

การกำจัดเหล็กโดยใช้ซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี
ด้วย 3-[2- (2- อะมิโนเอทิลอะมิโน) – เอทิลอะมิโน]-โพรพิล -
ไตรเมทอกซีไซเลน

**Removal of Iron by Using Silica Gel and Chemically Modified Silica Gel
with 3-[2 - (2 – aminoethylamino) – eththylamino] – propyl
trimethoxy silane**

อามีนะ สารีมา
Ameenah Sareema

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
**Bachelor of Science Project in Chemistry
Nakhon Si Thammarat Rajabhat University**

2552

ชื่อการวิจัย การกำจัดเหล็กโดยใช้ซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี
ด้วย 3-[2-(2-อะมิโนเอทิลอะมิโน)-เอทิลอะมิโน]-โพรพิล-ไตรเมทอกซี ไฮเลน
Removal of Iron by Using Silica Gel and Chemically Modified Silica Gel
with 3-[2-(2- aminoethylamino) – eththylamino] – propyl trimethoxy silane
ผู้ทำวิจัย นางสาวอามีเนาะ สารีมา
สาขา เคมี

คณะกรรมการที่ปรึกษา
.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา)

คณะกรรมการสอบ
.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา)

.....กรรมการ
(อาจารย์ปวีณา ปรวัฒน์กุล)

.....กรรมการ
(อาจารย์เน่งน้อย แสงแสนห์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ญานิศ เทพช่วย)

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อนุมัติให้โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาเคมี

.....
(อาจารย์เน่งน้อย แสงแสนห์)

ประธานหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาเคมี

ชื่อการวิจัย	การกำจัดเหล็กโดยใช้ซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี ด้วย 3-[2-(2-อะมิโนเอทิลอะมิโน)-เอทิลอะมิโน]-โพรพิล-ไตรเมทอกซี ซิเลน Removal of Iron by Using Silica Gel and Chemically Modified Silica Gel with with 3-[2 -(2- aminoethylamino) – eththylamino] – propyl trimethoxy silane
ผู้ทำวิจัย	นางสาวอามีเนาะ สารีมา
สาขา	เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการนำซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมีด้วย ด้วย 3-[2-(2-อะมิโนเอทิลอะมิโน)-เอทิลอะมิโน]-โพรพิล-ไตรเมทอกซี ซิเลน มาดูดซับเหล็ก ได้แก่ เวลา พีเอช และค่าความจุการดูดซับ โดยเทคนิคถังแช่ และเทคนิคคอลัมน์ ผลการศึกษาพบว่า เวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับของซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี ใช้เวลาในการดูดซับเหล็กเข้าสู่สมดุลที่เวลา 24 ชั่วโมง และความสามารถในการกำจัดโลหะเหล็กมีค่าเท่ากับ 8.1 และ 9.2 ตามลำดับ ผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะเหล็ก พบว่า ซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี สามารถกำจัดเหล็กได้ในปริมาณสูงสุด เมื่อสารละลายมีค่าพีเอช เท่ากับ 4 ปริมาณเหล็กที่ถูกกำจัดได้มีค่าเท่ากับ 9.856 และ 12.006 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ผลของความเข้มข้นของเหล็กเพื่อหาค่า ความจุการกำจัดของวัสดุ ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับ ไอโซเทอร์มของ ฟรอนคลิช และพบว่า ซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี สามารถดูดซับเหล็กได้สูงสุด เท่ากับ 12.2546 และ 13.1856 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนการศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะเหล็กด้วยเทคนิคแบบคอลัมน์ พบว่า ซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี สามารถกำจัดเหล็กได้เท่ากับ 4.110 และ 3.474 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา อย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาคำแนะนำที่ประโยชน์ ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ช่วยชี้แนะข้อบกพร่องต่างๆ เป็นผลทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณณัฐกานต์ กิจวิจิตร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช คุณมานพ เอียดแก้ว และคุณชนากัทร เสาร์ชัย ที่กรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษา และอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย เป็นผลให้การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินไปตามแผนการที่วางไว้

ขอขอบพระคุณบุพการีซึ่งกำเนิดข้าพเจ้าให้การศึกษาที่ดีและกำลังใจอันสำคัญซึ่งเป็นแรงผลักดันให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาวอามีเนาะ สารีมา
ผู้ทำการวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
กิตติกรรมประกาศ	(2)
สารบัญ	(3)
สารบัญตาราง	(5)
สารบัญภาพ	(6)
 บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตของงานวิจัย	2
ระยะเวลาการดำเนินการ	3
 บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
โครงสร้าง	4
รูปแบบของชิลิกา	5
ลิแกนด์	10
พฤติกรรมของการดูดซับ	11
ทฤษฎีการดูดซับ	11
วิธีการดูดซับ	19
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
 บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
เครื่องมือและอุปกรณ์	22
สารเคมีและวัสดุดูดซับ	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
วิธีการทดลอง	21
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	
การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดเหล็กด้วยเทคนิคแบบถังแซ่	25
เวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะเหล็ก	25
ผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะเหล็ก	26
ผลการทดลองหาความจุในการกำจัดโลหะเหล็กของกากบดด้วย	27
การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดเหล็กด้วยเทคนิคแบบคอลัมน์	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	33
บรรณานุกรม	34
ภาคผนวก	
ก. ภาพแสดงลักษณะต่างๆ	36
ข. โครงร่างวิจัย	41
ค. การเผยแพร่ผลงานในการประชุมวิชาการ	46

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของ amorphous silica รูปแบบต่าง ๆ	7
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	22
3.2 สารเคมีและวัสดุดูดซับที่ใช้ในการวิจัย	22
4.1 ปริมาณการดูดซับสารละลายโลหะเหล็กบนซิลิกาเจลที่เวลาแตกต่างกัน	25
4.2 ปริมาณการดูดซับสารละลายโลหะเหล็กบนซิลิกาเจล ที่ระดับพีเอชแตกต่างกัน	26
4.3 ค่า $\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร) และ $\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อกรัม) เพื่อหาความจุการดูดซับซิลิกาเจล	28
4.4 ค่าความจุของการดูดซับของวัสดุดูดซับตามวิธีการดูดซับแบบถึงขั้นที่ได้จากการคำนวณ	28
4.5 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายตะกั่วและค่า C_A/C_{A0}	30
4.6 ค่า Breakthrough Capacity ของวัสดุดูดซับบนซิลิกา	31

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงรูปแบบต่างๆ ของการเชื่อมต่อของ SiO_4 tetrahedra ในโครงสร้างพื้นฐานของซิลิกา	5
2.2 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบซิลิกา	6
2.3 พฤติกรรมการ polymerization ของซิลิกา	8
2.4 ผลของ pH ต่อ colloidal silica – water system	9
2.5 โครงสร้างของลิแกนด์บางชนิด	10
2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $M \left(\frac{x}{m} \right)$ และ C	13
2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{M}$ กับ $\frac{1}{C}$	13
2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของตัวดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักตัวดูดซับ(M) กับความเข้มข้นของสารละลายที่จุดสมดุล (C)	15
2.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{C}{M(C_s - C)}$ กับ $\frac{C}{C_s}$	15
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \frac{x}{M}$ กับ $\log C_e$	16
2.11 พฤติกรรมการดูดซับแบบคอลัมน์	17
2.12 การหา Breakthrough Capacity	19
4.1 ปริมาณโลหะหนักที่ถูกกำจัดเมื่อใช้เวลาในการสัมผัสกับซิลิกาแตกต่างกัน	26
4.2 แสดงผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับสารละลายโลหะหนักบนซิลิกาเจล	27
4.3 จุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับสารละลายโลหะหนักบนซิลิกาเจล	29
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายเหล็กและค่า C_A/C_{A0}	30

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมไปยังภูมิภาคต่างๆ ของประเทศอย่างกว้างขวาง ทำให้ปริมาณการใช้โลหะหนักสูงขึ้น จนก่อให้เกิดปัญหาการแพร่กระจายโลหะหนักออกสู่แม่น้ำและแหล่งทำการเกษตรต่างๆ ทำให้โอกาสที่โลหะหนักเหล่านี้จะกระจายเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารมีสูงขึ้น จนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งโลหะหนักที่ถูกปล่อยออกมาส่วนใหญ่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ขาดระบบการกำจัดโลหะหนักหรือประสิทธิภาพของระบบกำจัดที่ยังไม่ดีพอ (รัตนา มหาชัย, 2542)

โรงงานซึ่งสังกัดกรมโรงงานอุตสาหกรรม มีจำนวนมากถึง 103,751 โรงงาน ในปี พ.ศ. 2538 ตั้งกระจายอยู่ทั่วไป มิได้ตั้งอยู่รวมกัน เช่นเดียวกับโรงงานในนิคมอุตสาหกรรม โรงงานเหล่านี้มีตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ โรงงานขนาดใหญ่มักจะมีระบบบำบัดของเสียที่ไม่ได้มาตรฐาน แต่สำหรับโรงงานขนาดเล็กซึ่งมีจำนวนมาก มักแอบปล่อยทิ้งของเสียโดยมิได้ผ่านการบำบัดใดๆ ซึ่งเมื่อมองโดยภาพรวมแล้ว ของเสียที่ถูกแอบปล่อยทิ้งนี้มีปริมาณสูงมาก(กรมโรงงานอุตสาหกรรม,2538) น้ำบาดาลโดยทั่วไปจะไม่พบสารที่เป็นพิษ หรือพบในปริมาณน้อยมาก น้ำที่มีสารพิษในปริมาณสูงๆ มักเกิดการปนเปื้อนจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม การทำเหมืองแร่หรือน้ำพุร้อนก่อให้เกิดปัญหากับผู้ใช้น้ำ เช่น ทำให้น้ำมีสีแฉะ ขุ่น มีกลิ่น เกิดคราบสนิมกับเครื่องสุขภัณฑ์ หรือทำให้เสื้อผ้าเปื้อนและมีตะกอนอุดตันตามท่อต่างๆนอกจากนี้เหล็กยังเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรีย ที่เรียกว่า Iron Bacteria การเติบโตของแบคทีเรียดังกล่าว ทำให้น้ำมีกลิ่น และมีรส ซึ่งเป็นที่น่ารังเกียจ (เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ กำหนดให้มีเหล็กไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ผลของการมีธาตุเหล็กที่มากเกินไปจนเป็นส่งผลเสียต่อการทำงานของอวัยวะหลายระบบในร่างกายก่อให้เกิดทั้งอาการที่ไม่เฉพาะเจาะจง เช่น อ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย อึดแน่นท้อง และมีอาการผิดปกติที่เฉพาะเจาะจงในแต่ละอวัยวะที่มีเหล็กส่วนเกินมาสะสม ได้แก่ ดับ หัวใจ ระบบต่อมไร้ท่อ ผิวหนัง ข้อ กล้ามเนื้อ กระดูก (อัจฉรา รัชฎีธรรม และ ชันยชัย สุระ , 2550)

ผลจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสามารถกำจัดโลหะได้หลายวิธีได้แก่ การแลกเปลี่ยนไอออน (Deshkar AM. และคณะ,1990) การทำให้ตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์ และออกไซด์ การดูดซับวัสดุจากธรรมชาติ การแยกโดยใช้ไฟฟ้า การออสโมซิสผันกลับ แต่อีกวิธีหนึ่งที่นิยม

นำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก ได้แก่ การกำจัดโลหะหนักโดยใช้ซัลฟิดาที่ดัดแปรทางเคมีด้วยลิแกนด์ชนิดต่างๆ เช่น การแยกไอออนของ Hg^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Ag^+ , Ni^{2+} และ Pb^{2+} ด้วยซัลฟิดาเจลที่ดัดแปรด้วยลิแกนด์เอธิลีนไดเอมีน และลิแกนด์ไคโรโอคาร์บาเมท (Luttell H. และคณะ, 1975) การกำจัด As ด้วยซัลฟิดาที่ดัดแปรทางเคมีด้วย 3-(เมอร์แคปโตโพรพิล)ไตรเมทอกซิลไฮเดน 15(3-(mercaptopropyl)trimethoxysilane) กำจัด Co^{2+} , Ni^{2+} และ Cu^{2+} ด้วยซัลฟิดาเจลที่ดัดแปรด้วย 3-เมทิล-1-ฟีนิล-4-สเตียรอล-5-ไพราโซโลน (3-methyl-1-phenyl-4-stearol-5-pyrazolone) เป็นต้น จากผลการวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าซัลฟิดาจัดเป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงในการที่จะพัฒนาปรับปรุง แต่วิธีการปรับปรุงซัลฟิดาเจลของวิธีการดังกล่าวข้างต้นนั้นเป็นสารที่มีราคาแพง งานวิจัยครั้งนี้ จึงทำการปรับปรุงซัลฟิดาโดยใช้ DETA-Silane เป็นคีเลเตอร์ เพราะมีราคาถูก (Puranik D.B 1997)

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักจากซัลฟิดาเจลที่ดัดแปรทางเคมีด้วย 3-[2-(2-อะมิโนเอทิลอะมิโน)-เอทิลอะมิโน]-โพรพิล-ไตรเมทอกซิลไฮเดน โดยศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ การศึกษาถึงเวลาที่เข้าสู่สมดุลในการดูดซับ พีเอชที่เหมาะสม ความจุในการดูดซับ และศึกษาถึงประสิทธิภาพในการดูดซับโดยเทคนิคคอลัมน์

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงคุณภาพของซัลฟิดาเจลโดยการดัดแปรทางเคมี ด้วย 3-[2-(2-อะมิโนเอทิลอะมิโน)-เอทิลอะมิโน]-โพรพิล-ไตรเมทอกซิลไฮเดน
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย
3. เพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียด้วยเทคนิคถังแช่และเทคนิคคอลัมน์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำซัลฟิดาเจลไปประยุกต์ใช้ในการดัดแปรด้วยลิแกนด์ตัวอื่นๆ ต่อไป
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับของซัลฟิดาเจลให้ดียิ่งขึ้น
3. เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการนำซัลฟิดาเจลที่ทำการดัดแปรไปศึกษาพฤติกรรมในการดูดซับโลหะตัวอื่นต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

นำซัลฟิดาเจลเชิงการค้ามาทำการดัดแปรโดยตรงด้วยลิแกนด์ และทำการ ศึกษาเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับโลหะหนักที่สภาวะต่างๆของซัลฟิดาเจลที่ดัดแปรทางเคมี และซัลฟิดาเจลเชิงการค้า ด้วยเทคนิคถังแช่และเทคนิคคอลัมน์

ระยะเวลาการดำเนินการ

มกราคม 2552 - ตุลาคม 2552

บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

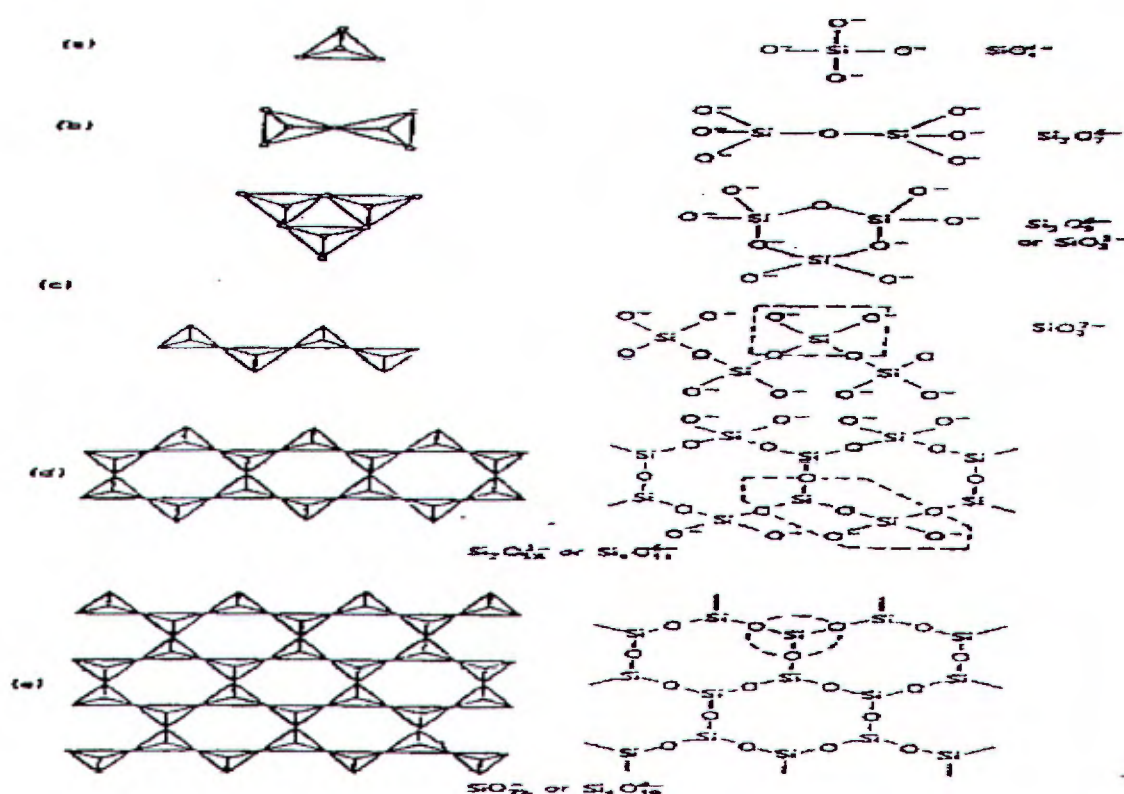
ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวระหว่างซิลิกอนและออกซิเจนซึ่งธาตุทั้งสองมีอยู่มากที่สุดในโลกซิลิกาเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 60 ของเปลือกโลกในทางการค้า ซิลิกาถูกใช้เป็นแหล่งสำหรับการผลิตซิลิกอนและถูกใช้เป็นปริมาณมากในฐานะที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุก่อสร้าง ส่วน ซิลิกาอสัณฐาน (amorphous silica) ถูกใช้เป็นสารดูดความชื้น (desiccant) สารดูดซับ (adsorbent) สารเพิ่มความแข็งแรง (catalyst component) ซิลิกาเป็นวัสดุพื้นฐานของอุตสาหกรรมแก้ว เซรามิกส์และอิฐทนไฟ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งวัตถุดิบที่มีความสำคัญสำหรับการผลิต ซิลิเกต ซิลิกอนคาร์ไบด์ และซิลิโคน

คุณลักษณะ

ที่อุณหภูมิปกติซิลิกาเป็นสารที่ทนต่อสารเคมีหลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามซิลิกาเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้หลายรูปแบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิสูงหรือเมื่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ผลิตภัณฑ์ที่กลายเป็นไอออกจากปฏิกิริยา ความว่องไว ซึ่งเป็นสิ่งที่ขึ้นอยู่กับ form pretreatment และ state ของส่วนย่อยของสารตัวอย่างมีหลายสภาวะการณที่ amorphous silica มีความว่องไวกว่า crystalline silica ความว่องไวของพื้นที่ผิวมีมากกว่าของ amorphous silica เนื่องจาก amorphous silica มีพื้นที่ผิวของ hydroxyl (silanol) group ซึ่งครึ่งหนึ่งของ hydroxyl group จะยังคงอยู่แม้จะให้ความร้อนถึง 400 องศาเซลเซียส

โครงสร้าง

หน่วยย่อยพื้นฐานทางโครงสร้างของซิลิกาและเกลียวซิลิเกตมีการจัดเรียงตัวกันเป็นแบบ tetrahedral ของออกซิเจน 4 อะตอมล้อมรอบซิลิกอนซึ่งเป็นอะตอมกลางโดยทางโครงสร้างตาข่าย 3 มิติไม่รู้จบ (infinite three dimensional network) ที่เกิดจากออกซิเจนในอะตอมทั้งหมดซึ่งใช้ tetrahedron กับกลุ่มข้างเคียง



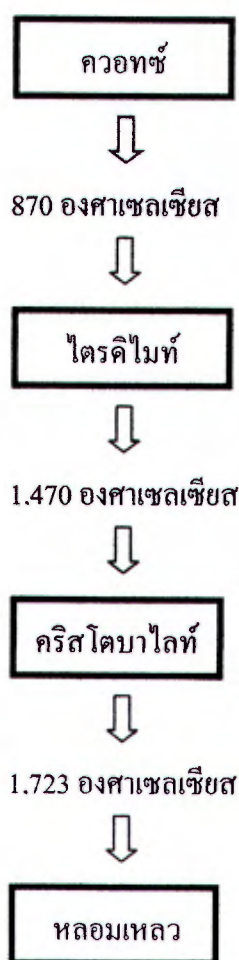
ภาพที่ 2.1 แสดงรูปแบบต่างๆ ของการเชื่อมต่อของ SiO_4 tetrahedra ในโครงสร้างพื้นฐานของซิลิเกต ที่มา: (โสภณ เริงสำราญ, 2540)

หมายเหตุ: จากรูปที่ 2.1 ซิลิกอนในรูป (d) และ (e) นั้น ปรากฏให้เห็นว่าเชื่อมต่อกับออกซิเจนเพียง 3 อะตอมเท่านั้นแต่ความจริงแล้วซิลิกอนเชื่อมต่อกับออกซิเจนอะตอมตำแหน่งที่สี่ด้วยซึ่งอยู่ในระนาบที่เหนือระนาบของรู

รูปแบบของซิลิกา

ซิลิกามีรูปแบบที่แตกต่างกันหลายลักษณะ เช่น คริสตัลไลน์ซิลิกา ไมโครคริสตัลไลน์ซิลิกา และนอนคริสตัลไลน์ซิลิกา ดังนี้

1 คริสตัลไลน์ซิลิกา (Crystalline silica) โดยปกติที่ความดันบรรยากาศ crystalline silica มี 3 รูปแบบคือ quartz เสถียรที่อุณหภูมิต่ำกว่า 870 องศาเซลเซียส tridymite เสถียรที่อุณหภูมิประมาณ 870-1470 องศาเซลเซียส และ cristobalite เสถียรที่อุณหภูมิ 1470 องศาเซลเซียส ถึงจุดหลอมเหลวที่ ประมาณ 1723 องศาเซลเซียส ซึ่งรูปแบบทั้งหมดทุกโครงสร้างมีพื้นฐานเป็น SiO_4 tetrahedra ซึ่งเชื่อมต่อกับออกซิเจนทุกอะตอมโดยเป็นการใช้ออกซิเจนร่วมกันระหว่างซิลิกอน 2 อะตอม แต่อย่างก็ตามโครงสร้างเหล่านั้น จะมีความแตกต่างกันในรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบซิลิกา

ที่มา: (โสภณ เรืองสำราญ, 2540)

ทั้ง quartz tridymite และ cristobalite เป็นรูปแบบที่เกิดขึ้นในธรรมชาติสำหรับ crystalline silica ที่ได้จากการสังเคราะห์ได้แก่ Keatite Coesite, Stishovite และ silica W

2 ไมโครคริสตัลไลน์ซิลิกา (Microcrystalline Silica) พบได้ตามแหล่งหินธรรมชาติ ซึ่งอาจมาจาก amorphous silica ของสิ่งมีชีวิตซึ่งต่อมาเกิดการจับตัวกันมากขึ้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก amorphous silica เป็น microcrystalline silica โดยใช้ระยะเวลาในทางธรณี

3 นอนคริสตัลไลน์ซิลิกา (Noncrystalline Silica) รูปแบบของ Noncrystalline Silica จะรวมถึง Vitreous Silica และ amorphous silica ชนิดต่าง ๆ

3.1 วิเทรียสซิลิกา (Vitreous Silica or Silica glass) สามารถเตรียมได้โดยการหลอม Crystalline quartz หรือ quartz sand ให้เป็น liquid silica จากนั้นจึงทำ supercooling โครงสร้างของ Vitreous เป็นโครงตาข่ายอย่างต่อเนื่องแบบสุ่มของ SiO_4 tetrahedra ซึ่งเชื่อมต่อกันเป็นมุม

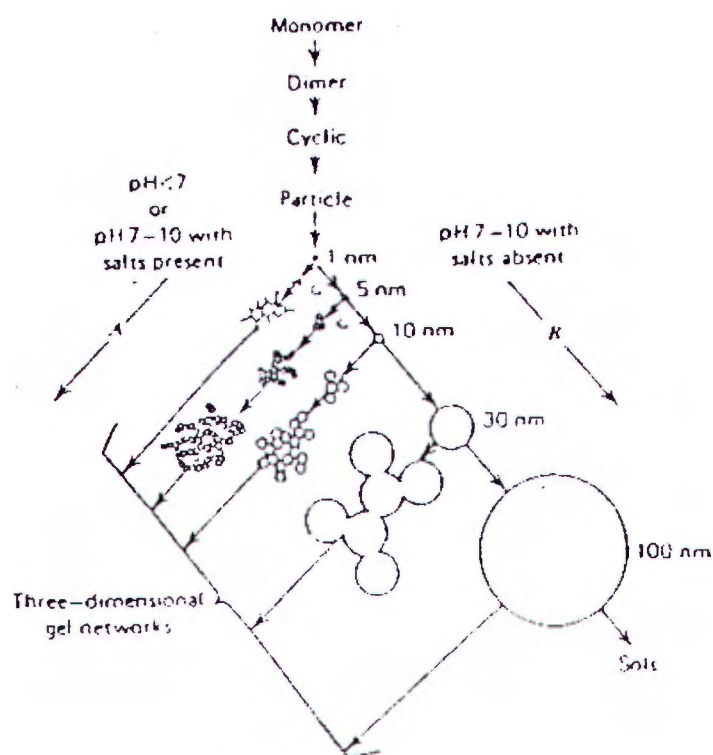
3.2 ออสันฐานซิลิกา (Amorphous silica) ใช้แทนซิลิกาซึ่งโครงสร้างขาดลักษณะทางผลึกสามารถตรวจสอบได้โดย X-ray diffraction Amorphous silica แบ่งได้เป็น 3 พวกใหญ่ ๆ คือ Vitreous silica, silica M ซึ่งเกิดจากการ irradiate amorphous silica หรือ crystalline silica ด้วย high speed neutron และพวกสุดท้ายคือ microamorphous silica ซึ่งรวมถึง Sols, gels powder และ porous glasses ซึ่งทั้งหมดขนาดอนุภาคน้อยกว่า 1 ไมโครเมตรและมีพื้นที่ผิวสูง โดยทั่วไปพื้นที่ผิวจะมากกว่า 3 ตารางเมตรต่อกรัม ดังแสดงไว้ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติของ amorphous silica รูปแบบต่าง ๆ

Property	Silica sols	Dry silica gels	Silica precipitated from solution	Pyrogenic silica
SiO ₂ , %	10-50	96.5-99.6	80-90	99.7-99.9
CaO , %	na	na	0.1-4	na
Na ₂ O , %	0.1-0.8	0-1	0-1.5	na
Wt loss , %	-	-	-	-
at 105 °C	50-80	na	5-7	0.5-2.5
at 1200 °C	50-90	2-17.5	10-14	0.5-2.5
ultimate particle- size , nm	5-100	1-100	10-25	1-100
aggregate particle- size , nm	-	3-25	1-10	2-3
surface area, m ² /g	50-700	200-700	45-100	15-400
PH, aqueous suspension	3-5, 8-11	2.3-7.4	4-9	3.5-8
Apparent or bulk density, g/cm ³	-	-	-	-
True density, g/cm ³	1.2-1.4	0.1-0.8	0.03-0.3	0.03-0.12
Refractive index, n _D	2.2-2.3	2.22	2.0-2.1	2.16
Oil absorption, g/g	1.35-1.45	1.35-1.45	1.45	1.45
	-	0.9-3.15	1-3	0.5-2.8

ที่มา: (โสภณ เริงสำราญ, 2540)

ซิลิกาเป็นสารที่สามารถเกิดการ Polymerization ได้โดยการเกาะเกี่ยวของ particle เชื่อมต่อกันจนเป็นโซ่และโครงตาข่าย กระบวนการเกิดปฏิกิริยา 3 ขั้นตอนคือ polymerization of monomers to form particles ขั้นที่สองคือ growth of particles และขั้นสุดท้ายคือ linking particle เพื่อให้เกิดเป็นโซ่และโครงตาข่าย



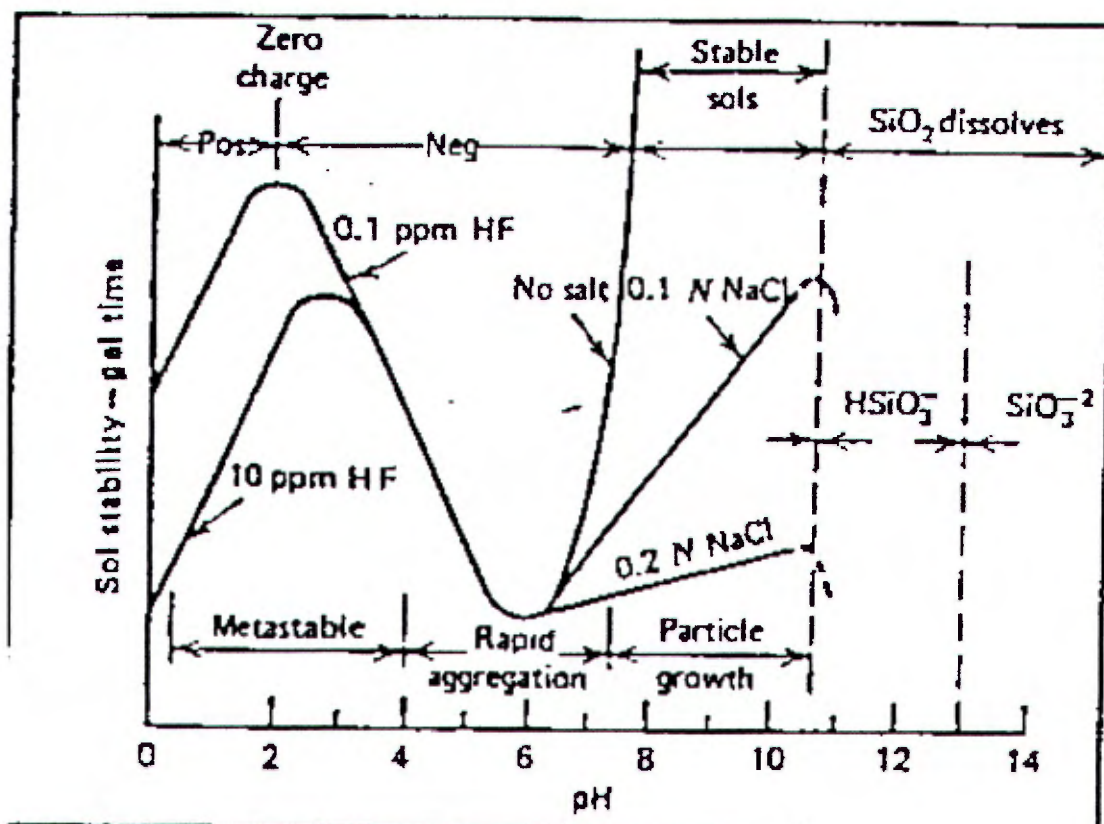
ภาพที่ 2.3 พฤติกรรมการ polymerization ของซิลิกา

ที่มา: (โสภณ เริงสำราญ, 2540)

หมายเหตุ : ในสารละลายต่าง (B) particle ในโซลจะโตขึ้น ดังนั้นจำนวนจึงลดลง ในสารละลายกรดหรือใน flocculation salts (A) พบว่า particle จะจับตัวกันเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติแล้วจึงเกิดเป็นเจล

Silica sols และ colloidal silica ซิลิกาโซลขนาด colloid-size particle ของ amorphous silica จะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในสารละลายซิลิกาโซลจะไปเป็นเจลหรือตกตะกอน แม้ถูกทิ้งไว้เป็นเวลาหลายปีโซลมีซิลิกาอยู่มากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป และอนุภาคจะมีขนาดถึง 300

นาโนเมตรอย่างไรก็ตามอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 70 นาโนเมตรจะเกิดการตกตะกอนอย่างช้า ๆ สถานภาพของโซลขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย (รูปที่ 2.3) pH จะต้องมากกว่าจึงจะคงสภาพประจุกับขนาดอนุภาคซิลิกา ซึ่งเป็นการป้องกันการจับตัวประจุที่ผิวจะต้องถูกทำให้เป็นกลางโดยเกลือที่ละลายซึ่งจะเป็นไอออน และทำให้เกิด double layer รอบผิวของซิลิกาสิ่งนี้ทำให้เกิดการจับ ดังนั้นโซลจะเสถียรที่ความเข้มข้นของเกลือต่ำ ในบริเวณที่ pH ต่ำโซลจะอยู่สภาพ metastable การเกิดเจลและการจับตัวจึงถูกเร่งให้เกิดการจับตัวจึงถูกเร่งให้เกิดได้ง่ายแม้มี fluoride ion เพียงเล็กน้อย ในบริเวณที่ pH ต่ำนี้ ตัวทำลายอินทรีย์ที่รวมกับน้ำได้ เช่น แอลกอฮอล์ จะต้านการเกิดเจล อย่างไรก็ตามการเกิดเจลจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ยิ่งปริมาณซิลิกาในโซลสูง การเกิดเจลยิ่งง่าย ส่วนลักษณะผิวของอนุภาคซิลิกาก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการควบคุมเสถียรภาพของโซล



ภาพที่ 2.4 ผลของ pH ต่อ colloidal silica – water system

ที่มา: (โสภณ เรืองสำราญ, 2540)

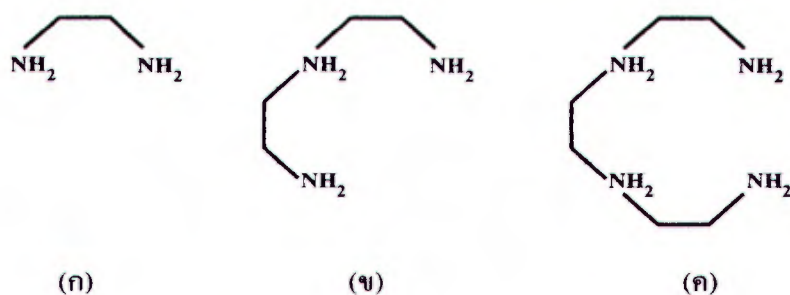
Silica gel แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ Regular – density gel ซึ่งเตรียมได้โดยการทำให้ acid medium จะได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กมากและพื้นที่ผิวสูง (750 – 800 ตารางเมตรต่อกรัม) ค่าเฉลี่ย

ของ pore diameter เท่านั้น 2.2 – 2.6 นาโนเมตร และ pore volume ประมาณร้อยละ 6 น้ำจะเกาะอยู่ที่ผิวซึ่งมี hydroxyl group อยู่ ดังนั้นจะดูดซับน้ำได้มากชนิดที่สองคือ Intermediate – density silica มีพื้นที่ผิวดำ (300 – 350 ตารางเมตรต่อกรัม) แต่ pore volume (0.9-1.1 มิลลิลิตรต่อกรัม) ค่าเฉลี่ยของ pore size ประมาณ 12 – 16 นาโนเมตร ขนาดของอนุภาคใหญ่กว่า regular – density gel ด้วยเหตุผลที่มี pore size ใหญ่ intermediate - density silica gel จึงดูดซับน้ำได้ดีที่ความชื้นสูงชนิดสุดท้ายคือ Low – density silica gel (เช่น aerogel) มีพื้นที่ผิวดำ (100 – 200 ตารางเมตรต่อกรัม) pore diameter ประมาณ 18-22 นาโนเมตร และ pore volume ประมาณ 1.4 – 2.0 มิลลิลิตรต่อกรัม

Precipitated silica เกิดจากการรวมตัวของ Ultimate particle ของ colloidal size ซึ่งยังไม่เชื่อมโยงจนเป็นโครงตาข่ายขนาดใหญ่ระหว่างกระบวนการเตรียม precipitated silica เกิดได้จากทั้ง Vapor phase และโดยการตกตะกอนจากสารละลายการนำ amorphous silica ไปใช้นั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบและความบริสุทธิ์ที่ถูกใช้มากเป็น filler และ reinforcing materials สำหรับยาง ใช้ปรับปรุง ink retention ของกระดาษใช้เป็น pigment และ filler ใช้สีและ coating ใช้เป็นสารขัดถู (abrasive) ตัวดูดซับ(adsorbent) และใช้ในงานสำหรับ ซิลิกาเจลนั้นส่วนมากจะใช้เป็น desiccant adsorbent และ catalyst base

ลิแกนด์

ลิแกนด์หมายถึง อะตอม โมเลกุล หรือไอออน ที่เกาะติดกับโลหะหรืออะตอมกลางโดยการสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโควาเลนต์ ซึ่งโคเนอร์อะตอมของลิแกนด์จะเป็นตัวที่ให้คู่อิเล็กตรอนแก่ไอออน หรืออะตอมกลาง โดยส่วนมากโคเนอร์อะตอมของลิแกนด์ มักจะเป็นอะตอม ที่มีค่าสภาพไฟฟ้าลบ(อิเล็กโตรเนกาติวิตี)สูง หลักในการเลือกลิแกนด์คือ สารที่เป็นลิแกนด์จะต้องจับกับซิลิกาได้ดีและเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย มีความเสถียรสูง ลิแกนด์ที่นิยมแสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของลิแกนด์บางชนิด

(ก) เอทิลีน ไดเอมีน (ethylenediamine, EDTA)

(ข) ไตรเอทิลีนไตรเอมีน (diethylene triamine, DETA)

(ค) ไตรเอทิลีนเตตระเอมีน (triethylene tetraamine, EDTA)

พฤติกรรมการดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) คือ กระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างวัฏภาค 2 วัฏภาค โดยเกิดอันตรกิริยาที่ผิวสัมผัส (Interface) ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวสัมผัส ระหว่างของเหลวและแก๊ส ของแข็งและแก๊ส ของแข็งและของเหลว ของเหลวและของเหลว สารที่ผิวเกิดการดูดซับขึ้น เรียกว่า วัสดุดูดซับ (Adsorbent) ส่วนสารที่ถูกดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ

พฤติกรรมการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างวัสดุดูดซับกับตัวถูกดูดซับสามารถจำแนกได้ 4 ชนิด คือ

1. การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) เกิดจากการดูดซับโดยมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อนๆ เป็นแรงที่ไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ หรือ พันธะไฮโดรเจนซึ่งมีทิศทาง และพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย สามารถกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวของวัสดุดูดซับได้ง่าย และอาจเกิดการดูดซับแบบเชิงซ้อนได้หลายชั้น

2. การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับทำปฏิกิริยาต่อกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากตัวดับถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมใหม่ เป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมี ซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรงมีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับสูง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิววัสดุดูดซับจะทำได้ยาก และการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer)

3. การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (exchange adsorption) เกิดเมื่อตัวถูกดูดซับและวัสดุดูดซับมีประจุและเกิดแรงดึงดูดระหว่างตัวถูกดูดซับที่เป็นไอออนที่มีประจุกับวัสดุดูดซับที่มีประจุตรงข้ามหรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่อยู่ผิวของวัสดุดูดซับกับไอออนของตัวดูดซับ

4. การดูดซับแบบเจาะจง (specific adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับวัสดุดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บนผิว

ทฤษฎีการดูดซับ

ได้มีการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับ โดยการสร้างแบบจำลองของการดูดซับในลักษณะต่าง ๆ กันปัจจุบันจึงมีการจำลองหลายรูปแบบ ดังนี้

1. แบบจำลองแลงเมียร์ (Langmuir Model)

แบบจำลองแลงเมียร์ ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากการดูดซับโมเลกุลของก๊าซลงบนวัสดุดูดซับของแข็ง โดยมีสมมุติฐานว่าพลังงานของการดูดซับของสารแต่ละโมเลกุลจะมีค่าคงที่ และไม่มีอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่แน่นอนของพื้นที่ผิว เรียกว่า ตำแหน่งดูดซับ (adsorption site) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สามารถดูดซับสารได้เพียงหนึ่งโมเลกุลเท่านั้น ดังนั้นเมื่อตำแหน่งดูดซับถูกปกคลุมด้วยตัวดูดซับ แล้วจะไม่สามารถดูดซับสารเพิ่มได้อีก เรียกการดูดซับแบบนี้ว่า เกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer adsorption) แบบจำลองของแลงเมียร์ ได้พัฒนาขึ้นจากการดูดซับและการระเหยโมเลกุลของก๊าซจากผิวหน้าของของแข็ง ถ้ากำหนดให้ θ คือ สัดส่วนของพื้นที่ผิวของที่ถูกปกคลุมด้วยสารที่ถูกดูดซับ

$$\text{อัตราเร็วของการคายของก๊าซ} \propto \theta = K_d \theta$$

เมื่อ K_d คือ ค่าคงที่ของการคาย (desorption) โมเลกุลของก๊าซ อัตราเร็วของการดูดซับจะแปรตามจำนวนตำแหน่งดูดซับที่ว่างอยู่บนผิวหน้า

$$\text{อัตราเร็วของการดูดซับ} \propto (1-\theta)P = K_a P(1-\theta)$$

เมื่อ K_a คือค่าคงที่ของการดูดซับ และ P คือความดันของก๊าซที่จุดสมดุล

$$\text{อัตราเร็วของการคายของก๊าซ} = \text{อัตราเร็วของการดูดซับ}$$

$$K_d \theta = K_a P(1-\theta)$$

$$\theta = \frac{K_a P}{K_d - K_a P} = \frac{BP}{1+BP} \quad (2.1)$$

เมื่อ $B = \frac{K_a}{K_d}$ มีชื่อเรียกว่า สัมประสิทธิ์ของการดูดซับ (adsorption coefficient) และมีความสัมพันธ์กับเอนทัลปีของการดูดซับ (ΔH_{ad}) ดังสมการ

$$B = B_0 e^{-\Delta H_{ad}/RT} \quad (2.2)$$

ในกรณีที่การดูดซับเป็นการดูดซับของของเหลวลงบนวัสดุของแข็งที่จุดสมดุล สารละลายมีความเข้มข้น C

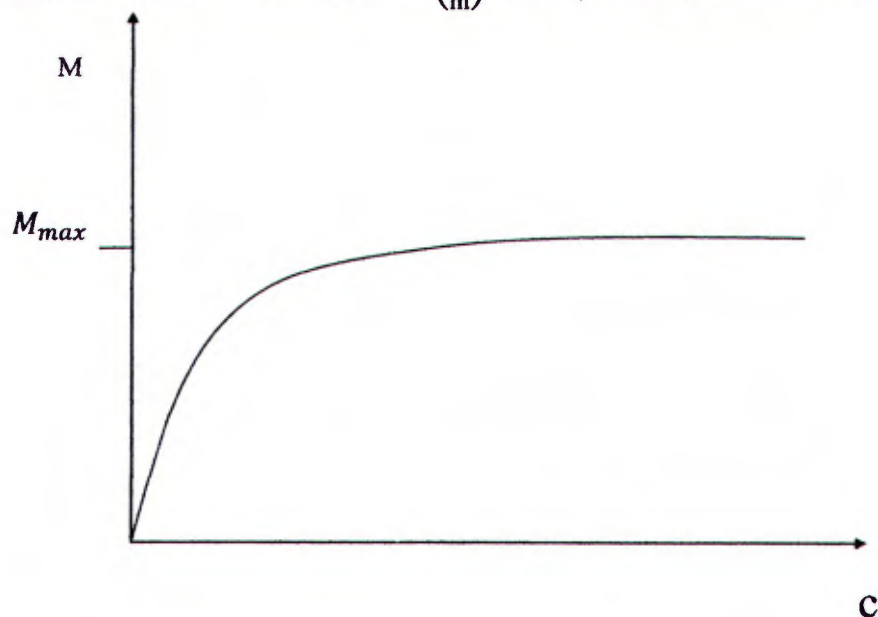
ถ้า M คือ จำนวนโมลของตัวถูกดูดซับต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ $\left(\frac{x}{m}\right)$

$M_{\max}$ คือ จำนวนโมลของการตัวดูดซับที่สามารถที่ที่สามารถปกคลุมผิวหน้าทั้งหมดของหนึ่งหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ

$$\theta = \frac{M}{M_{\max}}$$

ดังนั้น
$$M = \frac{M_{\max}BC}{1+BC} \quad (2.3)$$

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $M\left(\frac{x}{m}\right)$ และ C จะมีลักษณะดังภาพที่ 2.6

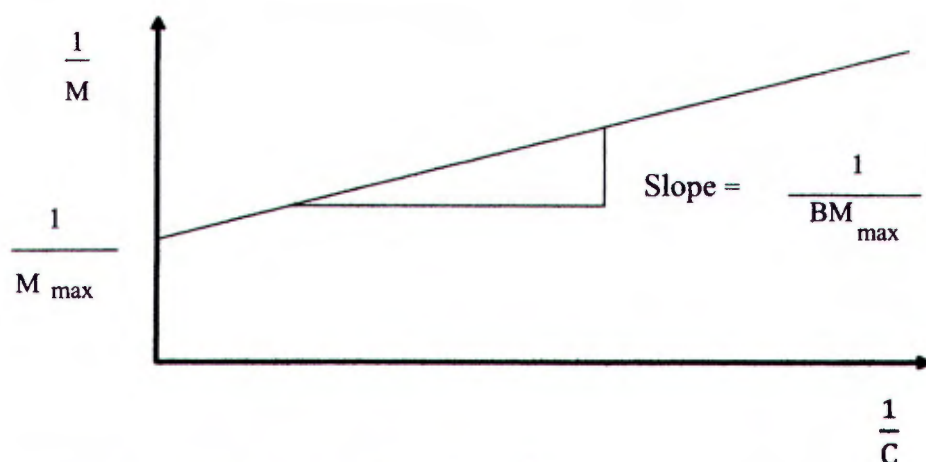


ภาพที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $M\left(\frac{x}{m}\right)$ และ C
สมการ (2.3) สามารถเขียนได้ในรูปของสมการเส้นตรงคือ

$$\frac{1}{M} = \frac{1}{M_{\max}} + \frac{1}{BM_{\max}C} \quad (2.4)$$

และกราฟระหว่าง $\frac{1}{M}$ และ $\frac{1}{C}$ จะเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{1}{BM_{\max}}$ และตัดแกนที่ $\frac{1}{M_{\max}}$

ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{M}$ กับ $\frac{1}{C}$

จากค่าของ $M_{\max}$ และ b ที่ได้จากกราฟสามารถคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) ของสารดูดซับได้จากสมการ

$$S = M_{\max} \cdot N \cdot s \quad (2.5)$$

S คือ พื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุดูดซับ

N คือ เลขอาโวกาโดรมีค่าเท่ากับ 6.02×10^{23} โมเลกุล

s คือ พื้นที่ที่ถูกปกคลุมด้วยสารดูดซับหนึ่งโมเลกุล

2. แบบจำลอง BET

บรูเนวี่ เอ็มเมทซ์ และเทลเลอร์ ปรับปรุงแบบจำลองแลงเมียร์ให้ครอบคลุมถึงการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer adsorption) โดยพิจารณาว่าการดูดซับในชั้นที่สองและชั้นอื่น ๆ ที่อยู่ถัดออกมาเกิดจากการกลั่นตัว (condensation) ของสารดูดซับลงบนชั้นแรกของการดูดซับ ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการดูดซับของชั้นที่หนึ่งคือ ความร้อนของการดูดซับ ΔH_{ad} ในขณะที่พลังงานที่ใช้ในการดูดซับของชั้นที่อยู่ถัดออกมาคือความร้อนของการกลั่นตัว ΔH_{cond} สมการ BET สำหรับการดูดซับของของเหลวคือ

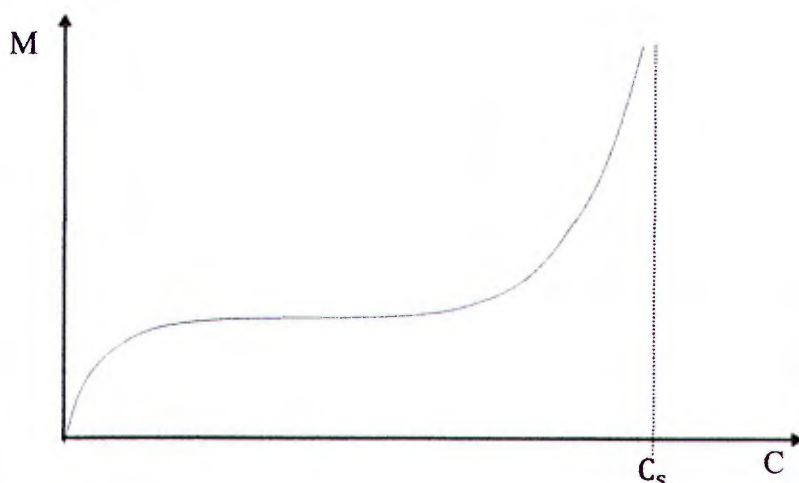
$$M = \frac{BCM_{\max}}{(C-C_s) \left[1 + (B-1) \left(\frac{C}{C_s} \right) \right]} \quad (2.6)$$

เมื่อ C_s คือ ความเข้มข้นของสารละลายที่จุดอิ่มตัวของการดูดซับ

B คือ ค่าคงที่ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ

$$B = \frac{\exp(\Delta X_{ad} - \Delta H_{cond})}{RT} \quad (2.7)$$

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง M และ C จะมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 2.8



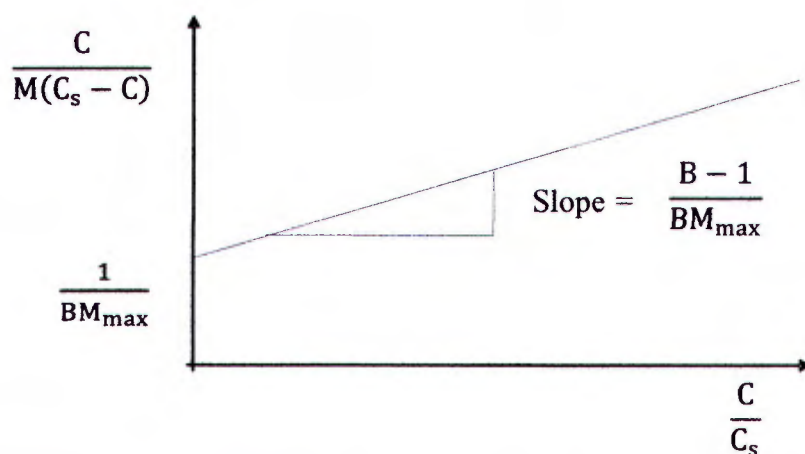
ภาพที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของตัวดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักวัสดุดูดซับ (M) กับความเข้มข้นของสารละลายที่จุดสมดุล (C)

สมการ BET สามารถเขียนได้ในรูปของสมการเส้นตรงดังนี้

$$\frac{C}{M(C_s - C)} = \frac{1}{BM_{\max}} + \left(\frac{B-1}{BM_{\max}} \right) \left(\frac{C}{C_s} \right) \quad (2.8)$$

และกราฟระหว่าง $\frac{C}{M(C_s - C)}$ และ $\left(\frac{C}{C_s} \right)$ จะเป็นเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $\frac{B-1}{BM_{\max}}$

และตัวแกนที่ $\frac{1}{BM_{\max}}$ ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{C}{M(C_s - C)}$ กับ $\frac{C}{C_s}$

3. ฟรอนดลิชแอดซอร์พชันไอโซเทอร์ม (Freundlich Adsorption Isotherm)

สมการฟรอนดลิชใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่ออธิบายการดูดซับในสารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ ดังสมการ

$$\frac{X}{M} = K C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2.9)$$

X = จำนวนตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับ

M = น้ำหนักวัสดุดูดซับ

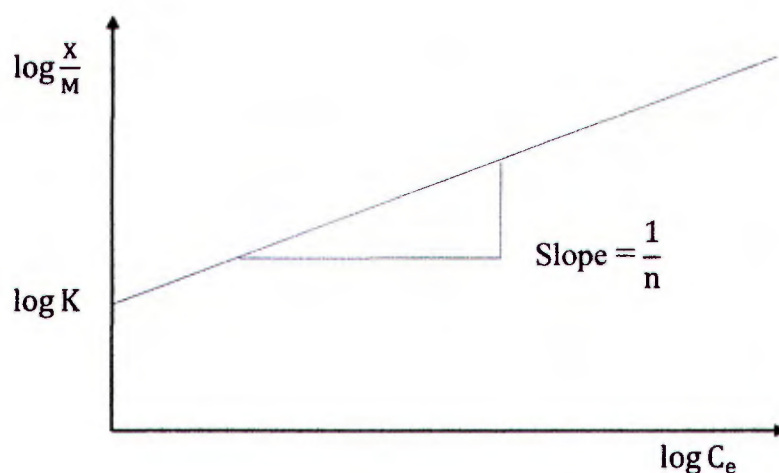
C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล

K และ $\frac{1}{n}$ เป็นค่าคงที่ของระบบนั้น ๆ

สมการฟรอนดลิชใช้อธิบายได้ดีสำหรับวัสดุที่มีพื้นที่ผิวแบบวิวิธพันธ์ (heterogeneous) และอธิบายการกระจายตามรูพรุน เมื่อทำเป็นสมการเส้นตรงจะได้

$$\log \frac{X}{M} = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.10)$$

พล็อต $\log \frac{X}{M}$ กับ $\log C_e$ ได้เส้นตรงความชันเท่ากับ $\frac{1}{n}$ และจุดตัดเท่ากับ $\log K$ เมื่อ $\log \frac{X}{M}$ ที่ $C_e = 0$



ภาพที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \frac{X}{M}$ กับ $\log C_e$

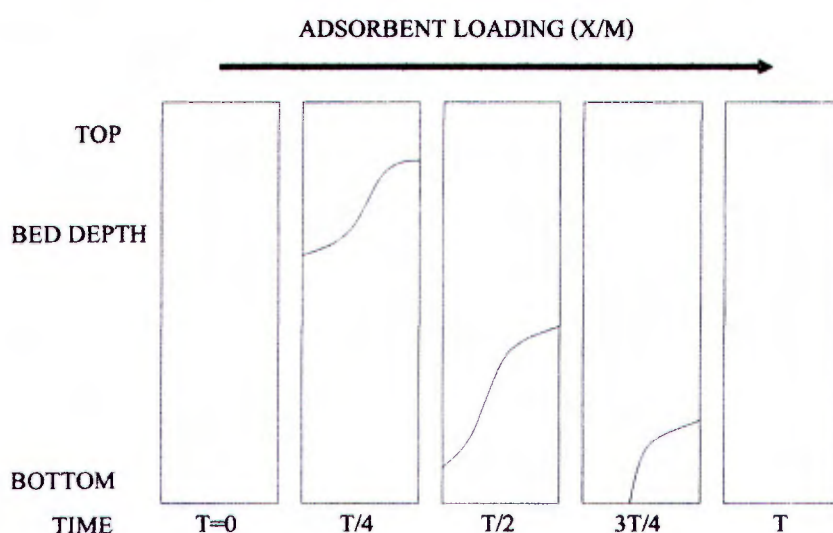
โดยทั่วไปค่า $\frac{1}{n}$ ของการดูดซับสารอินทรีย์ มีค่าน้อยกว่า 1 แต่ถ้า $\frac{1}{n} \approx 1$ แสดงว่า ความจุของการดูดซับสูง ที่ความเข้มข้นที่สมดุลสูง ๆ นั่นคือการดูดซับเปลี่ยนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ ความเข้มข้นที่สมดุลต่ำ ทำให้ไอโซเทอรั่มมีค่าสโลปลาดชันมาก ถ้า $\frac{1}{n} \ll 1$ แสดงว่าความจุของ การดูดซับค่อย ๆ ลดลงที่ความเข้มข้นที่สมดุลต่ำ

สมการฟรุนดลิช สามารถใช้คำนวณปริมาณวัสดุดูดซับที่ต้องการใช้เมื่อลดความเข้มข้น เริ่มต้น และหาความเข้มข้นสุดท้าย โดยแทนค่า C_0 - C_e ลงในสมการ

$$\log \frac{C_0 - C_e}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.11)$$

ระบบไดนามิก (Dynamic System)

ระบบไดนามิกหรือคอลัมน์เป็นขบวนการดูดซับแบบไหลต่อเนื่องผ่านคอลัมน์ที่บรรจุ ด้วยวัสดุดูดซับซึ่งจะเกิดไดนามิกแอดซอร์พชัน (dynamic adsorption) ของตัวถูกละลายหรือตัวถูกดูด ซับ วิธีการทำแบบคอลัมน์จะต้องมีการศึกษาความจุของการดูดซับ (adsorption capacity) และพบว่า มีค่าสูงกว่าการดูดซับแบบไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากสารละลายของตัวถูกละลายได้สัมผัสกับวัสดุอย่าง ต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของสารละลายเท่าเดิมหรืออาจเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยวัสดุดูดซับในคอลัมน์ จะมีลักษณะเป็นชั้น แต่ละชั้นจะได้รับสารละลายที่มีความเข้มข้นคงที่ ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 แสดงพฤติกรรมของการดูดซับแบบคอลัมน์

ที่มา: (โสภณ เรืองสำราญ, 2540)

แอดซอร์พชันไอโซเทอร์ม การดูดซับของตัวถูกดูดซับจากตัวทำละลายไปยังผิวของ วัสดุมีการกระจายของตัวถูกละลายจากวัฏภาคของเหลวไปยังของแข็งอัตราการกระจายเป็นขบวนการ ดูดซับที่สมดุลโดยอธิบายในเทอร์มของ (จำนวนของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อกรัมวัสดุดูดซับ (Q) เป็นฟังก์ชันกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลายที่สมดุล (C) เมื่อ Q และ C มีความสัมพันธ์ กันตามสมการของแลงเมียร์ซึ่งอาศัยสมมุติฐานว่าการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว พลังงานระหว่างตัวถูก ละลายกับวัสดุดูดซับดังสมการ

$$Q = \frac{Q_m bc}{1} + bc$$

เขียนสมการของแลงเมียร์เป็นสมการเส้นตรงได้ดังนี้

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_m} + \left(\frac{1}{bQ_m}\right) \left(\frac{1}{C}\right)$$

และฟรอนคลิชได้ปรับปรุงสมการแลงเมียร์เพื่อใช้กับผิวของวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและพลังงานมี การเปลี่ยนแปลงดังสมการ

$$Q = KC^{\frac{1}{n}}$$

เมื่อ K = ค่าคงที่เรียกว่า ความจุของการดูดซับ

$\frac{1}{n}$ = ค่าคงที่แสดง ความเข้มข้นของการดูดซับ โดยพบว่าถ้าค่า $\frac{1}{n}$ มีค่าลดลง แสดงว่า ความเข้มข้นของการดูดซับเพิ่มขึ้น ทำเป็นสมการเส้นตรง

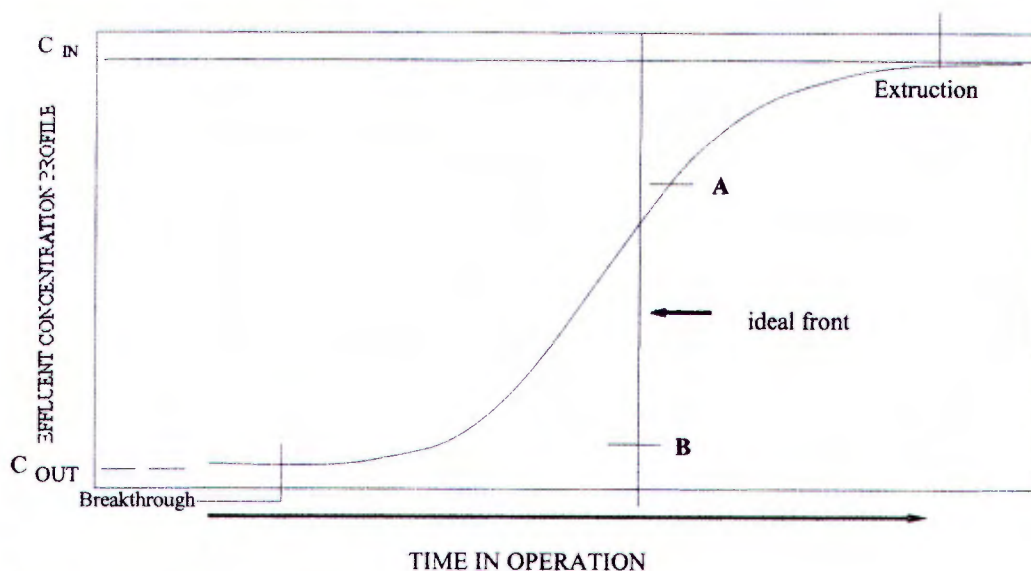
$$\log Q = \log K + \frac{1}{n} \log C$$

พล็อต log Q กับ log C ได้เส้นตรงความชัน 1/n และจุดตัดคือ K

Breakthrough Curve และ Mass Transfer Zone

Breakthrough Curve และ Mass Transfer Zone เมื่อผ่านสารละลาย (ตัวถูกดูดซับ) ลงไป ในคอลัมน์และพิจารณา wave front ของวัสดุดูดซับเมื่อสัมผัสกับตัวดูดซับ การเปลี่ยนแปลงความ เข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนผิววัสดุดูดซับแปรตามความลึกของฐาน (bed depth) ของชั้นแรก วัสดุดูด ซับจะถูกดูดซับอย่างรวดเร็วจนถึงสมดุล ส่วนที่สองเป็นการดูดซับแบบไดนามิกเรียกว่าช่วงการถ่าย ยาวมวล (mass transfer zone) หลังจากส่วนนี้ตัวถูกดูดซับมาถึงส่วนล่างสุดความเข้มข้นส่วนนี้เรียกว่า ความเข้มข้นที่ Breakthrough ซึ่งสามารถสร้าง Breakthrough Curve ได้โดยการพล็อตกราฟระหว่าง

ความเข้มข้นที่ผ่านออกมา (effluent concentration) กับเวลา ดังภาพที่ 2.12 มีวิธีการทดลองโดยให้ตัวถูกดูดซับก่อนผ่านคอลัมน์และออกจากคอลัมน์มีความเข้มข้นเท่ากัน ($C_{in}-C_{out}$) ตามปกติ Breakthrough Curve จะได้รูปร่างตัวเอสที่เรียบ (smooth S-shape) เมื่อทำการทดลองกับวัสดุดูดซับชนิดเดียว แต่ถ้าตัวดูดซับหลาย ๆ ชนิดผสมกัน การดูดซับจะเกิดการแข่งขัน ทำให้รูปร่างของ Breakthrough Curve เปลี่ยนไปหรืออาจบิดเบี้ยว



ภาพที่ 2.12 แสดงการหา Breakthrough Capacity

ที่มา: (โสภณ เรืองสำราญ, 2540)

วิธีการดูดซับ

1. วิธีการดูดซับแบบแบทช์ (Batch)

วิธีการศึกษาการดูดซับแบบแบทช์หรือแบบถังแช่สามารถทำให้วัสดุดูดซับกับตัวถูกดูดซับถึงจุดสมดุลได้โดยแบบแช่ตั้งทิ้งไว้ ซึ่งต้องใช้เวลานาน แต่ถ้าทำการเขย่าจะให้การละลายถึงสมดุลเร็วขึ้น อุณหภูมิจะมีผลต่อการดูดซับแบบนี้

2. วิธีการดูดซับแบบคอลัมน์ (Column)

การดูดซับแบบคอลัมน์โดยนำวัสดุดูดซับมาบรรจุในคอลัมน์แล้วผ่านสารละลายของตัวถูกดูดซับลงไปปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับได้แก่ อัตราการไหล ขนาดของคอลัมน์ ความสูงของวัสดุที่บรรจุ พบว่าการดูดซับในช่วงแรกของคอลัมน์จะมีปริมาณมากกว่าในช่วงท้าย ในการศึกษาการดูดซับแบบต่อเนื่องจะมีประสิทธิภาพของการดูดซับดีกว่าแบบถังแช่ เนื่องจากสารละลายของตัวถูกดูดซับจะสัมผัสกับวัสดุได้นานกว่า

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tony A. และคณะ (2532) ได้ทำการปรับปรุงซิลิกาเจลด้วย 3-methyl-1-phenyl-4-stearol-5-pyrazolone เพื่อนำไปทำ preconcentration โลหะ Co Ni และ Cu โดยมีการทำทั้งแบบแบทช์ และแบบคอลัมน์ ผลจากการทดลองแบบแบทช์พบว่าที่พีเอช 4.5 โลหะทั้งสามชนิดถูกดูดซับได้ร้อยละ 100 โดยสามารถเรียงลำดับประสิทธิภาพการดูดซับจากมากไปน้อย

Puranik D.B และคณะ (2540) ได้ปรับปรุง agarose และ polystyrene silica ด้วยคีเลเตอร์สองชนิดด้วยกัน คือ 1,4,8,11-tetraacyclotetradecane(cyclam) และ N-(3-trinethoxypropyl)diethylene triamine(DDTA)เพื่อใช้ในการกำจัด Cu ที่ปนเปื้อนในน้ำมันจากการศึกษาพบว่าวัสดุที่ปรับปรุงทั้งสองชนิดสามารถกำจัดคอปเปอร์Cuได้เป็นอย่างดีแต่เนื่องจาก cyclam เป็นสารที่มีราคาแพงจึงเลือกใช้ DDTA-silane เป็นคีเลเตอร์เพราะมีราคาถูก

ประวิทย์ เนื่องมัจฉา (2551). ได้ศึกษาการกำจัดตะกั่ว (II) โดยใช้ซิลิกาจากถ่านแกลบ และซิลิกาที่ดัดแปรทางเคมีด้วย 3-[2-2-อะมิโนเอทิลอะมิโน]-เอทิลอะมิโน]-โพรพิล-ไตรเมทอกซีไซเลน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า พีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว และเวลาที่เข้าสู่สมดุล คือ 4.0-6.0 และ 30 นาที ตามลำดับ เมื่อหาค่าความจุสูงสุดของการกำจัดตะกั่ว ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สมการ ไอโซเทอรั่มของฟรอนดลิช พบว่าซิลิกาจากถ่านแกลบที่ผ่านการดัดแปรทางเคมีนั้น สามารถกำจัดตะกั่ว (II) ได้สูงสุดด้วยวิธีแบบถังแช่และแบบคอลัมน์เท่ากับ 86.84 และ 88.23 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อนำซิลิกาที่ดัดแปรทางเคมีมาประยุกต์ใช้กำจัดตะกั่ว(II) จากน้ำทิ้งในเขตเทศบาลที่มีการทำเหมืองและน้ำทิ้งจากศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช พบว่าสามารถกำจัดตะกั่ว (II) ได้ 99.42 และ 90.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

รัตนา มหาชัย (2542). ได้ศึกษาการดูดซับโลหะได้แก่ โครเมียม แคดเมียม คอปเปอร์ ตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล และสังกะสี โดยใช้วัสดุจากธรรมชาติ ได้แก่ ใบมะพร้าว ใบไหม ใบไม้ไผ่ และขี้เถ้าแกลบ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าขี้เถ้าแกลบสามารถดูดซับโลหะได้ดีที่สุดนอกจากนี้พบว่าการดูดซับแบบคอลัมน์มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบแบทช์

อมรารวรรณ อินทศิริ (2547). ได้ทำการศึกษาดังการสังเคราะห์เมโซพอร์ซิลิกาที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันและเมโซพอร์ซิลิกาที่มีหมู่ฟังก์ชันผ่านกระบวนการ โซล-เจล โดยศึกษาถึงผลของชนิดสารตั้งต้นซิลิกาได้แก่เมโซพอร์ซิลิกาที่ผ่านการเผา และซิลิกาเจล 60 พบว่าซิลิกาที่มีหมู่ฟังก์ชันชาเลนที่สังเคราะห์จากเมโซพอร์ซิลิกาที่ผ่านการเผามีชาเลนที่ถูกเติมลงในซิลิกาได้ในปริมาณที่มากกว่าชาเลนที่ถูกเติมลงในซิลิกาที่เตรียมจากซิลิกาเจล 60 การศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วย

เทคนิค XRD และการดูดซับไนโตรเจน ได้เสนอว่าวัสดุทั้งสองประเภทที่เตรียมจากเมโซพอร์ซซิลิกา ที่ผ่านการเผา มีการจัดเรียงโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบ ในขณะที่วัสดุที่สังเคราะห์จากซิลิกาเจล 60 มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน ผลการตรวจสอบสมบัติในการสกัดโลหะของเมโซพอร์ซซิลิกาที่สังเคราะห์ได้ทุกชนิด แสดงให้เห็นว่าเมโซพอร์ซซิลิกาที่มีหมู่ฟังก์ชันซาลอนมีความสามารถในการสกัด Fe(III) และ Cu(II)

รัตนมา มหาชัย และ นาง ภูวงศ์ผา (2547) ได้ทำการสกัดซิลิกาจากเปลือกข้าว (มีปริมาณซิลิกา ร้อยละ 99.82 โดยมวล) แล้วนำมาเตรียมเป็นซิลิกาเจล และมีสมบัติเป็นของแข็งในรูปอสัณฐาน พื้นที่ผิวจำเพาะมีค่า 596.45 และ 428.80 $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ ตามสมการแลงเมียร์ และ BET ตามลำดับ และมีขนาดรูพรุน 6.90 nm จากภาพถ่าย SEM พื้นผิวหน้ามีลักษณะเป็นรูเล็กๆกระจาย ได้นำซิลิกาเจลที่เตรียมมาตรึงด้วยหมู่อะมิโน-ไฮดรอกซิล จากข้อมูลอินฟราเรดสเปกตรัมพบพีคเพิ่มที่ 3303 และ 2553 cm^{-1} สอดคล้องกับหมู่ $-\text{NH}$ และ $-\text{SH}$ ตามลำดับ เมื่อนำวัสดุทั้งสองชนิดมาศึกษาการดูดซับสังกะสีด้วยวิธีแบบถังแซ่ และคอลัมน์ ในแบบถังแซ่ ตัวแปรการทดลองที่เหมาะสม ได้แก่ เวลา ปริมาณวัสดุดูดซับ พีเอช อุณหภูมิ และช่วงความเข้มข้น มีค่าเท่ากับ 60 , 120 นาที , 0.5 , 0.05 g , 5-6 หน่วย pH , 25 $^{\circ}\text{C}$, 20-500 ppm ในวัสดุซิลิกาเจลที่เตรียม และที่ตรึงด้วยหมู่อะมิโน-ไฮดรอกซิล ตามลำดับ การดูดซับสารละลายสังกะสีด้วยวัสดุทั้งสองให้รูปร่างไอโซเทอร์มชนิดแอล กลุ่มย่อยที่ 2 แบบขั้นเดียว มีพฤติกรรมการดูดซับแบบกายภาพ และแลกเปลี่ยนไอออนในวัสดุซิลิกาเจล และแบบเคมีร่วมด้วย ในวัสดุซิลิกาเจลที่ตรึงด้วยหมู่อะมิโน-ไฮดรอกซิล และให้ความจุการดูดซับมีค่า 0.75 และ 2.52 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ แบบถังแซ่ และ 6.99 และ 19.85 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ แบบคอลัมน์ ในวัสดุทั้งสองตามลำดับ ถ้ามีการรบกวนจากโลหะอื่นๆ ได้แก่ ตะกั่ว (5 ppm) แคมเมียม (50 ppm) ปรอท (5 ppm) และอาร์เซนิก (5 ppm) ทำให้ร้อยละการดูดซับสังกะสีในวัสดุทั้งสองลดลงมีค่า 17.94 และ 7.80 ตามลำดับ และเมื่อนำวัสดุซิลิกาเจลที่ตรึงด้วยหมู่อะมิโน-ไฮดรอกซิล มาศึกษาการกำจัดสังกะสีในน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมแร่สังกะสี ซึ่งมีสังกะสีอยู่ประมาณ 3300 ppm และมีโลหะอื่นๆ ดังที่กล่าวมาแล้วปนเปื้อนอยู่ด้วย เมื่อทำแบบถังแซ่ พบว่า พารามิเตอร์ทุกตัว (TS, COD) ให้ค่าลดลง ยกเว้นค่าพีเอช ปริมาณการกำจัดโลหะ Zn, Cu, Cd, Pb, Fe, Ca, Mg, Mn, Sb, As และ Hg มีค่า 1898, 1.4×10^{-1} , 5, 1.52, 70, 38, 32, 4×10^{-1} , 1.96×10^{-1} , 8.4×10^{-2} และ 1.84×10^{-3} $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ตามลำดับ ปริมาตรน้ำ 1000 ml สรุปได้ว่า ซิลิกาเจลที่เตรียมจากซิลิกาที่ได้จากเปลือกข้าวแล้วตรึงด้วยหมู่อะมิโน-ไฮดรอกซิล เป็นวัสดุที่ดีสำหรับกำจัดสังกะสีที่มีปริมาณมากในน้ำเสีย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

เครื่องมืออุปกรณ์ และสารเคมี

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ลำดับที่	ชื่อเครื่องมือ	ยี่ห้อ	รุ่น
1.	Atomic Absorption Spectroscopy	Perkin Elmer	3110
2.	pH-Meter	Perkin Elmer	-
3.	เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง	Artorius	BP 210 S
4.	เครื่องปั๊มสุญญากาศ	Divac	-
5.	ตู้เย็น	Memmert	UM 500
6.	เครื่องหมุนเหวี่ยง		

2. สารเคมีและวัสดุชุดขับ

สารเคมีและวัสดุชุดขับที่ใช้ในการวิจัยแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารเคมีและวัสดุชุดขับที่ใช้ในการวิจัย

ลำดับที่	เกรด	บริษัท
1. NaOH	AR	MERCK
2. $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$	AR	MERCK
3. โทลูอิน	AR	MERCK
4. DETA-silane	AR	MERCK
5. เมทานอล	AR	MERCK
6. ซิลิกาเจลที่ซื้อจากบริษัท	AR	MERCK

วิธีการทดลอง

วิธีการปรับปรุงซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมีจากซิลิกาเจลเชิงการค้า วิธีการศึกษาครั้งนี้ทำการดัดแปรซิลิกาเจลโดยการนำเข้าสู่ท่อหมุ่ฟังก์ชันด้วยลิแกนด์ DETA-Silane ตามวิธีของ Puranik D.B. และคณะ (Puranik D.B. และคณะ, 1997) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งซิลิกาเจลบริสุทธิ์มา 5.00 กรัม ลงในขวดก้นกลม
2. เติม DETA-silane ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
3. นำไปทำการรีฟลักซ์โดยใช้ไทลูอิน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เป็นตัวทำละลาย เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. ทำการกรองและล้างด้วยเมทานอล และนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. นำวัสดุไปเก็บในโถสุญญากาศ

การหาสภาวะที่เหมาะสมและความสามารถในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

ในการหาสภาวะที่เหมาะสมและความสามารถในการกำจัดโลหะหนักครั้งนี้ได้ทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ของโลหะหนักเหล็ก โดยศึกษาที่ระดับความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรและได้ทำการออกแบบการทดลองเป็นสองเทคนิคคือ เทคนิคดั่งแช่และเทคนิคคอลัมน์ โดยหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักได้แก่ เวลาที่เหมาะสมในการกำจัดเหล็ก พีเอชของสารละลาย และความเข้มข้นของสารละลายเหล็กเพื่อหาค่าความจุในการกำจัดโลหะหนัก

1. หาสภาวะที่เหมาะสมและความสามารถในการกำจัดโลหะหนักด้วยเทคนิคดั่งแช่

1.1 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะหนัก ชั่งวัสดุทั้งสอง คือ ซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี หนัก 0.05 กรัม ในขวดพลาสติก ปิดฝาสารละลายเหล็กที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1, 2, 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ หลังจากนั้นนำสารละลายส่วนใสที่ผ่านการนำไปตกตะกอนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิก แอ็บซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1.2 ศึกษาผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะหนัก ชั่งวัสดุทั้งสองชนิด คือ ซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี หนัก 0.05 กรัม ในขวดพลาสติก ปิดฝาดัง

สารละลายเหล็กที่ปรับพีเอชมีค่าแตกต่างกันดังนี้ 1, 2, 3, 4 และ 5 ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเวลาที่เหมาะสม(ข้อ 1.1) นำสารละลายส่วน 10 ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะเหล็กด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นเหล็ก เพื่อหาค่าความจุการดูดซับ ชั่งวัสดุทั้งสอง ชนิด คือ ซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมีหนัก 0.05 กรัม ในขวดพลาสติก ปิดฝาสารละลายเหล็กที่ปรับพีเอชที่เหมาะสม (ข้อที่ 1.2) และเตรียมสารละลายเหล็กให้มีความเข้มข้น ต่างๆกันดังนี้ 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ด้วยเวลาที่เหมาะสม(ข้อที่ 1.1) นำสารละลายส่วน 10 ไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะเหล็กด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และนำข้อมูลที่ได้ไปหาความจุของการดูดซับได้โดยอาศัยสมการของฟรอนด์ลิช

2. ศึกษาพฤติกรรมของการดูดซับโลหะเหล็กด้วยเทคนิคแบบคอลัมน์

ทำการบรรจุวัสดุดูดซับทั้งสองชนิดลงในคอลัมน์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.7 มิลลิเมตร โดยแต่ละคอลัมน์ชั่งน้ำหนักวัสดุ 2 กรัม ด้วยชั่งน้ำหนักโดยละเอียด แล้วผ่านสารละลายโลหะเหล็กที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วยตัวดูดซับซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมีและซิลิกาเจลทางการค้า และทำการเก็บสารละลายส่วนที่ผ่านออกมาครั้งละ 100 มิลลิลิตร จนครบ 1.0 ลิตร นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะเหล็กด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณค่าความสามารถในการกำจัดตะกั่ว โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C_A/C_{A0} กับปริมาตรของสารละลายตะกั่ว

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดลอง

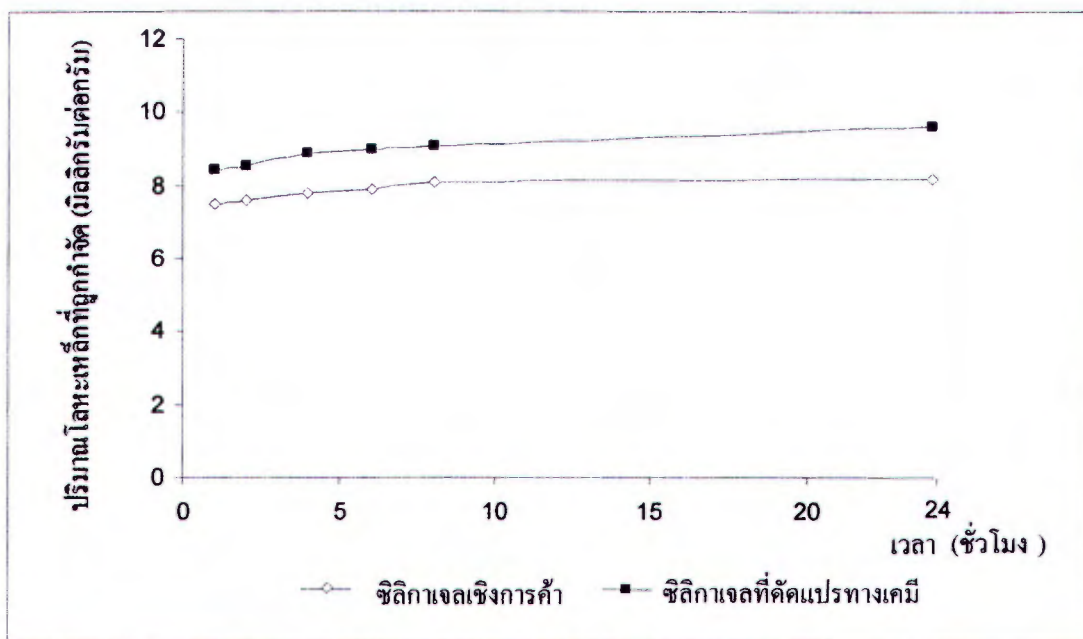
1. การหาสภาวะที่เหมาะสมและความสามารถในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

1.1 การหาสภาวะที่เหมาะสม และความสามารถในการกำจัดโลหะหนัก ด้วยเทคนิคแบบบังแซ่ จากการศึกษาสภาวะต่างๆในการกำจัดเหล็กด้วยเทคนิคแบบบังแซ่ ได้แก่ เวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะหนัก ผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะหนัก และผลของความเข้มข้นของเหล็ก เพื่อหาค่าความจุในการกำจัดของวัสดุ ได้ผลดังนี้

1.1.1 เวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะหนัก จากการนำซลิกาทั้งสองชนิด(ซลิกาเจลเชิงการค้า และซลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี) หนัก 0.05 กรัม ลงในขวดพลาสติก และปิเปตต์สารละลายเหล็กความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1, 2, 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ แล้วนำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิก แอ็บซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าที่เวลา 1, 2, 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง มีปริมาณเหล็กที่ถูกกำจัดเฉลี่ยเป็นมิลลิกรัมเท่ากับ 7.5, 7.6, 7.8, 7.9, 8.1 และ 8.1 มิลลิกรัมต่อกรัม ของซลิกาเจลเชิงการค้า และ 8.4, 8.5, 8.8, 9.0, 9.0 และ 9.2 มิลลิกรัมต่อกรัม ของซลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ตารางที่4.1 ปริมาณการดูดซับสารละลายโลหะหนักบนซลิกาเจลที่เวลาแตกต่างกัน

ซลิกาเจลเชิงการค้า		ซลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี	
เวลา(ชั่วโมง)	โลหะที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	เวลา(ชั่วโมง)	โลหะที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
1	7.5	1	8.4
2	7.6	2	8.5
4	7.8	4	8.8
6	7.9	6	9.0
8	8.1	8	9.0
24	8.1	24	9.2

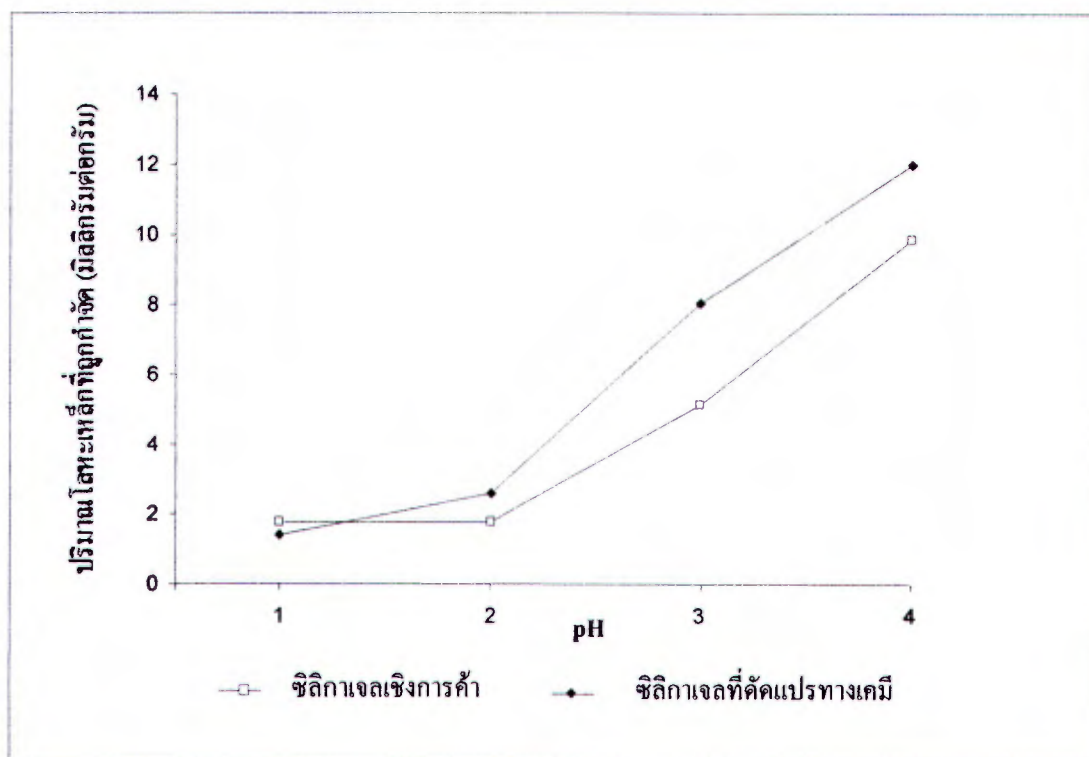


ภาพที่ 4.1 ปริมาณ โลหะหนักที่ถูกกำจัดเมื่อใช้เวลาในการสัมผัสกับชิตินแตกต่างกัน

1.1.2 ผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะหนักบนชิตินเจล จากการที่ได้นำชิตินเจลเชิงการค้า และที่ชิตินเจลคัดแปรทางเคมี หนัก 0.05 กรัมในขวดพลาสติก ปิดฝาสารละลายเหล็กที่ปรับพีเอช มีค่าแตกต่างกันดังนี้ 1.0 2.0 3.0 และ 4.0 ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาตรเท่ากับ 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่า ที่พีเอช 1.0, 2.0, 3.0 และ 4.0 ชิตินเจลที่คัดแปรทางเคมีสามารถกำจัดโลหะหนักเมื่อเฉลี่ยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมต่อกรัมเท่ากับ 1.43, 2.56, 8.06 และ 12.01 ตามลำดับ ให้ผลที่สอดคล้องกับชิตินเจลเชิงการค้าคือ 1.75, 1.79, 5.14 และ 9.86 ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2)

ตาราง ที่ 4.2 ปริมาณการดูดซับสารละลายโลหะหนักบนชิตินเจล ที่ระดับพีเอชแตกต่างกัน

พีเอช	ปริมาณสารละลายโลหะหนักที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	
	ชิตินเจลเชิงการค้า	ชิตินเจลที่คัดแปรทางเคมี
1	1.751	1.431
2	1.791	2.558
3	5.138	8.062
4	9.856	12.006



ภาพที่ 4.2 ผลของพีเอชต่อปริมาณการดูดซับสารละลายโลหะหนักบนซีลิกาเจล

1.1.3 ผลการทดลองหาความเข้มข้นของเหล็กเพื่อหาค่าความจุการกำจัดของซีลิกาเจล

จากการนำซีลิกาเจลเชิงการค้า และซีลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี หนัก 0.05 กรัมในขวดพลาสติก ปิเปตต์ สารละลายเหล็กที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กันดังนี้ 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับพีเอชที่เหมาะสมดังผลการศึกษาข้างต้น และตั้งทิ้งไว้ด้วย เวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ด้วยเครื่องอะตอมมิก แอ็บซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

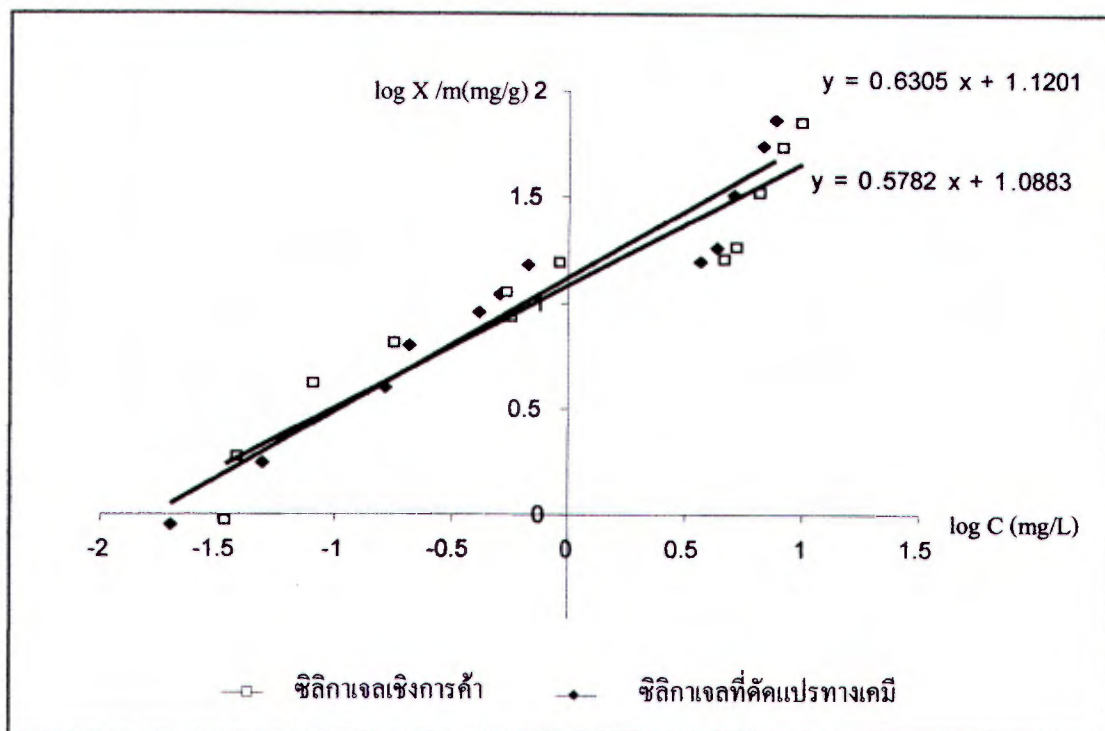
นำข้อมูลที่ได้ไปหาความจุการดูดซับได้โดยอาศัยสมการของฟรอนดลิช ดังตารางที่ 4.3 ตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.3 การหาค่าความจุสูงสุดในการกำจัดโลหะหนักของซีลิกาเจลเชิงการค้า และซีลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี อธิบายได้โดยไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรอนดลิชในรูปลอการิทึม ซึ่งได้เขียนสมการ คือ $\log X/m = \log K + \log C$ เมื่อ X/m คือปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับบนวัสดุ (มิลลิกรัมต่อกรัม) C คือความเข้มข้นของโลหะในสารละลายเมื่อการดูดซับเข้าสู่สมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร) K และ $1/n$ คือค่าคงที่ ซึ่งค่าจาก $\log K$ สามารถนำมาคำนวณหาค่าความจุได้ ผลจากการที่ได้ ศึกษา พบว่า ซีลิกาเจลเชิงการค้า และซีลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี สามารถดูดซับเหล็กสูงสุดได้เท่ากับ 12.2546 และ 13.1856 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่า $\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร) และ $\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อกรัม) เพื่อหาความจุการดูดซับ ซิลิกาเจล

ซิลิกาเจลที่คัดแปรทางเคมี		ซิลิกาเจลเชิงการค้า	
$\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	$\log C$ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	$\log X/m$ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
-1.69897	-0.05544	-1.46852	-0.03252
-1.3098	0.247978	-1.40894	0.272661
-0.78516	0.597785	-1.09151	0.613547
-0.68194	0.796905	-0.74473	0.805418
-0.383	0.954527	-0.24872	0.931402
-0.29414	1.03762	-0.2644	1.044742
-0.17718	1.183189	-0.03152	1.185976
0.565612	1.20079	0.670246	1.208065
0.633064	1.265607	0.720903	1.259464
0.69897	1.514611	0.816109	1.515768
0.828402	1.739998	0.910838	1.73845
0.877371	1.869348	0.992111	1.853324

ตารางที่ 4.4 ค่าความจุของการดูดซับของวัสดุดูดซับตามวิธีการดูดซับแบบถึงแน่ที่ได้จากการคำนวณ

วัสดุดูดซับ	ความจุการดูดซับ (K) (มิลลิกรัมต่อกรัม)
ซิลิกาเจลเชิงการค้า	12.2546
ซิลิกาเจลที่คัดแปรทางเคมี	13.1856



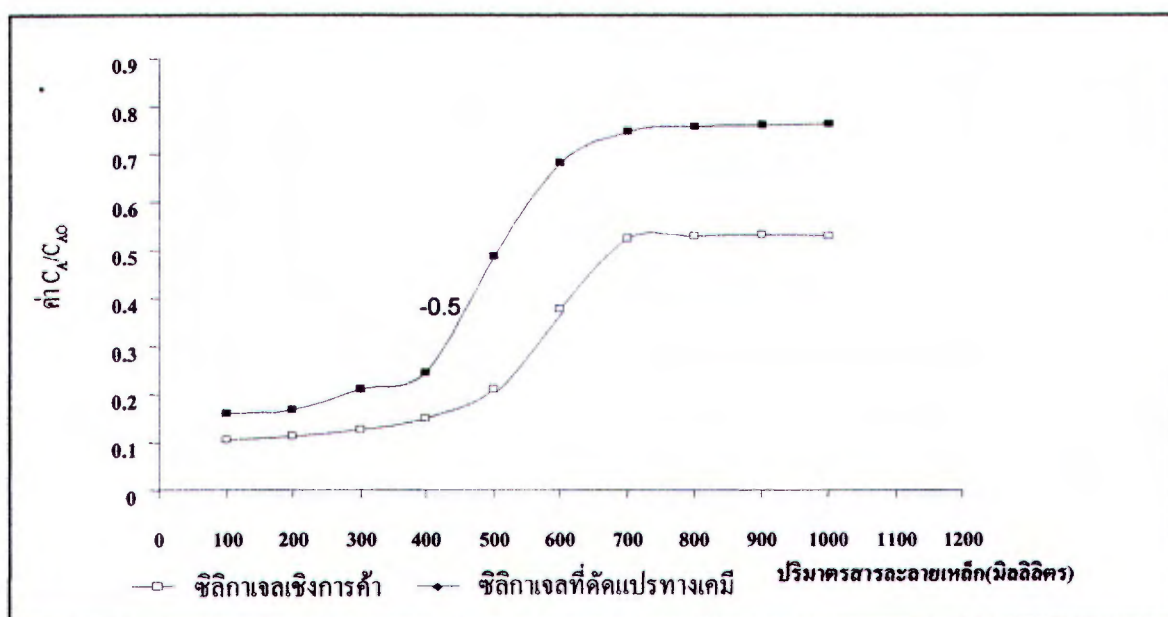
ภาพที่ 4.3 จุดตัดบนกราฟเพื่อหาความจุการดูดซับสารละลายโลหะเหล็กบนซีลีกาเจล

1.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมของการดูดซับสารละลายโลหะเหล็กด้วยเทคนิคแบบคอลัมน์

การศึกษาแบบคอลัมน์ได้ทำการบรรจุวัสดุดูดซับแต่ละชนิดลงในคอลัมน์ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.7 เซนติเมตร โดยแต่ละคอลัมน์ซึ่งน้ำหนักวัสดุ 2 กรัม ด้วยเครื่องซึ่ง 4 ตำแหน่งผ่านสารละลายเหล็กที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บสารละลายเหล็กที่ผ่านคอลัมน์ครั้งละ 100 มิลลิลิตร จนครบ 1.0 ลิตร นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะเหล็ก ด้วยนำไปวัดค่าด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ การหาค่าความสามารถสูงสุดในการกำจัดโลหะเหล็กของซีลีกาเจลเชิงการค้า และซีลีกาเจลที่ดัดแปรทางเคมีด้วยเทคนิคแบบคอลัมน์ โดยใช้ Breakthrough Capacity โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_A/C_{AO} และปริมาตรของสารละลายโลหะเหล็ก (มิลลิลิตร) เมื่อ C_A คือ ความเข้มข้นของโลหะเหล็กในสารละลายหลังผ่านคอลัมน์ และ C_{AO} คือความเข้มข้นของโลหะเหล็กในสารละลายก่อนผ่านคอลัมน์ ค่าความสามารถสูงสุดในการกำจัดโลหะเหล็กของวัสดุต่างๆ หาได้จาก ปริมาตรของสารละลายที่ทำให้ค่า C_A/C_{AO} เท่ากับ 0.5 (ดังตารางที่ 4.5 ภาพที่ 4.4)

ตารางที่ 4.5 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายตะกั่วและค่า C_A/C_{A0}

ซิลิกาเจลที่คัดแปรทางเคมี		ซิลิกาเจลเชิงการค้า	
ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม)	ค่า C_A/C_{A0}	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม)	ค่า C_A/C_{A0}
100	0.1594	100	0.1057
200	0.1692	200	0.1139
300	0.2097	300	0.1275
400	0.2448	400	0.1503
500	0.4875	500	0.2111
600	0.6810	600	0.3760
700	0.74699	700	0.5232
800	0.7583	800	0.5280
900	0.7615	900	0.5302
1000	0.7644	1000	0.5295



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรสารละลายหนักและค่า C_A/C_{A0}

ผลจากการศึกษาพบว่าปริมาณของสารละลายเหล็กที่ทำให้ค่า C_A/C_{AO} เท่ากับ 0.5 ของ ซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี คือ 500 และ 700 มิลลิลิตรตามลำดับ (ภาพที่ 4.4) เมื่อคำนวณหาความสามารถสูงสุดในการกำจัดเหล็กมีค่าเท่ากับ 3.474 และ 4.110 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 ค่า Breakthrough Capacity ของวัสดุดูดซับบนซิลิกา

วัสดุดูดซับ	ซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี	ซิลิกาเจลเชิงการค้า
น้ำหนัก(กรัม)	2.0008	2.0015
ปริมาณของสารละลายโลหะเหล็ก(มิลลิลิตร)	500	700
ความจุของวัสดุดูดซับ(มิลลิกรัมต่อกรัม)	3.474	4.1069

อภิปรายผลการทดลอง

1. ความสามารถในการกำจัดโลหะเหล็กด้วยเทคนิคแบบถังแช่

1.1 เวลาที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะเหล็ก จากการศึกษาพบว่าซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี ใช้เวลาการดูดซับเหล็กเข้าสู่สมดุลที่ 24 ชั่วโมง ปริมาณการดูดซับเหล็กที่ถูกกำจัดอยู่ระหว่าง 7.5 – 8.1 และ 8.4 – 9.2 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ จากภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงระยะ ชั่วโมงที่ 1 – 8 นั้น ความสามารถในการกำจัดของวัสดุตัวอย่างก็เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และเริ่มมีแนวโน้มคงที่ หรือเข้าสู่สมดุล แสดงว่าพื้นผิวของวัสดุถูกปกคลุมด้วยไอออนของเหล็กและยังคงมีการแลกเปลี่ยนไอออนของเหล็กระหว่างไอออนบนผิวของวัสดุกับไอออนในสารละลายตลอดเวลา จากการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้เวลาในการแช่ไว้เพื่อให้การดูดซับเข้าสู่สมดุลที่ 24 ชั่วโมง ของวัสดุทั้งสอง (ซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี)

1.2 ผลของพีเอชที่เหมาะสมต่อการกำจัดโลหะเหล็ก ในการทดลองนี้จะเลือกศึกษาที่ช่วงพีเอช ระหว่าง 1.0 ถึง 4.0 เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากที่พีเอชสูงกว่า 4.0 เหล็กจะตกตะกอนในรูปของ ไฮดรอกไซด์หรือออกไซด์ จากภาพที่ 4.2 พบว่า ซิลิกาเชิงการค้า และซิลิกาที่ดัดแปรทางเคมีกำจัดโลหะเหล็กได้ในปริมาณสูงสุด เมื่อสารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 4 ปริมาณเหล็กที่กำจัดได้มีค่าเท่ากับ 9.856 และ 12.006 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ดังนั้นในที่นี้จึงเลือกปรับพีเอชของสารละลายเหล็กให้ มีค่าเท่ากับ 4

1.3 ผลของความเข้มข้นของเหล็ก เพื่อหาค่าความจุการกำจัดของวัสดุ โดยทั่วไปแล้ว การบ่งชี้ถึงลักษณะหรือพฤติกรรมในการดูดซับของตัวดูดซับบนวัสดุดูดซับนั้น จะนิยมในการใช้

ไอโซเทอร์มการดูดซับเป็นหลักอ้างอิงเช่น ไอโซเทอร์มการดูดซับของแก๊สเมียร์ ของฟรูนคลิช หรือของบีอีที ซึ่งการที่จะนำไอโซเทอร์มมาอธิบายพฤติกรรมการดูดซับบนวัสดุดูดซับใดๆนั้นขึ้นอยู่กับผลการทดลองที่ได้ว่าสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบใด และในการวิจัยครั้งนี้พบว่าผลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของฟรูนคลิช ดังนั้นจึงหาค่าความจุการดูดซับโดยอาศัยสมการไอโซเทอร์มของฟรูนคลิช ซึ่งพบว่า ซิลิกาเจลเชิงการค้า และซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมีนั้นสามารถกำจัดตะกั่วได้สูงสุด เท่ากับ 12.2546 และ 13.1856 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

2. ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะหนักด้วยเทคนิคแบบคอลัมน์ จากภาพที่ 4.4 พบว่าปริมาณของสารละลายเหล็กที่ทำให้ค่า C_A/C_{A0} ของซิลิกาเจลเชิงการค้าและซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี เท่ากับ 0.5 นั้น คือ 700 และ 600 มิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อคำนวณหาค่าความสามารถสูงสุดในการกำจัดเหล็กมีค่าเท่ากับ 4.1069 และ 3.474 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สรุปผล

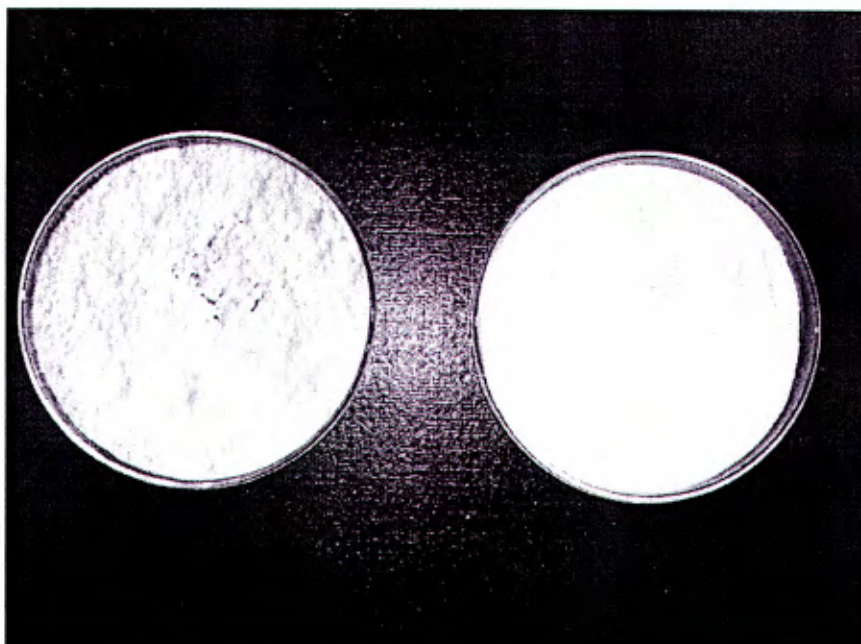
ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะเหล็ก พบว่าซัลฟาเจลเชิงการค้าและซัลฟาเจลที่ดัดแปรทางเคมี ใช้เวลาในการดูดซับเหล็กเข้าสู่สมดุลที่เวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งปริมาณเหล็กที่ถูกกำจัดมีค่าเท่ากับ 8.1 และ 9.2 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และสามารถกำจัดเหล็กได้ในปริมาณสูงสุด เมื่อสารละลายมีค่าพีเอช เท่ากับ 4 ปริมาณเหล็กที่ถูกกำจัดได้มีค่าเท่ากับ 9.856 และ 12.006 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อศึกษาค่าความจุการดูดซับพบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกับ ไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช โดยสามารถดูดซับเหล็กได้สูงสุด เท่ากับ 12.2546 และ 13.1856 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในขณะที่การศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะเหล็กด้วยเทคนิคแบบคอลัมน์ ความสามารถสูงสุด ในการกำจัดเหล็กมีค่าเท่ากับ 4.1069 และ 3.474 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

บรรณานุกรม

- จุริรัตน์ ทองทาส เขมรัฐ โอสถาพันธุ์ และสุธา ขาวเขียว. (2549). การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ซิลิกาเจลเคลือบด้วยโพลีเอทรีนไอมิน. วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม.
- นงลักษณ์ ปานเกิดดี. (2542). การพัฒนาขีดความสามารถทางด้าน *Engineerring Ceramics* (การผลิต *Silicon Cabide*). ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- ประวิทย์ เนื่องมัจฉา. (2550). การกำจัดตะกั่วโดยใช้ซิลิกาที่เตรียมจากเถ้าแกลบ และซิลิกาที่ดัดแปรทางเคมีด้วย 3-[2-(2-อะมิโนเอทิลอะมิโน)-เอทิลอะมิโน]-โพรพิล-ไตรเมทอกซี ไซเลน . คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.
- รัตนา มหาชัย. (2542). รายงานวิจัยเรื่องการศึกษาพฤติกรรมการดูดซับโลหะหนักบางชนิดด้วยแกลบ. ขอนแก่น:มหาวิทยาลัยขอนแก่นภาควิชาเคมี.
- รัตนา มหาชัย และ นาถ ภูวศัฬา. (2547). รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาการดูดซับคอปเปอร์(II) ด้วยวัสดุแกลบและปรับปรุงด้วยหมู่อะมิโน. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อัจฉรา ธัญธีรธรรม และธัญชัย สุระ. (2550). เหล็กเกินในธาตุซีเมีย. ร.พ.รามาริบัติ.
- อมรารวรรณ อินทศิริ. (2547). รายงานการศึกษาถึงการสังเคราะห์เมโซพอร์ซิลิกาที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชัน และเมโซพอร์ซิลิกาที่มีหมู่ฟังก์ชันซาเลนผ่านกระบวนการโซล-เจล.
- Deshkar AM, Bokade SS and Dara SS. . (1990). Modified *Hardwickia Binata* Bark for Adsorbition of Mercury(II) from Water. *J. Water Res*, 24, 1011-1016.
- Puranik D.K., David V.A., Moris R.E. and Cang E.L. (1997). Removal of Copper from Hydrocarbon Fuel Using Novel Azamacrocycl. *J. Energy Fuel*, 11, 1311-1312.
- Tony A. and Akama Y. (1990). Precontration of Copper Cobalt and Nikle with 3-methyl-1-phenyl-4-stearol-5-pyrazolone on Silica Gel. *J. Analyst*, 195, 947-950.
- <http://www.ipst.ac.th/chemistry/activity/27.pdf>

ภาคผนวก

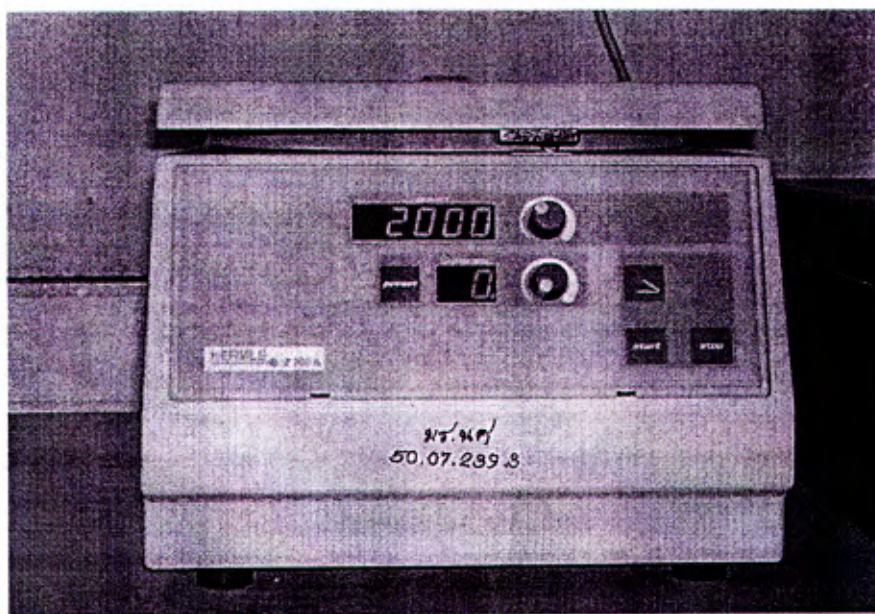
ภาคผนวก ก.
แสดงลักษณะรูปภาพต่างๆ



ภาพ ก ซิลิกาเจลเชิงการค้า(ภาพซ้าย) และ ซิลิกาเจลที่ดัดแปรทางเคมี(ภาพขวา)



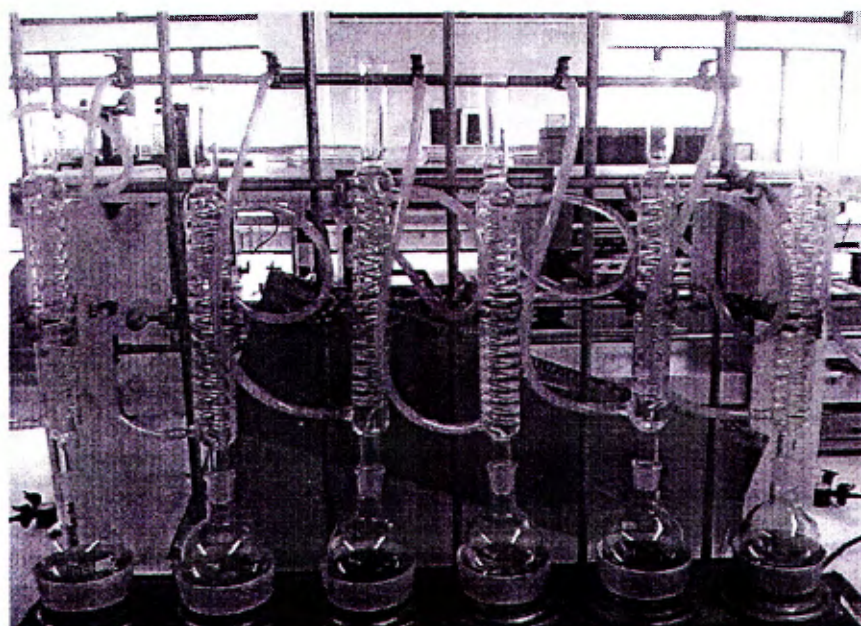
ภาพ ข เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง



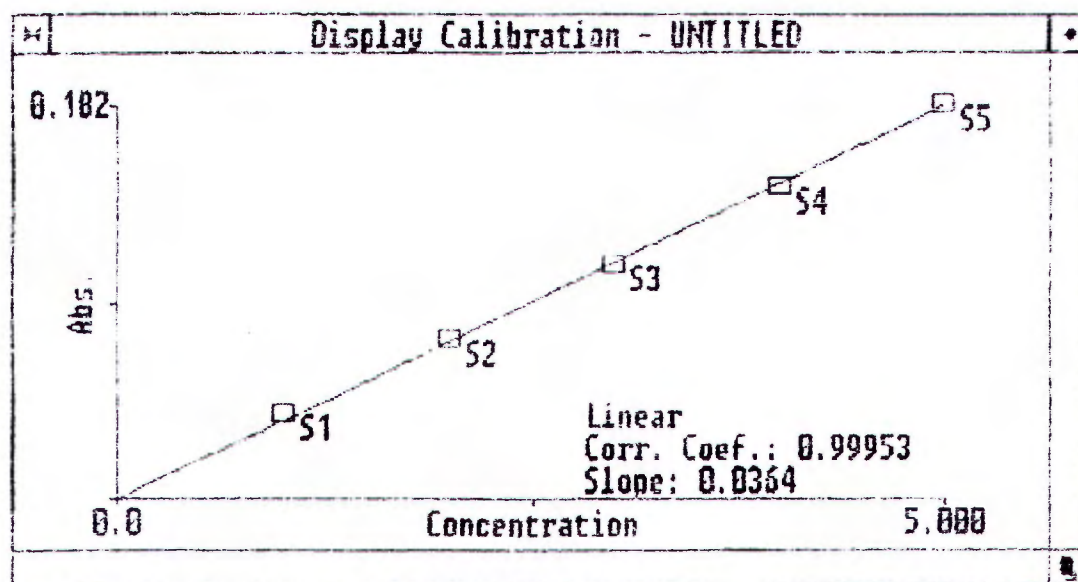
ภาพ ค เครื่องหมุนเหวี่ยงสาร



ภาพ ง เครื่องอะตอมิกซ์แอปซอร์ฟชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์



ภาพ จ เครื่องรีฟลักซ์



ภาพ จ กราฟมาตรฐานสารละลายโลหะเหล็ก

ภาคผนวก ข.

โครงร่างวิจัย

เค้าโครงงานวิจัย

ชื่อโครงการ	การกำจัดเหล็กโดยใช้ซัลฟิดาเจลเชิงการค้า และซัลฟิดาเจลที่ดัดแปรทางเคมี ด้วย 3-[2-(2-อะมิโนเอทิลอะมิโน)-เอทิลอะมิโน]-โพรพิล-ไตรเมทอกซีไซเลน
ประเภทของการวิจัย	วิจัยเพื่อพัฒนา
สาขาที่ทำการวิจัย	เคมี
ผู้ดำเนินการวิจัย	นางสาวอามีเนาะ สารีมา Miss Ameenah sareema
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ประวิทย์ เนืองมัจฉา
สถานที่งานวิจัย	ภาควิชาเคมี และศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมไปยังภูมิภาคต่างๆ ของประเทศอย่างกว้างขวาง ทำให้ปริมาณการใช้โลหะหนักสูงขึ้น จนก่อให้เกิดปัญหาการแพร่กระจายโลหะหนักออกสู่น้ำและแหล่งทำการเกษตรต่างๆ ทำให้โอกาสที่โลหะหนักเหล่านี้จะกระจายเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารมีสูงขึ้น จนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งโลหะหนักที่ถูกปล่อยออกมาส่วนใหญ่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ขาดระบบการกำจัดโลหะหนักหรือประสิทธิภาพของระบบกำจัดที่ยังไม่ดีพอ (รัตนา มหาชัย, 2542)

โรงงานซึ่งสังกัดกรมโรงงานอุตสาหกรรม มีจำนวนมากถึง 103,751 โรงงาน ในปี พ.ศ. 2538 ตั้งกระจายอยู่ทั่วไป มิได้ตั้งอยู่รวมกัน เช่นเดียวกับโรงงานในนิคมอุตสาหกรรม โรงงานเหล่านี้มีตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ โรงงานขนาดใหญ่มักจะมีระบบบำบัดของเสียที่ไม่ได้มาตรฐาน แต่สำหรับโรงงานขนาดเล็กซึ่งมีจำนวนมาก มักแอบปล่อยทิ้งของเสียโดยไม่ผ่านการบำบัดใดๆ ซึ่งเมื่อมองโดยภาพรวมแล้ว ของเสียที่ถูกแอบปล่อยทิ้งนี้มีปริมาณสูงมาก(กรมโรงงานอุตสาหกรรม,2538)

น้ำบาดาลโดยทั่วไปจะไม่พบสารที่เป็นพิษ หรือพบในปริมาณน้อยมาก น้ำที่มีสารพิษในปริมาณสูงๆ มักเกิดการปนเปื้อนจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม การทำเหมืองแร่หรือน้ำพุร้อน ก่อให้เกิดปัญหากับผู้ใช้น้ำ เช่น ทำให้น้ำมีสีแดง ขุ่น มีกลิ่น เกิดคราบสนิมกับเครื่องสุขภัณฑ์ หรือ

ทำให้เสื้อผ้าเปื้อนและมีตะกอนอุดตันตามท่อต่างๆนอกจากนี้เหล็กยังเป็นแหล่งอาหารให้กับแบคทีเรีย ที่เรียกว่า Iron Bacteria การเติบโตของแบคทีเรียดังกล่าว ทำให้น้ำมีกลิ่น และรสซึ่งเป็นที่น่ารังเกียจ (เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมของมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ กำหนดให้มีเหล็กไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ผลของการมีธาตุเหล็กที่มากเกินไปจนความจำเป็นส่งผลเสียต่อการทำงานของอวัยวะหลายระบบในร่างกายก่อให้เกิดทั้งอาการที่ไม่เฉพาะเจาะจง เช่น อ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย อึดแน่นท้อง และมีอาการผิดปกติที่เฉพาะเจาะจงในแต่ละอวัยวะที่มีเหล็กส่วนเกินมาสะสม ได้แก่ คับ หัวใจ ระบบต่อมไร้ท่อ ผิวหนัง ข้อ กล้ามเนื้อ กระดูก (พญ. อัจฉรา ธีรวัชรธรรม และ รศ.นพ.ธัญชัย สุระ , 2550)

ผลจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสามารถกำจัดโลหะได้หลายวิธี ได้แก่ การแลกเปลี่ยนไอออน (Deshkar AM. และคณะ, 1990) การทำให้ตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์ และออกไซด์ การดูดซับวัสดุจากธรรมชาติ การแยกโดยใช้ไฟฟ้า การออสโมซิสผันกลับ แต่อีกวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก ได้แก่ การกำจัดโลหะหนักโดยใช้ซลิคาที่ดัดแปรทางเคมีด้วยลิแกนด์ชนิดต่างๆ เช่น การแยกไอออนของ Hg^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Ag^{+} , Ni^{2+} และ Pb^{2+} ด้วยซลิคาเจลที่ดัดแปรด้วยลิแกนด์เอธิลีนไดเอมีน และลิแกนด์ไคโรโอคาร์บามเท (Luttell H. และคณะ, 1975) การกำจัด As ด้วยซลิคาที่ดัดแปรทางเคมีด้วย 3-(เมอร์แคปโตโพรพิล)ไตรเมทอกซิลไฮเลน 15(3-(mercaptopropyl)trimethoxyl silane) กำจัด Co^{2+} , Ni^{2+} และ Cu^{2+} ด้วยซลิคาเจลที่ดัดแปรด้วย 3-เมทิล-1-ฟีนิล-4-สเตียรอล-5-ไพราโซโลน (3-methyl-1-phenyl-4-stearol-5-pyrazolone) เป็นต้น จากผลการวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าซลิคาจัดเป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงในการที่จะพัฒนาปรับปรุง แต่วิธีการปรับปรุงซลิคาเจลของวิธีการดังกล่าวข้างต้นนั้นเป็นสารที่มีราคาแพง งานวิจัยครั้งนี้ จึงทำการปรับปรุงซลิคาโดยใช้ DETA-Silane เป็นทีเลเตอร์ เพราะมีราคาถูก (Puranik D.B 1997)

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักจากซลิคาเจลที่ดัดแปรทางเคมีโดยศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ การศึกษาถึงเวลาที่เข้าสู่สมดุลในการดูดซับ พีเอชที่เหมาะสม ความจุในการดูดซับ และศึกษาถึงประสิทธิภาพในการดูดซับแบบต่อเนื่องโดยเทคนิคคอลัมน์

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงคุณภาพของซลิคาโดยการดัดแปรทางเคมีด้วย 3-[2-(2-อะมิโนเอทิลอะมิโน)-เอทิลอะมิโน]-โพรพิล-ไตรเมทอกซิลไฮเลน
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะตะกั่วในน้ำเสีย
3. เพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะตะกั่วในน้ำเสียด้วยเทคนิคถังแช่และเทคนิคคอลัมน์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำซิลิกาเจลไปประยุกต์ใช้ในการคัดแยกด้วยลิแกนด์ตัวอื่นๆ ต่อไป
2. เป็นการลดการนำเข้าซิลิกาจากต่างประเทศ
3. เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการนำซิลิกาที่ทำการคัดแยกไปศึกษาพฤติกรรมของการดูดซับโลหะตัวอื่นต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

นำซิลิกาเชิงการค้ามาทำการคัดแยกโดยตรง ด้วยลิแกนด์ 3-[2-(2-อะมิโนเอทิลอะมิโน)-เอทิลอะมิโน]-โพรพิล-ไตรเมทอกซี ไฮเดรต และทำการศึกษาเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับโลหะหนักที่สภาวะต่างๆของซิลิกาที่คัดแยกและซิลิกาเชิงการค้า ด้วยเทคนิคดังเช่นและเทคนิคคอลัมน์

ระยะเวลาการดำเนินการ

มกราคม 2552 - ตุลาคม 2552

แผนการดำเนินการตลอดโครงการ

กิจกรรมการวิจัย	2552									
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	↔									
เตรียมวัสดุ		↔								
ทำการทดลอง				↔						
รวบรวมข้อมูล					↔					
วิเคราะห์และสรุปผล							↔			
จัดทำเอกสารรายงานผลการวิจัยและเผยแพร่								↔		

สถานที่ทำวิจัย

ภาควิชาเคมี และศูนย์วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ลงชื่อ ผู้ทำวิจัย

(นางสาวอามีเนาะ สาริมา)

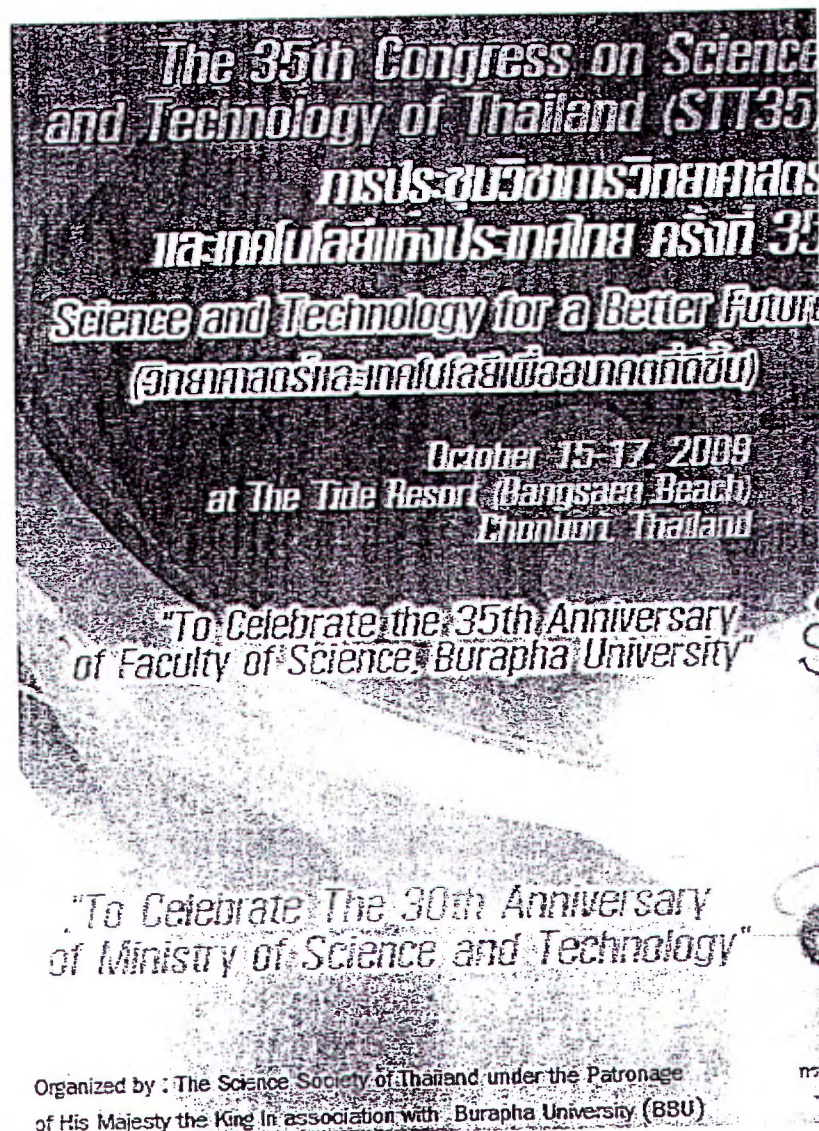
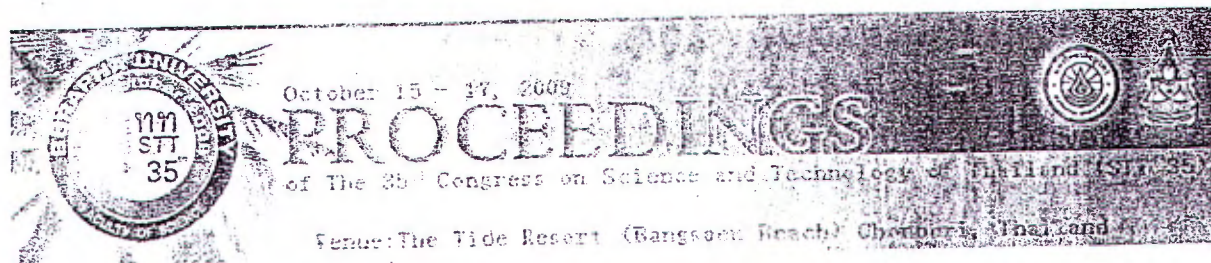
ความคิดเห็นของอาจารย์ที่ปรึกษา

.....

ลงชื่อ อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ประวิทย์ เนื่องมัจฉา)

ภาคผนวก ค.
การเผยแพร่ผลงานในการประชุมวิชาการ



Sponsors





Copyright (C) 2009 STT35 All rights reserved.
 Powered By Peera P. & Sunee R.

การดัดแปรทางเคมีของซิลิกาเจลเชิงการค้าสำหรับใช้เป็นวัสดุดูดซับเหล็ก

CHEMICAL MODIFIED COMMERCIAL SILICA GEL AS ADSORBENT FOR IRON

อามีนะ สารีมา¹, ประเสริฐ อะหมัด¹ และประวิทย์ เนื่องมัจฉา¹

Aminoh Sareema, Prasert Amad and Prawit Nuengmatcha

¹Department of chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Nakhon Si Thammarat University, Nakhon Si Thammarat 80280, Thailand.

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กในน้ำเสีย สังกะระห์ โดยใช้ซิลิกาเจลเชิงการค้าที่ดัดแปรทางเคมี ด้วย 3-[2-(2-อะมิโนเอทิลอะมิโน)-เอทิลอะมิโน]-โพรพิล-ไตรเมทอกซีไซเลน และตรวจวัดโดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี ผลการศึกษาพบว่าช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดเหล็กและเวลาที่ต้องการดูดซับเข้าสู่สมดุลเท่ากับ 4.0 (พีเอช) และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมมาหาค่าความจุสูงสุดของการดูดซับเหล็ก โดยใช้สมการไอโซเทอร์มของฟรอนดลิช พบว่าซิลิกาเจลเชิงการค้าที่ดัดแปรทางเคมี สามารถดูดซับเหล็กได้สูงสุดด้วยวิธีแบบถังแช่ 13.19 มิลลิกรัมต่อกรัม

Abstract: The aim of this research was to study the efficiency of iron removal from wastewater using commercial silica gel chemical modified with 3-[2-(2-aminoethylamino)-ethylamino]-propyl-trimethoxy silane and measured by atomic absorption spectrometry. The results showed that the optimum pH for quantitative removal of iron and time required for equilibrium were 4.0(pH) and 24 hrs, respectively. After being applied the optimum condition founded from the research to obtain the maximum adsorptive capacity of iron from batch method by using Freundlich adsorption isotherm. It was found that the commercial silica gel chemical modified with 3-[2-(2-aminoethylamino)-ethylamino]-propyl-trimethoxy silane had maximum adsorption of iron at 13.19 mg.g⁻¹ for batch method.

ประวัติของผู้วิจัย

ชื่อผู้วิจัย

นางสาวอามีเนาะ สารีมา

วัน เดือน ปีเกิด

19 มิถุนายน 2531

อายุ

21 ปี

ภูมิลำเนา

73 ม.4 ต.กอตตืออระ อ.รามัน จ.ยะลา 95140

ประวัติการศึกษา

- ระดับประถมศึกษาปีที่ 1-6 ณ โรงเรียนบ้านควอ ต.กอตตืออระ อ.รามัน จ.ยะลา 95140
- ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสตรีอิสลามวิทยามูลนิธิ ต.สะเตง อ.เมือง จ.ยะลา 95000
- ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสตรีอิสลามวิทยามูลนิธิ ต.สะเตง อ.เมือง จ.ยะลา 95000
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช