค่าประสิทธิภาพการดูดซับและมูลค่าของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืน สภาพ 99
ง.4	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างมูลค่าของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพ และค่าใช้จ่ายในการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ในแต่ละสภาวะการทดลอง 100

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2-1	เปรียบเทียบขนาด และการวางตัวของรูพรุนขนาดต่างๆ	5
2-2	เปรียบเทียบการกระจายขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบและวิธีผลิตต่างๆ	6
2-3	โครงสร้างของถ่านกัมมันต์	8
2-4	การเคลื่อนที่ของไอเล็กตรอนในโครงสร้างของถ่านและถ่านกัมมันต์	9
2-5	การเคลื่อนที่ของไอเล็กตรอนในโครงสร้างของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมออกซิเจน	9
2-6	กระบวนการดูดซับ	15
2-7	ปรากฏการณ์การดูดซับของสารดูดซับในคอลัมน์ขณะที่ของไหลซึ่งประกอบด้วยสารที่สามารถถูกดูดซับได้ไหลผ่าน	17
2-8	ผลของความเร็วของก๊าซต่อความยาวของ MTZ เมื่อดูดซับเอธานอลบนถ่านกัมมันต์	20
2-9	หลักการหาพื้นที่ผิว	30
2-10	ลักษณะกราฟตามสมการ BET	31
2-11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเฉลี่ยของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ กับ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ	33
2-12	โครงสร้างของเมทิลีนบลู	34
2-13	จลนพลศาสตร์ของการดูดซับเมทิลีนบลู	35
4-1	กราฟแสดงค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M ที่ C=0.02 N) เทียบกับเวลา	

รูปที่	หน้า
การคืนสภาพ จากการคืนสภาพโดย สารละลายอัลคาไลน์ และตัว ทำละลายอินทรีย์(อะซิโตน)	62
4-2 กราฟแสดงค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M ที่ C=0.02 N) เทียบกับเวลา การคืนสภาพ จากการคืนสภาพโดย สารละลายอัลคาไลน์ ที่ความ เข้มข้น 5% , 15% , 25% โดยน้ำหนัก	64
4-3 กราฟแสดงค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M ที่ C=0.02 N) เทียบกับเวลา การคืนสภาพ จากการคืนสภาพโดย สารละลายอัลคาไลน์ที่ความ เข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาของการคืนสภาพ 15-150 นาที	66
4-4 กราฟแสดงค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M ที่ C=0.02 N) เทียบกับเวลา การคืนสภาพ จากการคืนสภาพโดย สารละลายอัลคาไลน์โดยการ ปรับปริมาตร ที่ความเข้มข้น 5 ,10% wt. ที่ระยะเวลาของการ คืนสภาพ 30 นาที	67
ก.1 น้ำหนักประมาณของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ค่าไอโอดีน	81
ก.2 ตัวอย่างการคำนวณค่า IA	82
ข.1 ถ่านกัมมันต์ BPL 4 x 10 mesh	105
ข.2 ถ่านกัมมันต์ BPL 4 x 10 mesh ที่ผ่านการคืนสภาพแล้ว	105
ข.3 ตู้กรองกลิน ที่ใช้บรรจุถ่านกัมมันต์ BPL 4 x 10 mesh แบบที่หนึ่ง	106
ข.4 ตู้กรองกลิน ที่ใช้บรรจุถ่านกัมมันต์ BPL 4 x 10 mesh แบบที่สอง	107
ข.5 คลังสินค้าเคมี ที่จัดเก็บสารเคมีประเภทตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ	108

บทที่ 1

บทนำ



ในปัจจุบัน มีการนำสารตัวทำละลายอินทรีย์ มาใช้ในวงการอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เช่น กรดน้ำส้ม เป็นต้น ในกระบวนการขนถ่าย การจัดเก็บ และการนำไปใช้งานนับว่าเป็นสิ่งที่จะต้องได้รับการควบคุมเป็นอย่างดี เนื่องจากจะมีไอระเหยเกิดขึ้นตลอดเวลา ซึ่งไอระเหยของตัวทำละลายอินทรีย์ทุกชนิดล้วนมีพิษต่อสิ่งมีชีวิต และมีความไวไฟในระดับที่แตกต่างกันไป อีกทั้งในขณะนี้ภาครัฐยังให้ความสนใจ และตรากฎหมาย เพื่อควบคุมระดับไอระเหยของสารเคมีบางชนิดที่มีการปล่อยสู่บรรยากาศ

กรดน้ำส้มเข้มข้น (Glacial Acetic Acid) เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้กับมาก และไอระเหยของสารเคมีชนิดนี้ มีกลิ่นฉุน ติดไฟง่าย และมีอันตรายต่อมนุษย์ในระดับที่สูงมาก ดังนี้

- ♦ ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีในบริเวณทำงานได้ 10 ppm.
- ♦ ค่าความเข้มข้นที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อชีวิต หรือสุขภาพในทันที 50 ppm

วิธีการหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการขจัดไอระเหยของตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น กรดน้ำส้มเข้มข้น คือ การดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ซึ่งทำโดยบรรจุถ่านกัมมันต์ไว้ในภาชนะที่ติดตั้งไว้ ณ จุดทางออกของไอระเหย ไอระเหยของตัวทำละลายอินทรีย์จะถูกดูดซับไว้โดยถ่านกัมมันต์ก่อนออกสู่บรรยากาศ เมื่อการดูดซับดำเนินไปได้ในช่วงเวลาหนึ่ง ประสิทธิภาพของการดูดซับของถ่านกัมมันต์จะลดลง จนกระทั่งไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป และจำเป็นต้องเปลี่ยนถ่านกัมมันต์ใหม่เข้ามาใช้แทน

ปัญหาที่พบ คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูง มักเป็นถ่านที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพง รวมถึงถ่านกัมมันต์ที่หมดสภาพแล้ว (Spent Activated Carbon) ยังเป็นของเสียอันตรายที่จำเป็นต้องได้รับการบำบัด ไม่สามารถทิ้งรวมกับขยะทั่วไปได้ เนื่องจากเป็นของเสียที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

การนำถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วมาการคืนสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Regeneration of Spent Activated Carbon) สามารถแก้ปัญหาข้างต้นได้ ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันมาก คือ วิธีการทางเคมี โดยวิธีที่เหมาะสมของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่หมดสภาพแล้วภายหลังการดูดซับไอระเหยของกรดน้ำส้มเข้มข้น คือ การคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลด์ ซึ่งผลของการคืนสภาพภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ทำให้สามารถนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่ได้ด้วยค่าใช้จ่ายจากการบวกรวมการคืนสภาพทั้งหมด ที่คุ้มค่างว่าการซื้อใหม่ อีกทั้งยังแก้ปัญหาเรื่องการจัดการของเสียได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. นำถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับตัวทำละลายอินทรีย์แล้ว มาทำการคืนสภาพ(Regeneration) ด้วยวิธีการคืนสภาพโดยใช้สารเคมี
2. ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการคืนสภาพที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้ถ่านกัมมันต์ ชนิดเม็ด BPL 4 x 10 mesh (ชื่อทางการค้า) เป็นสารดูดซับ และ กรดน้ำส้มเข้มข้น เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ถูกดูดซับ
2. การทำให้ถ่านกัมมันต์คืนสภาพ โดยใช้วิธีทางเคมี แบบการใช้สารละลายอัลคาไลด์ และ ตัวทำละลายอินทรีย์
3. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ชนิดของสารละลายอัลคาไลด์, ความเข้มข้นของสารละลายอัลคาไลด์ และ ระยะเวลาในการคืนสภาพ
 - ◆ สารละลายอัลคาไลด์ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์
 - ◆ ความเข้มข้นของสารละลายอัลคาไลด์ ร้อยละ 0.5 - 25 โดยน้ำหนัก
 - ◆ ตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ ไดคลอโรอีเทน และ อะซิโตน

4. สภาวะการดูดซับกรดน้ำส้มเข้มข้นโดยถ่านกัมมันต์ กำหนดที่ อุณหภูมิห้อง ความดันปกติ
5. วัดคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ภายหลังการคืนสภาพ โดยพิจารณาจากค่าการดูดซับไอโอดีนจำเพาะ(X/M, มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ residual filtrate(C)=0.02 นอร์มัล)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

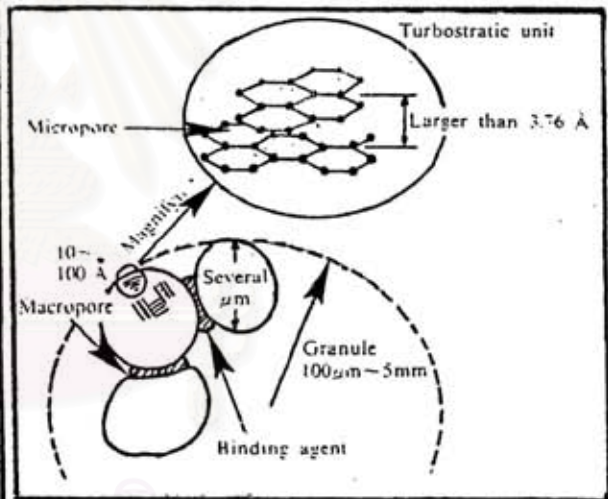
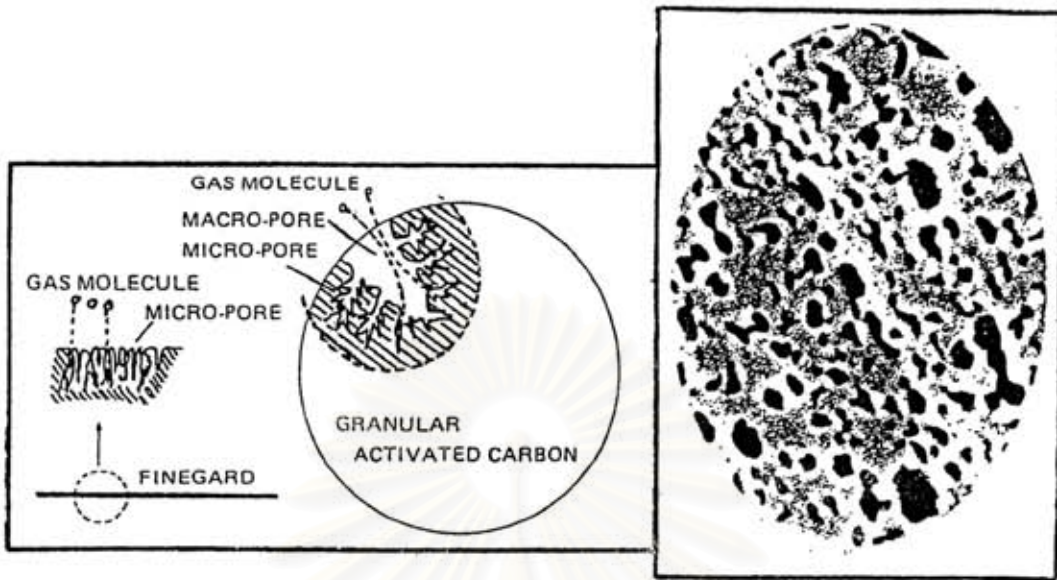
ทฤษฎี

ถ่านกัมมันต์(activated carbon) เป็นสารดูดซับชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งสีดำ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของสารชนิดต่างๆ ซึ่งไม่มีสูตรโครงสร้างแน่นอน และมีพื้นผิวในการดูดซับมาก ถึงแม้ไม่บริสุทธิ์ถึง 100% พื้นฐานทั่วไปสำหรับถ่านกัมมันต์ คือ มีรูพรุนภายในสำหรับดูดซับจำนวนมาก ซึ่งจะเกี่ยวพันโดยตรงกับขนาดและปริมาตรของรูพรุนที่มีอยู่

2.1 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์

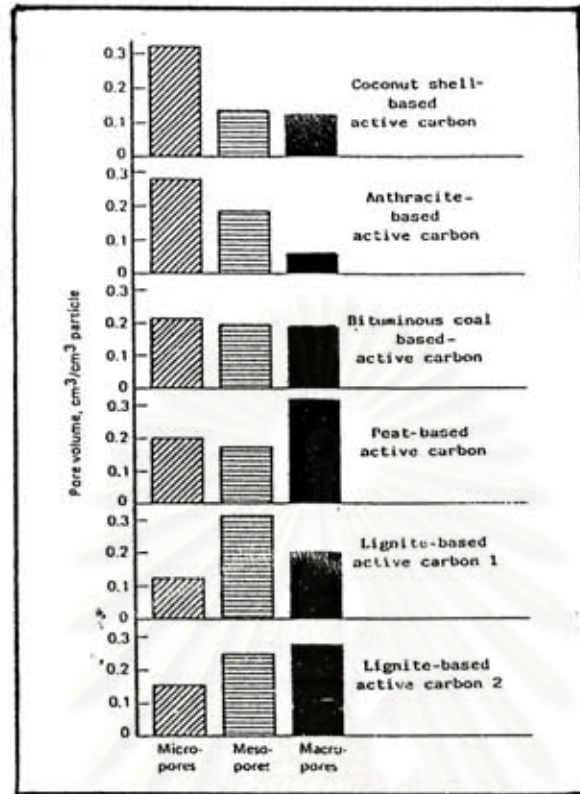
2.1.1 โครงสร้างรูพรุน (pores) ผิวของถ่านกัมมันต์ มีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและความลึกไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของรูพรุนเหล่านี้เปรียบได้กับหลอดแก้วขนาดเล็ก(Capillary tube)ที่เสียบเข้าไปในเนื้อถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปจะเรียกรูพรุนเหล่านี้ตามขนาด (รูปที่ 2-1) คือ ขนาดเล็ก(micropore) มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเล็กกว่า 2 นาโนเมตร, รูพรุนขนาดกลาง(mesopore) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ถึง 50 นาโนเมตร และรูพรุนขนาดใหญ่(macropore) มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 นาโนเมตร รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ และการกระจายขนาดของรูพรุน(pore size distribution) จะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ และวิธีการกระตุ้น (รูปที่ 2-2)

รูพรุนส่วนใหญ่จะเกิดในช่วงการกระตุ้นด้วยก๊าซออกซิไดซ์ ซึ่งเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ ออกจากช่องว่างของถ่านที่ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น รวมทั้งเกิดการจัดเรียงและเคลื่อนย้ายอะตอมหรือกลุ่มอะตอม เพื่อทำให้เกิดช่องว่างที่มีอำนาจในการดูดซับ รูพรุนที่มีขนาดใหญ่ จะทำหน้าที่เป็นเพียงทางผ่านของสารถูกดูดซับเข้าไปยังรูพรุนขนาดเล็ก (Redriguez-Reinoso et al., 1965) จึงไม่มีผลต่อความจุในการดูดซับ แต่จะมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับ สำหรับรูพรุนขนาดกลางนั้น สามารถดูดซับโมเลกุลของเหลวได้บ้าง และมีความสำคัญมากขึ้นเมื่อดูดซับที่ความดันสัมพัทธ์สูงๆ



รูปที่ 2-1 เปรียบเทียบขนาด และการวางตัวของรูพรุนขนาดต่างๆ

ที่มา : โบประกอบสินค้าของ Tohorayon Co.,Ltd.



รูปที่ 2-2 เปรียบเทียบการกระจายขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์จากวัตถุดิบและวิธีผลิตต่างๆ
ที่มา : Bansel and coworker, 1988

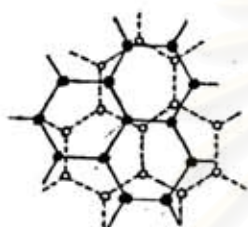
โดยทั่วไป ถ่านกัมมันต์เกรดการค้า จะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 200-300 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับรูพรุนขนาดเล็กมีหน้าที่ในการดูดซับ จึงมีผลต่อความจุในการดูดซับ โดยเฉพาะการดูดซับที่ความดันสัมพัทธ์ต่ำ ถ่านกัมมันต์จะมีรูพรุนขนาดเล็กประมาณร้อยละ 90 ถึง 95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่า ความจุในการดูดซับยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของผิวด้วย กล่าวคือ ถ้าผิวของถ่านบริเวณนั้นเป็นเพียงระนาบพื้นฐาน(Basal planes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันนัลอื่นๆ การดูดซับจะเกิดจากแรงวานเดอร์วาล หรืออาจเกิดจากไพอเล็คตรอน แรงยึดเหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อน แม้ว่าจะดูดซับได้ แต่มีโอกาสที่จะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชันนัล การดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแรง

โอกาสที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะหลุดออกจึงมีน้อยกว่า หมู่ฟังก์ชันนัลบนผิวถ่านกัมมันต์มี 2 ชนิด คือ พวกออกไซด์ของกรด และ พวกออกไซด์ของด่าง

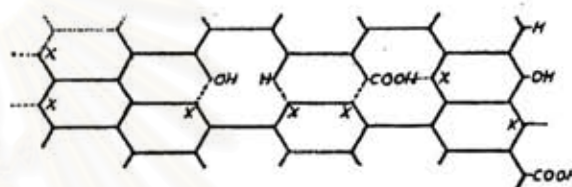
2.1.2 โครงสร้างทางเคมี ถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ มักเตรียมจากถ่านที่ได้จากการเผาผลาญสารอินทรีย์ด้วยความร้อน(Pyrolysis) ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า การคาร์บอนไนเซชัน ในระหว่างการเผาผลาญ อะตอมต่างๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอน เช่น ออกซิเจน, ไนโตรเจน และ ไฮโดรเจน จะถูกกำจัดออกไปในรูปก๊าซ อะตอมของคาร์บอนที่เหลือจะจัดเรียงเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นประกอบด้วยวงหกเหลี่ยม(aromatic ring) เชื่อมโยงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ และ เกิดช่องว่างหรือโพรง ซึ่งจะเป็นที่อยู่ของพวกทาร์ และ สารอื่นที่ได้จากการเผาผลาญ ช่องว่างเหล่านี้จะกลายเป็นรูพรุนที่มีความสามารถในการดูดซับด้วยกระบวนการที่เรียกว่า การกระตุ้น โดยการล้างพวกทาร์และสารต่างๆ ที่ได้จากการเผาผลาญออกจากช่องว่าง หรือ โพรง และสร้างหมู่ฟังก์ชันนัลขึ้นมาแทน ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ จึงเป็นผลสืบเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีด้วย

ถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างคล้ายผลึกแกรไฟท์ กล่าวคือ อะตอมคาร์บอนจะวางตัวเป็นชั้นๆ (รูปที่ 2-3) แต่ละชั้นห่างกันประมาณ 0.335 นาโนเมตร แรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นคือแรงวานเดอร์วาล ซึ่งเป็นแรงที่ไม่แข็งแรงนัก แต่ละชั้นจะประกอบไปด้วยกลุ่มอะตอมคาร์บอนที่มีโครงสร้างคล้ายรูปหกเหลี่ยม อะตอมแต่ละตัวจะใช้ซิกมาอิลิแคตรอนสร้างพันธะเดียวกับอะตอมข้างเคียง 3 อะตอม ความยาวระหว่างอะตอมภายในชั้นประมาณ 0.144 นาโนเมตร อิลิแคตรอนที่เหลืออีกหนึ่งตัวเป็นไพอิลิแคตรอน ที่ใช้ในการสร้างพันธะที่ไม่อิ่มตัวคือพันธะคู่(double bond) แต่โดยทั่วไป ถ่านหรือถ่านกัมมันต์ จะมีอิลิแคตรอนไม่ครบคู่ อะตอมคาร์บอนบางตัวจึงต้องรับอิลิแคตรอนดังกล่าวไว้ ทำให้มีความหนาแน่นประจุสูง อะตอมดังกล่าวจะปล่อยให้อิลิแคตรอนเคลื่อนที่ไปยังอะตอมข้างเคียง(resonance) เพื่อลดความหนาแน่นของประจุ(รูปที่ 2-4) เพื่อให้โครงสร้างเสถียรยิ่งขึ้น Riley(1947) ได้ศึกษาโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ และได้เสนอโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ไว้ 2 แบบ คือ แบบที่มีลักษณะคล้ายผลึกแกรไฟท์ แต่การวางตัวระหว่างชั้นไม่ตั้งฉากกัน ช่องว่างระหว่างชั้นจึงมากทำให้แรงกระทำน้อยกว่าของผลึกแกรไฟท์ สำหรับอีกแบบหนึ่งคือ แบบที่มีลักษณะไม่เป็นระเบียบ คือ การเชื่อมโยงระหว่างอะตอมที่ไม่อยู่ในตำแหน่งที่

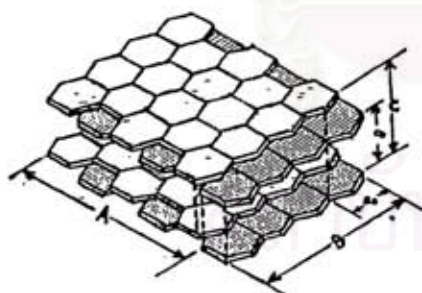
ตั้งจากกัน โครงสร้างแบบนี้จะเสถียรมากขึ้นเมื่อมีอะตอมออกซิเจน เช่นเดียวกับการสร้างเสถียรภาพของถ่าน ซึ่งโพลีอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น แสดงในรูปที่ 2-5 ประกอบกับอะตอมออกซิเจนมีแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสูง จึงช่วยลดความหนาแน่นของอิเล็กตรอนได้ดียิ่งขึ้น



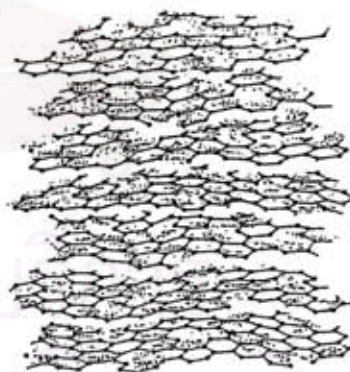
ที่มา : Suzuki (1990)



ที่มา : Berl (1938) ; X = จุดไม่อิ่มตัว

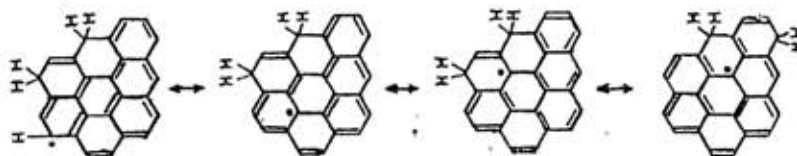


ที่มา : Tereshko (1969)

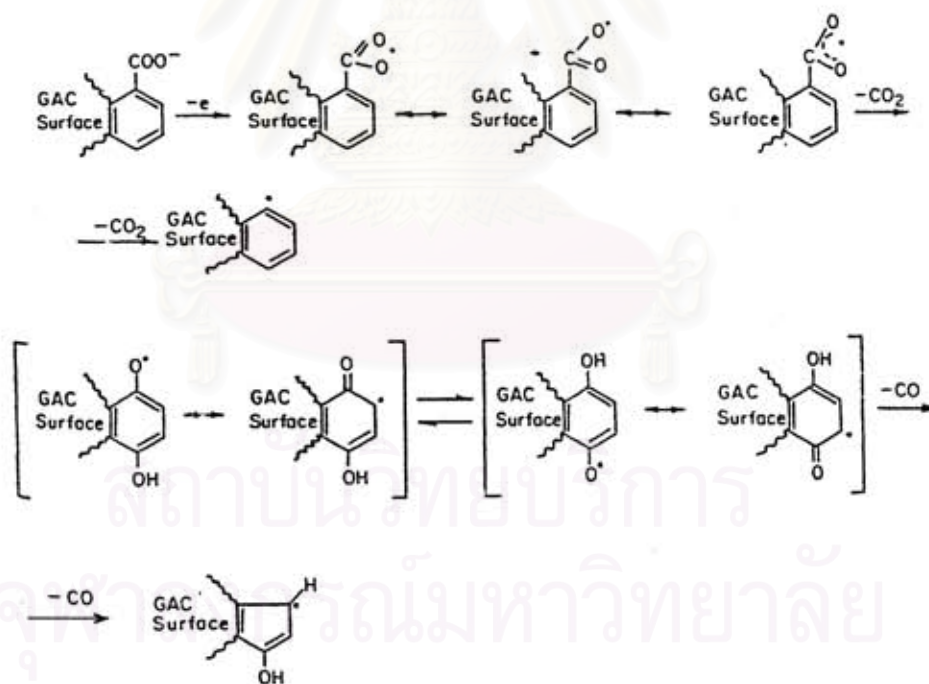


ที่มา : Mattson et al. (1971)

รูปที่ 2-3 โครงสร้างของถ่านกัมมันต์



รูปที่ 2-4 การเคลื่อนที่ของโพสิทีฟอิเล็กตรอนในโครงสร้างของถ่านและถ่านกัมมันต์
ที่มา : Bansal (1988)



รูปที่ 2-5 การเคลื่อนที่ของโพสิทีฟอิเล็กตรอนในโครงสร้างของถ่านและถ่านกัมมันต์ที่มีอะตอมออกซิเจน
ที่มา : Bansal (1988)

ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เกิดจากอิเล็คตรอนอิสระในวงโคจรนอกสุด มีไม่ครบ 2 หรือ 8 ตัว (unsaturated valencies) ตามกฎออกเตต จึงพยายามที่จะเกาะกับ อะตอมหรือโมเลกุลอื่น เช่น ออกซิเจนในอากาศ หรือ อะตอมต่างๆ ที่อยู่ในสารตั้งต้น กระบวนการกระตุ้นจะช่วยให้การเกาะกันของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมอื่น กลายเป็นพันธะ ทางเคมีที่แข็งแรง มักเกิดกับอะตอมที่อยู่ทีชอบของวงหกเหลี่ยม ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับ แบบเคมี(chemisorb) กับออกซิเจนที่อุณหภูมิ 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส และกลายเป็นพันธะ เป็นออกไซด์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับอะตอม ไฮโดรเจน ซึ่งจะไม่หลุดออกแม้จะใช้อุณหภูมิสูงถึง 1000 องศาเซลเซียส รวมทั้งสามารถดึง อะตอมไนโตรเจนออกจากโมเลกุลแอมโมเนีย, ดึงอะตอมซัลเฟอร์ออกจากโมเลกุล ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ ดึงอะตอมกลุ่มฮาโลเจนออกจากโมเลกุลฮาโลเจนทั้งที่อยู่ในสภาพก๊าซ หรือของเหลวก็ได้(Bansal et al., 1988) เกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันนัลต่างๆ บนผิวของถ่านกัมมันต์

2.1.3 เถ้า(ashes) ถ่านกัมมันต์จะมีเถ้าเป็นส่วนประกอบด้วย โดยทั่วไปมีอยู่ประมาณ ร้อยละ 1 ถึง 12 องค์ประกอบหลักของเถ้าคือ ซิลิกา, อลูมินา , เหล็ก , โลหะอัลคาไลน์ และ อัลคาไลน์เอิร์ท จากการค้นคว้า พบว่า หน้าที่ของเถ้ามีได้ระบุไว้ในเชิงตัวเลข ได้แก่ การเพิ่ม ค่า hydrophilicity ของถ่านกัมมันต์ ซึ่งจะมีประโยชน์สำหรับการบำบัดน้ำเสีย และ ผลทางด้าน การเร่งของโลหะอัลคาไลน์และโลหะบางตัว เช่น เหล็ก ระหว่างขั้นตอนการดูดซับหรือการ คืนสภาพ(reactivation) ซึ่งจะปรับการกระจายขนาดของรูให้กว้างขึ้น เถ้าที่ละลายในกรดได้ สามารถกำจัดออกโดยการล้างในกรดอ่อน

2.2 ชนิดของถ่านกัมมันต์ แบ่งตามเกณฑ์ต่างๆ ได้ดังนี้

2.2.1 แบ่งตามรูปร่างลักษณะ ได้แก่

- ◆ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง(powdered activated carbon,PAC) ส่วนใหญ่ผลิตจากไม้ ขนาดอยู่ในช่วง 15-25 um ในทางอุตสาหกรรมมักใช้ PAC ในการกระบวนการฟอกสี อาหาร เช่น น้ำตาล กระบวนการบำบัดน้ำเสีย และ การกรองน้ำดื่ม เป็นต้น เมื่อ PAC ถูกใช้แล้ว ไม่เพียงแต่หมดความสามารถในการดูดซับ แต่ประจุที่ผิวยังจับกับ ตะกอนจากของเหลวแข็งเป็นก้อน ซึ่งในกรณีนี้การทำให้คืนสภาพ(regeneration) จะ

ทำได้ยาก จึงเป็นเหตุผลว่า เหตุใดเมื่อใช้ PAC แล้ว ส่วนใหญ่จึงทิ้งมากกว่าที่จะนำมา regenerated เพื่อนำมาใช้ใหม่

- ♦ ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (granular activated carbon, GAC) อยู่ในรูปของเม็ดที่ได้จากการบด (ถ่านหินหรือเปลือกไม้) หรือจากการทำให้เป็นเม็ดของผงที่ถูกบดโดยการใช้อัตว์ยัด เช่น coal tar pitch ขนาดของเม็ดจะแตกต่างกัน ขึ้นกับการนำไปใช้งาน ในกรณีการดูดซับสถานะก๊าซ เม็ดรูปทรงกลมจะอยู่ในช่วง 4 - 6 มิลลิเมตร หรือ เม็ดที่ได้จากการบดและร่อน ขนาด 4/8 เมช ถึง 10/20 เมช เป็นขนาดที่ใช้กันเสมอ โดยการนำไปใช้สำหรับก๊าซส่วนใหญ่เป็นการพอกอากาศให้บริสุทธิ์, การพอกก๊าซให้บริสุทธิ์, การดูดซับเฟอร์ในก๊าซร้อน และ การแยกก๊าซที่รวมกันอยู่

ในกรณีของการดูดซับสถานะของเหลว การแพร่ระหว่างอนุภาคมักจะเป็นตัวกำหนดการดูดซับ ดังนั้น อนุภาคที่เล็กกว่า เช่น 12/42 เมช จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการนี้ แต่ความจำเป็นของการปฏิบัติงาน เช่น ความง่ายของการจัดการ, pressure drop ใน adsorption bed ต่ำ, การหลีกเลี่ยงปัญหา elutriation และ abrasion ระหว่างการล้างน้อย จึงได้มีการกำหนดขีดต่ำสุดของถ่านกัมมันต์ไว้

การพอกสีน้ำตาล, การจำกัดสารอินทรีย์, การกำจัดกลิ่นและสิ่งแปลกปลอมในน้ำดื่ม และการบำบัดน้ำเสีย เหล่านี้เป็นการใช้งานหลักของการดูดซับในสถานะของเหลว ทิศทางโดยโมเลกุลของของเหลวหรือก๊าซ จะสัมผัสกับผิวของของแข็งทั้งภายในและภายนอก

2.2.2 แบ่งตามชนิดของตัวกระตุ้น ได้แก่

- ♦ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีมาทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน (chemical activated carbon) มักเป็นพวกที่มีขนาดของรูพรุนใหญ่
- ♦ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้แก๊สออกซิไดซ์ (physical activated carbon) มักเป็นพวกที่มีขนาดของรูพรุนเล็ก

2.2.3 แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ ได้แก่

- ◆ ชนิดดูดซับก๊าซ (gas adsorbents) ใช้ในการดูดซับก๊าซพิษและไอระเหยของสารอินทรีย์ มักใช้ถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันและมีความแข็งมาก(hard artificial char) เป็นวัตถุดิบในการผลิต
- ◆ ชนิดดูดซับสี (colour adsorbents) ใช้ในการฟอกสี มักใช้ถ่านจากการคาร์บอนไนเซชันและไม่แข็ง(soft artificial char)
- ◆ ชนิดดูดซับโลหะ (metal adsorbents) ใช้ในการแยกโลหะต่างๆ ออกจากแร่ที่ขุดได้ เช่น แยกทอง, เงิน เป็นต้น

2.2.4 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ ได้แก่

- ◆ ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นต่ำ มักใช้ในภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น การฟอกสีน้ำตาลดิบ หรือ การทำน้ำให้บริสุทธิ์ เป็นต้น
- ◆ ถ่านกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูง มักใช้ดูดซับก๊าซพิษหรือไอระเหยต่างๆ

2.2.5 แบ่งตามขนาดของรูพรุนบนผิวคาร์บอน ได้แก่

- ◆ ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก(micropores) คือ มีรัศมีของรูพรุนไม่เกิน 2.0 นาโนเมตร มักใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอระเหย
- ◆ ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง(transitional pores or mesopores) คือ มีรัศมีของรูพรุนในช่วง 2-50 นาโนเมตร มักใช้ในปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา(catalytic reaction)
- ◆ ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่(macropores) คือ มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 50 นาโนเมตร มักใช้ในการฟอกสีและการผลิตยา

2.3 การผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ จะได้จากวัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอน(C) เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ถ่านหิน, ลิกไนต์, ไม้, เปลือกไม้ เป็นต้น การผลิตประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. **การคาร์บอนในเซชัน** เป็นการเผาวัตถุดิบในที่ที่ไม่มีอากาศ เพื่อไล่ธาตุที่ไม่ใช่คาร์บอนออกจากวัตถุดิบ มีอุณหภูมิการเผาในช่วง 650 - 1050 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านที่มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจำนวนมาก โดยระหว่างเผาอาจใส่สารเคมีที่เหมาะสมผสมรวมกับวัตถุดิบด้วย เพื่อให้มีคุณสมบัติเหมาะสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้ ซิงค์คลอไรด์ เนื่องจากเป็นสารที่สามารถสลายทั้งเซลลูโลส และองค์ประกอบอื่นๆ ในวัตถุดิบได้ง่าย

2. **การแอคติเวท** เพื่อเพิ่มพลังการดูดซับให้ถ่าน แบ่งได้เป็น 2 วิธี

2.1 โดยการทำให้ปฏิกิริยากับก๊าซออกซิไดซิงที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส เช่น ไอน้ำ จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพลังการดูดซับสูง

2.2 โดยการทำให้ปฏิกิริยากับสารเคมี เช่น พวกล้างเฟต คาร์บอนเนต เป็นต้น

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ คือ อัตราส่วนน้ำหนักของสารเคมีต่อน้ำหนักของวัสดุตั้งต้น

ผลจากการผลิตจะได้ผลิตภัณฑ์ถ่านกัมมันต์ เมื่อเทียบกับวัตถุดิบไม่เกินร้อยละ 50 และในบางครั้ง สามารถได้ต่ำกว่าร้อยละ 10

2.4 ทฤษฎีการดูดซับ

2.4.1 คำจำกัดความ

- ◆ **การดูดซับ(adsorption)** เป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุล หรืออะตอมของสาร 2 ชนิดขึ้นไป กระทำกันที่ผิวสัมผัส ทำให้โมเลกุลหรืออะตอมมีความเข้มข้นเฉพาะบริเวณระหว่างผิวสัมผัสนั้น
- ◆ **สารดูดซับ (adsorbent)** เป็นของแข็งที่ดูดซับอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซ
- ◆ **ตัวถูกดูดซับ (adsorbate)** คือ ก๊าซที่ถูกดูดซับโดยสารดูดซับ
- ◆ **การคายการดูดซับ (desorption)** เป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลก๊าซที่ถูกดูดซับไว้ หลุดออกจากผิวของสารดูดซับเข้าสู่ก๊าซหรือของเหลว

2.4.2 สภาวะการดูดซับ เกิดได้ 2 สภาวะ

- 1 สภาวะสถิต (static condition) : สารดูดซับและตัวถูกดูดซับอยู่นิ่ง
- 2 สภาวะจลน์(dynamic condition) : สารดูดซับและตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน

2.4.3 แรงการดูดซับ การดูดซับแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ การดูดซับทางเคมี และ การดูดซับทางฟิสิกส์ โดยความแตกต่างของการดูดซับทั้งสองวิธีนี้อยู่ที่แรงการดูดซับ

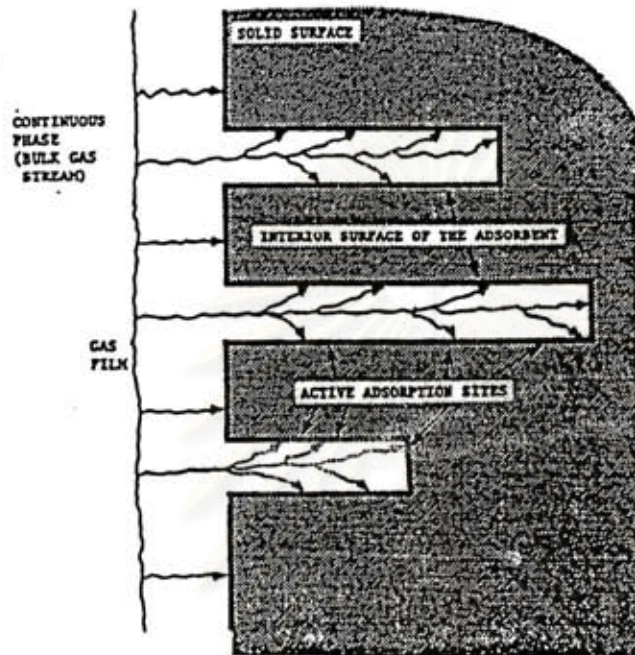
- 1 การดูดซับทางเคมี(chemisorption) : แรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงจากพันธะเคมี เพราะมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน หรือ ใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน การดูดซับโดยวิธีนี้จะแรงกว่าการดูดซับทางฟิสิกส์ ในบางครั้งอาศัยพลังงานเข้าร่วมด้วย(activated adsorption) สามารถดูดซับโมเลกุลได้เพียง 1 ชั้น(โมเลกุลของตัวถูกดูดซับต้องสัมผัสกับผิวสารดูดซับ) เนื่องจากแรงนี้ส่งไปได้เพียงระยะใกล้ๆ
- 2 การดูดซับทางฟิสิกส์(physical adsorption) : แรงดูดซับเป็นแรงชนิดเดียวกับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (van der Waals forces) เมื่ออยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลวและก๊าซ โมเลกุลที่ถูกดูดซับยังคงมีคุณสมบัติเหมือนเดิม การดูดซับชนิดนี้สามารถดูดซับโมเลกุลได้หลายชั้น นั่นคือ แต่ละชั้นโมเลกุลจะเกิดบนชั้นโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ก่อนแล้ว แรงการดูดซับนี้จะเท่ากันในทุกอะตอมของคาร์บอน และไม่ขึ้นกับปัจจัยภายนอกเช่นอุณหภูมิหรือความดัน

2.4.4 จลนศาสตร์ของการดูดซับ (kinetics of adsorption)

เมื่อสารดูดซับสัมผัสกับก๊าซ จำนวนโมเลกุลของก๊าซจะลดลง โดยอัตราการลดลงขึ้นกับความเร็วก๊าซที่วิ่งมาชนบนผิวตรงตำแหน่งดูดซับ และอัตราความเร็วของกระบวนการดูดซับก๊าซบนผิว

การดูดซับไอระเหยด้วยถ่านกัมมันต์จะเป็นการดูดซับทางฟิสิกส์ ซึ่งมีอัตราความเร็วของการดูดซับบนผิวสูงมาก ดังนั้น ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการลดลงของจำนวนโมเลกุลในก๊าซ (หรืออัตราความเร็วของการดูดซับ) คือ อัตราความเร็วของการเคลื่อนย้ายโมเลกุลก๊าซไปยังตำแหน่งผิวที่สามารถดูดซับได้ ในกรณีสารดูดซับที่มีโครงสร้างรูพรุนซับซ้อน เช่น ถ่านกัมมันต์ การเคลื่อนย้ายโมเลกุลก๊าซมายังผิวดูดซับแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ โมเลกุลก๊าซ

เคลื่อนที่มาถึงผิวภายนอกอนุภาคของถ่านกัมมันต์ และ อนุภาคเคลื่อนเข้าไปยังผิวภายในรูพรุน ดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 กระบวนการดูดซับ

ที่มา : วันเพ็ญ ก้องกิตติไพศาล(2528) : 14

ในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซมายังผิวภายนอกของอนุภาคของสารดูดซับ พิจารณาที่ 2 สภาวะ

1. ถ้าระบบอยู่ในสภาวะสถิต (static condition) ความดันก๊าซจะเท่ากันทั้งระบบ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของก๊าซมายังผิวภายนอกเป็นวิธีการแพร่ธรรมดา(external diffusion)
2. ถ้าระบบอยู่ในสภาวะจลน์ (dynamic condition) จะเกิดความดันลดภายในระบบเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซ จึงต้องพิจารณาทั้งการแพร่(external diffusion) และการไหลโดยวิธีการพา (convection flow)

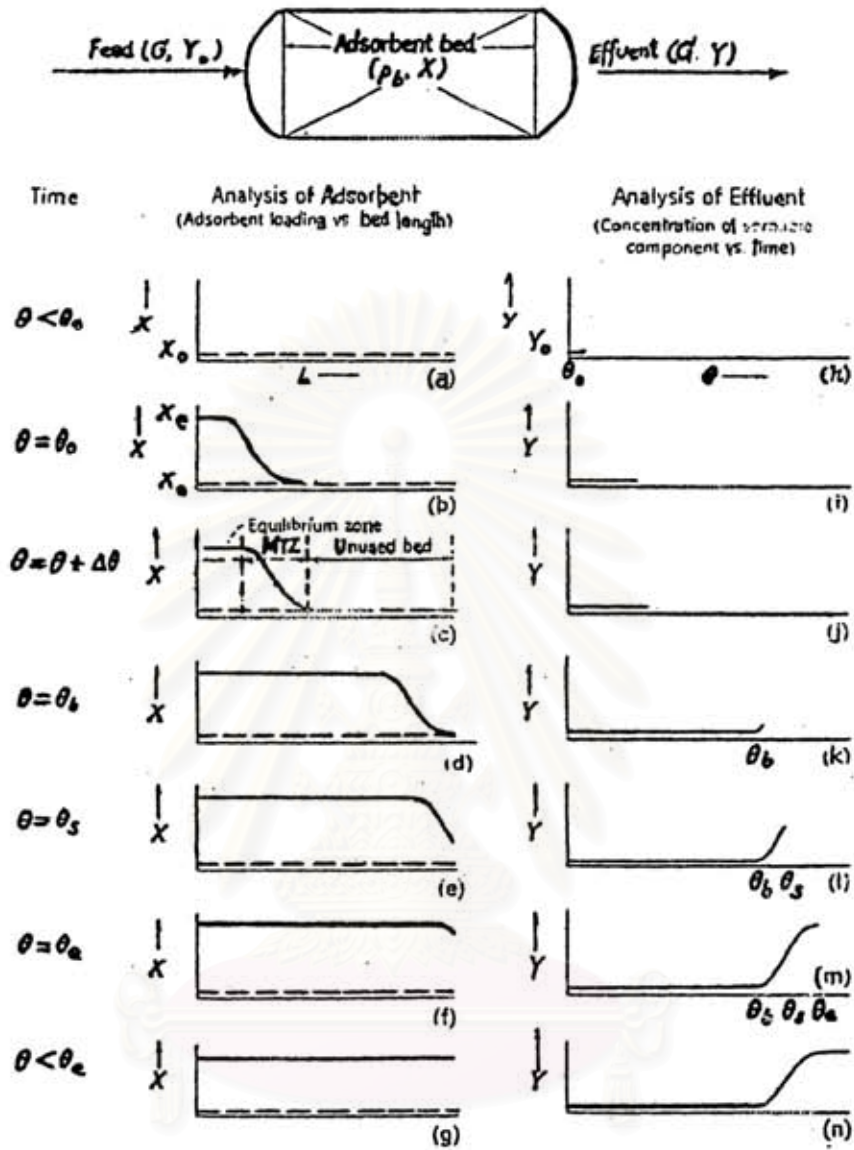
การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของก๊าซมายังผิวภายในรูพรุนเป็นกระบวนการแพร่ อาจโดยวิธีแพร่เข้าไปทางรูพรุนหรือทางผิว(surface migration) หรือโดยแรงแคปิลลารี(Capillary forces) ถ้า รูพรุนมีขนาดกว้างโมเลกุลก๊าซเคลื่อนที่เข้าไปโดยวิธีการพา(convection flow) และการแพร่ธรรมดา แต่ถ้าเป็นรูพรุนที่แคบ โมเลกุลก๊าซจะชนผนังของรูพรุนมากกว่าการชนกันเองระหว่างโมเลกุล โมเลกุลที่ชนบนผิวแล้วสะท้อนกลับสู่ภายนอกอนุภาคน้อยมาก แต่จะแพร่เข้าไปบนผิวภายในของอนุภาคช่วงเวลาหนึ่ง แล้วจึงกลับมาสู่ภายนอกโดยวิธีแพร่ออกทางผิว

2.4.5 สภาวะจลน์ของการดูดซับ (Dynamics of Adsorption)

การนำสารดูดซับไปใช้ในการควบคุมปัญหามลพิษทางอากาศ โดยทั่วไป ใช้ระบบการดูดซับในสภาวะจลน์ กล่าวคือ ให้สารดูดซับบรรจุอยู่ในภาชนะหรือคอลัมน์และอยู่นิ่งๆ (fixed bed) แล้วดูดอากาศหรือไอระเหยให้ไหลผ่านตลอดความลึกของภาชนะที่บรรจุสารดูดซับนั้น

พิจารณาคอลัมน์สารดูดซับ ซึ่งให้ของไหลที่ประกอบด้วยตัวถูกดูดซับที่มีความเข้มข้นสม่ำเสมอ ไหลเข้าทางด้านล่างและไหลออกทางด้านบนคอลัมน์ด้วยอัตราความเร็วคงที่ ก่อนการใช้งาน สารดูดซับทั้งคอลัมน์จะมีความไวต่อการดูดซับสูง เมื่อของไหลไหลผ่านคอลัมน์สารที่สามารถดูดซับได้จะถูกจับและเกาะติดบนสารดูดซับนั้น ปรากฏการณ์การดูดซับในคอลัมน์ เมื่อการไหลดำเนินติดต่อกันภายใต้สภาวะคงที่ สามารถอธิบายได้ด้วย รูปที่ 2-7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-7 ปรากฏการณ์การดูดซับของสารดูดซับในคอลัมน์ขณะที่ของไหลซึ่งประกอบด้วยสารที่

สามารถถูกดูดซับได้ไหลผ่าน

ที่มา : วันเพ็ญ ก้องกิตติไพศาล(2528) : 16

จากรูป X เป็นความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับไว้ในคอลัมน์
 X_0 เป็นความเข้มข้นก่อนการใช้งาน

- X_0 เป็นความเข้มข้นสูงสุด(ความเข้มข้นอิ่มตัว)ที่สารดูดซับสามารถดูดซับไว้ได้
- L เป็นความยาวของคอลัมน์สารดูดซับ
- Y เป็นความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในของไหลที่ไหลออกจากคอลัมน์

เมื่อของไหลไหลผ่านคอลัมน์ช่วงเวลาหนึ่งหลังจากเวลาเริ่มต้น ตอนต้นของคอลัมน์ซึ่งเป็นทางไหลเข้าของของไหล สารดูดซับจะดูดซับสารที่ถูกดูดซับได้ในของไหลไว้เรื่อยๆ จนอิ่มตัว ส่วนของคอลัมน์ที่ดูดซับสารไว้จนอิ่มตัวเรียกว่า เขตสมดุล(Equilibrium Zone) ถัดจากเขต สมดุล เป็นช่วงของคอลัมน์ที่ความเข้มข้นสารถูกดูดซับค่อยๆ เปลี่ยนแปลงจากความเข้มข้นอิ่มตัว(x_0) ไปเป็นความเข้มข้นเดิม(x_0) แทนด้วยกราฟเส้นโค้งคล้ายตัว "S" ในรูปที่ 2-7 ในช่วงนี้สารถูกดูดซับจะเคลื่อนย้ายจากของไหลไปยังผิวดูดซับในสารดูดซับ คอลัมน์สารดูดซับช่วงที่เกิดมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารถูกดูดซับไว้เรียกว่า Mass Transfer Zone(MTZ) และกราฟเส้นโค้งที่มีรูปร่างคล้ายตัว "S" ให้นิยามว่า Mass Transfer Wave ขณะที่การไหลดำเนินต่อไป ความยาวของเขตสมดุลจะเพิ่มขึ้น และ Mass Transfer Wave จะเคลื่อนที่ผ่านไปทางปลายคอลัมน์ด้วยอัตราความเร็วคงที่ โดยที่ลักษณะของ Mass Transfer Wave เหมือนเดิม แต่เคลื่อนที่ห่างออกไปจากต้นคอลัมน์มากกว่า ถ้าให้การไหลดำเนินต่อไปอีก จนส่วนนำของคลื่น Mass Transfer Wave อยู่ตรงปลายคอลัมน์สารดูดซับพอดี เรียกว่าเกิด Breakthrough ดังแสดงในรูปที่ 2-7 d

Breakthrough Concentration อาจหมายถึงความเข้มข้นต่ำสุด หรือความเข้มข้นสูงสุด ที่ยอมให้ได้ของสารดูดซับที่ไหลออกจากเครื่องดูดซับ และเวลาที่เกิด Breakthrough เรียกว่า Breakthrough Time (θ_b) ในรูปที่ 2-7d ถ้าให้ของไหลไหลต่อไป จนส่วนปลายของคลื่น Mass Transfer Wave อยู่ที่ปลายคอลัมน์พอดี สารดูดซับทั้งคอลัมน์จะอิ่มตัวด้วยสารถูกดูดซับ และอยู่ในสภาวะสมดุลกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในของไหลที่ไหลเข้าคอลัมน์ เรียกว่าคอลัมน์ อยู่ในสมดุล แสดงในรูปที่ 2-7 f และเวลาที่คอลัมน์อยู่ในสมดุล เรียกว่า เวลาสมดุล (Equilibrium Time, θ_e) เมื่อคอลัมน์อยู่ในสมดุลแล้วจะไม่สามารถดูดซับสารได้อีกต่อไป

เมื่อพิจารณาของไหลที่ไหลออกจากคอลัมน์ ที่เวลาเริ่มต้นของไหลที่ไหลออกจากคอลัมน์ จะประกอบด้วยสารถูกดูดซับมีความเข้มข้นเท่ากับ Y_0 ซึ่งอยู่ในสภาวะสมดุลกับความเข้มข้น X_0 จากเวลาเริ่มต้นจนถึง Breakthrough Time ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในของไหลที่ไหลออกจากคอลัมน์ยังคงเท่ากับ Y_0 ตลอด แสดงในรูปที่ 2-7 k ที่เวลา Breakthrough Time ถึงเวลาสมดุล ($\theta_b - \theta_0$) ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในของไหลที่ไหลออกจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเท่ากับ ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในของไหลที่ไหลเข้า ดังแสดงในรูปที่ 2-7 m และ 2-7 n

2.4.6 ปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญในการดูดซับทางสภาวะจลน์ ความยาว และ รูปร่างของ MTZ ได้แก่

1. ชนิดของสารดูดซับ มีวัสดุหลายชนิดที่มีคุณสมบัติในการดูดซับ เช่น ถ่านกัมมันต์ ซีโอไลท์ พูลเลอร์เอิร์ท อลูมิเนียมออกไซด์ ซิลิกาเจล เป็นต้น แต่วัสดุที่นิยมนำมาใช้ควบคุมมลพิษทางอากาศมี 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ และ ซีโอไลท์
2. ขนาดอนุภาคของสารดูดซับ ซึ่งมีผลต่อความดันลดในคอลัมน์ของสารดูดซับ และ อัตราการแพร่เข้าไปในรูพรุนของอนุภาค โดยอนุภาคที่มีลักษณะกลมและขนาดสม่ำเสมอจะมีความดันลดน้อยที่สุด แต่อัตราการแพร่ของมวลมายังผิวภายนอกของอนุภาคจะเป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองส่วนสามของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค และ อัตราการดูดซับภายใน เป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค ความดันลดเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดอนุภาค ดังนั้น คอลัมน์ของสารดูดซับที่ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก จะให้ประสิทธิภาพการดูดซับดีกว่า แม้มีความดันลดมากกว่า
3. ความลึกของคอลัมน์ของสารดูดซับ มีผลต่อการดูดซับมวลที่เคลื่อนที่ สิ่งสำคัญคือ คอลัมน์ต้องลึกกว่าความยาว MTZ โดยทั่วไปควรออกแบบขนาดของคอลัมน์สารดูดซับให้ยาวมากที่สุดเท่าที่ยอมให้ได้ โดยพิจารณาความดันลด การคำนวณความลึกของ MTZ จะคำนวณได้โดยการทดลอง คือ

$$MTZ = \frac{D}{t_2 / (t_2 - t_1) - X} \quad \dots\dots(1)$$

โดย D = ความลึกของคอลัมน์

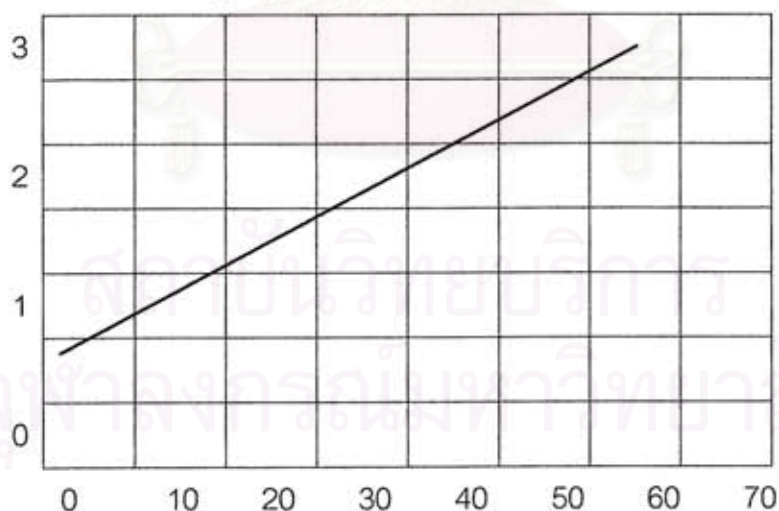
t_1 = Breakthrough Time

t_2 = Equilibrium Time

X = The degree of saturation in the MTZ

4. **ความเร็วของก๊าซ** เมื่อเพิ่มความเร็วของก๊าซจะทำให้เวลาที่กระแสก๊าซสัมผัสกับผิวดูดซับที่ตำแหน่งใดๆ ลดลง ประสิทธิภาพการดูดซับจึงลดลง ดังนั้นกระแสก๊าซจะต้องเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ของสารดูดซับลึกกว่าเดิม โมเลกุลจึงจะเคลื่อนย้ายจากกระแสก๊าซมายังสารดูดซับได้เท่าเดิม ความยาว MTZ จึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วและเป็นสัดส่วนผกผันกับประสิทธิภาพการดูดซับ รูปที่ 2-8 แสดงผลของความเร็วของก๊าซต่อความยาว MTZ โดยดูดซับเอธานอลบนถ่านกัมมันต์

ความยาวของ MTZ (นิ้ว)



ความเร็วของก๊าซ (ฟุต/นาที)

รูปที่ 2-8 ผลของความเร็วของก๊าซต่อความยาวของ MTZ เมื่อดูดซับเอธานอลบนถ่านกัมมันต์

5. **อุณหภูมิของสารดูดซับ** ประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้มีระดับพลังงานสูงขึ้น จึงพร้อมที่จะกลับเข้าสู่กระแสก๊าซตามเดิม และ MTZ เปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ

การดูดซับเป็นกระบวนการคายความร้อน ขณะที่การดูดซับเกิดขึ้นไปตามแนวความลึกของคอลัมน์สารดูดซับ อุณหภูมิของสารดูดซับจะสูงขึ้นตามไปในทิศทางเดียวกัน สารดูดซับจะถ่ายเทความร้อนบางส่วนให้แก่ก๊าซที่ไหลผ่าน เมื่อก๊าซไหลผ่านเลยไปจากส่วนที่เกิดการดูดซับ การแลกเปลี่ยนความร้อนจะกลับกัน คือ ก๊าซจะถ่ายเทความร้อนให้แก่สารดูดซับ อุณหภูมิของสารดูดซับจึงเพิ่มขึ้นในระหว่างการเดินเครื่อง ทำให้ความจุของการดูดซับของสารดูดซับลดลง อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในเครื่องดูดซับสามารถคำนวณได้ โดยตั้งสมมติฐานว่า อุณหภูมิของกระแสก๊าซที่ไหลออกเท่ากับอุณหภูมิของเครื่องดูดซับ

$$\Delta t = 6.1 / (S_g/C) 10^5 + 0.51(S_u/W) \quad \dots\dots(2)$$

- โดย Δt = อุณหภูมิที่เพิ่ม , °F
 W = ความจุอิมิตัวของสารที่อุณหภูมิ $t + \Delta t$, °F
 C = ความเข้มข้นของก๊าซที่ไหลเข้า , ppm.
 S_g = ความร้อนจำเพาะของก๊าซ , BTU/ft³/°F
 S_u = ความร้อนจำเพาะของสารดูดซับ , BTU/ft³/°F

6. **ความดันของกระแสก๊าซ** ประสิทธิภาพการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันย่อยของก๊าซเพิ่มขึ้น เพราะการเคลื่อนย้ายมวลได้เร็วขึ้นจึงทำให้ Mean free path ระหว่างโมเลกุลในก๊าซลดลงส่งผลให้ความเข้มข้นของโมเลกุลที่ถูกดูดซับในบริเวณที่ไวบนผิวดูดซับจึงมากขึ้น

7. **ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ** ประสิทธิภาพการดูดซับเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับจึงเป็นสัดส่วนผกผันกับ MTZ นั่นคือ ถ้าองค์ประกอบอื่นเหมือนกันทุกอย่าง ในการขจัดสารมลพิษที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าด้วยประสิทธิภาพที่เท่ากัน จะต้องใช้คอลัมน์สารดูดซับที่เล็กกว่า

8. ความเข้มข้นขององค์ประกอบอื่นในก๊าซรวมทั้งความชื้น องค์ประกอบอื่นใน กระแสก๊าซจะถูกดูดซับบนสารดูดซับด้วย จึงทำให้การดูดซับสารที่ต้องการขจัดลดลง การดูดซับในก๊าซที่มีความชื้นสูงจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าก๊าซที่มีความชื้นต่ำ ส่วน อากาศจะมีผลต่อการดูดซับน้อย
9. ความเข้มข้นขององค์ประกอบอื่นในก๊าซที่อาจรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่หรือ ทำปฏิกิริยาบนผิวดูดซับ การสลายตัวและทำปฏิกิริยากับสารถูกดูดซับเปลี่ยนเป็น สารที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง

2.5 การคืนสภาพของสารดูดซับที่ใช้แล้ว (Regeneration of Spent Absorbent)

วัตถุประสงค์ของการคืนสภาพ (Regeneration) มี 2 ประการ คือ

1. เพื่อรักษาสมรรถภาพของการดูดซับของสารดูดซับที่เสื่อมไป
2. เพื่อให้สารถูกดูดซับในสารดูดซับกลับคืนมา

เนื่องจาก กระบวนการดูดซับ เป็นกระบวนการวัฏจักร ซึ่งประกอบด้วย ขั้นตอนการดูดซับ และ ขั้นตอนการคืนสภาพ โดยประสิทธิภาพและราคาของการคืนสภาพ มีบทบาทสำคัญ ในความเหมาะสมทั้งหมดของกระบวนการดูดซับ

ทางเลือกของการคืนสภาพสารดูดซับที่ใช้แล้ว มีหลายทางเลือกด้วยกัน ดังนี้

1. โดยไอน้ำที่มีความดันต่ำ
2. โดยอุณหภูมิสูง ซึ่ง Adsorption isotherm เป็นสิ่งสำคัญต่อ Desorption
3. โดยการเปลี่ยน Affinity ระหว่าง Adsorbate และ Adsorbent โดยสารเคมี
4. โดยการสกัด Adsorbates โดยสารละลายเข้มข้น
5. การเอา Adsorbates ออกโดยการแตกสลายโดยใช้อุณหภูมิ หรือ โดยทาง ชีวเคมี

วิธีที่ 1 และ 2 โดยปกติใช้กับการคืนสภาพตัวถูกดูดซับที่เป็นก๊าซ โดยธรรมชาติแล้ว วิธีการที่ 2 สามารถประยุกต์ใช้กับของเหลว ถ้าในกรณีที่มีความสัมพันธ์ในกรณีเฉพาะ

วิธีที่ 3 และ 4 เป็นแบบเฉพาะสำหรับการดูดซับที่เป็นของเหลว และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง มีผลเมื่อบำบัดตัวถูกดูดซับ ที่ต้องการ การคายการดูดซับโดยสารละลายอัลคาไลน์ เป็นที่นิยม นำมาใช้สำหรับการบำบัดกรดอินทรีย์ที่ถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์

2.6 การคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วด้วยวิธีการทางเคมี (Regeneration of Spent Activated Carbon by Chemical Method)

การคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วด้วยวิธีการทางเคมี มักกระทำในสถานะของเหลว ซึ่งมีหลายวิธี ดังนี้

2.6.1 การคืนสภาพโดยสารละลายอินทรีย์ (Regeneration by an Organic Solvent)

ถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับสารเคมีไว้แล้ว จะนำมาสัมผัสกับสารละลายที่เป็นตัวคืนสภาพที่สามารถละลายตัวถูกดูดซับได้ โดยขณะสัมผัส จะละลายและดึงเอาตัวถูกดูดซับออกมา แม้ว่าที่ความเข้มข้นที่เล็กน้อยของสารเคมีในตัวทำละลาย ก็สามารถเกิดผลได้คุ้มค่าแล้ว และจะดีกว่าเมื่อใช้ตัวทำละลายที่มีความเข้มข้นของสารเคมีที่ถูกดูดซับเท่ากับค่าความเข้มข้นมากที่สุดของตัวถูกดูดซับ ซึ่งอาจละลายตัวถูกดูดซับออกได้มากเท่ากับตัวทำละลายบริสุทธิ์ (ต่อหน่วย) ความเข้มข้นนี้ได้ถูกพบว่า ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของ Activated Carbon Bed, อัตราการไหลระหว่างการคืนสภาพ และ ความสามารถในการละลายของสารเคมีที่ถูกดูดซับในตัวทำละลาย ค่าสูงสุดของความเข้มข้นอาจหาได้จากการทดลอง หรือ จากสูตร

$$x < a - (b/c) \quad \dots\dots(3)$$

โดย x = ค่าประมาณสูงสุดของความเข้มข้นของสารเคมีในสารละลายที่เป็นตัวคืนสภาพ

a = ความสามารถในการละลายของสารเคมีในตัวทำละลาย

b = ปริมาณของสารเคมีที่ถูกดูดซับในถ่านกัมมันต์

c = ปริมาณของตัวทำละลายที่ผ่านถ่านกัมมันต์

ค่าความเข้มข้นนี้ จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการคืนสภาพ

2.6.2 การคืนสภาพโดยฟอร์มัลดีไฮด์ (Regeneration by Formaldehyde)

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว จะนำมาคืนสภาพโดยการสัมผัสกับฟอร์มัลดีไฮด์ในปริมาณที่เพียงพอสำหรับทำให้กลับสู่สภาพเดิม จากนั้นให้นำถ่านกัมมันต์นั้นมาล้างเพื่อให้ฟอร์มัลดีไฮด์ที่ค้างหลงเหลืออยู่ออกไป และพร้อมนำมาใช้งานได้ใหม่

การนำถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วมาสัมผัสกับฟอร์มัลดีไฮด์ มีหลายวิธี เช่น ถ้าถ่านกัมมันต์อยู่ในคอลัมน์ เราอาจใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ผ่านคอลัมน์นี้ไปจนกระทั่งถ่านกัมมันต์กลับคืนสู่สภาพดูดซับได้ จุดที่จะดูว่าได้รับการคืนสภาพเรียบร้อยแล้วหรือยัง อาจทำได้ง่าย ๆ โดยการตรวจสอบของเหลวที่ออกมาจากคอลัมน์ กรดฟอร์มิกจะออกมาจากคอลัมน์ ก่อนที่จะถึงจุดที่คืนสภาพเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นจะไม่มีกรดฟอร์มิกออกมาอีก เราจะตรวจพบแต่ฟอร์มัลดีไฮด์ เวลาที่ใช้ในการสัมผัสระหว่างถ่านกัมมันต์กับฟอร์มัลดีไฮด์ ขึ้นกับชนิดของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไป ระยะเวลาของการคืนสภาพ อยู่ที่ 30 นาที ถึง 2 ชั่วโมง และความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้อยู่ระหว่างร้อยละ 1 - 5 ทั้งนี้ขึ้นกับน้ำหนักของถ่านกัมมันต์

2.6.3 การคืนสภาพด้วยคาร์บอนไดซัลไฟด์เหลว (Regeneration with liquid Carbon disulfide)

เป็นการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการดูดซับคาร์บอนไดซัลไฟด์ออกจากอากาศเสียใน อุตสาหกรรมกาว ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ได้สูญเสียไป เนื่องมาจากการปนเปื้อนของธาตุกำมะถันซึ่งเกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอากาศเสีย

ถ่านกัมมันต์ซึ่งมีคาร์บอนไดซัลไฟด์ที่ได้มาจากกระบวนการดูดซับ จะถูกนำมาล้างด้วยคาร์บอนไดซัลไฟด์เหลว เพื่อเอาซัลเฟอร์ออก กระบวนการทั้งหมด มีดังนี้ หลังจากที่ถ่านกัมมันต์ดูดซับคาร์บอนไดซัลไฟด์ในอากาศที่ปล่อยออกมา โดยเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ตัวดูดซับจะถูกนำมาล้างด้วยก๊าซเฉื่อยเพื่อไล่อากาศออก จากนั้นจะนำเอาคาร์บอนไดซัลไฟด์เหลวมาสัมผัสกับถ่านกัมมันต์ประมาณ 2/3 ของถ่านกัมมันต์ หลังจากปล่อยไว้ช่วงเวลาหนึ่ง (ประมาณ 30 นาที ถึง 2 ชั่วโมง) กระบวนการละลายจะเสร็จ จากนั้น

คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกเทออก ซึ่งจะมีซิลเฟอรล์ละลายอยู่ คาร์บอนไดออกไซด์นี้ หลังจากนำเอามากลั่นลำดับส่วน ก็จะสามารถนำมาใช้ในกระบวนการต่อไป

ส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ยังคงค้างอยู่ในถ่านกัมมันต์ซึ่งไม่สามารถเอาออกไปได้โดยการเทออกมา ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์นี้มีจำนวนถึงร้อยละ 20-30 ของปริมาณที่ใช้ ยังคงไม่มีการสูญเสีย แต่จะสามารถทำให้คืนสภาพได้โดยการใช้ไอน้ำผ่านทางด้านล่างของถ่านกัมมันต์ขึ้นมา และส่วนผสมของไอน้ำกับ CS_2 ทำการแยกได้โดยการใช้การควบแน่น คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกแยกออกมาและเอาไปเพื่อที่จะเอาไปใช้ใหม่ได้

2.6.4 การคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์และตัวทำละลายอินทรีย์(Regeneration by Alkaline Solution and an Organic solvent)

เป็นกระบวนการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ โดยการรวมถ่านกัมมันต์กับพวกอัลคาไลน์เพื่อเปลี่ยนตัวของคาร์บอน และแยกด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

ขั้นการคืนสภาพด้วยอัลคาไลน์จะดำเนินการที่อุณหภูมิอย่างน้อยที่สุดต้องเท่ากับอุณหภูมิปกติ สำหรับช่วงเวลา 15 นาที ถึง 2 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่คงที่ การทำให้มีการสัมผัสระหว่างสารละลายอัลคาไลน์กับถ่านกัมมันต์ สามารถทำได้โดยการเขย่า หรือการผ่านสารละลายอัลคาไลน์ไปยังถ่านกัมมันต์ด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 1 เมตรต่อชั่วโมง สารละลายอัลคาไลน์ที่ใช้จะหมุนเวียนอยู่ในคอลัมน์ที่ความเร็วที่แตกต่างกัน ซึ่งจะสามารถทำให้ถึงความเร็วที่ 10 เมตรต่อชั่วโมง

ตัวอัลคาไลน์ที่ใช้มีหลายตัว ได้แก่ โซเดียม, โพแทสเซียม หรือ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ โดยชนิดที่นิยมใช้ คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นของสารละลายอัลคาไลน์ที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 5 ถึง 10 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการคืนสภาพจะต่ำหากมีการใช้ที่ความเข้มข้นมากเกินไป เพราะผลจากความหนืดทำให้อัลคาไลน์ไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ หรือที่ความเข้มข้นต่ำเกินไปเพราะจะทำให้โอกาสสัมผัสกันระหว่างอัลคาไลน์กับถ่านกัมมันต์น้อยลง อุณหภูมิในการกระทำอยู่ระหว่าง 20 - 130 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่มักนิยมให้อยู่ในช่วง 25 - 90 องศาเซลเซียส สำหรับขั้นตอนการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เราจะใช้อย่างน้อยที่สุด 1 ชนิดโดยเลือกจากตัวทำละลายอินทรีย์ที่ต่ำกว่า

อัลกอกฮอลล์ และตัวทำละลายที่มีขั้วอื่น เช่น อะซีโตน และ ไดคลอโรอีเทน ในการดั่งสาร ถูกดูดซับออกอย่างต่อเนื่องด้วยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์นั้น เพื่อให้ตัวทำละลายอินทรีย์ทำการแทนที่สารที่ถูกดูดซับ ซึ่งจะทำการคืนสภาพถ่านกัมมันต์จะมีผลต่อประสิทธิภาพสูงสุด

หลังจากการทำให้แห้งแล้ว การพ่นไอน้ำจะช่วยให้ตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งถูกดูดซับโดย ถ่านกัมมันต์ในระหว่างการใช้ถูกสกัดออกจากคาร์บอน โดยใช้ความดันไอน้ำ 2 บาร์ หรือในบางกรณีอาจใช้ superheated และในรูปแบบที่แปรเปลี่ยนออกไป อาจใช้น้ำร้อน ภายใต้แรงดันสูง ซึ่งอาจทำให้หมุนเวียนอยู่ในคอลัมน์ หรือการ stream โดยใช้อากาศร้อน จากขั้นตอนนี้ กระบวนการต่อมา เป็นการ reactivate คาร์บอน โดยจะใช้กรดทำการแยกอนุพันธ์ของสารพวกอนินทรีย์ ซึ่งได้ถูกดูดซับเข้าไป เช่นพวก อนุพันธ์ของซัลเฟอร์, คาร์บอนเนต, เกลือของโลหะ ฯลฯ เรามักใช้กรดไฮโดรคลอริก, กรดฟอร์มิก หรือ กรดอะซิติก และกระบวนการสุดท้ายคือการล้างด้วยน้ำสะอาด

ในกรณีที่สารที่ถูกดูดซับเป็นสารอินทรีย์ประเภทกรด เช่น กรดอะซิติก ในขั้นการใช้สารละลายอัลคาไลน์จะมีปฏิกิริยากรด-เบสขึ้น ซึ่งจะสามารถกำจัดสารที่ถูกดูดซับออกได้มากกว่า สารที่ถูกดูดซับประเภทอื่น อีกทั้งขั้นตอนของการทำ reactivate ถ่านกัมมันต์ภายหลังการคืนสภาพมีความจำเป็นน้อยลง เนื่องจากสารอนินทรีย์ที่เกิดขึ้น คือ เกลือของโลหะซึ่งละลายน้ำได้ดี การที่ถูกดูดซับเข้าไปในถ่านกัมมันต์จึงมีได้น้อย

2.6.5 การคืนสภาพโดยใช้กรดกำมะถันและแอมโมเนีย (Regeneration using Sulfuric Acid and Ammonia Scrubber)

การทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับกรดกำมะถันแล้วคืนสภาพ ในขั้นแรกให้ล้างกำมะถันออกจากถ่านกัมมันต์ ด้วยกรดกำมะถันเจือจางหรือน้ำ เป็นตัว Scrubbing agent จากนั้นกรดกำมะถันที่เหลือออก ซึ่งอาจใช้น้ำ, น้ำกับก๊าซแอมโมเนีย หรือ แอมโมเนียก็ได้ เป็นตัว Scrubbing agent สารละลายที่ได้ในขั้นนี้ จะประกอบด้วยแอมโมเนียมซัลเฟตจำนวนเล็กน้อย ในขณะที่สารละลายที่ได้ในขั้นแรก จะประกอบด้วยกรดกำมะถันในจำนวนพอสมควร

กรดกำมะถันที่ใช้เป็นตัวล้าง จะมีความเข้มข้นระหว่างร้อยละ 1 ถึง 35 โดยน้ำหนัก โดยมักจะใช้ร้อยละ 5 ถึง 25 โดยน้ำหนัก ซึ่งกรดกำมะถันที่ถูกดูดซับโดยส่วนใหญ่จะถูกล้าง ออกจากถ่านกัมมันต์ได้โดยง่าย โดยออกมากับ Washing agent ซึ่งเราจะนำมาทำเป็น กรดกำมะถันเข้มข้น สิ่งตกค้างของกรดกำมะถันจำนวน 30 ถึง 80 กรัมต่อถ่านกัมมันต์ 1 กิโลกรัม สามารถทำให้กลับคืนสภาพได้โดยปฏิกิริยาควบคู่กัน ระหว่างแอมโมเนียกับกรด กำมะถัน และ ความจุในการดูดซับของถ่านกัมมันต์

2.6.6 การคืนสภาพโดยใช้สารละลายไอโอดีน (Regeneration by Iodine Solution)

เหมาะสำหรับการทำการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ ที่ใช้ดูดซับสารอินทรีย์จากน้ำดื่มหรือน้ำทิ้ง โดยนำไปผ่านสารละลายไอโอดีน ซึ่งเป็นเสมือนตัวดึงสิ่งที่ดูดซับไว้ออกจากถ่านกัมมันต์ ไอโอดีนสามารถทำให้อยู่ในสารละลายได้ไม่ว่าจะเป็นน้ำ เช่น โพแตสเซียมไอโอไดด์ หรือ อาจเป็นสารละลายที่มีสารอินทรีย์เป็นตัวทำละลายก็ได้

ไอโอดีนที่อยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์หลายๆ ตัว จะเป็นตัวฟอกอย่างแรงสำหรับถ่าน กัมมันต์ และสามารถฟอกเอาตัวที่ถูกดูดซับที่จับแน่นอยู่กับถ่านกัมมันต์ ความเข้มข้นที่ แน่นอนของไอโอดีนไม่ได้เป็นที่พิจารณากัน อาจใช้สารละลาย 0.1 นอร์มอล ของ Aqueous Potassium Iodine เช่น สารละลายที่มี 127 กรัม ของไอโอดีน และ 40 กรัม ของโพแตสเซียม- ไอโอไดด์ในน้ำ 1 ลิตร ตัวอย่างของสารละลายอิมิตัว เช่น เตรียมมาจากปฏิกิริยาสมดุล ระหว่าง Solid Iodine และ $KI_7 \cdot H_2O$ ซึ่งมี ไอโอดีน ร้อยละ 67.8 โพแตสเซียมไอโอไดด์ร้อยละ 25.6 และ น้ำร้อยละ 6.6 สารละลายอิมิตัวของไอโอดีนในน้ำบริสุทธิ์ที่ 25 องศาเซลเซียส จะมีไอโอดีน 0.340 กรัมต่อลิตร

ตัวทำละลายอินทรีย์ของไอโอดีน อาจใช้พวกสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ เบนซีน, โทลูอีน, พาราไซลีน, ออโรไซลีน, เมตะไซลีน, นอมอลเฮพเทน เป็นต้น

การล้างไอโอดีนออกจากถ่านกัมมันต์ ทำโดยใช้ agent พวก โซเดียมซัลไฟด์, โพแตสเซียมซัลไฟด์, โซเดียมไฮดรอกไซด์, กรดกำมะถัน หรือ โซเดียม/โพแตสเซียมไฮโอซัลเฟต ซึ่งสามารถล้างออกได้ง่ายจากถ่านกัมมันต์ ด้วยน้ำ ไอโอดีนสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน กับ

พวก Oxidizing agent เช่น พวกคลอรีน และ ไฮโดรเจน สามารถแยกออกจากสารละลาย โดยตกตะกอนเป็นของแข็ง ซึ่งมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ ซึ่งอาจนำไปทิ้ง หรือนำมาคืนสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน

2.6.7 การคืนสภาพโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (Regeneration by Hydrochloric Acid)

เป็นวิธีการทำให้คืนสภาพของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในฟอกน้ำเสียให้บริสุทธิ์ กรดไฮโดรคลอริกจะถูกเติมลงไป Carbon Bed ซึ่งบรรจุน้ำที่ได้มาจากน้ำเสีย กรดไฮโดรคลอริกและน้ำจะถูกผสมกันอย่างดี เพื่อให้มีกรดกระจายอยู่ใน Carbon Bed ของผสมระหว่างกรด และน้ำจะคงอยู่กับคาร์บอนในเวลาที่พอเพียง เพื่อ reactivate คาร์บอน เมื่อให้เวลาเพียงพอแล้ว กรดและน้ำจะถูกเอาออกจาก Carbon Bed

2.6.8 การคืนสภาพโดยใช้กรดแร่(Regeneration by Mineral Acid)

เป็นวิธีการทำให้คืนสภาพของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับพวกตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีส่วนผสมด้วย สารประกอบไฮดรอกซีเอมีน และอนุพันธ์ของมัน ที่มีจุดเดือดสูง ตัวอย่างสารประกอบนี้ได้แก่ เฟนิลเอธานอลามีน, เฟนิลไอเอธานอลามีน, ไตรเอธานอลามีน, ไดเอธิลามีไอเอธานอล เป็นต้น

ตัว desorbent ในกระบวนการ desorption คือ สารละลายพวกกรดแร่ ในขณะที่ตัว desorbent ผ่าน bed ตัวกรดในสารละลายจะ form ตัวเป็นเกลือ และเกลือนี้ จะละลายในสารละลายกรดที่ตกค้างอยู่ และจะสามารถเอาออกจาก bed โดยของเหลวที่เป็นตัว desorbent สารละลายของกรดไฮโดรคลอริก, กรดไนตริก, กรดกำมะถัน และ กรดฟอสฟอริก มักเป็นที่นิยมใช้ในกระบวนการนี้ แต่ความเข้มข้นของกรดในสารละลายไม่ได้มีการพิจารณา

เมื่อใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นที่นิยมใช้ จะอยู่ระหว่างร้อยละ 5 ถึง 35 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้สารละลายกรดตัวอื่นๆ ควรใช้ที่ความเข้มข้นสูงขึ้น ที่นิยมใช้อยู่ระหว่างร้อยละ 25 ถึง 80 โดยน้ำหนัก โดยตัว desorbent ไม่ควรทำปฏิกิริยากับตัวดูดซับ

อัตราการคืนสภาพ อาจปรับปรุงได้โดยควบคุมวัฏจักรของ desorption ใน Adsorption bed ที่อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้พันธะระหว่างตัวทำละลายกับอนุภาคของแข็งอ่อนแรงลง และความสามารถในการทำละลายของตัวทำละลายในตัว adsorbent ดีขึ้น โดยปกติ อุณหภูมิที่นิยมใช้กันไม่ควรเกินกว่า 250 องศาฟาเรนไฮด์

2.7 หลักการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

2.7.1 การหาพื้นที่ผิวจำเพาะ เป็นค่าที่นิยมใช้ เพื่อแสดงคุณภาพของถ่านกัมมันต์มากกว่าการหาปริมาตรของรูพรุนขนาดเล็ก ซึ่งขึ้นกับกลไกของการดูดซับ แต่การหาพื้นที่ผิวก็มีข้อจำกัด คือ โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับต้องเรียงตัวแบบชั้นเดียวในลักษณะที่ปกคลุมผิวของสารดูดซับ หรือถ่านกัมมันต์พอดี ดังรูปที่ 2-9 สมการพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณหาพื้นที่ผิว (S) คือ

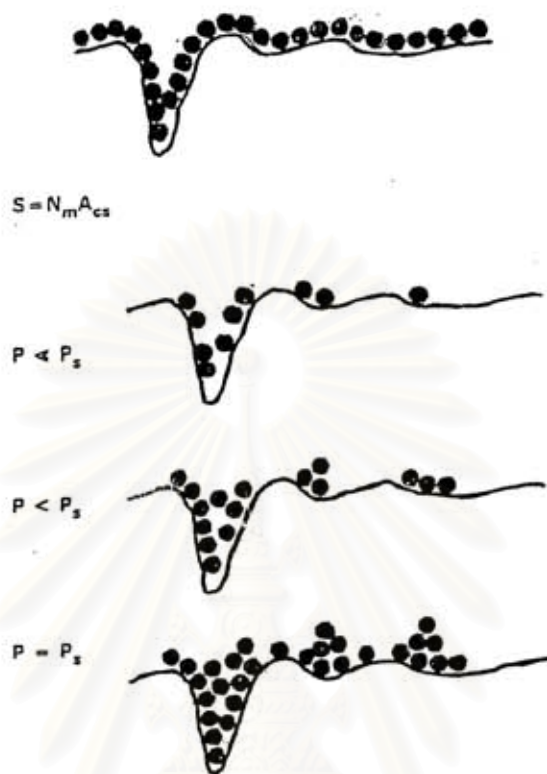
$$S = (n_m A_m N_A) 10^{-18} \text{ m}^2/\text{g} \quad \text{.....(4)}$$

n_m = จำนวนโมเลกุลของสารถูกดูดซับชั้นเดียว(โมลต่อกรัม)

A_m = พื้นที่ผิวของโมเลกุลของสารถูกดูดซับ(ตารางนาโนเมตรต่อโมเลกุล)

N_A = เลขอาโวกาโด (Avogadro's number)

การหาค่า n_m สามารถใช้สมการต่างๆ เช่น สมการแลงเมียร์(Langmuir equation) ซึ่งสมมติว่าความร้อนของการดูดซับคงที่, สมการดีอาร์เค(Dubinin-Radushkevich-Kaganer, DRK) ซึ่งใช้ได้กับถ่านกัมมันต์ที่มีค่าพื้นที่ผิวไม่สูง และ สมการบีอีที(Brunauer-Emmett-Teller, BET) ซึ่งเป็นสมการที่นิยมใช้มากที่สุด



รูปที่ 2-9 หลักการหาพื้นที่ผิว
ที่มา : บุญชัย ตระกูลมหชัย(2537) : 44

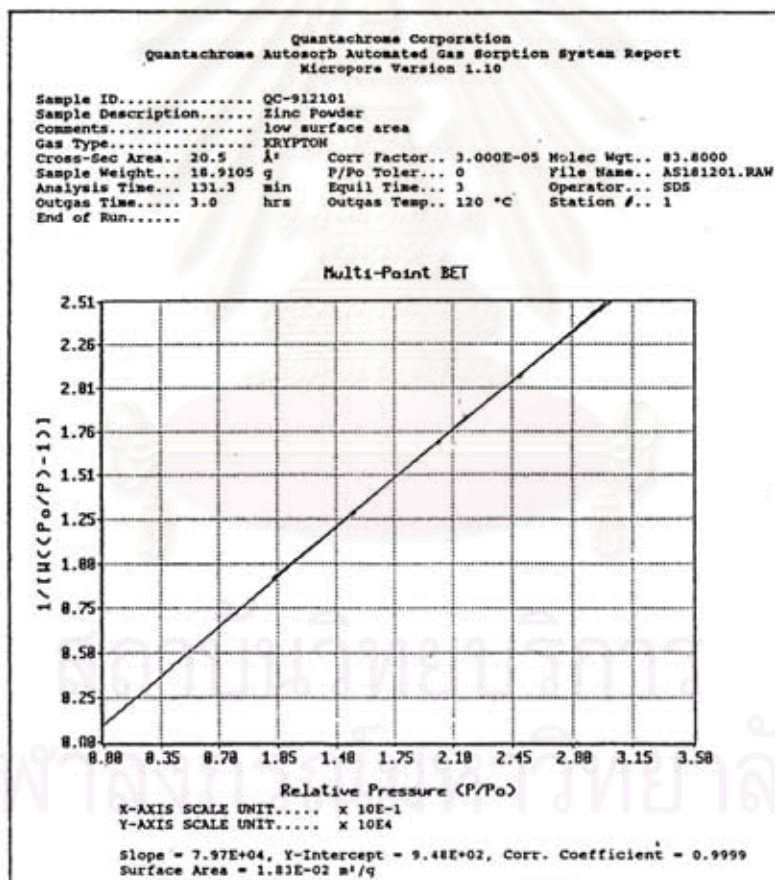
สมการ BET เป็นสมการเส้นตรง ดังนี้

$$\frac{P}{W(P_0 - P)} = \frac{1}{W_m C} + \frac{C - 1}{W_m C} \times \frac{P}{P_0} \quad \text{.....(5)}$$

- โดย W = ปริมาณสารถูกดูดซับทั้งหมด
- W_m = ปริมาณสารถูกดูดซับชั้นเดียว และปกคลุมผิวทั้งหมดของสารดูดซับ
- P/P_0 = ความดันสัมพัทธ์ที่สภาวะสมดุลของการดูดซับ

- C = ค่าคงที่ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพลังงานการดูดซับ
- = $\exp[(q_1 - q_L)/RT]$
- q_1 = ความร้อนที่เกิดจากการดูดซับแบบชั้นเดียว
- q_L = ความร้อนที่เกิดจากการดูดซับแบบหลายชั้น

จะเห็นว่า เมื่อสร้างกราฟระหว่างแกนราบ คือ P/P_0 แกนตั้งฉากคือ $P[W(P_0/P)]$ ดังรูปที่ 2-10 จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $(C-1)/W_m C$ และจุดตัดบนแกนตั้งฉากคือ $1/W_m C$ ซึ่งนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าพื้นที่ผิวได้



รูปที่ 2-10 ลักษณะกราฟตามสมการ BET
ที่มา : บุญชัย ตระกูลมหชัย(2537) : 45

ปัญหาในการหาพื้นที่ผิวคือ การพิจารณาจำแนกว่า การดูดซับใดเกิดในรูพรุนขนาดเล็ก การดูดซับใด เกิดในรูพรุนขนาดกลาง ทั้งนี้เพราะโดยทั่วไปจะพบว่าถ่านกัมมันต์เกรดการค้า มักมีทั้งรูพรุนขนาดกลาง วิธีที่ใช้คือ ทีพลอต(t-plot) ของ Halsey และ deBoer ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแกนราบ คือ ความหนาเฉลี่ยของโมเลกุลที่ถูกดูดซับแบบหลายชั้น ซึ่งเกิดในรูพรุนขนาดกลาง(Statistical thickness,t) กับแกนตั้งฉาก คือ ปริมาณของสารถูกดูดซับ ดังรูปที่ 2-11 เส้นที่ 1 พบในพวกที่ไม่มีรูพรุน, เส้นที่ 2 พบในพวกรูพรุนขนาดกลาง, เส้นที่ 3 เป็นพวกรูพรุนขนาดเล็ก และเส้นที่ 4 เป็นพวกที่มีทั้งรูพรุนขนาดเล็กและขนาดกลาง สมการที่ใช้คำนวณหาค่า t มี 2 สมการ คือสมการของ Halsey และ deBoer ซึ่งค่าที่ได้จะใกล้เคียงกัน ดังนี้

$$\text{Halsey ; } t(^{\circ}\text{A}) = 3.54[5/2.3031\log(P_0/P)]^{1/3} \quad \text{.....(6)}$$

$$\text{deBoer ; } t(^{\circ}\text{A}) = [13.99/\log(P_0/P)+0.034]^{1/2} \quad \text{.....(7)}$$

เมื่อสร้างกราฟและหาความชันของเส้นตรงได้แล้ว สามารถคำนวณหาพื้นที่ผิวของรูพรุนขนาดกลาง(S_t) และพื้นที่ผิวของรูพรุนขนาดเล็ก(S_{MP}) ได้ดังนี้

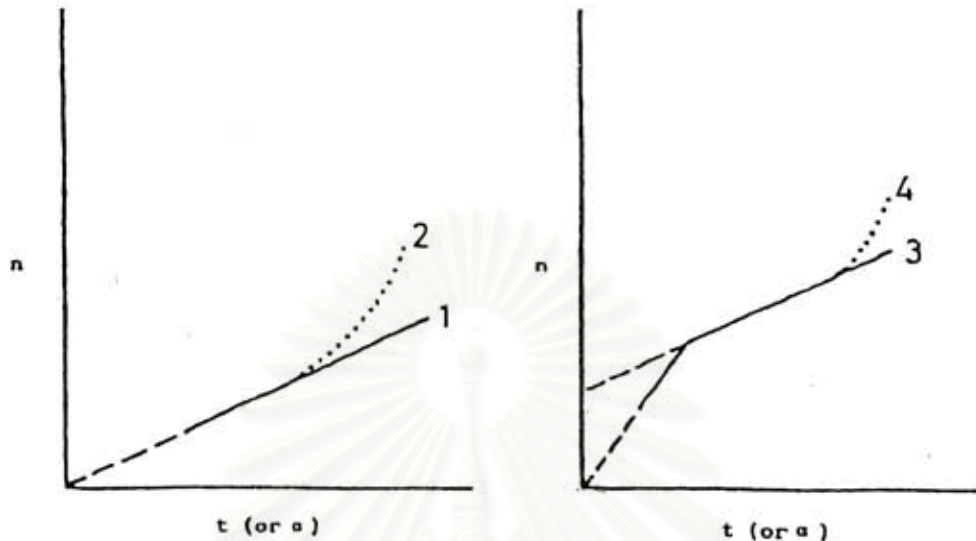
$$S_t = (\text{ความชัน})15.47 \quad \text{.....(8)}$$

$$S_{MP} = S_{BET} - S_t \quad \text{.....(9)}$$

โดย $15.47 =$ ค่าคงที่ของการเปลี่ยนปริมาตรของก๊าซเป็นปริมาตรของของเหลว

$$S_{BET} = \text{ค่าพื้นที่ผิวทั้งหมด}$$

การเลือกจุด P/P_0 มีความสำคัญมาก พบว่าถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็กควรเลือกค่า P/P_0 ต่ำๆ โดยทั่วไปมักใช้ P/P_0 น้อยกว่า 0.1 สำหรับถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง ควรเลือกค่า P/P_0 ระหว่าง 0.1-0.3 ทั้งนี้ค่าที่เลือกมาเพื่อใช้ในการคำนวณต้องมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงที่มีจุดตัดบนแกนตั้งฉากมากกว่าศูนย์



รูปที่ 2-11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาเฉลี่ยของโมเลกุลของโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ กับ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ

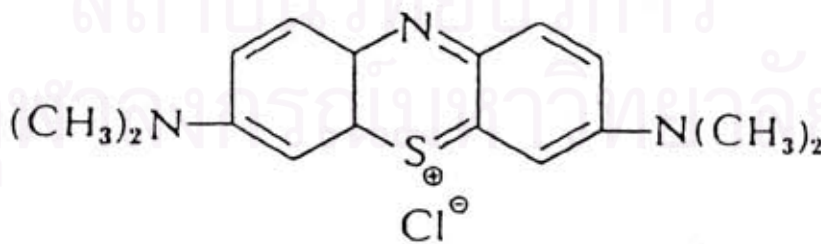
ที่มา : Rodriguez – Reinoso (1965)

2.7.2 การหาปริมาณเก่าของถ่านกัมมันต์ หมายถึง การหาปริมาณสารอินทรีย์ที่ทนความร้อนได้สูง และปนเปื้อนอยู่ในถ่านกัมมันต์ ถ้าจะทำให้ความสามารถในการดูดซับของถ่านลดลง เนื่องจากมีเก่าอุดตันอยู่ในรูพรุน ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าเก่าสูงจะมีราคาต่ำลง เพราะน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ซื้อขายกันนั้นไม่ใช่ น้ำหนักจริง แต่มีน้ำหนักของเก่าผสมอยู่ด้วย โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์มีค่าเก่าได้ไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ถ้ามีปริมาณเก่าสูงควรนำไปล้างเอาเก่าออกด้วยน้ำหรือสารละลายกรด ซึ่งจะช่วยให้สามารถดูดซับได้ดีขึ้น

2.7.3 การหาความหนาแน่นเชิงปริมาตร หมายถึง การหาน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ต่อหน่วยปริมาตร ปริมาตรในที่นี้ หมายถึง ปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาคและปริมาตรของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นค่านี้จึงขึ้นกับขนาดและความพรุนของถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้า มีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรระหว่าง 0.3 ถึง 0.5 กรัมต่อ

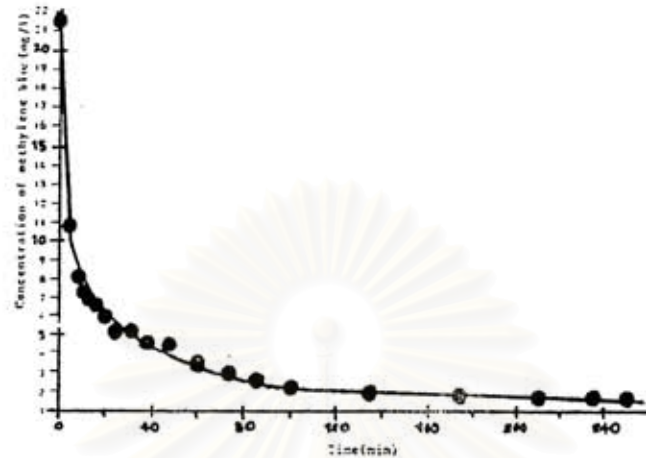
ลูกบาศก์เซนติเมตร ในการวิเคราะห์ที่กำหนดให้ขนาดของอนุภาคคงที่ พบว่าถ่านกัมมันต์ที่มีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรต่ำ จะมีปริมาณรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก นั่นคือเป็นถ่านที่มีคุณภาพดี นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรยังขึ้นกับความชื้นของอนุภาคด้วย กล่าวคือ อนุภาคที่มีความชื้นเพิ่มขึ้น จะมีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรลดลง

2.7.4 การหาความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู เป็นการสมบัติการดูดสีออกจากน้ำของถ่านกัมมันต์ โดยใช้สารละลายสีน้ำเงินที่เกิดจากสารเมทิลีนบลู(Methylene blue) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ประเภทต่าง และมีประจุเป็นบวก(รูปที่ 2-12) เชื่อว่ารูพรุนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 อังสตรอม จะเป็นบริเวณที่ใช้ในการดูดซับโมเลกุลของสารเมทิลีนบลูได้ดีที่สุด จากจลนพลศาสตร์ของการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (รูปที่ 2-13) จะเห็นว่า เมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ 0.025 กรัม ดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 100 มิลลิลิตร จำนวนโมเลกุลของเมทิลีนบลูในสารละลายจะลดลงเรื่อยๆ จนเวลาประมาณ 175 นาที การดูดซับจึงอยู่ในสภาวะสมดุล ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าเมทิลีนบลู จึงต้องควบคุมเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้แน่นอน เพื่อให้การวิเคราะห์ได้ค่าที่น่าเชื่อถือ ทั้งนี้เพราะความสามารถในการดูดซับ ขึ้นกับปริมาณของสารถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล เมื่อมีการเปรียบเทียบค่าเมทิลีนบลูจากวิธีตามมาตรฐานการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ค่าที่ได้อาจเปรียบเทียบกันไม่ได้ เนื่องจากกำหนดสภาวะการวิเคราะห์แตกต่างกัน



รูปที่ 2-12 โครงสร้างของเมทิลีนบลู

ที่มา : Graham (1955)



Kinetic data of the adsorption process of methylene blue on activated carbon at 25°C.

รูปที่ 2-13 จลนพลศาสตร์ของการดูดซับเมทิลีนบลู
ที่มา : Potgieter (1990)

2.7.5 การหาความสามารถในการดูดซับไอโอดีน เป็นการทดสอบสมบัติการดูดซับสารพิษออกจากน้ำของถ่านกัมมันต์ โดยใช้ไอโอดีนเป็นสารถูกดูดซับ เนื่องจากเป็นสารพิษที่มีความสามารถในการกัดกร่อนสูง โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นก๊าซ เชื่อว่ารูพรุนที่ใช้ในการดูดซับไอโอดีนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 อังสตรอม การวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM (American Associate Testing Method) โดยได้กำหนดให้ความเข้มข้นของไอโอดีนที่สภาวะสมดุล, C เท่ากับ 0.02 นอร์มัล ซึ่งสามารถควบคุมได้ด้วยการแปรน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ถ่านกัมมันต์ที่มีคุณภาพดี ควรใช้น้ำหนักในการวิเคราะห์ต่ำ ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้ความเข้มข้นของไอโอดีนที่สภาวะสมดุลเท่ากับ 0.02 นอร์มอลได้พอดี จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์โดยใช้น้ำหนักอย่างน้อย 2 ค่า เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นของไอโอดีน ที่สภาวะสมดุลมากกว่า และ น้อยกว่า 0.02 นอร์มัล แล้วใช้วิธีเฉลี่ยแบบลอการิทึม ทำให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น (รายละเอียดการวิเคราะห์ดูในภาคผนวก ก) ส่วนการวิเคราะห์ตามมาตรฐานการวิเคราะห์ของประเทศ

ญี่ปุ่น(Japanese Industrial Standard,JIS) นั้น เชื่อถือได้น้อย เนื่องจากกำหนดน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คงที่ ดังนั้นหากความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน ความเข้มข้นของไอโอดีนที่สมดุลจะแตกต่างกัน มีผลให้ความสามารถในการดูดซับที่สภาวะสมดุลแตกต่างกันด้วย

2.8 วิธีวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้ค่าการดูดซับจำเพาะ (X/M ที่ $C=0.02$) เป็นเครื่องวัดผลการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ ซึ่งนำไปสู่ข้อสรุปของเงื่อนไขและสภาวะของการคืนสภาพที่ก่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด ดังนั้นผลการทดลองที่ได้ควรได้รับการตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ ค่าความเชื่อมั่น(reliability)ต่ำสุดที่ยอมรับได้ในงานวิจัยนี้ กำหนด ที่ร้อยละ 90 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในทางสถิติ วิธีที่ใช้วิธีตรวจสอบ 2 วิธี ดังนี้

2.8.1 Test-retest : (อ้างอิง: ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ, สถิติวิทยาทางการวิจัย (2540), หน้า 181-182) คล้ายกับการ ทดลองซ้ำกลุ่มเดิม จากนั้นนำผลการทดสอบครั้งแรก และครั้งหลังมาหาสหสัมพันธ์กัน ค่าที่ได้คือค่าความเชื่อมั่น r_{tt} หาได้จาก

$$r_{tt} = \frac{N\sum XY - \sum X\sum Y}{\sqrt{(N\sum X^2 - (\sum X)^2)(N\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad \dots\dots(10)$$

โดย X = ผลการทดลองกลุ่มแรก

Y = ผลการทดลองกลุ่มหลัง

N = จำนวนการทดลองในแต่ละกลุ่ม

r_{tt} = ค่าความเชื่อมั่น

ในกรณีของผลการทดลองที่มีผลการทดลอง 4 กลุ่ม แบ่งการวิเคราะห์ได้ 2 วิธี

1.1 ใช้คู่ของค่ากลาง

1.2 ใช้คู่ของค่าต่ำสุดและสูงสุด

2.8.2 Q Test : (อ้างอิง : Douglas A. Skoog and Donald M. West (1974), An Introduction to Analytical Chemistry, 2nd Edition. Page 44-46) ในการมีกลุ่มข้อมูลที่ได้จากการทดลองหรือการวัดใดๆ ย่อมมีข้อมูลบางตัวที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยอย่างมาก การตัดสินใจในการคงไว้ หรือ ปฏิเสธข้อมูลนั้น มีความเสี่ยงในการทำ ซึ่งความสงสัยว่าทำถูกหรือไม่ ซึ่งมีผลต่อการวิเคราะห์ผลจากกลุ่มข้อมูลที่เหลือ เช่น ค่าเฉลี่ย เป็นต้น มีเกณฑ์ทางสถิติมากมายที่จะพยายามใช้ในการตัดสินใจข้างต้น วิธีการที่นิยมกันคือ Q Test ซึ่งได้จากการพิจารณาสัดส่วนระหว่างค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลตัวที่แตกต่างออกไปจากกลุ่มอย่างมาก กับข้อมูลตัวที่ใกล้กับตัวนั้นมากที่สุด และการแผ่กระจายของการของกลุ่มข้อมูลนั้น (Q_{exp}) จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับค่าการปฏิเสธ (Critical Values for Rejection Quotient, Q_{crit}) ซึ่งกำหนดไว้สำหรับระดับความเชื่อมั่นต่างๆ เพื่อให้กลุ่มข้อมูลที่พิจารณาแล้วมีความเชื่อมั่นในระดับที่กำหนด

วิธีการพิจารณาทำได้ ดังนี้

1. การกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ยอมรับได้ เพื่อนำไปหาค่า Q_{crit} (Critical Values for Rejection Quotient) เช่น ตาราง 2-1 แสดงค่า Q_{crit} ที่ระดับความเชื่อมั่น 90%
2. จากกลุ่มข้อมูล พิจารณาว่า มีข้อมูลใดที่แตกต่างไปจากกลุ่มมากที่สุด หรือดูมีความน่าเชื่อถือน้อย

3. คำนวณค่า Q_{exp} จาก

$$Q_{exp} = \frac{\text{ค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลตัวผลการทดลองที่พิจารณากับข้อมูลตัวที่มีค่าใกล้เคียง / ค่าการกระจายตัวของข้อมูลกลุ่มนั้น}}{\text{ค่าการกระจายตัวของข้อมูลกลุ่มนั้น}}$$

4. เปรียบเทียบค่า Q_{exp} กับ Q_{crit}

ถ้า $Q_{exp} \geq Q_{crit}$ ให้ปฏิเสธข้อมูลตัวนั้น โดยตัดออกจากกลุ่ม

ถ้า $Q_{exp} < Q_{crit}$ ให้ยอมรับและใช้ข้อมูลตัวนั้น

ตัวอย่าง จากการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบของตัวอย่าง Calcite ได้ค่า % CaO = 55.95, 56.00, 56.04, 56.08, 56.23 จะเห็นว่าค่าสุดท้ายค่อนข้างต่างจากกลุ่ม ควรปฏิเสธหรือยอมรับค่านี้

ความแตกต่างระหว่าง 56.23 และ 56.08 = 0.15

ค่าการกระจายตัวของข้อมูล(พิสัย) = 0.28 (=56.23 – 55.95)

$$Q_{\text{exp}} = 0.15/0.28 = 0.54$$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% , ที่ข้อมูล 5 ค่า $Q_{\text{crit}} = 0.64$

นั่นคือ $Q_{\text{exp}} < Q_{\text{crit}}$ หรือ ยอมรับข้อมูลตัวนี้

ตาราง 2-1 ค่าวิกฤตสำหรับ Critical Values for Rejection Quotient , Q_{crit} ที่ค่าความเชื่อมั่น 90%

จำนวนผลการทดลอง	Q_{crit}
2	-
3	0.94
4	0.76
5	0.64
6	0.56
7	0.51
8	0.47
9	0.44
10	0.41

ที่มา : R. B. Dean and W. J. Dixon, Anal Chem., 23, 636 (1951)

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วิธีการทดลอง

การทดลองในการวิจัยประกอบด้วย การเตรียมถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว, การทดลองคืนสภาพถ่านกัมมันต์ และ การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการคืนสภาพแล้ว ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง มีดังนี้

3.1.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นถ่านกัมมันต์ที่นำมาจากการใช้งานจริงในคลังสินค้าเคมีแห่งหนึ่ง ซึ่งให้บริการจัดเก็บ, บรรจุ และ ขนส่งสารเคมีเหลว ข้อมูล และ รายละเอียดการใช้งาน มีดังนี้

- ◆ เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ชื่อ BPL 4 x 10 mesh(ชื่อทางการค้า)
- ◆ ถูกใช้งานในตู้กรองกลิ่น ที่ติดตั้งไว้เหนือถังเก็บสารเคมีเหลวขนาด 1 ล้านลิตร ซึ่งใช้เก็บกรดอะซิติกเข้มข้น(acetic Acid)
- ◆ ระยะเวลาการใช้งาน 3 เดือน (มีกรดอะซิติกเข้มข้นอยู่ในถังตลอดเวลา)
- ◆ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วในงานวิจัยนี้ เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากตู้กรองกลิ่นชุดเดียวกัน โดยนำมาคลุกเคล้า แบ่งใส่ถุง ถุงละ 100 กรัม ผนึกให้มิดชิด และ เก็บไว้ในที่ร่ม อุณหภูมิห้อง ความดันปกติ

3.1.2 การทดลองคืนสภาพถ่านกัมมันต์ :

- ◆ นำถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วประมาณ 10 กรัม (ซึ่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในขวดรูปชมพู่
- ◆ เติมน้ำละลายอัลคาไลน์ ตามปริมาตรที่กำหนด และ เขย่า 30 วินาที ทุกๆ 5 นาที
- ◆ เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำไปกรอง
- ◆ เติมน้ำสะอาด 20 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงในถ่านกัมมันต์ที่กรองแล้ว
- ◆ เขย่า 30 วินาที และแช่ทิ้งไว้ 5 นาที

- ◆ กรอง และนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปอบที่ 120 °C 30 นาที
- ◆ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
- ◆ ชั่งน้ำหนักที่ได้ และ เก็บในถุงซิปปิดสนิท
- ◆ สภาวะการทดลอง แสดงใน ตาราง 3 - 1

ตาราง 3 - 1 สภาวะที่ใช้ทำการทดลอง

ตัวแปรที่พิจารณา	การทดลองชุดที่									
	1		2		3		4		5	
สารละลายอัลคาไลน์ที่ใช้	NaOH	KOH	NaOH	KOH	NaOH	KOH	NaOH	KOH	NaOH	KOH
ความเข้มข้นของสารละลายอัลคาไลน์ (%wt.)	5 , 15 , 25		5 , 15 , 25		10		5, 10	10	5, 10	10
ปริมาตรสารละลายอัลคาไลน์ (cm ³)	15		15		15		11-22	13-23	11-22	13-23
ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้	อะซิโตน		-		-		-		-	
ระยะเวลาการคืนสภาพ (นาที)	30 , 70 , 110 , 150		30 , 70 , 110 , 150		15 , 30 , 70 , 110 , 150		30		15 , 30 , 60	

3.1.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดซับของถ่านกัมมันต์ภายหลังการคืนสภาพ

จากการศึกษาและทำการทดลองวัดค่า Iodine No. ของถ่านกัมมันต์ตามมาตรฐาน ASTM D 4607-86 พบว่า วิธีนี้ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อทำการวัดคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่ใช้งานแล้วได้ ทั้งนี้เนื่องจาก มีขั้นตอนของการการนำไปต้ม และ การนำไปอบ ซึ่งทั้ง 2

ขั้นตอนนี้ จะทำให้กรดน้ำส้มที่เหลือค้างอยู่ในถ่านกัมมันต์ระเหยไป(ทราบได้จากกลิ่นที่เกิดขึ้นขณะทดลอง 2 ขั้นตอนนี้) ซึ่งจะส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ผิดไปจากที่ควรจะเป็น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ดัดแปลงวิธีมาตรฐานโดยการตัด 2 ขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นออก(ดูตาราง 3-2) และทำการวัดค่าการดูดซับจำเพาะ ซึ่งแสดงในรูปสัดส่วนมวลของไอโอดีนที่ถูกดูดซับต่อมวลของถ่านกัมมันต์(X/M, มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัมถ่านกัมมันต์) ที่ความเข้มข้นไอโอดีนที่สภาวะสมดุล(residual filtrate,C) เท่ากับ 0.02 นอร์มัล (residual iodine concentration) มีวิธีการ ดังต่อไปนี้

1. สารเคมีที่ใช้

- 1.1 น้ำแบ่งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยชั่งแบ่ง 1 กรัม ละลายด้วยน้ำร้อน จะมีน้ำหนักเป็น 10 กรัม น้ำแบ่งที่เตรียมได้จะใช้ภายในวันที่เตรียมเท่านั้น
- 1.2 สารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟตเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) 24.820 กรัม ในน้ำ 75 มิลลิลิตร เติมโซเดียมคาร์บอเนต(Na_2CO_3) 0.1 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร
- 1.3 สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยละลายไอโอดีน 12.700 กรัม และ โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 19.10 กรัม ด้วยน้ำ 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 4 ชั่วโมงจนผลึกไอโอดีนละลายหมด แล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร
- 1.4 สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตเข้มข้น 0.100 นอร์มัล เตรียมโดยอบโพแทสเซียมไอโอเดตที่ 110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ แล้วชั่งมา 3.5667 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร

2. วิธีเทียบมาตรฐานสารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต

- 2.1 ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2 กรัม เขย่าให้ละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร
- 2.2 ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต โดยใช้ น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติ คือ จุดที่สารละลายไม่มีสี

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต คำนวณจาก

$$N_1 = (P \times R) / S$$

- โดย N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต (นอร์มัล)
 P = ปริมาตรสารละลายโพแตสเซียมไฮโอเดต (มิลลิลิตร)
 R = ความเข้มข้นของสารละลายโพแตสเซียมไฮโอเดต (นอร์มัล)
 S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรต (มิลลิลิตร)

3. วิธีเทียบมาตรฐานสารละลายไอโอดีน

ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตโดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติคือจุดที่สารละลายไม่มีสี

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอไดน์ คำนวณจาก

$$N_2 = (P \times R) / S$$

- โดย N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มัล)
 P = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)
 R = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต (นอร์มัล)
 S = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไตเตรต (มิลลิลิตร)

4. วิธีวิเคราะห์

- 4.1 บดและคัดขนาดตัวอย่างให้ละเอียดน้อยกว่า 60 เมช (0.246 มิลลิเมตร)
- 4.2 ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างเท่ากับ M ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือมีมวลละเอียด 0.1 มิลลิกรัม) ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งมีจุดปิด
- หมายเหตุ ต้องชั่งน้ำหนักของตัวอย่างอย่างน้อย 2 ค่าตัวอย่าง เพื่อให้ได้ค่า C มีค่า ระหว่าง 0.01-0.02 และ 0.02-0.03
- 4.3 ใส่สารละลายไอโอดีน 100 มิลลิลิตร ปิดจุกแล้วเขย่าแรงๆ เป็นเวลา 30 วินาที

- 4.4 ทิ้งไว้ 5 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรองวัตต์แมน เบอร์ 42 ทิ้งสารละลายที่กรองได้ 20 มิลลิลิตรแรก
- 4.5 ดูดสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยปิเปต มาทำการติเตรตด้วยสารละลายโซเดียม-ไฮโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติคือสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้เป็นมิลลิลิตร (S)
- 4.6 คำนวณค่าการดูดซับจำเพาะ (X/M) และความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน (C) ได้จาก

$$X/M \text{ (มิลลิกรัม/กรัม)} = (1269.30/M) - (2.2) (12.693) (S/M)$$

$$C = (0.1/50)S$$

นำค่า X/M ที่ได้ทั้งสามค่ามาสร้าง Iodine Adsorption Isotherm ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง แกนราบ คือ $\log C$ แกนตั้งจาก คือ $\log[(X)/M]$ ซึ่งจะได้เส้นความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ตำแหน่งที่ $C = 0.02$ หรือ $\log C = -1.699$ จะทราบค่าบนแกนตั้งจาก สมมติเท่ากับ Y นำค่าที่ได้ มาคำนวณหาค่า IA ดังนี้

$$IA \text{ (มิลลิกรัม/กรัม)} = 10^Y$$

จากมาตรฐาน ASTM ค่า X/M ที่ค่า C เท่ากับ 0.02 นอร์มัล เรียกว่า ค่า ไอโอดีน นัมเบอร์ (Iodine Number) แต่สำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากการดัดแปลงวิธีการของมาตรฐาน ASTM จึงเรียกค่านี้เป็น ค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M) ที่ C=0.02 นอร์มัล โดยค่า X/M ที่แสดงผลการทดลอง และ สรุปผลการทดลองในงานวิจัยนี้ทั้งหมด คือ ค่าการดูดซับจำเพาะที่ X/M ที่ C=0.02 นอร์มัล ตาราง 3-3 แสดงการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ผล ระหว่างวิธีมาตรฐาน ASTM และ วิธีที่ดัดแปลงใช้ในงานวิจัยนี้

ตาราง 3 - 2 การเปรียบเทียบการทดลองระหว่างวิธีมาตรฐาน ASTM และ วิธีที่ประยุกต์ใช้ในงานนี้

การทดลอง		
ขั้นตอน	วิธี ASTM	วิธีที่ใช้ในงานนี้
1. บดผ่านกัมมันต์ , ร่อน	เหมือนกัน	เหมือนกัน
2. อบ และ ทิ้งไว้ให้เย็น	กำหนดให้ทำ	ไม่ได้ทำ เพราะกรดจะระเหยไปหมด
3. เติมสารละลาย HCl เขย่า และ ต้มให้เดือด	กำหนดให้ทำ	ไม่ได้ทำ เพราะกรดจะระเหยไปหมด
4. การเติมสารละลายไอโอดีน 0.1 N	100 ลูกบาศก์ เซนติเมตร	100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
5. การตั้งทิ้งไว้ก่อนการกรอง	มิได้กำหนด	ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที
6. ไตเตรตโดย 0.1 N โซเดียม-ไฮโอซัลเฟต	ใช้ Filtrate 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร	ใช้ Filtrate 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตาราง 3 - 3 การเปรียบเทียบการคำนวณระหว่างวิธีมาตรฐาน ASTM และ วิธีที่ประยุกต์ใช้ในงาน
วิจัยนี้

การคำนวณ		
หัวข้อเปรียบเทียบ	วิธี ASTM	วิธีที่ใช้ในงานนี้
$N_2 = \text{Iodine, N}$	0.1	0.1
$N_1 = \text{Sodium Thiosulfate, N}$	0.1	0.1
$I = \text{สารละลาย ไอโอดีน, cm}^3$	100	100
$H = 5\% \text{ HCl ที่ใช้, cm}^3$	10	0
$F = \text{Filtrate, cm}^3$	50	50
$A = (N_2)(12693.0)$	1269.3	1269.3
$B = (N_1)(126.93)$	12.693	12.693
$\text{Dilution factor DF} = (I + H) / F$	2.2	2.0
$C = (N_1 \times S) / F$	$S / 500$	$S / 500$
$X/M = [A - (DF)(B)(S)] / M$	$[1269.3 - 27.925(S)] / M$	$[1269.3 - 25.386(S)] / M$

S = ปริมาตร Sodium Thiosulfate ที่ใช้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 การคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยใช้ทั้งสารละลายอัลคาไลน์ และ ตัวทำละลายอินทรีย์

ปัญหาที่พบจากการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการคืนสภาพ คือ

1. สารละลายอินทรีย์ ไคคลอโรอีเทน เป็นสารต้องห้ามนำเข้าประเทศ จึงไม่สามารถจัดหามาใช้ในงานวิจัยนี้ได้
2. เครื่องพ่นไอน้ำความดันสูง สำหรับสกัดแยกตัวทำละลายอินทรีย์ออกจากถ่านกัมมันต์ ภายหลังการคืนสภาพ เป็นอุปกรณ์ที่ไม่สามารถจัดหาได้

จากปัญหาข้างต้น ส่งผลให้ขอบเขตของการวิจัย ในส่วนของการใช้สารละลายอินทรีย์ เหลืออะซิโตน เพียงชนิดเดียว ซึ่งทำการทดลองโดยแช่ถ่านกัมมันต์ในสารละลายอินทรีย์ภายหลังการคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์ จากนั้นนำไปกรอง และ อบ โดยมีไอน้ำผ่านเครื่องพ่นไอน้ำความดันสูง ซึ่งผลการทดลอง แสดงในตาราง 4-1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4 - 1 ผลการทดลองคั้นสภาพถ่านกัมมันต์ โดยสารละลายอัลคาไลน์ 5% , 15% , 25% โดยน้ำหนัก และ อะซิโตน ด้วยเวลาของการคั้นสภาพ 30-150 นาที

การคั้นสภาพโดยใช้ อะซิโตน และ		เวลาของการคั้นสภาพ (นาที)	X/M (มิลลิกรัม/กรัม)	ร้อยละของถ่าน กัมมันต์ที่เหลือ
KOH	5%	30	547	75.82
		70	546	75.10
		110	525	75.06
		150	534	74.57
KOH	15%	30	535	83.30
		70	529	87.02
		110	527	85.60
		150	528	85.42
KOH	25%	30	517	77.11
		70	514	78.91
		110	515	79.48
		150	506	79.80
NaOH	5%	30	531	76.16
		70	532	75.55
		110	525	75.88
		150	496	76.10
NaOH	15%	30	515	93.58
		70	509	92.65
		110	508	96.09
		150	488	92.06
NaOH	25%	30	505	83.77
		70	495	93.94
		110	488	83.96
		150	453	84.16

4.1.2 การคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยใช้เฉพาะสารละลายอัลคาไลน์(ไม่ใช่ตัวทำละลายอินทรีย์)

กำหนดทำการทดลองที่สภาวะเดียวกันกับการทดลองที่ 4.1.1 โดยในครั้งนี ได้วัดค่า pH ของสารละลายที่ได้จากการคืนสภาพด้วย ผลการทดลองแสดงดังตาราง 4-2

4.1.3 การหาสภาวะของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ที่เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด ครั้งที่ 1

จากการทดลองที่ 4.1.2 พบว่าตัวอย่างการทดลองที่สารละลายที่ได้จากการคืนสภาพมีค่า pH ใกล้เคียงจุดยุติ จะมีค่าการดูดซับจำเพาะสูงกว่าในช่วงอื่น, ระยะเวลาของการคืนสภาพมีนัยสำคัญเล็กน้อย และ ที่ความเข้มข้นสารละลายอัลคาไลน์ในช่วง 5-15% โดยน้ำหนัก จะให้ค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านที่ได้จากการคืนสภาพสูงกว่าที่ความเข้มข้น 25% โดยน้ำหนัก

ในการหาสภาวะของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ เพื่อให้เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงที่สุด ครั้งที่ 1 นี้ กำหนดให้พิจารณา

- นัยสำคัญของระยะเวลาการคืนสภาพ โดยการเพิ่มการพิจารณาระยะเวลาคืนสภาพที่ 15 นาที เพื่อดูผลจากการใช้เวลานี้น้อยลง และ
- ความเข้มข้นของสารละลายอัลคาไลน์ที่เหมาะสม โดยกำหนดให้ใช้ที่ความเข้มข้น10% โดยน้ำหนัก

ผลการทดลอง ดังตาราง 4-3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4 - 2 ผลการทดลองคั้นสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ 5% , 15% และ 25%
(โดยไม่ใช้อะซิโตน) ด้วยระยะเวลาการคั้นสภาพ 30-150 นาที

การคั้นสภาพ โดยใช้		เวลาของการ คั้นสภาพ (นาที)	X/M (มิลลิกรัม/กรัม)	ร้อยละของถ่าน กัมมันต์ที่เหลือ	pH ของสารละลาย จากการคั้นสภาพ
KOH	5%	30	552	90.86	-
		70	562	87.00	-
		110	566	86.70	-
		150	571	86.79	5.04
KOH	15%	30	507	91.75	13.47
		70	522	93.34	13.38
		110	519	92.93	12.57
		150	524	92.79	6.84
KOH	25%	30	478	99.01	13.88
		70	503	99.45	14.03
		110	506	98.26	14.29
		150	511	98.42	14.27
NaOH	5%	30	548	88.74	-
		70	552	87.02	-
		110	555	86.77	5.32
		150	558	86.72	5.40
NaOH	15%	30	501	94.15	14.10
		70	510	95.28	13.35
		110	521	97.38	13.81
		150	525	95.54	13.37
NaOH	25%	30	473	104.87	14.24
		70	480	103.44	14.28
		110	493	103.20	14.23
		150	507	101.65	14.42

ตาราง 4 - 3 ผลการทดลองคืบสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ เข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก และระยะเวลาของการคืบสภาพ 15-150 นาที

สารละลายอัลคาไลน์ที่ใช้	เวลาของการคืบสภาพ(นาที)	X/M (มิลลิกรัม/กรัม)	ร้อยละของถ่านกัมมันต์ที่เหลือ	pH ของสารละลายจากการคืบสภาพ
KOH 10% wt.	15	560	91.17	6.17
	30	565	89.55	5.83
	70	567	89.02	5.81
	110	568	89.61	5.87
	150	570	89.25	5.66
NaOH 10%wt.	15	544	90.38	13.26
	30	565	89.93	13.11
	70	568	89.27	13.06
	110	571	89.04	13.05
	150	570	89.12	12.75

4.1.4 การหาสภาวะของการคืบสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ที่เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด ครั้งที่ 2

จากการทดลองที่ 4.1.3 พบว่าตัวอย่างการทดลองซึ่งสารละลายที่ได้จากการคืบสภาพมีค่า pH ใกล้เคียงจุดยุติ ยังคงมีค่าค่าการดูดซับจำเพาะสูงกว่าในช่วงอื่น, ระยะเวลาของการคืบสภาพมีนัยสำคัญเพียงเล็กน้อย และ การคืบสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์เข้มข้นร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก (ปริมาตร 15 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ให้ค่าการดูดซับจำเพาะต่ำ

ในการหาสภาวะของการคืบสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ เพื่อให้ได้ค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด ครั้งที่ 2 กำหนดทำการทดลองที่ความเข้มข้นคงที่ คือร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โดยปรับปริมาตรของสารละลายอัลคาไลน์ที่ใช้ เพื่อให้สารละลายที่ได้จากการคืบสภาพ มีค่า pH เข้าใกล้

จุดยุติมากยิ่งขึ้น ที่ระยะเวลาของการคืนสภาพ 30 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่น่าสนใจ (จากผลการทดลอง 4.1.3)

ผลการทดลอง แสดงดัง ตาราง 4-4

ตาราง 4 - 4 ผลการทดลองคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ที่ปริมาตรต่างๆ เพื่อปรับให้ค่า pH ของสารละลายจากการคืนสภาพใกล้เคียงจุดยุติ ด้วยระยะเวลาคืนสภาพ 30 นาที

การคืนสภาพโดย			X/M (มิลลิกรัม/กรัม)	ร้อยละของถ่าน กัมมันต์ที่เหลือ หลังคืนสภาพ	pH ของ สารละลายจาก การคืนสภาพ
สารละลาย อัลคาไลน์	ความเข้มข้น (%โดยน้ำหนัก)	ปริมาตร (cm ³)			
KOH	10%	13	553	90.07	5.13
		15	563	88.62	5.79
		16	568	87.35	6.87
		17	574	86.93	12.17
		19	571	87.28	13.45
		21	555	87.83	13.50
		23	543	87.60	13.77
NaOH	5%	13	536	86.86	5.09
		16	553	86.34	5.33
		19	558	85.38	5.41
		22	562	85.93	5.76
NaOH	10%	11	563	85.95	5.84
		13	573	85.21	7.37
		15	568	85.30	13.21
		17	552	87.63	13.70

4.1.5 การหาสภาวะของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ที่เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด ครั้งที่ 3

การทดลองนี้ มุ่งเน้นในการที่จะได้มาซึ่งข้อสรุปของงานวิจัยนี้ อันได้แก่ การหาสภาวะที่ก่อให้เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุดจากการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ โดยมีประเด็นที่ใช้ในการพิจารณาวางแผนการทดลอง 2 ประเด็น ได้แก่

1. ผลการทดลองต้องมีความน่าเชื่อถือเพียงพอ : กำหนดให้ทดลอง 4 ตัวอย่างต่อหนึ่งสภาวะการทดลอง (ยกเว้นกรณีที่พิจารณาว่าผลการทดลองไม่อยู่ในช่วงที่น่าสนใจ จะทำการทดลองเพียง 2 ตัวอย่าง) และนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ระดับความเชื่อมั่น (วิธีวิเคราะห์ ดู ภาคผนวก ค)
2. ระยะเวลาของการคืนสภาพ : จากผลการทดลอง 4.1.3 พบว่า เมื่อเวลาของการคืนสภาพมากขึ้น ค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพมากขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งระยะเวลาที่น่าสนใจ คือ ที่ 15 และ 30 นาที จึงกำหนดให้ทำการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ 3 ชุด คือ ที่ระยะเวลาของการคืนสภาพ 15 , 30 และ 60 นาที

ผลการทดลอง

- การคืนสภาพที่ระยะเวลาคืนสภาพ 15 นาที แสดงดังตาราง 4-5 , 4-6 และ 4-7
- การคืนสภาพที่ระยะเวลาคืนสภาพ 30 นาที แสดงดังตาราง 4-8 , 4-9 และ 4-10
- การคืนสภาพที่ระยะเวลาคืนสภาพ 60 นาที แสดงดังตาราง 4-11 , 4-12 และ 4-13

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4-5 ค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M) ของถ่านกัมมันต์จากการคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ที่ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคืนสภาพ 15 นาที

การคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์			X/M (ที่ C = 0.02 N) , มิลลิกรัม/กรัม			
ชนิด	ความเข้มข้น (% wt.)	ปริมาตร (cm ³)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
KOH	10%	13	544	545	-	-
		15	563	553	558	555
		16	570	561	563	564
		17	572	575	570	567
		19	562	561	555	565
		21	540	547	-	-
		23	539	538	-	-
NaOH	5%	13	528	525	-	-
		16	538	533	-	-
		19	534	537	543	539
		22	546	554	543	541
NaOH	10%	11	569	560	565	563
		13	566	570	571	565
		15	544	547	560	543
		17	544	536	-	-

ตาราง 4-6 ค่าร้อยละของถ่านที่เหลือจากการคืบสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคืบสภาพ 15 นาที

การคืบสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์			ร้อยละถ่านที่เหลือจากการคืบสภาพ			
ชนิด	ความเข้มข้น (% wt.)	ปริมาตร (cm ³)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
KOH	10%	13	92.13	91.77	-	-
		15	90.61	92.33	91.51	90.97
		16	88.47	89.04	89.36	89.11
		17	88.20	87.84	88.48	89.07
		19	89.06	89.23	89.74	88.64
		21	89.66	89.16	-	-
		23	89.85	89.45	-	-
NaOH	5%	13	90.13	90.19	-	-
		16	88.87	89.33	-	-
		19	88.94	88.72	88.47	88.76
		22	89.81	88.73	89.44	89.56
NaOH	10%	11	87.21	88.47	88.04	87.84
		13	89.98	89.80	89.35	90.77
		15	90.55	90.13	89.46	90.22
		17	89.88	90.73	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4-7 ค่า pH ของสารละลายที่ได้ภายหลังการคืนสภาพสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ที่ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคืนสภาพ 15 นาที

การคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์			ค่า pH ของสารละลายที่ได้ภายหลังการคืนสภาพ			
ชนิด	ความเข้มข้น (% wt.)	ปริมาตร (cm ³)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
KOH	10%	13	5.23	5.19	-	-
		15	5.83	6.16	6.07	6.12
		16	7.39	8.14	7.81	8.21
		17	13.08	13.10	13.07	13.18
		19	13.32	13.45	13.37	13.31
		21	13.62	13.53	-	-
		23	13.81	13.76	-	-
NaOH	5%	13	5.25	5.21	-	-
		16	5.48	5.49	-	-
		19	5.52	5.59	5.50	5.55
		22	6.11	6.04	6.20	6.14
NaOH	10%	11	6.88	6.84	6.69	7.05
		13	12.65	12.55	11.97	12.37
		15	13.31	13.24	13.29	13.39
		17	13.78	13.75	-	-

ตาราง 4-8 ค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M) ของถ่านกัมมันต์จากการคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ที่ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคืนสภาพ 30 นาที

การคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์			X/M (ที่ C = 0.02 N) , มิลลิกรัม/กรัม			
ชนิด	ความเข้มข้น (% wt.)	ปริมาตร (cm ³)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
KOH	10%	13	552	548	-	-
		15	566	560	570	566
		16	568	575	568	573
		17	583	578	568	571
		19	569	576	566	569
		21	560	556	-	-
		23	541	537	-	-
NaOH	5%	13	540	534	-	-
		16	545	557	-	-
		19	552	557	558	554
		22	554	568	563	551
NaOH	10%	11	555	565	554	570
		13	563	574	576	569
		15	560	564	570	564
		17	550	558	-	-

ตาราง 4-9 ค่าร้อยละของถ่านที่เหลือจากการคืบสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ที่ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคืบสภาพ 30 นาที

การคืบสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์			ร้อยละถ่านที่เหลือจากการคืบสภาพ			
ชนิด	ความเข้มข้น (% wt.)	ปริมาตร (cm ³)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
KOH	10%	13	90.51	90.71	-	-
		15	88.90	89.05	88.81	90.21
		16	87.24	86.81	88.30	88.31
		17	85.93	85.67	87.12	87.24
		19	87.24	86.40	87.31	87.17
		21	86.93	88.09	-	-
		23	87.69	87.23	-	-
NaOH	5%	13	86.16	88.88	-	-
		16	87.34	86.76	-	-
		19	86.59	86.94	86.88	86.23
		22	86.11	85.46	86.04	86.31
NaOH	10%	11	87.58	87.31	87.51	86.54
		13	87.51	85.94	85.97	87.98
		15	86.69	86.03	85.22	86.38
		17	87.16	86.28	-	-

ตาราง 4-10 ค่า pH ของสารละลายที่ได้ภายหลังการคืนสภาพสภาพผ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ที่ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคืนสภาพ 30 นาที

การคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์			ค่า pH ของสารละลายที่ได้ภายหลังการคืนสภาพ			
ชนิด	ความเข้มข้น (% wt.)	ปริมาตร (cm ³)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
KOH	10%	13	5.09	5.19	-	-
		15	5.81	5.85	5.37	5.65
		16	6.79	6.65	6.88	6.69
		17	12.91	7.59	13.09	12.03
		19	13.37	13.05	13.53	13.39
		21	13.40	13.45	-	-
		23	13.72	13.76	-	-
NaOH	5%	13	5.06	5.22	-	-
		16	5.47	5.39	-	-
		19	5.60	5.69	5.52	5.45
		22	6.01	5.72	5.69	6.06
NaOH	10%	11	5.79	5.95	5.94	5.71
		13	7.75	7.29	7.39	7.69
		15	13.24	43.11	13.18	13.04
		17	13.65	13.59	-	-

ตาราง 4-11 ค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M) ของถ่านกัมมันต์จากการคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ที่ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคืนสภาพ 60 นาที

การคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์			X/M (ที่ C = 0.02 N) , มิลลิกรัม/กรัม			
ชนิด	ความเข้มข้น (% wt.)	ปริมาตร (cm ³)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
KOH	10%	13	560	555	-	-
		15	571	568	559	567
		16	569	566	575	569
		17	578	563	577	583
		19	575	571	566	572
		21	558	559	-	-
		23	546	539	-	-
NaOH	5%	13	542	553	-	-
		16	558	555	-	-
		19	556	564	556	564
		22	564	566	551	562
NaOH	10%	11	574	569	568	560
		13	569	579	564	575
		15	563	572	578	555
		17	564	559	-	-

ตาราง 4-12 ค่าร้อยละของถ่านที่เหลือจากการคืบสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ ที่ ความเข้มข้น และ ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคืบสภาพ 60 นาที

การคืบสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์			ร้อยละถ่านที่เหลือจากการคืบสภาพ			
ชนิด	ความเข้มข้น (% wt.)	ปริมาตร (cm ³)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
KOH	10%	13	91.03	91.22	-	-
		15	89.01	89.19	90.12	89.27
		16	87.44	87.23	88.02	87.95
		17	86.12	86.55	86.37	85.71
		19	86.18	86.42	86.80	86.11
		21	87.54	87.62	-	-
		23	88.31	88.65	-	-
NaOH	5%	13	88.03	87.34	-	-
		16	86.43	86.31	-	-
		19	86.01	86.07	85.70	85.53
		22	85.87	85.96	86.56	86.05
NaOH	10%	11	87.62	87.03	87.20	86.56
		13	86.90	86.07	86.89	86.71
		15	87.45	87.00	86.55	87.59
		17	87.52	87.88	-	-

ตาราง 4-13 ค่า pH ของสารละลายที่ได้ภายหลังการคืนสภาพสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ที่ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาของการคืนสภาพ 60 นาที

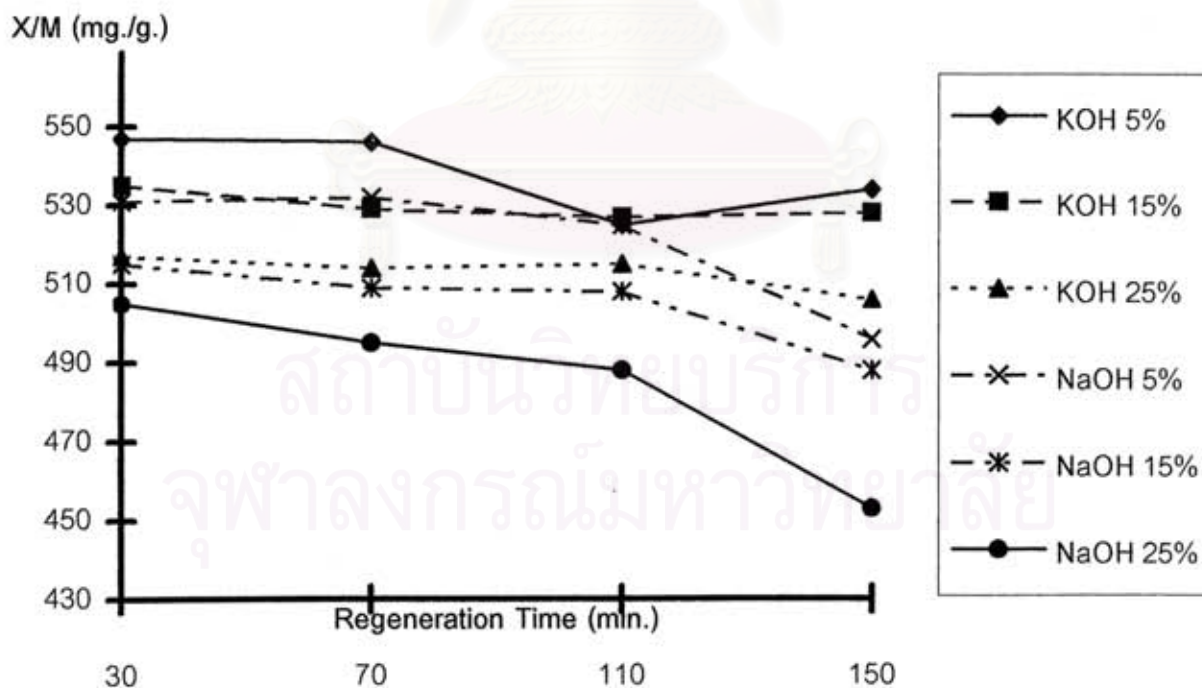
การคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์			ค่า pH ของสารละลายที่ได้ภายหลังการคืนสภาพ			
ชนิด	ความเข้มข้น (% wt.)	ปริมาตร (cm ³)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
KOH	10%	13	5.61	5.52	-	-
		15	5.79	5.93	5.77	5.79
		16	5.70	6.03	5.92	6.46
		17	7.28	6.64	11.16	8.32
		19	13.27	13.24	13.26	13.38
		21	13.55	13.41	-	-
		23	13.64	13.67	-	-
NaOH	5%	13	5.34	5.29	-	-
		16	5.39	5.41	-	-
		19	5.37	5.44	5.42	5.55
		22	5.56	5.52	5.59	5.54
NaOH	10%	11	5.74	6.01	6.03	6.11
		13	7.08	5.59	6.77	6.12
		15	13.17	12.99	13.12	13.06
		17	13.61	13.51	-	-

4.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

4.2.1 การคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยใช้ทั้งสารละลายอัลคาไลน์ และ ตัวทำละลายอินทรีย์

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับจำเพาะ (X/M ที่ $C = 0.02$ N) มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4-1 ซึ่งขัดแย้งไปจากที่ควรจะเป็น นั่นคือ ค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์จากการคืนสภาพควรแปรตามระยะเวลาของการคืนสภาพ(จากทฤษฎี 2.6.4 - ระยะของการสัมผัสกันระหว่างสารละลายอัลคาไลน์และถ่านกัมมันต์) จากความขัดแย้งนี้ คาดว่าเป็นผลมาจากการที่ไม่สามารถกำจัดตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการคืนสภาพให้ออกไปจากถ่านกัมมันต์ได้ เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ (ไม่สามารถจัดหาเครื่องพ่นไอน้ำความดันสูงสำหรับการทดลองได้)

การพิสูจน์ความขัดแย้งนี้ ทำโดยการคืนสภาพโดยใช้สารละลายอัลคาไลน์เพียงอย่างเดียว เพื่อเปรียบเทียบกับ การคืนสภาพ โดยใช้ทั้งสารละลายอัลคาไลน์และตัวทำละลายอินทรีย์ ดังผลการทดลอง 4.1.2



รูปที่ 4 - 1 กราฟแสดงค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M ที่ $C=0.02$ N) เทียบกับเวลาการคืนสภาพ จากการคืนสภาพโดย สารละลายอัลคาไลน์ และตัวทำละลายอินทรีย์(อะซิโตน)

4.2.2 การคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยใช้เฉพาะสารละลายอัลคาไลน์(ไม่ใช่ตัวทำละลายอินทรีย์)

1. เปรียบเทียบกับการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ โดยใช้ทั้งสารละลายอัลคาไลน์ และตัวทำละลายอินทรีย์ด้วย พบว่า
 - 1.1 ค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M ที่ $C = 0.02$ N) ส่วนใหญ่สูงกว่า การทดลองชุดที่ 4.1.1 (ดูจากตารางที่ 4-14 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งสอง ยกเว้นในกรณีที่ความเข้มข้นของสารละลายอัลคาไลน์สูง ได้แก่ KOH 25% โดยน้ำหนัก, NaOH 15% และ 25% โดยน้ำหนัก
 - 1.2 เมื่อระยะเวลาของการคืนสภาพเพิ่มขึ้น แนวโน้มของค่าการดูดซับจำเพาะ (X/M ที่ $C=0.02$ N) จะสูงขึ้นเล็กน้อย นั่นคือ ระยะเวลาของการคืนสภาพมีนัยสำคัญเล็กน้อย (ดังรูปที่ 4-2)
2. การคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์เข้มข้นสูง
 - 1.1 มีค่าร้อยละโดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่เหลือจากการคืนสภาพ(%Remain) สูง เช่น ที่การคืนสภาพโดยความเข้มข้น 25% โดยน้ำหนัก จะมีน้ำหนักถ่านหลังการคืนสภาพสูงกว่าก่อนการคืนสภาพ อันเนื่องมาจากสารละลายมีลักษณะค่อนข้างเหนียว ทำให้เกาะติดกับถ่านกัมมันต์ ซึ่งจากการทดลองจะสังเกตเห็นเป็นคราบขาวเกาะติดอยู่กับถ่านกัมมันต์ภายหลังการคืนสภาพ นั่นคือ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมา คือน้ำหนักของสารประกอบอัลคาไลน์นั่นเอง
 - 1.2 มีค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M ที่ $C=0.02$ N) ต่ำกว่าการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ความเข้มข้นต่ำกว่า ดังผลการทดลองนี้ ค่าการดูดซับจำเพาะจะสูงที่สุดที่ใช้สารละลายอัลคาไลน์เข้มข้น 5 % และลดลงที่ 15 % , 25% ตามลำดับ
3. จากข้อ 1 และ 2 สรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์จากการคืนสภาพลดลง มี 2 กรณี ได้แก่
 - 3.1 การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์(อะซิโตน) สำหรับสกัด Adsorbate ออก แต่เนื่องจากไม่สามารถหาเครื่องฟั่นไอน้ำความดันสูง ซึ่งใช้สำหรับขจัดตัวทำละลายอินทรีย์ออกจาก

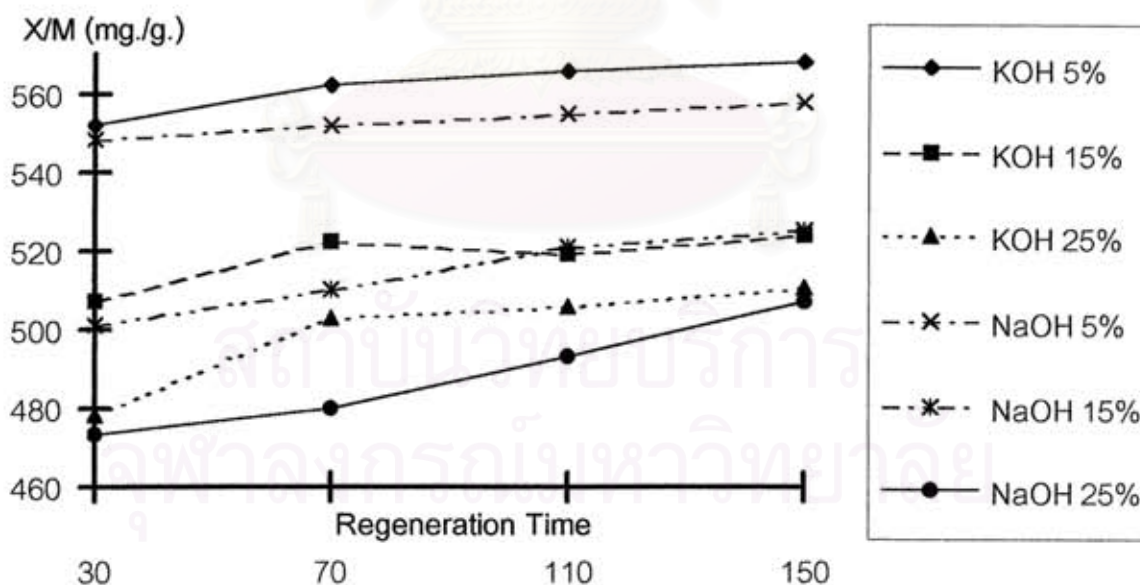
ถ่านกัมมันต์ภายหลังการคืนสภาพ ส่งผลให้มีตัวทำละลายอินทรีย์เหลืออยู่ และเข้าไปจับอยู่กับถ่านกัมมันต์ ดังนั้น การคืนสภาพโดยใช้สารละลายอัลคาไลน์เพียงอย่างเดียว ก่อให้เกิดประสิทธิผลต่อการคืนสภาพสูงกว่าการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ร่วมในการคืนสภาพด้วย

3.2 สารละลายอัลคาไลน์ที่ความเข้มข้นสูงเกินไป จนทำให้เกาะติดเป็นส่วนหนึ่งของถ่านกัมมันต์ นั่นคือ ไม่สามารถเข้าไปดึง Adsorbate ออกมา แต่กลับเกาะติดกับถ่านกัมมันต์ที่ถูกคืนสภาพ

4. จากการพิจารณาค่า pH ของสารละลายที่ได้จากการคืนสภาพ พบว่า

4.1 ที่การใช้สารละลายอัลคาไลน์เข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก จะมีค่า pH ใกล้เคียงจุดยุติมากที่สุด อีกทั้งให้ค่าการดูดซับจำเพาะสูงกว่าที่ความเข้มข้นอื่น

4.2 ที่การใช้สารละลายอัลคาไลน์เข้มข้น 15% โดยน้ำหนัก พบว่า เมื่อเวลาของการคืนสภาพเพิ่มขึ้น ค่า pH จะลดลงเข้าสู่จุดยุติมากขึ้น



รูปที่ 4 - 2 กราฟแสดงค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M ที่ $C=0.02$ N) เทียบกับเวลาการคืนสภาพ จากการคืนสภาพโดย สารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น 5% , 15% , 25% โดยน้ำหนัก

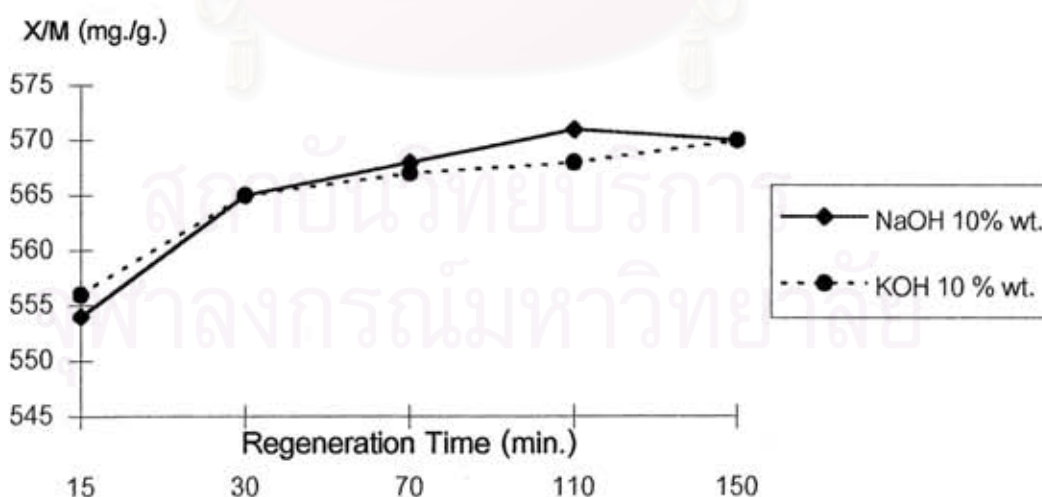
ตาราง 4 - 14 เปรียบเทียบค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M ที่ C=0.02 N) ของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการ
 คืบสภาพ โดยสารละลายอัลคาไลน์ และอะซิโตน กับการคืบสภาพ โดยใช้สารละลายอัลคาไลน์
 เพียงอย่างเดียว

สารละลาย อัลคาไลน์ที่ใช้	เวลาของการคืบสภาพ (นาที)	X/M - คืบสภาพโดย Alkaline Solution & Organic Solvent	X/M - คืบสภาพโดย Alkaline Solution only
KOH 5 % wt.	30	547	552
	70	546	562
	110	525	566
	150	534	568
KOH 15 % wt.	30	535	507
	70	529	522
	110	527	519
	150	528	524
KOH 25 % wt.	30	517	478
	70	514	503
	110	515	506
	150	506	511
NaOH 5 % wt.	30	531	548
	70	532	552
	110	525	555
	150	496	558
NaOH 15 % wt.	30	515	501
	70	509	510
	110	508	521
	150	488	525
NaOH 25 % wt.	30	505	473
	70	495	480
	110	488	493
	150	453	507

4.2.3 การหาสภาวะของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ที่เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด ครั้งที่ 1

จากผลการทดลองพบว่า

1. เมื่อ ระยะเวลาการคืนสภาพเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซับจำเพาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากในช่วง 30 นาทีแรก หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังรูป 4-3 และ ค่าร้อยละน้ำหนัถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพ(%Remain) จะลดลงทุกตัวอย่างการทดลอง
2. เปรียบเทียบค่าการดูดซับจำเพาะของแต่ละช่วงเวลาที่ใช้ในการคืนสภาพ พบว่า เวลาของการคืนสภาพที่น่าสนใจคือ 30 นาที เนื่องจากแนวโน้มของค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์ภายหลังการคืนสภาพจะลดลงเรื่อยๆ โดยเฉพาะตั้งแต่ 70 นาทีขึ้นไป ค่าการดูดซับจำเพาะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เช่น การคืนสภาพโดย KOH 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการคืนสภาพ 15 นาที ค่าการดูดซับจำเพาะ เท่ากับ 560 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ระยะเวลาการคืนสภาพ 150 นาที (10 เท่า) ค่าการดูดซับจำเพาะ= 570 มิลลิกรัมต่อกรัม (เพียง 1.02 เท่า)
3. ค่า pH ของสารละลายจากการคืนสภาพจะลดลงเมื่อระยะเวลาของการคืนสภาพเพิ่มขึ้น



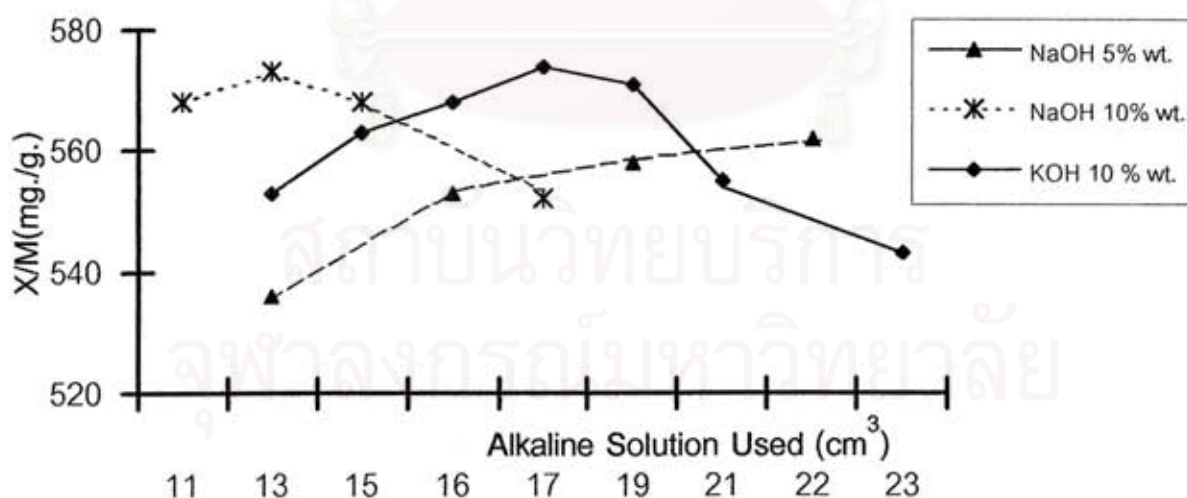
รูปที่ 4 - 3 กราฟแสดงค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M ที่ C=0.02 N) เทียบกับเวลาการคืนสภาพ จากการคืนสภาพโดย สารละลายอัลคาไลน์ที่ความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาของการคืนสภาพ 15-150 นาที

4.2.4 การหาสภาวะของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ที่เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด ครั้งที่ 2

จากผลการทดลอง (ดังรูปที่ 4-4) พบว่า ที่เวลาของการคืนสภาพ 30 นาที สภาวะที่ก่อให้เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุดของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์ แต่ละชนิด ได้แก่

1. การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ปริมาตร 13 ลูกบาศก์-เซนติเมตร
2. การใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ปริมาตร 17 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ซึ่งทั้ง 2 สภาวะ เป็นจุดที่ค่า pH ของสารละลายที่ได้จากการคืนสภาพ เข้าใกล้จุดยุติ อีกทั้งค่า % ของถ่านกัมมันต์ที่เหลือจากการคืนสภาพมีค่าต่ำสุด นั่นคือ กรดอะซิติกที่ถูกดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ถูกกำจัดออกไปโดยสารละลายอัลคาไลน์จากถ่านจนเหลือน้อยที่สุด ที่ปริมาณสารละลายอัลคาไลน์ที่พอดีกัน หรืออีกนัยหนึ่ง คือ มีสารตกค้างเหลือที่ถ่านกัมมันต์น้อยที่สุด



รูปที่ 4 - 4 กราฟแสดงค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M ที่ C=0.02 N) เทียบกับเวลาการคืนสภาพ จากการคืนสภาพโดย สารละลายอัลคาไลน์โดยการปรับปริมาตร ที่ความเข้มข้น 5 ,10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาของการคืนสภาพ 30 นาที

4.2.5 การหาสภาวะของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ที่เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด ครั้งที่ 3

จากการวิเคราะห์ระดับความเชื่อมั่นของผลการทดลอง (วิธีการวิเคราะห์ ดู ทฤษฎี 2.8, ผลการวิเคราะห์ ดูภาคผนวก ค) พบว่า ผลการวิเคราะห์ ความน่าเชื่อถือของค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์ภายหลังการคืนสภาพที่ได้จากการทดลอง มีค่าความเชื่อมั่นเกินกว่าร้อยละ 85 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในทางสถิติ นั่นคือ ผลการทดลองนี้มีความน่าเชื่อถือเพียงพอต่อการนำไปประมวลผลต่อไป ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

- โดยวิธี Test-retest มีค่าความเชื่อมั่น มากกว่า ร้อยละ 94 ทุกชุดการทดลอง
- โดยวิธี Q Test กำหนดที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 พบว่าข้อมูลการทดลองชุดนี้ยอมรับได้ในการนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง (มีเพียง 1 ผลการทดลองเท่านั้นที่ถูกตัดออกไป)

เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซับจำเพาะ (ที่ $C=0.02$ N) ของถ่านกัมมันต์ภายหลังการคืนสภาพแต่ละชุดการทดลอง โดยใช้ค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนของตัวอย่างการทดลองหนึ่งๆ (ดังตาราง 4-15) สรุปได้ดังนี้

- ค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพ มีค่าสูงสุด จาก 2 สภาวะการคืนสภาพ ได้แก่ การคืนสภาพโดยสารละลาย KOH ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 17 ลูกบาศก์เซนติเมตร ระยะเวลาของการคืนสภาพ 30 นาที และ 60 นาที
- การพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการคืนสภาพ โดยการศึกษาประสิทธิภาพของการคืนสภาพร่วมกับปัจจัยอื่น ได้แก่ ค่าใช้จ่ายจากสารเคมี(ชนิดและปริมาณ) เวลาที่ใช้ในการคืนสภาพ และ ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหลือจากการคืนสภาพ มาดำเนินการวิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายเทียบกับผลตอบแทนที่ได้รับ (รายละเอียดการวิเคราะห์ ดูภาคผนวก ง , ผลการวิเคราะห์ดังตาราง 4-16) พบว่า สภาวะที่คุ้มค่าที่สุดของการคืนสภาพ คือ ที่สภาวะการคืนสภาพโดย
 1. สารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้น 5% wt. ปริมาตร 16 cm³ ระยะเวลาการคืนสภาพ 30 นาที

2. สารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้น 10% wt. ปริมาตร 11 cm³ ระยะเวลาการคั้นสภาพ 15 นาที

- ตาราง 4-17 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ผ่านมาที่เวลาการคั้นสภาพมากกว่า 60 นาที และผลการทดลองชุดนี้ ซึ่งพบว่า ที่ระยะเวลาของการคั้นสภาพมากกว่า 30 นาที ค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์จากการคั้นสภาพ เพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เวลาที่น้อยสำคัญเพียงเล็กน้อย

ตาราง 4 -15 ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดซับจำเพาะของผลการทดลองที่ได้รับการวิเคราะห์ว่ายอมรับได้ จากการทดลองคั้นสภาพถ่านกัมมันต์โดยสารละลายอัลคาไลน์ ที่ความเข้มข้น และ ที่ปริมาตรต่างๆ ด้วยระยะเวลาการคั้นสภาพ 15 , 30 , 60 นาที

การคั้นสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์			X/M เฉลี่ย(ที่ C=0.02 N) ,mg./g.		
ชนิด	ความเข้มข้น	ปริมาตร(cm ³)	15 min.	30 min.	60 min.
KOH	10%	13	545	550	558
		15	557	566	567
		16	565	571	570
		17	571	575	575
		19	561	570	571
		21	544	558	559
		23	539	539	543
NaOH	5%	13	527	537	548
		16	536	551	557
		19	538	555	560
		22	546	559	561
NaOH	10%	11	564	561	568
		13	568	571	572
		15	545	565	570
		17	540	554	562

ตาราง 4-16 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเทียบกับผลตอบแทนที่ได้จากการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่
สภาวะต่างๆ

การคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์			ผลกำไร(หรือขาดทุน) ของการคืนสภาพเพื่อได้มาซึ่งถ่าน กัมมันต์ 1 กิโลกรัม		
ชนิด	ความเข้มข้น	ปริมาตร(cm ³)	15 นาที	30 นาที	60 นาที
KOH	10%	13	-33.39	-37.13	-41.83
		15	-42.52	-44.39	-55.52
		16	-48.89	-52.73	-65.48
		17	-54.54	-61.07	-73.85
		19	-79.21	-82.23	-95.03
		21	-109.11	-108.64	-119.7
		23	-130.25	-141.54	-147.79
NaOH	5%	13	38.47	39.10	35.59
		16	38.55	43.02	35.07
		19	33.47	38.81	30.33
		22	33.56	35.27	24.70
NaOH	10%	11	43.88	35.07	28.34
		13	39.34	33.29	21.76
		15	13.16	18.78	11.55
		17	0.50	1.77	-3.09

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4 -17 การเปรียบเทียบค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์ จากการคืนสภาพ ที่ระยะเวลา มากกว่า 60 นาที(จากการทดลองชุดก่อนๆ) เทียบกับ 30 นาที และ 60 นาที (จากการทดลองชุดนี้)

สภาวะการคืนสภาพ	X/M (ที่ C=0.02 N) ,mg./g.			
	ผลการทดลองที่ 4.1.5		ผลการทดลองก่อนๆ	
	30 min.	60 min.	70 min.	110 min.
การคืนสภาพโดย KOH 10% ปริมาตร 15 (cm ³)	566	567	567 (4.1.3)	568 (4.1.3)
การคืนสภาพโดย NaOH 5% ปริมาตร 16 (cm ³)	551	557	552 (15cc./4.1.2)	555 (15cc./4.1.2)
การคืนสภาพโดย NaOH 10% ปริมาตร 15 (cm ³)	565	570	568 (4.1.3)	571 (4.1.3)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. การคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับกรดอะซิติกเข้มข้นแล้ว ด้วยวิธีการทางเคมี โดยการใช้สารละลายอัลคาไลน์และตัวทำละลายอินทรีย์ พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าการดูดซับจำเพาะต่ำกว่า การคืนสภาพโดยใช้สารละลายอัลคาไลน์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือ ส่งผลให้ไม่สามารถกำจัดตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการคืนสภาพให้หมดไปจากถ่านกัมมันต์ได้
2. เนื่องจากสารที่ถูกดูดซับในถ่านกัมมันต์มีสมบัติเป็นกรด(กรดน้ำส้มเข้มข้น) และสารละลายอัลคาไลน์ที่ใช้ในการคืนสภาพมีสมบัติเป็นเบส (โซเดียมไฮดรอกไซด์, โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาที่สามารถหาเงื่อนไข ซึ่งให้ประสิทธิภาพของการคืนสภาพมีค่าสูงสุด โดยการพิจารณาจากค่า pH ของสารละลายที่ได้จากการคืนสภาพ ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวก็คือ จุดยุติ(pH = 7) นั่นคือปริมาณเบสที่ใช้ทำปฏิกิริยาพอดี หรือเกือบพอดีกับกรดที่อยู่ในถ่านกัมมันต์ ซึ่งผลการทดลองจากงานวิจัยนี้ให้ผลสอดคล้องกับข้อสรุปข้างต้น
3. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา อันได้แก่ ชนิดของสารละลายอัลคาไลน์, ความเข้มข้นของสารละลายอัลคาไลน์, ระยะเวลาที่ใช้ในการคืนสภาพ ล้วนมีผลต่อค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพทั้งสิ้น ดังนี้
 - 3.1 ชนิดของสารละลายอัลคาไลน์ : ที่ความเข้มข้น และ ระยะเวลาของการคืนสภาพเท่ากัน พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพโดย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) มีค่าการดูดซับจำเพาะสูงกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
 - 3.2 ความเข้มข้นของสารละลายอัลคาไลน์
 - 3.2.1 การใช้สารละลายอัลคาไลน์เข้มข้นเกินไป เช่น ที่ ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ทำให้ประสิทธิภาพของการคืนสภาพต่ำลง เนื่องจาก สารละลายจะมี

ความหนืดมาก และเกาะติดกับถ่านกัมมันต์ สังเกตได้จากคราบขาวที่อยู่บนถ่านหลังการคืนสภาพ, ค่าน้ำหนักของถ่าน กัมมันต์ภายหลังการคืนสภาพมากกว่าก่อนการคืนสภาพ และ ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพมีค่าการดูดซับจำเพาะต่ำ

3.2.2 ความเข้มข้นของสารละลายอัลคาไลน์ ช่วง ร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนัก เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการใช้งาน คือ ปริมาตรที่ใช้เหมาะสมกับปริมาณถ่านกัมมันต์ที่นำมาคืนสภาพ และมีความหนืดต่ำ

3.3 ระยะเวลาของการคืนสภาพ : อิทธิพลของเวลาของการคืนสภาพต่อค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์ มีนัยสำคัญอย่างเห็นได้ชัดในช่วง 15-30 นาที โดยที่การเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์ เมื่อใช้เวลา 15 นาที ไปเป็น 30 นาที จะเพิ่มขึ้นมากกว่า กรณีการเพิ่มเวลาการคืนสภาพจาก 30 นาที ไปเป็น 70 นาที และที่เวลาของการคืนสภาพมากกว่า 70 นาที ค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์จะเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4. จากงานวิจัยนี้สภาวะที่ทำให้ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพมีค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด คือ การคืนสภาพโดย KOH เข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 17 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อถ่านกัมมันต์ใช้แล้ว 10 กรัม ระยะเวลาของการคืนสภาพ 30 นาที และ 60 นาที
5. สภาวะที่เหมาะสมของการคืนสภาพในแง่ของการนำไปใช้งานจริง พิจารณาจาก 4 ปัจจัย ได้แก่ ประสิทธิภาพ, เวลาที่ใช้, ค่าใช้จ่าย และปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหลือภายหลังการคืนสภาพ พบว่า การคืนสภาพโดย NaOH เข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ปริมาตร 11 ลูกบาศก์เซนติเมตร/ถ่านกัมมันต์ใช้แล้ว 10 กรัม ระยะเวลาของการคืนสภาพ 15 นาที เป็นสภาวะคุ้มค่าที่สุดของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ร่วมในการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว อาจทำให้ประสิทธิภาพของการคืนสภาพดีกว่าการใช้สารละลายอัลคาไลน์เพียงอย่างเดียว (ดังผลจากงานวิจัยนี้) หากสามารถกำหนดวิธีกำจัดตัวทำละลายอินทรีย์ออกจากถ่านกัมมันต์ได้
2. สำหรับงานวิจัยนี้ การหาสภาวะที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพของการคืนสภาพ(ค่าการดูดซับจำเพาะ) สูงสุด หากจากการกำหนดความเข้มข้นคงที่ และปรับปริมาตร ซึ่งอาจมีสภาวะอื่นที่ให้ผลใกล้เคียงกัน เช่น ที่ปริมาตรเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ความเข้มข้นลดลงเล็กน้อย
3. การหาสภาวะที่เหมาะสมของการคืนสภาพในแง่ของการนำไปใช้งานจริงอาจเปลี่ยนแปลงได้ หากมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของราคาสารเคมี, ค่าแรงงาน เป็นต้น
4. ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณผลของการทดลองนั้น อ้างอิงจากการทดลองกับถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วปริมาณน้อย(10 กรัม) นั่นคือ ในการนำไปใช้จริง(ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วมากขึ้น) จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยอื่นที่อาจมีผลกระทบต่อ การคืนสภาพด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- บุญชัย ตระกูลมหชัย.(2537). การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาตาลโตนดในฟลูติไดซ์เบด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รติกร อิศระเสนีย์.(2539). การผลิตถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ใช้แล้วโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ. (2540). สถิติวิทยาทางการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 3. พระนคร : สุวีริยาสาส์น.
- วันเพ็ญ ก่องกิตติไพศาล.(2528). การดูดซับไอระเหยของนอร์มัลบิวทีลอะซีเตดด้วยแอคติเวตเตดคาร์บอน วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Adamson, A.W. (1967). Physical Chemistry of Surfaces. New York : Interscience Publishers.
- Douglas A. Skoog and Donald M. West (1974). An Introduction to Analytical Chemistry , 2nd Edition.
- Robert, T.D. and Anthony , F.M. (1986). Activated Carbon , Water Technology, Vol. 9, pp. 26-29
- Suffet, I.H. and McGuire, M.J.(1980). Activated Carbon Adsorption, Vol. 1, Ann Arbor Science, Ann Arbor.

- Supirak Sirisithichote.(1996). Surfactant-Enhanced Carbon Regeneration in Liquid Phase Applications. Master's Thesis, The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University.
- Sutikno, T. And Himmelstein, K.J. (1983). Desorption of Phenol from Activated Carbon by Solvent Regeneration. Ind. Eng. Chem. Fundam. Vol. 22, pp. 420-425.
- Suzuki, M.(1990). Adsorption Engineering. Elsevier Science Publishing Company Inc., New York.
- Wankat, P.C., and Partin, L.R. (1980). Process for Recovery of Solvent Vapors with Activated Carbon , Ind. Eng. Chem. Process Design and Development, Vol. 19.
- Yehaskel, A.(1978) , Activated Carbon : Manufacture and Regeneration , Park Ridge, New Jersey : Noyes Data Corporation.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ค่าไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

การวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน ซึ่งสมมติว่าเป็นสารพิษในน้ำตามวิธี ASTM D 4607-86 รายละเอียดการวิเคราะห์ มีดังนี้

1. สารเคมีที่ใช้

- 1.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ซึ่งเตรียมโดย ตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจำนวน 70 มิลลิลิตร เทใส่น้ำกลั่นที่มีปริมาตร 550 มิลลิลิตร
- 1.2 น้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เตรียมโดยชั่งแป้ง 1 กรัม ละลายด้วยน้ำร้อน จนมีน้ำหนักเป็น 10 กรัม น้ำแป้งที่เตรียมได้จะใช้ภายในวันที่เตรียมเท่านั้น
- 1.3 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) 24.820 กรัม ในน้ำ 75 มิลลิลิตร เติมโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.1 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1000 มิลลิลิตรด้วยขวดวัดปริมาตร
- 1.4 สารละลายไอโอดีนเข้มข้น 0.100 ± 0.001 นอร์มัล เตรียมโดยละลายไอโอดีน 12.700 กรัม และ โพแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 19.10 กรัม ด้วยน้ำ 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 4 ชั่วโมงจนผลึกไอโอดีนละลายหมด แล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ด้วยขวดวัดปริมาตร
- 1.5 สารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตเข้มข้น 0.100 นอร์มัล เตรียมโดยการอบโพแตสเซียมไอโอเดตที่ 110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ แล้วชั่งมา 3.5667 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร

2. วิธีเทียบมาตรฐานสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

- 2.1 ปิเปตสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดต 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมโพแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2 กรัม เขย่าให้ละลาย เติมกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 5 มิลลิลิตร
- 2.2 ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติ คือ จุดที่สารละลายไม่มีสี

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต คำนวณจาก

$$N_1 = (P \times R) / S$$

โดย N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต (นอร์มัล)

P = ปริมาตรสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดต (มิลลิลิตร)

R = ความเข้มข้นของสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดต (นอร์มัล)

S = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรต (มิลลิลิตร)

3. วิธีเทียบมาตรฐานสารละลายไอโอดีน

ปิเปตสารละลายไอโอดีน 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติ คือ จุดที่สารละลายไม่มีสี

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไอโอดีน คำนวณจาก

$$N_2 = (P \times R) / S$$

โดย N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มัล)

P = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)

R = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต (นอร์มัล)

S = ปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ไตเตรต (มิลลิลิตร)

4. วิธีวิเคราะห์

- 4.1 บดและคัดขนาดตัวอย่างให้ละเอียดน้อยกว่า 60 เมช (0.246 มิลลิเมตร)
- 4.2 อบตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิเคเตอร์
- 4.3 ชั่งและบันทึกน้ำหนักตัวอย่างเท่ากับ M ให้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (คือมีความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม) ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ซึ่งมีจุดปิด
- 4.4 ใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกจำนวน 10 มิลลิลิตร (ตรวจด้วยปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดประมาณ 10 วินาที แก้วขวดเบาๆ เพื่อให้ผงถ่านกัมมันต์ทุกส่วนชุ่มด้วยสารละลาย เพื่อกำจัดเถ้าหรือซัลเฟอร์ออกจากผิวของถ่านกัมมันต์

หมายเหตุ ต้องชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง 3 ค่าตัวอย่าง เพื่อให้ได้ค่า C มีค่า น้อยกว่า, เท่ากับ และ มากกว่า 0.02 (น้ำหนักประมาณของตัวอย่าง ดูจากรูปที่ ก.1)

- 4.5 ใส่สารละลายไอโอดีน 100 มิลลิลิตร ปิดจุกแล้วเขย่าแรงๆ เป็นเวลา 30 วินาที
- 4.6 กรองด้วยกระดาษกรองวัตต์แมน เบอร์ 42 ทิ้งสารละลายที่กรองได้ 20 มิลลิลิตรแรก
- 4.7 ดูดสารละลายที่กรองได้ 50 มิลลิลิตร ด้วยปิเปต มาทำการไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติ คือ สารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้เป็น มิลลิลิตร (S)
- 4.8 คำนวณค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M) และความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน(C) ได้จาก

$$X/M \text{ (มิลลิกรัม/กรัม)} = (1269.30/M) - (2.2) (12.693) (S/M)$$

$$C = (0.1/50)S$$

นำค่า X/M ที่ได้ทั้งสามค่ามาสร้างกราฟระหว่างแกนราบ คือ log C แกนตั้งฉากคือ log[X/M] จะได้เส้นความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ตำแหน่งที่ C = 0.02 หรือ log C = -1.699 จะทราบค่าบนแกนตั้งฉาก สมมติเท่ากับ Y นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า IA ดังนี้

$$IA \text{ (มิลลกรัม/กรัม)} = 10^Y$$

ตัวอย่างการคำนวณแสดงในรูปที่ ก.2

FIND M FOR CALCULATE IODINE NUMBER BY USING ASTM D4607-86

M				M			
E	C=0.01	C=0.02	C=0.03	E	C=0.01	C=0.02	C=0.03
300	3.766	3.300	2.835	1550	0.729	0.639	0.549
350	3.228	2.829	2.430	1600	0.706	0.619	0.531
400	2.824	2.475	2.126	1650	0.684	0.600	0.515
450	2.510	2.200	1.890	1700	0.664	0.582	0.500
500	2.259	1.980	1.701	1750	0.645	0.566	0.486
550	2.054	1.800	1.546	1800	0.628	0.550	0.472
600	1.883	1.650	1.417	1850	0.610	0.535	0.460
650	1.738	1.523	1.308	1900	0.594	0.521	0.447
700	1.614	1.414	1.215	1950	0.579	0.508	0.436
750	1.506	1.320	1.134	2000	0.565	0.495	0.425
800	1.412	1.237	1.063	2050	0.551	0.483	0.415
850	1.329	1.164	1.000	2100	0.538	0.471	0.405
900	1.255	1.100	0.945	2150	0.525	0.460	0.396
950	1.189	1.042	0.895	2200	0.513	0.450	0.386
1000	1.130	0.990	0.850	2250	0.502	0.440	0.378
1050	1.076	0.943	0.810	2300	0.491	0.430	0.370
1100	1.027	0.900	0.773	2350	0.481	0.421	0.362
1150	0.982	0.861	0.739	2400	0.471	0.412	0.354
1200	0.941	0.825	0.709	2450	0.461	0.404	0.347
1250	0.904	0.792	0.680	2500	0.452	0.396	0.340
1300	0.869	0.761	0.654	2550	0.443	0.388	0.333
1350	0.837	0.733	0.630	2600	0.434	0.381	0.327
1400	0.807	0.707	0.607	2650	0.426	0.374	0.321
1450	0.779	0.683	0.586	2700	0.418	0.367	0.315
1500	0.753	0.66	0.567	2750	0.411	0.360	0.309

รูปที่ ก.1 น้ำหนักประมาณของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ค่าไอโอดีน

ที่มา : บุญชัย ตระกูลมหชัย(2537) : 168

Iodine Calculation Program(ASTM4607-86)

```

[Sodium thiosulfate std. soln],N1      0.1000 N
[Iodine std. soln],N2                 0.1000 N
A                                       1269.3 mg
B                                       12.693 mg
Filtrate of iodine after filter,F      50 ml
Dilution factor(110->50),DF          2.2

```

```

*****
NAME      Wt of      vol.      vol. V of sod.      C      X/M      I2 No.
          sample    of HCl    initial I2    thio.sul.      (mg/g)  (mg/g)
          M(g)      (ml)      I2,(ml)      S,(ml)
*****
29 APRIL 36
02#6     1.2332     10.0     100.0     5.8     0.0116     897.94
          1.1102     10.0     100.0     7.3     0.0146     959.69     1043.44
          0.9341     10.0     100.0     10.3    0.0206     1050.93
*****

```

Linear Regression Program

	X log C	Y log(X/M)	X ²	XY
#1	-1.9355	2.95324	3.74632	-5.7161
#2	-1.8356	2.98213	3.36960	-5.4741
#3	-1.6861	3.02157	2.84304	-5.0947
SUM	-5.4573	8.95695	9.95896	-16.285

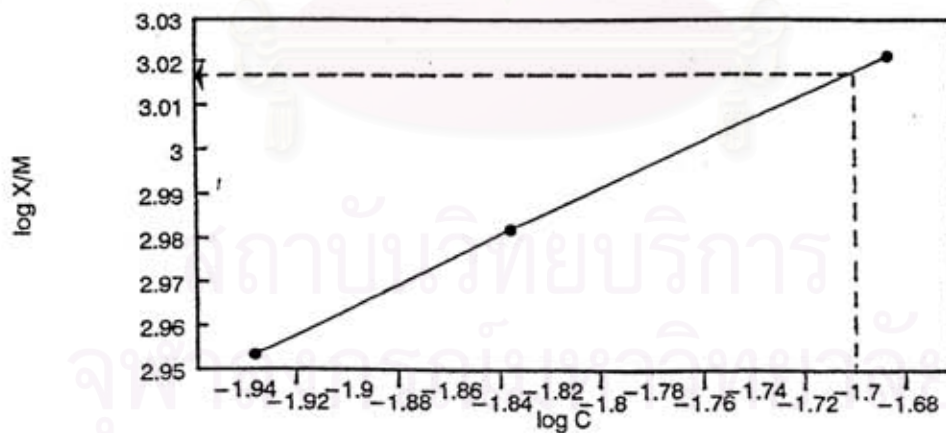
```

B = 0.2732
A = 3.4826
C=0.02-> X=log(0.02) = -1.6990
log(X/M) = 3.0185

```

filename; I2CALast

IODINE ADSORPTION ISOTHERM



รูปที่ ก. 2 ตัวอย่างการคำนวณค่า IA

ที่มา : บุญชัย ตระกูลมหชัย(2537) : 169

ภาคผนวก ข

ศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับถ่านกัมมันต์

abrasion resistance	คุณสมบัติของอนุภาคที่ต้านทานการเสียดสี โดยความเสียดทาน
absorption	ขบวนการซึ่งโมเลกุลของไหลถูกดูดซึมโดยของเหลวหรือ ของแข็ง และแผ่กระจายไปทั่วของเหลวหรือของแข็งนั้น
accelerated adsorption tests	การทดสอบการดูดซับที่สภาวะรุนแรงกว่าการใช้งานที่คาดไว้ เพื่อให้ถึงจุดยุติโดยเร็วขึ้น
accelerated service life	เวลาที่ใช้ในการทดลองดูดซับแบบเร่งจนกระทั่งถึงจุดยุติ
acid-extractable material	สารซึ่งสามารถละลายด้วยกรดภายใต้สภาวะเฉพาะ
activated carbon	สารประเภทถ่านซึ่งถูกผลิตโดยขบวนการที่เพิ่มคุณสมบัติในการดูดซับ
activation	ขบวนการที่สารถูกทำให้มีคุณสมบัติดูดซับดีขึ้น
activity	เกณฑ์ทั่วไปที่ใช้อธิบายความสามารถในการดูดซับ
adsorbate	สารใดๆ ซึ่งถูกหรือสามารถถูกดูดซับ
adsorbent	ของแข็งซึ่งมีความสามารถทำให้ความเข้มข้นของสารอื่นบนผิวของแข็งมีปริมาณมากขึ้น
adsorption	ขบวนการซึ่งโมเลกุลของไหลถูกทำให้เข้มข้นบนผิวของสารดูดซับโดยแรงทางเคมี หรือ กายภาพ หรือทั้งสองแบบ
ash	ส่วนที่เหลือหลังจากการเผาไหม้สารภายใต้สภาวะเฉพาะ
breakpoint	การปรากฏครั้งแรกของสารถูกดูดซับที่ไหลออกมาภายใต้สภาวะที่กำหนด

Channeling	การไหลของของไหลผ่านเส้นทางที่ต้านทานการไหลต่ำ เนื่องจากการจัดตัวไม่เป็นระเบียบ รูปร่าง และ ขนาดของอนุภาค ผิดปกติ ผลจากผนังของคอลัมน์ และอื่นๆ
chemisorption	การยึดติดของสารถูกดูดซับบนผิวของแข็ง โดยแรงซึ่งมีระดับพลังงานใกล้เคียงพันธะเคมี
coadsorption	การดูดซับขององค์ประกอบ 2 หรือมากกว่า 2 ตัว บนสารดูดซับ
countercurrent adsorption	ขบวนการดูดซับ ซึ่งการไหลของของไหลมีทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของสารดูดซับ
degassing	การขจัดก๊าซ
density , absolute	มวลภายใต้สภาวะที่กำหนดของปริมาตรหนึ่งหน่วยของแข็ง ซึ่งไม่รวมปริมาตรรูพรุนและที่ว่างภายในอนุภาค
density , apparent	มวลของแข็งซึ่งมีปริมาตรหนึ่งหน่วย ซึ่งประกอบด้วยรูพรุนและที่ว่างภายในอนุภาคและอนุภาคของแข็ง
density , particle	มวลของของแข็งที่มีปริมาตรหนึ่งหน่วยซึ่งรวมปริมาตรรูพรุนแต่ไม่รวมที่ว่างภายในอนุภาค
desorption	การแยกตัวของสารถูกดูดซับจากสารดูดซับ
dosage	ปริมาณของสารต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักหรือปริมาตรของไหลซึ่งถูกดูดซับ
dry basis	ไม่รวมความชื้น
electrophoresis	การเคลื่อนย้ายวัสดุในรูปของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซ ซึ่งกระจัดกระจายอยู่ไปสู่ขั้วใดขั้วหนึ่งของอิเล็กโทรด เนื่องจากอิทธิพลของแรงดันไฟฟ้า
Filterability	อัตราซึ่งอนุภาคสามารถแยกจากการผสมโดยผ่านตัวกลางเลือกผ่าน

Freundlich adsorption isotherm	<p>ความสัมพันธ์ในรูปลอการิทึมของปริมาณองค์ประกอบ ซึ่งถูกดูดซับต่อหน่วยสารถูกดูดซับกับความเข้มข้นขององค์ประกอบนั้น ที่สมดุลย์และที่อุณหภูมิคงที่มีสมการเส้นตรงคือ</p> $X/M = kC^n$ <p>X = ปริมาณที่ถูกดูดซับ M = ปริมาณของสารดูดซับ C = ความเข้มข้น k และ n = ค่าคงที่</p>
Granular activated carbon hardness	<p>ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 80 เมช เกณฑ์ทั่วไป ที่เกี่ยวกับความต้านทานของอนุภาค ต่อการแตกหัก ซึ่งวัดโดยวิธีการเฉพาะ</p>
heat of adsorption	<p>ความร้อนซึ่งปล่อยออกมาระหว่างการดูดซับ</p>
hydrolytic adsorption	<p>การดูดซับกรดหรือด่าง ซึ่งแตกตัวให้อิออนจำนวนน้อย จากการไฮโดรไลซิสของสารประกอบเกลือบางชนิดในสารละลายน้ำ</p>
ignition temperature	<p>อุณหภูมิต่ำสุดซึ่งการเผาไหม้สามารถเกิดได้เอง</p>
impact strength	<p>คุณสมบัติของอนุภาคที่ต้านทานความแตกหักเมื่อถูกแรงกระแทก</p>
isotherm	<p>ความสัมพันธ์ปริมาณที่ถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยของสารดูดซับกับความเข้มข้นที่สมดุลย์หรือความดันที่สมดุลย์เมื่ออุณหภูมิคงที่</p>
macropore	<p>รูพรุนในถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 5,000 Å</p>

micropore	รูพรุนในถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 40 \AA
moisture content	ปริมาณน้ำในสารซึ่งถูกวัดได้โดยวิธีการที่กำหนด
monomolecular layer	แผ่นบางๆ ของสารที่ถูกดูดซับไว้ มีความหนาหนึ่งโมเลกุล
multimolecular layer	แผ่นบางๆ ของสารที่ถูกดูดซับ ซึ่งมีความหนามากกว่าหนึ่งโมเลกุล
physical adsorption	การเกาะของสารถูกดูดซับบนผิวของแข็งโดยแรงซึ่งมีพลังงานเท่ากับการกลั่นตัว
pore diameter	เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนในแบบจำลอง ซึ่งรูพรุนถูกสมมติว่ามีรูปร่างเป็นทรงกระบอก
pores	ช่องแคบๆ ในอนุภาคของสารดูดซับ ซึ่งมีลักษณะเป็นโครงข่ายที่ซับซ้อน
pore volume	ปริมาตรของรูพรุนต่อน้ำหนักของสารดูดซับ
powdered activated carbon	ถ่านกัมมันต์ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 80 เมช
reactivation	ขบวนการออกซิเดชัน เพื่อให้สารดูดซับซึ่งใช้งานแล้ว มีคุณสมบัติในการดูดซับอีก
relative efficiency	อัตราความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับที่สนใจกับสารดูดซับอ้างอิง
retentivity	ความสามารถของสารดูดซับที่จะต้านทานการคายการดูดซับของสารถูกดูดซับ
surface area(B.E.T)	พื้นที่รวมของของแข็งที่ถูกคำนวณโดยสมการ บี.อี.ที.
surface oxides	ออกซิเจนซึ่งประกอบเป็นสารเชิงซ้อนที่ผิวสารดูดซับ
threshold odor test	วิธีประเมินระดับกลิ่นของของไหลโดยการทำให้อัจฉางด้วยของไหลซึ่งไม่มีกลิ่น

transitional pore

รูพรุนในถ่านกัมมันต์ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 10 ถึง 5,000

wettability

อัตราซึ่งอนุภาคสามารถถูกทำให้เปียกตัว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของผลการทดลอง

1. Test-retest : ในกรณีของผลการทดลอง 2.1.5 มีผลการทดลอง 4 กลุ่ม วิเคราะห์โดยใช้ค่าของค่ากลาง (ผลการวิเคราะห์แสดงใน ตาราง ค.1 ค.2)
2. Q Test : ใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่มีค่าเบี่ยงเบนไปจากกลุ่มมาก ส่วนกลุ่มข้อมูลที่มีการกระจายคงที่ หรือไม่มีค่าใดที่แตกต่างไปจากกลุ่ม จะไม่นำมาพิจารณา (ผลการวิเคราะห์แสดงในตาราง ค.3, ค.4 และ ค.5)

จากผลการวิเคราะห์ โดยวิธี Test-retest พบว่า ค่าความเชื่อมั่นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทั้งนี้ เนื่องจากค่าความเชื่อมั่นของการวิเคราะห์ อยู่ในระดับสูง(มากกว่า ร้อยละ 94) ประกอบกับผลการวิเคราะห์โดยวิธี Q Test พบว่า ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ข้อมูลเกือบทั้งหมดเป็นข้อมูลที่ยอมรับได้ มีข้อมูลเพียง 1 ค่าเท่านั้นที่ถูกปฏิเสธ และได้ตัดออกจากผลการทดลองที่ให้นำไปวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป

ดังนั้น ในการวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัยนี้ จะใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลการทดลองที่ยอมรับได้ในแต่ละกลุ่มเป็นตัวแทนในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ดังตาราง ค.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.1 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นที่เริ่มต้นโดยวิธีสอบซ้ำ ของผลการทดลอง 4.1.5

ชนิด	สารละลายยาลดค่าไลนั	ใช้ไป(cm ³)	X/M (C=0.02 N) เวลาคืนสภาพ 15 นาที				X/M (C=0.02 N) เวลาคืนสภาพ 30 นาที				X/M (C=0.02 N) เวลาคืนสภาพ 60 นาที				
			X ₁	Y ₁	คู่ที่ไม่ถูกเลือก	X ₂	Y ₂	คู่ที่ไม่ถูกเลือก	X ₃	Y ₃	คู่ที่ไม่ถูกเลือก	X ₃	Y ₃	คู่ที่ไม่ถูกเลือก	
KOH	10	13	544	545	-	552	548	-	560	555	-	560	555	-	
		15	558	555	563	566	566	570	568	567	571	568	567	571	
		16	563	564	570	568	573	575	569	569	569	575	569	569	575
		17	572	570	575	578	571	583	578	577	578	583	578	577	583
	19	562	561	555	569	569	576	566	571	572	575	571	572	575	
	21	540	547	-	560	556	-	558	559	558	559	558	559	-	
	23	539	538	-	541	537	-	546	539	546	539	546	539	-	
	NaOH	5	13	528	525	-	540	534	-	553	542	-	553	542	-
16	538		533	-	545	557	-	558	555	-	558	555	-		
19	537		539	534	557	554	552	558	556	564	556	556	564		
22	546		543	554	554	563	568	551	564	562	567	564	562	567	
NaOH	10	11	565	563	569	555	565	570	554	568	574	569	568	574	
		13	566	570	571	574	569	576	563	575	579	569	575	579	
		15	544	547	560	564	564	560	570	565	578	572	565	578	
		17	544	536	-	550	558	-	564	559	564	559	564	559	-

ตาราง ค.2 แสดงการคำนวณค่าความเชื่อมั่นโดยวิธีสอบซ้ำ ของผลการทดลอง 4.1.5

สารละลายอัลคาไลน์			เวลาการคืบสภาพ 15 นาที			เวลาการคืบสภาพ 30 นาที			เวลาการคืบสภาพ 60 นาที			$X_1 = X/M$ ทดลองครั้งที่ 1 ที่ เวลาคืบสภาพ 15 นาที $Y_1 = X/M$ ทดลองครั้งที่ 2 ที่ เวลาคืบสภาพ 15 นาที $X_2 = X/M$ ทดลองครั้งที่ 1 ที่ เวลาคืบสภาพ 30 นาที $Y_2 = X/M$ ทดลองครั้งที่ 2 ที่ เวลาคืบสภาพ 30 นาที $X_3 = X/M$ ทดลองครั้งที่ 1 ที่ เวลาคืบสภาพ 60 นาที $Y_3 = X/M$ ทดลองครั้งที่ 2 ที่ เวลาคืบสภาพ 60 นาที $N = 15$
ชนิด	เข้มข้น	ใช้ไป(cm ³)	X_1^2	Y_1^2	X_1Y_1	X_2^2	Y_2^2	X_2Y_2	X_3^2	Y_3^2	X_3Y_3	
KOH	10%	13	295936	297025	296480	304704	300304	302496	313600	308025	310800	
		15	311364	308025	309690	320356	320356	320356	322624	321489	322056	
		16	316969	318096	317532	328329	322624	325464	323761	323761	323761	
		17	327184	324900	326040	334084	326041	330038	334084	332929	333506	
		19	315844	314721	315282	323761	323761	323761	326041	327184	326612	
		21	291600	299209	295380	313600	309136	311360	311364	312481	311922	
		23	290521	289444	289982	292681	288369	290517	298116	290521	294294	
NaOH	5%	13	278784	275625	277200	291600	285156	288360	305809	293764	299726	
		16	289444	284089	286754	310249	297025	303565	311364	308025	309690	
		19	288369	290521	289443	310249	306916	308578	318096	309136	313584	
		22	298116	294849	296478	316969	306916	311902	318096	315844	316968	
NaOH	10%	11	319225	316969	318095	308025	308025	308025	323761	322624	323192	
		13	320356	324900	322620	329476	323761	326606	330625	323761	327175	
		15	295936	299209	297568	318096	318096	318096	327184	319225	323180	
		17	295936	287296	291584	311364	302500	306900	318096	312481	315276	
รวม			4535584	4524878	4530128	4713543	4638986	4676024	4782621	4721250	4751742	
ค่าความเชื่อมั่น			0.9634			0.9523			0.9487			

ตาราง ค.3 แสดงการพิจารณาผลการทดลอง 4.1.5 ที่เวลาการคืนสภาพ 15 นาที ตามวิธี Q Test ที่ค่าความเชื่อมั่น 90% ($Q_{crit} = 0.76$)

คืนสภาพโดย สารละลายอัลคาไลน์			ผลการวัดค่า X/M ที่ C=0.02 N				ค่าที่พิจารณา	พิสัย	ค่าความแตกต่าง จากกลุ่ม	Q_{exp}	ยอมรับ/ปฏิเสธ	ค่าเฉลี่ยของ ข้อมูล	
ชนิด	เข้มข้น	ปริมาตร	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4							
KOH	10% wt.	13	544	545	-	-	-	-	-	-	-	545	
		15	563	553	558	555	563	10	5	0.50	ยอมรับ	557	
		16	570	561	563	564	570	9	6	0.67	ยอมรับ	565	
		17	572	575	570	567	-	-	-	-	-	-	571
		19	562	561	555	565	555	10	6	0.60	ยอมรับ	561	
		21	540	547	-	-	-	-	-	-	-	-	544
		23	539	538	-	-	-	-	-	-	-	-	539
NaOH	5% wt.	13	528	525	-	-	-	-	-	-	-	527	
		16	538	533	-	-	-	-	-	-	-	536	
		19	534	537	543	539	543	9	4	0.44	ยอมรับ	538	
		22	546	554	543	541	554	13	8	0.62	ยอมรับ	546	
NaOH	10% wt.	11	569	560	565	563	569	9	4	0.44	ยอมรับ	564	
		13	566	570	571	565	-	-	-	-	-	568	
		15	544	547	560	543	560	17	13	0.76	ปฏิเสธ	545	
		17	544	536	-	-	-	-	-	-	-	-	540

ตาราง ค.4 แสดงการพิจารณาผลการทดลอง 4.1.5 ที่เวลาการคืนสภาพ 30 นาที ตามวิธี Q Test ที่ค่าความเชื่อมั่น 90% ($Q_{cnt} = 0.76$)

คืนสภาพโดย สารละลายอัลคาไลน์			ผลการวัดค่า X/M ที่ C=0.02 N				ค่าที่พิจารณา	พิสัย	ค่าความแตกต่าง จากกลุ่ม	Q_{exp}	ยอมรับ/ปฏิเสธ	ค่าเฉลี่ยของ ข้อมูล	
ชนิด	เข้มข้น	ปริมาณ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4							
KOH	10% wt.	13	552	548	-	-	-	-	-	-	-	550	
		15	566	560	570	566	560	10	4	0.40	ยอมรับ	566	
		16	568	575	568	573	575	8	2	0.25	ยอมรับ	571	
		17	583	578	568	571	583	9	6	0.67	ยอมรับ	575	
		19	569	576	566	569	576	7	5	0.71	ยอมรับ	570	
		21	560	556	-	-	-	-	-	-	-	-	558
		23	541	537	-	-	-	-	-	-	-	-	539
NaOH	5% wt.	13	540	534	-	-	-	-	-	-	-	537	
		16	545	557	-	-	-	-	-	-	-	551	
		19	552	557	558	554	552	6	2	0.33	ยอมรับ	555	
		22	554	568	563	551	568	17	5	0.29	ยอมรับ	559	
NaOH	10% wt.	11	555	565	554	570	570	16	5	0.31	ยอมรับ	561	
		13	563	574	576	569	563	13	6	0.46	ยอมรับ	571	
		15	560	564	570	564	560	10	4	0.40	ยอมรับ	565	
		17	550	558	-	-	-	-	-	-	-	-	554

ตาราง ค.5 แสดงการพิจารณาผลการทดลอง 4.1.5 ที่เวลาการคืนสภาพ 60 นาที ตามวิธี Q Test ที่ค่าความเชื่อมั่น 90% ($Q_{crit} = 0.64$)

คืนสภาพโดย สารละลายอัลคาไลน์			ผลการวัดค่า X/M ที่ C=0.02 N				ค่าที่พิจารณา	พิสัย	ค่าความแตกต่าง จากกลุ่ม	Q_{exp}	ยอมรับ/ปฏิเสธ	ค่าเฉลี่ยของ ข้อมูล	
ชนิด	เข้มข้น	ปริมาตร	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4							
KOH	10% wt.	13	560	555	-	-	-	-	-	-	-	558	
		15	571	568	559	567	559	12	8	0.67	ยอมรับ	567	
		16	569	566	575	569	575	9	6	0.67	ยอมรับ	570	
		17	578	563	577	583	563	20	14	0.70	ยอมรับ	575	
		19	575	571	566	572	566	9	5	0.55	ยอมรับ	571	
		21	558	559	-	-	-	-	-	-	-	-	559
		23	546	539	-	-	-	-	-	-	-	-	543
NaOH	5% wt.	13	542	553	-	-	-	-	-	-	-	548	
		16	558	555	-	-	-	-	-	-	-	557	
		19	556	564	556	564	-	-	-	-	-	560	
		22	564	567	551	562	551	13	9	0.69	ยอมรับ	561	
NaOH	10% wt.	11	574	569	568	560	560	14	8	0.57	ยอมรับ	568	
		13	569	579	564	575	564	15	5	0.33	ยอมรับ	572	
		15	563	572	578	565	578	15	6	0.40	ยอมรับ	570	
		17	564	559	-	-	-	-	-	-	-	-	562

ตาราง ค.6 ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดซับจำเพาะของผลการทดลองที่ได้รับการวิเคราะห์หว่ายอมรับได้
จากการทดลอง 4.1.5

การคืนสภาพโดยสารละลายอัลคาไลน์			X/M เฉลี่ย(ที่ C=0.02 N) ,mg./g.		
ชนิด	ความเข้มข้น	ปริมาตร(cm ³)	15 min.	30 min.	60 min.
KOH	10%	13	545	550	558
		15	557	566	567
		16	565	571	570
		17	571	575	575
		19	561	570	571
		21	544	558	559
		23	539	539	543
NaOH	5%	13	527	537	548
		16	536	551	557
		19	538	555	560
		22	546	559	561
NaOH	10%	11	564	561	568
		13	568	571	572
		15	545	565	570
		17	540	554	562

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์หาสภาวะที่คุ้มค่าที่สุดสำหรับการคืนสภาพถ่านกัมมันต์(Cost Analysis)

ในการทำงานวิจัยนี้ วัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ของการคืนสภาพ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับกรดน้ำส้มแล้ว สำหรับนำไปใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม ดังนั้น สภาวะ ของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ก่อให้เกิดค่าการดูดซับจำเพาะสูงสุด อาจมิใช่สภาวะที่น่าสนใจที่สุด เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่นที่ควรนำมาร่วมพิจารณา นอกเหนือจากคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้จาก การคืนสภาพ ดังนั้น ในการวิเคราะห์หาสภาวะที่คุ้มค่าที่สุดสำหรับการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ สำหรับงานวิจัยนี้ มีปัจจัยที่พิจารณา ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายจากการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ ได้แก่ สารเคมี, เวลาที่ใช้
2. ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ได้ภายหลังการคืนสภาพ
3. คุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่คืนสภาพได้ โดยพิจารณาจาก ค่าการดูดซับจำเพาะ(X/M ที่ $C = 0.02 N$)

วิธีการวิเคราะห์ มีดังนี้

1. พิจารณาค่าใช้จ่ายต่างๆ

1.1 สารเคมี

จากใบเสนอราคา จาก บริษัท วิทยาธรรม จำกัด (เมื่อ 7 มกราคม 2543)

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 360 บาท/กิโลกรัม
- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 720 บาท/กิโลกรัม

$$\text{NaOH เข้มข้น 5 \% โดยน้ำหนัก} = \frac{1.90 \text{ บาท}}{\text{สารละลาย 100 ลบ.ซม}}$$

$$\text{NaOH เข้มข้น 10 \% โดยน้ำหนัก} = \frac{4.00 \text{ บาท}}{\text{สารละลาย 100 ลบ.ซม}}$$

KOH เข้มข้น 10 % โดยน้ำหนัก = $\frac{8.00 \text{ บาท}}{\text{สารละลาย 100 ลบ.ซม}}$ (การคำนวณ ดูภาคผนวก จ)

1.2 เวลาที่ใช้ในการคืนสภาพ

ค่าใช้จ่ายจากเวลาที่สูญเสียไปจากการทำการคืนสภาพ กำหนดตามค่าแรงขั้นต่ำ

ค่าแรงขั้นต่ำ = 165 บาท /วัน (8 ชั่วโมง) = 21 บาท / ชั่วโมง

ผลการคำนวณค่าใช้จ่าย แสดงในตาราง ง.1

ตาราง ง.1 แสดงค่าใช้จ่ายรวมจากการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ในแต่ละสภาวะการทดลอง

การคืนสภาพโดย		ค่าใช้จ่ายจากสารเคมี(บาท)		ค่าใช้จ่ายจากเวลาที่ใช้ในการคืนสภาพ(บาท)			ค่าใช้จ่ายรวม/การคืนสภาพถ่าน 1 กิโลกรัม		
สารละลาย	ปริมาตร	ต่อถ่าน 10กรัม	ต่อถ่าน 1 กิโลกรัม	15 นาที	30 นาที	60 นาที	15 นาที	30 นาที	60 นาที
KOH 10%	13	1.04	104.00	5.25	10.50	21.00	109.25	114.50	125.00
	15	1.20	120.00	5.25	10.50	21.00	125.25	130.50	141.00
	16	1.28	128.00	5.25	10.50	21.00	133.25	138.50	149.00
	17	1.36	136.00	5.25	10.50	21.00	141.25	146.50	157.00
	19	1.52	152.00	5.25	10.50	21.00	157.25	162.50	173.00
	21	1.68	168.00	5.25	10.50	21.00	173.25	178.50	189.00
	23	1.84	184.00	5.25	10.50	21.00	189.25	194.50	205.00
NaOH 5%	13	0.25	24.70	5.25	10.50	21.00	29.95	35.20	45.70
	16	0.30	30.40	5.25	10.50	21.00	35.65	40.90	51.40
	19	0.36	36.10	5.25	10.50	21.00	41.35	46.60	57.10
	22	0.42	41.80	5.25	10.50	21.00	47.05	52.30	62.80
NaOH 10%	11	0.44	44.00	5.25	10.50	21.00	49.25	54.50	65.00
	13	0.52	52.00	5.25	10.50	21.00	57.25	62.50	73.00
	15	0.60	60.00	5.25	10.50	21.00	65.25	70.50	81.00
	17	0.68	68.00	5.25	10.50	21.00	73.25	78.50	89.00

2. พิจารณาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคั้นสภาพ

เนื่องจากในแต่ละสภาวะการทดลองมีปริมาณถ่านที่ได้จากการคั้นสภาพไม่เท่ากัน ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย ควรเป็นการเปรียบเทียบต่อปริมาณที่ได้จากการคั้นสภาพ

ตาราง ง.2 แสดงค่าใช้จ่ายต่อปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคั้นสภาพ 1 กิโลกรัม ที่สภาวะการทดลองต่างๆ

ตาราง ง.2 แสดงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการคั้นสภาพเพื่อให้ได้มาซึ่งถ่านกัมมันต์ 1 กิโลกรัม

การคั้นสภาพโดย		ร้อยละของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคั้นสภาพ			ค่าใช้จ่าย/1 กิโลกรัมของถ่านที่ได้ (บาท)		
สารละลาย	ปริมาตร	15 นาที	30 นาที	60 นาที	15 นาที	30 นาที	60 นาที
KOH 10%	13	91.95	90.61	91.13	118.81	126.37	137.17
	15	91.36	89.49	89.40	137.10	145.83	157.72
	16	89.09	87.67	87.66	149.57	157.98	169.97
	17	88.40	86.49	86.19	159.79	169.38	182.16
	19	88.92	87.03	86.38	176.84	186.72	200.28
	21	89.41	87.51	87.58	193.77	203.98	215.80
	23	89.65	87.46	88.48	211.10	222.39	231.69
NaOH 5%	13	90.16	87.52	87.69	33.22	40.22	52.12
	16	89.10	87.05	86.37	40.01	46.98	59.51
	19	88.72	85.91	85.83	46.61	54.24	66.53
	22	89.39	85.98	86.11	52.63	60.83	72.93
NaOH 10%	11	87.89	87.11	87.10	56.04	62.56	74.63
	13	89.98	86.85	86.64	63.63	71.96	84.26
	15	90.3	86.08	87.15	72.26	81.90	92.94
	17	90.31	86.72	87.70	81.11	90.52	101.48

3. การพิจารณาคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่คืนสภาพได้ โดยค่าการดูดซับจำเพาะ (X/M ที่ $C = 0.02 \text{ N}$) เป็นเกณฑ์

จากการวัดค่าการดูดซับจำเพาะ (X/M ที่ $C = 0.02 \text{ N}$) ของถ่านกัมมันต์ใหม่ และ ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับไฮระเหยของกรดอะซิติกแล้ว พบว่า ค่าการดูดซับจำเพาะ (X/M ที่ $C = 0.02 \text{ N}$)

ถ่านกัมมันต์ใหม่ = 663-675 มิลลิกรัม/กรัม

เฉลี่ย = 669 มิลลิกรัม/กรัม

ถ่านกัมมันต์ใช้แล้ว = 430 - 436 มิลลิกรัม/กรัม

เฉลี่ย = 433 มิลลิกรัม/กรัม

จากการนำค่าการดูดซับจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพ ที่สภาวะต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วและถ่านกัมมันต์ใหม่ สามารถแสดงเป็นค่าร้อยละของประสิทธิภาพของการดูดซับ โดยใช้วิธีการถ่วงน้ำหนัก (Weighting) และ มูลค่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพ แสดงดังตาราง ง.3 (ตัวอย่างการคำนวณ ดูภาคผนวก จ)

กำหนดให้ ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ใหม่ = 100 %

ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ใช้แล้ว = 0 %

ข้อมูล ถ่านกัมมันต์ใหม่ ราคา 180 บาท/กิโลกรัม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง.3 แสดงค่าประสิทธิภาพการดูดซับและมูลค่าของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพ

การคืนสภาพโดย		X/M เฉลี่ย(ที่ C=0.02 N) ,mg./g.			ร้อยละของประสิทธิภาพ การดูดซับ			มูลค่าถ่านกัมมันต์จาก การคืนสภาพ(1 Kg.)		
ชนิด	ปริมาตร(cm ³)	15 นาที	30 นาที	60 นาที	15 นาที	30 นาที	60 นาที	15 นาที	30 นาที	60 นาที
KOH 10%	13	545	550	558	47.46	49.58	52.97	85.42	89.24	95.34
	15	557	566	567	52.54	56.36	56.78	94.58	101.44	102.20
	16	565	571	570	55.93	58.47	58.05	100.68	105.25	104.49
	17	571	575	575	58.47	60.17	60.17	105.25	108.31	108.31
	19	561	570	571	54.24	58.05	58.47	97.63	104.49	105.25
	21	544	558	559	47.03	52.97	53.39	84.66	95.34	96.10
	23	539	539	543	44.92	44.92	46.61	80.85	80.85	83.90
NaOH 5%	13	527	537	548	39.83	44.07	48.73	71.69	79.32	87.71
	16	536	551	557	43.64	50.00	52.54	78.56	90.00	94.58
	19	538	555	560	44.49	51.69	53.81	80.08	93.05	96.86
	22	546	559	561	47.88	53.39	54.24	86.19	96.10	97.63
NaOH 10%	11	564	561	568	55.51	54.24	57.20	99.92	97.63	102.97
	13	568	571	572	57.20	58.47	58.90	102.97	105.25	106.02
	15	545	565	570	47.46	55.93	58.05	85.42	100.68	104.49
	17	540	554	562	45.34	51.27	54.66	81.61	92.29	98.39

จาก ตาราง ง.2 และ ง.3 สามารถนำผลการวิเคราะห์จากทั้ง 2 ส่วนมาเปรียบเทียบกัน ระหว่างมูลค่าของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพและค่าใช้จ่ายในการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ ในแต่ละสภาวะการทดลอง ซึ่งจะนำไปสู่ข้อสรุปได้ว่า เจือไนและสภาวะการทดลองคืนสภาพ ถ่านกัมมันต์ใดที่ได้ผลตอบแทนสูงสุด (ดู ตาราง ง.4)

ตาราง ง.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างมูลค่าของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพ และค่าใช้จ่ายในการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ในแต่ละสภาวะการทดลอง

การคืนสภาพโดย		ค่าใช้จ่าย/1 กิโลกรัมของถ่านที่ได้ (บาท)			มูลค่าถ่านกัมมันต์จากการคืนสภาพ(1 kg.)			ผลกำไรจากการคืนสภาพ(บาท/กิโลกรัม)		
ชนิด	ปริมาตร(cm ³)	15 นาที	30 นาที	60 นาที	15 นาที	30 นาที	60 นาที	15 นาที	30 นาที	60 นาที
KOH 10%	13	118.81	126.37	137.17	85.42	89.24	95.34	-33.39	-37.13	-41.83
	15	137.10	145.83	157.72	94.58	101.44	102.20	-42.52	-44.39	-55.52
	16	149.57	157.98	169.97	100.68	105.25	104.49	-48.89	-52.73	-65.48
	17	159.79	169.38	182.16	105.25	108.31	108.31	-54.54	-61.07	-73.85
	19	176.84	186.72	200.28	97.63	104.49	105.25	-79.21	-82.23	-95.03
	21	193.77	203.98	215.80	84.66	95.34	96.10	-109.11	-108.64	-119.7
	23	211.10	222.39	231.69	80.85	80.85	83.90	-130.25	-141.54	-147.79
NaOH 5%	13	33.22	40.22	52.12	71.69	79.32	87.71	38.47	39.10	35.59
	16	40.01	46.98	59.51	78.56	90.00	94.58	38.55	43.02	35.07
	19	46.61	54.24	66.53	80.08	93.05	96.86	33.47	38.81	30.33
	22	52.63	60.83	72.93	86.19	96.10	97.63	33.56	35.27	24.70
NaOH 10%	11	56.04	62.56	74.63	99.92	97.63	102.97	43.88	35.07	28.34
	13	63.63	71.96	84.26	102.97	105.25	106.02	39.34	33.29	21.76
	15	72.26	81.90	92.94	85.42	100.68	104.49	13.16	18.78	11.55
	17	81.11	90.52	101.48	81.61	92.29	98.39	0.50	1.77	-3.09

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณราคาของสารละลาย

ราคา โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 360 บาท/กิโลกรัม

โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 720 บาท/กิโลกรัม

(ที่มา : จากใบเสนอราคา บริษัท วิทยาธรรม จำกัด เมื่อวันที่ 16 ธันวาคม 2542)

$$\begin{aligned}
 \text{NaOH เข้มข้น 5 \% โดยน้ำหนัก} &= \frac{\text{NaOH 5 กรัม}}{\text{สารละลาย 100 กรัม}} = \frac{\text{NaOH 5 กรัม}}{\text{น้ำ 95 กรัม}} \\
 &= \frac{\text{NaOH 5 กรัม}}{\text{สารละลาย 95 ลบ.ซม}} = \frac{5 \times (360/1000) \text{ บาท}}{\text{สารละลาย 95 ลบ.ซม}} \\
 &= \frac{1.80 \text{ บาท}}{\text{สารละลาย 95 ลบ.ซม}} = \frac{1.80 \times (100/95) \text{ บาท}}{\text{สารละลาย 100 ลบ.ซม}} \\
 &= \frac{1.90 \text{ บาท}}{\text{สารละลาย 100 ลบ.ซม}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NaOH เข้มข้น 10 \% โดยน้ำหนัก} &= \frac{\text{NaOH 10 กรัม}}{\text{สารละลาย 100 กรัม}} = \frac{\text{NaOH 10 กรัม}}{\text{น้ำ 90 กรัม}} \\
 &= \frac{\text{NaOH 10 กรัม}}{\text{สารละลาย 90 ลบ.ซม}} = \frac{10 \times (360/1000) \text{ บาท}}{\text{สารละลาย 90 ลบ.ซม}} \\
 &= \frac{3.60 \text{ บาท}}{\text{สารละลาย 90 ลบ.ซม}} = \frac{3.60 \times (100/90) \text{ บาท}}{\text{สารละลาย 100 ลบ.ซม}} \\
 &= \frac{4.00 \text{ บาท}}{\text{สารละลาย 100 ลบ.ซม}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{KOH เข้มข้น 10 \% โดยน้ำหนัก} &= \frac{\text{KOH 10 กรัม}}{\text{สารละลาย 100 กรัม}} = \frac{\text{NaOH 10 กรัม}}{\text{น้ำ 90 กรัม}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{KOH } 10 \text{ กรัม}}{\text{สารละลาย } 90 \text{ ลบ.ซม}} = \frac{10 \times (720/1000) \text{ บาท}}{\text{สารละลาย } 90 \text{ ลบ.ซม}} \\
 &= \frac{7.20 \text{ บาท}}{\text{สารละลาย } 90 \text{ ลบ.ซม}} = \frac{7.20 \times (100/90) \text{ บาท}}{\text{สารละลาย } 100 \text{ ลบ.ซม}} \\
 &= \frac{8.00 \text{ บาท}}{\text{สารละลาย } 100 \text{ ลบ.ซม}}
 \end{aligned}$$

การคำนวณค่าร้อยละโดยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพ (% Yield)

$$\% \text{ Yield} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1}$$

โดย W_1 = น้ำหนักถ่านกัมมันต์ก่อนการคืนสภาพ

W_2 = น้ำหนักถ่านกัมมันต์ภายหลังการคืนสภาพ

การคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับ , มูลค่าของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพ

จากการวัดค่าการดูดซับจำเพาะ (X/M ที่ C = 0.02 N)

ถ่านกัมมันต์ใหม่ = 669 มิลลิกรัม/กรัม

ถ่านกัมมันต์ใช้แล้ว = 433 มิลลิกรัม/กรัม

การคำนวณประสิทธิภาพของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพ ที่ ค่าการดูดซับจำเพาะ X มิลลิกรัมต่อกรัม ทำได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับ} = \frac{(X-433) \times 100}{669-433}$$

มูลค่าของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพ = ราคาถ่านกัมมันต์ใหม่ x ร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพ

ตัวอย่าง ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 13 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ระยะเวลาการคืนสภาพ 30 นาที มีค่าการดูดซับจำเพาะ (ที่ $C=0.02 \text{ N}$) = 571 มิลลิกรัมต่อกรัม

ราคาถ่านกัมมันต์ใหม่ 180 บาท/กิโลกรัม (โดย White Group Ltd.)

$$\text{ร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับ} = \frac{(571-433) \times 100}{669-433} = 58.47$$

$$\text{มูลค่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคืนสภาพ} = 180 \times 58.47 = 105.25 \text{ บาท/กิโลกรัม}$$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

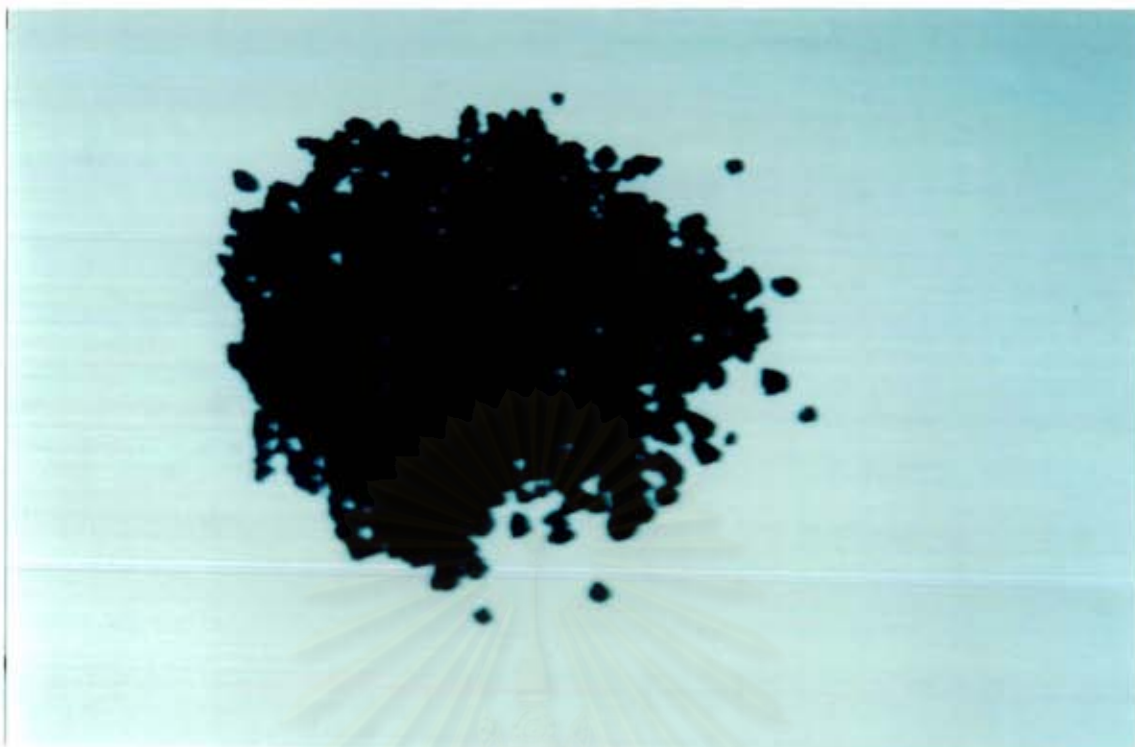
ภาคผนวก จ

ข้อมูลคุณสมบัติ ถ่านกัมมันต์ BPL 4 x 10

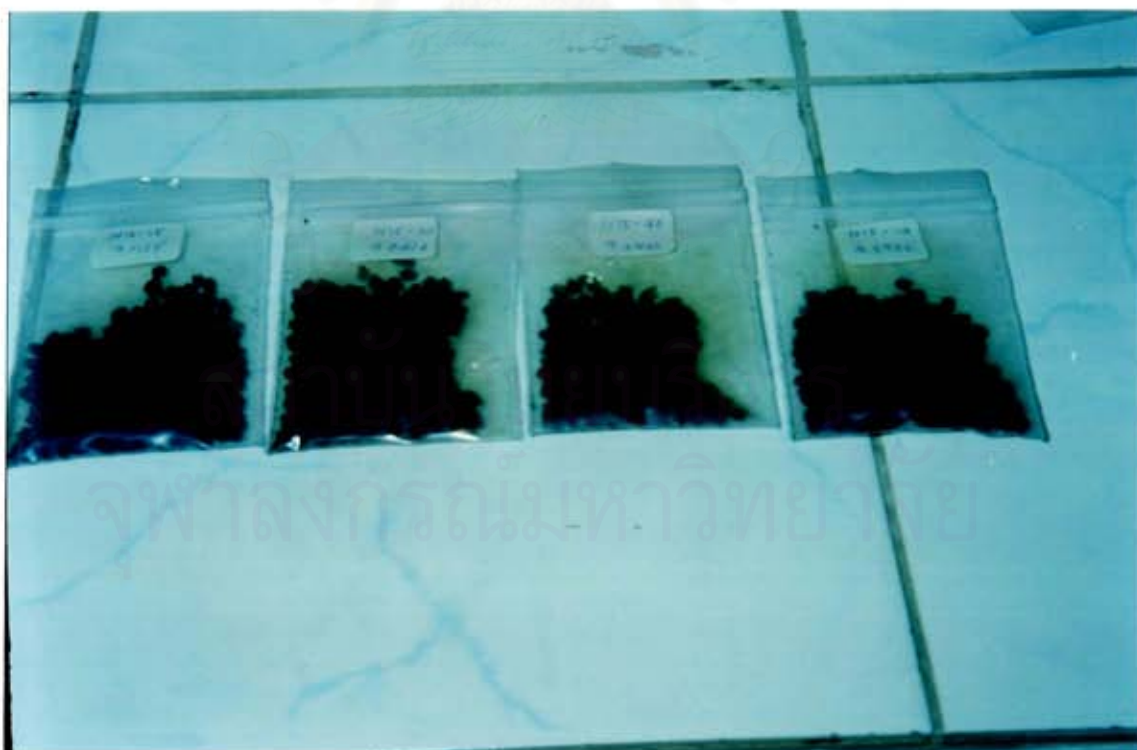
BPL 4 x 10 (ชื่อทางการค้า) มีข้อมูลคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

ที่มา : Calgon Carbon Corporation

● Iodine Number , mg/g	1050	Minimum
● Butane Activity , weight %	23.8	Minimum
● Carbon Tetrachloride Adsorption, weight %	60	Minimum
● Ash , weight %	8	Maximum
● Hardness Number	93	Minimum
● Apparent Density , g/cc	0.47	Minimum
● Particle Density (Hg Displacement), g/cc	0.80	Minimum
● Real Density (He Displacement), g/cc	2.1	Minimum
● Pore Volume (Within Particle), cc/g	0.8	
● Voids in Dense Packed Column, %	43	
● Specific Heat at 100°C	0.25	
● Screen Size, U.S. Sieve Series, weight %		
On 4 mesh	6	Maximum
Through 10 mesh	3	Maximum
● Total Surface Area (N ₂ , BET Method), m ² /g	1050-1150	



รูปที่ จ.1 ถ่านกัมมันต์ BPL 4 x 10 mesh



รูปที่ จ.2 ถ่านกัมมันต์ BPL 4 x 10 mesh ที่ผ่านการคืนสภาพแล้ว



รูปที่ ๓.3 ตู้กรองกลั่นที่ใช้บรรจุถ่านกัมมันต์ BPL 4 x 10 mesh แบบที่หนึ่ง



รูปที่ ๑.4 ตู้กรองกลิ่นที่ใช้บรรจุถ่านกัมมันต์ BPL 4 x 10 mesh แบบที่สอง



รูปที่ จ.5 คลังสินค้าเคมี ที่จัดเก็บสารเคมีประเภทตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ

ประวัติผู้เขียน



นางสาววารุณี ศุภเสวตหิรัญ เกิดเมื่อวันที่ 28 มีนาคม 2515 ที่อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเคมีวิศวกรรม จากภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เข้าทำงานในตำแหน่ง ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายการตลาด บริษัท เลนโซ่ เอ็นจีเนียริง จำกัด และ ตำแหน่งผู้ตรวจประเมินทางด้านเทคนิค(Technical Auditor) บริษัท เลนโซ่ เทอร์มินอล จำกัด เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี(ภาคนอกเวลาราชการ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบัน เป็นผู้จัดการฝ่ายการตลาด/ผู้ตรวจประเมินระบบ (Auditor) บริษัท มูดี อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล(ประเทศไทย) จำกัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย