

ผลของการเผาแร่ดินเบาที่มีต่อการดูดซับโครเมต



นางสาวสุชาดา สິงวรวงษ์พนา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CALCINATION EFFECT OF DIATOMITE TO CHROMATE ADSORPTION



Miss Suchada Sungworawongpana

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University


หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการเผาแร่ดินเบาที่มีต่อการดูดซับโครเมต
โดย	นางสาวสุชาดา สังวรวงษ์พนา
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เหิงปรีชา


---


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

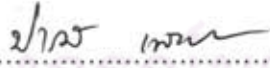
.....  ..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุญ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โมะนิตานนท์)

.....  ..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เหิงปรีชา)

.....  ..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา เลิศปรีชา)

.....  ..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.ปารมี เหิงปรีชา)

สุชาติ สว่างวงศ์พนา : ผลของการเผาแร่ดินเบาที่มีต่อการดูดซับโครเมต. (CALCINATION EFFECT OF DIATOMITE TO CHROMATE ADSORPTION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา, 69 หน้า.

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของแร่ดินเบาที่ถูกปรับปรุงด้วยความร้อนสำหรับกำจัดโครเมต ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงแร่ดินเบาโดยวิธีการเผาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับที่ทำการศึกษ ได้แก่ ค่าพีเอช ช่วงเวลาที่สัมผัส ความเข้มข้นของสารละลายโครเมต และปริมาณแร่ดินเบา ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ และแบบฟรุนดลิช รวมถึงผลกระทบของแอนไอออนต่างๆ ที่รบกวนการดูดซับโครเมตได้ทำการศึกษาเช่นกัน

ผลการศึกษาแสดงว่าแร่ดินเบาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (CD400) เป็นตัวดูดซับโครเมตได้ดีที่สุด สามารถกำจัดโครเมตได้ 42.98 เปอร์เซ็นต์ โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดโครเมตที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณตัวดูดซับ CD400 เท่ากับ 8 กรัม เวลาสัมผัส 60 นาที ที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที พีเอช 6 และผลการศึกษาไอโซเทอมพบว่า ตัวดูดซับ CD400 มีรูปแบบสมการการดูดซับแบบแลงมัวร์ และการศึกษาผลกระทบของแอนไอออนต่างๆ ที่รบกวนการดูดซับ พบว่า คลอไรด์ ไนเตรท คาร์บอเนต ฟอสเฟต และซัลเฟต มีผลทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับโครเมตลดลง

## ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา ..... วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ..... ลายมือชื่อนิสิต ..... สุชาติ สว่างวงศ์พนา .....  
ปีการศึกษา ..... 2553 ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ..... จ. เพ็

## 5087212520 : MAJOR OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : Calcination / Diatomite / Chromate / Adsorption

SUCHADA SUNGWORAWONGPANA : CALCINATION EFFECT OF DIATOMITE TO CHROMATE ADSORPTION. ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMCHAI PENGPRECHA, Ph.D., 69 pp.

This study aimed to investigate the possibility of heat treated diatomite to be used as an adsorbent for chromate removal. In the preparation of heat treated diatomite adsorbent, factor of temperature for calcination was studied. The optimal condition for adsorption was determined by varying pH, contact time, concentration of chromate, and amount of calcined diatomite at room temperature. The adsorption equilibrium was studied by Langmuir and Freundlich isotherm equations. The interference of competing anions on chromate adsorption was also investigated.

The results showed that the heat treated diatomite at 400°C for 6 hours (CD400) was the appropriate adsorbent for chromate removal. By using 1 mg/l of chromate, 8.0 g of CD400, 60 min of contact time, 200 rpm of shaking rate, and pH 6, 42.98% of chromate was removed. The adsorption isotherm of chromate removal was agreed with Langmuir isotherm. Furthermore the adsorption efficiency of chromate was reduced by chloride, nitrate, carbonate, phosphate, and sulphate anions.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of Study : Environmental Science Student's Signature *S. Sungworawongpana*

Academic Year : 2010 Advisor's Signature *Somchai Pengprecha*



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากความช่วยเหลืออย่างดีของ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษา และ ข้อคิดเห็นต่างๆ เกี่ยวกับการวิจัยมาโดยตลอด ทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัยจนประสบความสำเร็จด้วยดี จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา เลิศปรัชญา และ ดร.ปารมี เพ็งปรีชา ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายังเป็น คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งได้ให้คำแนะนำในการปรับปรุง และแก้ไขวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้ มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้เงินทุนสำหรับทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ และรุ่นน้อง ที่คอย ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยเป็นอย่างดีในหลายๆ ด้านทั้งทางตรง และทางอ้อมแก่ ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และน้องๆ ที่แสนดี ที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น และให้การสนับสนุน ให้ทุนทรัพย์ เกี่ยวกับการเรียนในทุกๆ ด้าน ท่านเหล่านี้เป็นกำลังใจที่ดี และสำคัญที่สุดสำหรับผู้วิจัยเสมอมา จนถึงวันที่ประสบความสำเร็จทางการศึกษา จึงขอมอบความดี ต่างๆ ที่เกิดขึ้นให้กับท่านเหล่านี้ด้วยความรัก และความเคารพตลอดไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ใคร่เมียม.....	3
2.2 กระบวนการต่างๆ ในการกำจัดโลหะหนัก.....	6
2.3 ดินเบา .....	17
2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย .....	26
3.1 ขั้นตอนการวิจัย.....	26
3.2 วัสดุดิบและสารเคมี.....	26
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย.....	27
3.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	31

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	32
4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของแร่ดินเบา.....	32
4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมตของแร่ดินเบาออกจาก น้ำเสียสังเคราะห์.....	34
4.3 ผลของแอนไอออนต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของแร่ดินเบา ออกจากรน้ำเสียสังเคราะห์.....	48
5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ .....	51
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	51
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	52
รายการอ้างอิง.....	53
ภาคผนวก .....	55
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	69


  
 ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญญัตราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินเบาจากแหล่งแร่ต่างๆ.....	19
4.1	ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของแร่ดินเบาธรรมชาติ และแร่ดินเบาเผาที่ อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส.....	33
4.2	องค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินเบาธรรมชาติด้วยเครื่อง X-ray fluorescence .....	34
4.3	ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตโดยแร่ดินเบา.....	35
4.4	ผลของช่วงเวลาที่สัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตโดยแร่ดินเบา .....	38
4.5	ผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมตที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโดย แร่ดินเบา .....	40
4.6	ผลของปริมาณแร่ดินเบาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต.....	43
4.7	ค่าเฉลี่ยปริมาณโครเมตในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อถูกดูดติดผิวด้วย CD400.....	46
4.8	ผลของแอนไอออนต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400	48
4.9	ผลของ mix anions ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400.....	50

  
**ศูนย์วิทยทรัพยากร**  
**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
2.1	ความสามารถในการละลายน้ำของไตรวาเลนต์โครเมียม และเฮกซะวาเลนต์โครเมียมในรูปแบบต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับศักย์ไฟฟ้าเคมี และพีเอช.....	5
4.1	แร่ดินเบาธรรมชาติ และแร่ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส	32
4.2	ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตโดยแร่ดินเบา .....	35
4.3	ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตโดย CD400 .....	36
4.4	ผลของช่วงเวลาที่สัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตโดยแร่ดินเบา....	38
4.5	ผลของช่วงเวลาที่สัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตโดย CD400 .....	39
4.6	ผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมตที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโดยแร่ดินเบา .....	41
4.7	ผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมตที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโดย CD400.....	41
4.8	ผลของปริมาณแร่ดินเบาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต.....	44
4.9	ผลของปริมาณ CD400 ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต.....	44
4.10	ไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงมัวร์ของ CD400.....	47
4.11	ไอโซเทอมของการดูดซับแบบฟรุนดลิชของ CD400.....	47
4.12	ผลของแอนไอออนต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400.....	49

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่ โรงงาน สแตนเลส โรงงานแบตเตอรี่ โรงงานเคลือบชุบโลหะ โรงงานฟอกย้อม โรงงานผลิตปุ๋ยเคมี เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเกลือของโลหะ สามารถละลายน้ำได้ ทำให้น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ โลหะหนักเป็นวัตถุดิบมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ โลหะหนักเหล่านี้ก็จะปนออกมากับของเสียจาก โรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็นน้ำเสีย มูลฝอย หรือกากตะกอนต่างๆ ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้จะ ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิต หากไม่มีการกำจัดที่ดีพอโลหะหนักเหล่านี้ก็จะปนไปกับ น้ำทิ้งซึ่งปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เมื่อโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียและถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ จะมีความเป็นพิษสูง สามารถคงอยู่ในสภาพแวดล้อมได้นาน ซึ่งส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงและสะสมใน สิ่งมีชีวิต แหล่งน้ำ ดินตะกอนและห่วงโซ่อาหารได้ ทำให้สัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำจะสะสม โลหะหนักและถ่ายทอดสู่มนุษย์ เมื่อเข้าสู่ร่างกายในระดับที่สูงและเกินเกณฑ์มาตรฐานอาจก่อให้เกิด อันตรายทั้งมนุษย์และสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้

การใช้แร่ดินเบา (diatomite) เป็นทางเลือกหนึ่งที่จะใช้ในการบำบัดหรือกำจัดโลหะหนักที่ ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียโดยใช้หลักการดูดซับ เนื่องจากแร่ดินเบาเป็นวัสดุธรรมชาติที่หาได้ง่ายในประเทศไทย ซึ่งจะพบได้มากในจังหวัดลำปาง และได้มีการนำแร่ดินเบามาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ใช้เป็นสารช่วยกรอง ใช้เป็นตัวเติม ผงดูดซับ และอื่น ๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุง คุณภาพแร่ดินเบา เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแร่ดินเบาในการดูดซับโลหะหนัก

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมตของแร่ดินเบาออกจากน้ำเสียสังเคราะห์
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมตออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ระหว่าง แร่ดินเบาธรรมชาติ และแร่ดินเบาเผาในเตาเผาแบบเปิด

3. เพื่อศึกษาผลกระทบของแอนไอออนต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของแร่ดินเบาออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

### 1.3 สมมติฐาน

คุณสมบัตินៃการเผาแร่ดินเบา มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโครเมต และประสิทธิภาพในการดูดซับขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายโครเมต ค่าพีเอช และช่วงเวลาที่สัมผัส

### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. น้ำเสียสังเคราะห์ คือ น้ำที่มีโครเมตอยู่
2. แร่ดินเบาที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับนำมาจาก อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมตของแร่ดินเบาออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโครเมต ค่าพีเอช ช่วงเวลาที่สัมผัส และปริมาณแร่ดินเบา
4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมต ออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ระหว่างแร่ดินเบาธรรมชาติ และแร่ดินเบาเผาในเตาเผาแบบเปิด
5. ศึกษาผลกระทบของแอนไอออนต่างๆ ได้แก่ คลอไรด์ ไนเตรท คาร์บอเนต ฟอสเฟต และซัลเฟต ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของแร่ดินเบาออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมของแร่ดินเบาในการดูดซับโครเมตออกจากน้ำที่ปนเปื้อนโครเมต
2. สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดโครเมตในแหล่งน้ำ โดยใช้วัสดุทางธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ
3. เป็นการเพิ่มมูลค่าของแร่ดินเบาที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 โครเมียม (Chromium) (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

โครเมียมเป็นโลหะทรานซิชัน มีเลขอะตอมเท่ากับ 24 น้ำหนักอะตอม 51.9961 จุดหลอมเหลว ที่อุณหภูมิ 1,890 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นเท่ากับ 7.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีเลขออกซิเดชันหลายค่าตั้งแต่ -2 ถึง +6 และมีลักษณะสีขาวนวล มีความฝืดต่ำ ไม่เป็นสนิม จึงนำมาผสมหรือชุบที่ผิวของโลหะอื่น เพื่อป้องกันสนิมหรือเพิ่มความเงาและเพื่อความสวยงาม

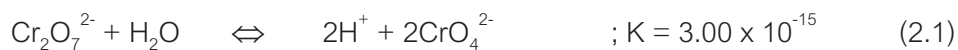
ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ส่วนมากจะพบไตรวาเลนต์โครเมียม และเฮกซะวาเลนต์โครเมียม ส่วนโครเมียมที่มีเลขออกซิเดชันค่าอื่นจะพบน้อยมาก และส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ของสินแร่ chromite ซึ่งมี  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  และ  $\text{FeO}$  เป็นองค์ประกอบ และยังมี magnesium, aluminium และ silica ปะปนอยู่ด้วย (McGrath และ Smith, 1993)

#### 2.1.1 โครเมียมในสิ่งแวดล้อม

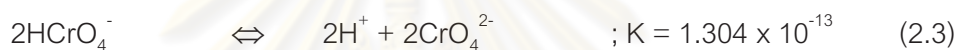
เกิดจากการทิ้งของเสียที่มีการปนเปื้อนของโครเมียมในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การผลิตเหล็ก วัสดุอัลลอยด์ อิฐในเตาเผา สีย้อมและสีต่าง ๆ สารเคลือบโลหะ และใช้ในโรงงานฟอกหนัง การทิ้งน้ำเสียที่มีโครเมียมปนเปื้อนอยู่ โดยในธรรมชาติพบมากในรูปของไตรวาเลนต์โครเมียม และเฮกซะวาเลนต์โครเมียม ซึ่งไตรวาเลนต์โครเมียมสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นเฮกซะวาเลนต์โครเมียมได้ เฮกซะวาเลนต์โครเมียมเป็นสารพิษ ถ้าในสภาพธรรมชาติเกิดการปนเปื้อนในน้ำใต้ดินก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

เฮกซะวาเลนต์โครเมียม ส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดเกิดเป็นสารประกอบร่วมกับออกซิเจน (Oxospecies) คือ โครเมตไอออน ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) และไดโครเมตไอออน ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) โดยเฮกซะวาเลนต์โครเมียมมีแนวโน้มที่จะปรากฏเป็นไดโครเมตไอออนในสารละลายที่ค่าพีเอชเป็นกรดและความเข้มข้นของโครเมียมมากกว่า 10 มิลลิโมลต่อลิตร และปรากฏเป็นโครเมตไอออนในสารละลายที่ค่าพีเอชเป็น

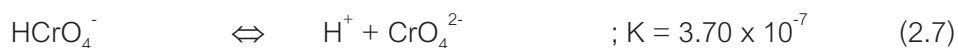
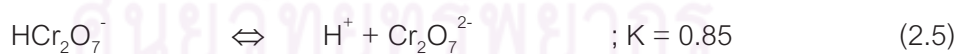
กลางหรือต่าง สมการเคมีแสดงความสัมพันธ์ระหว่างไดโครเมตไอออน และโครเมตไอออน เป็นดังสมการที่ 2.1



สมการเคมีแสดงความสัมพันธ์ระหว่างไดโครเมตไอออน ไบโครเมตไอออน และโครเมตไอออนเป็นดังสม การที่ 2.2 ถึง 2.3



ภายใต้สภาวะที่ค่าพีเอชน้อยกว่า 6 สารประกอบเฮกซะวาเลนต์โครเมียมจะอยู่ในรูปไบโครเมตไอออน แต่เมื่อค่าพีเอชมากกว่า 6 สารประกอบของเฮกซะวาเลนต์โครเมียมจะอยู่ในรูปโครเมตไอออน สมการเคมีแสดงการแตกตัวให้เฮกซะวาเลนต์โครเมียมไอออนต่างๆ เมื่อสารประกอบของเฮกซะวาเลนต์โครเมียมละลายน้ำดังสมการที่ 2.4 ถึง 2.7



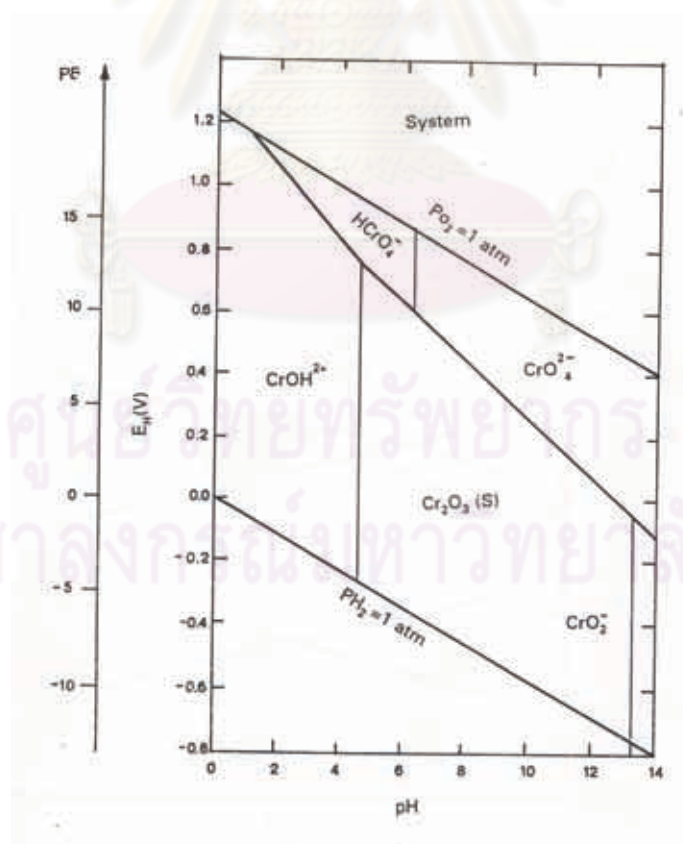


## 2.1.2 การแพร่กระจายและการเปลี่ยนรูปโครเมียมในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ

การเปลี่ยนรูปไอออนของโครเมียมในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ขึ้นกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน

1) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นการเปลี่ยนรูปจากไตรวาเลนต์โครเมียมไปอยู่ในรูปเฮกซะวาเลนต์โครเมียม พบว่า แมงกานีสไดออกไซด์ ( $MnO_2$ ) และออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) เป็นตัวออกซิไดส์โครเมียมในน้ำ แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดช้า

2) ปฏิกิริยารีดักชัน เป็นการเปลี่ยนรูปจากเฮกซะวาเลนต์โครเมียมไปอยู่ในรูปไตรวาเลนต์โครเมียม พบว่า ซัลไฟด์ การเนาเปื่อยของสารอินทรีย์ และเหล็ก (II) เป็นตัวรีดิวซ์โครเมียม โดยปฏิกิริยารีดักชันนี้เกิดขึ้นในสภาพเป็นกรด มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 2-3 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2535)



ภาพที่ 2.1 ความสามารถในการละลายน้ำของไตรวาเลนต์โครเมียม และเฮกซะวาเลนต์โครเมียมในรูปแบบต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับศักย์ไฟฟ้าเคมี และพีเอช

เนื่องจากโครเมียมมีการเปลี่ยนรูปได้ในสภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเข้าใจในกระบวนการเคลื่อนย้ายและการเปลี่ยนรูปของไตรวาเลนต์โครเมียมไปเป็นเฮกซะวาเลนต์โครเมียม ซึ่งมีความเป็นพิษมาก แม้ว่าเฮกซะวาเลนต์โครเมียมจะมีความเป็นพิษ แต่สำหรับไตรวาเลนต์โครเมียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืช และสัตว์ รวมถึงมนุษย์ เช่น ช่วยในการรักษาระดับกลูโคสให้เป็นปกติ ช่วยในการสังเคราะห์กรดอะมิโน และกรดนิวคลีอิกในสัตว์บางชนิด (WHO, 1988)

## 2.2 กระบวนการต่างๆ ในการกำจัดโลหะหนัก (ณัฐ ดิลกเกียรติ, 2546)

กระบวนการที่ใช้ในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียนั้นมีอยู่หลายวิธี ซึ่งต้องพิจารณาถึงคุณลักษณะของน้ำเสียก่อนบำบัด คุณภาพของน้ำที่ต้องการ พื้นที่ที่ต้องการใช้ในการบำบัด ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการบำบัด และความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถสรุปวิธีการบำบัดได้ดังนี้

### 2.2.1 การตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation)

เป็นวิธีที่นิยมใช้ โดยการเติมสารเคมีลงไปในน้ำทิ้งเพื่อทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่เกิดตะกอนแยกออกจากน้ำได้ แต่ที่นิยมใช้ในการตกตะกอนโลหะหนักมี 2 วิธี คือ การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ และการตกตะกอนซัลไฟด์

การตกตะกอนไฮดรอกไซด์ (Hydroxide precipitation) เป็นการตกตะกอนโดยเติมสารเคมีคือ ปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ซึ่งสามารถใช้กับน้ำเสียได้หลายประเภทด้วยกัน แต่จะตกตะกอนในช่วงพีเอชกว้าง โดยทั่วไปโลหะส่วนใหญ่จะตกตะกอนได้ดีที่พีเอช 8 -11 และโลหะไฮดรอกไซด์นี้สามารถจะละลายกลับมาได้อีกถ้าค่าพีเอชเปลี่ยนจากค่าที่ตกตะกอนผลึก

การตกตะกอนซัลไฟด์ (Sulfide precipitation) มักจะใช้โซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) โซเดียมไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{NaHS}$ ) และ เฟอร์รัสซัลไฟด์ ( $\text{FeS}$ ) ในการทำให้ตกตะกอน ข้อดีของการตกตะกอนแบบนี้ คือ การละลายของโลหะซัลไฟด์เกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับโลหะไฮดรอกไซด์ แต่การตกตะกอนซัลไฟด์นี้มีข้อจำกัด คือ เรื่องของกลิ่นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) ซึ่งเกิดจากไอออนของซัลไฟด์ที่มากเกินไป จึงต้องมีการป้องกันก๊าซที่จะเกิดขึ้น โดยบำบัดนำซัลไฟด์ออกก่อนที่จะระบายน้ำทิ้ง

### 2.2.2 การจับก้อน, การจับกลุ่ม (Coagulation/ Flocculation)

เป็นกระบวนการที่สามารถจับโลหะหนักจากสารละลายได้โดยที่ Coagulation ใช้หลักการกระตุ้นประจุไฟฟ้าบนอนุภาค ส่วน Flocculation ใช้หลักการกวนอย่างช้าๆ เพื่อทำให้อนุภาคจับตัวกันเป็นกลุ่ม โดยสารเคมีที่ใช้กับกระบวนการ Coagulation ส่วนใหญ่คือ Ferric Sulfate หรือ Alum ซึ่งโลหะที่กำจัดได้จะเป็นพวก ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม

### 2.2.3 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)

กระบวนการนี้ สามารถแยกโลหะหนักออกจากสารละลายได้ โดยอาศัยหลักการที่ไอออนแต่ละชนิดจะมีความชอบหรือถูกดูดซับโดยเรซิน (Resin) ไม่เท่ากัน มีทั้งแบบที่ได้จากธรรมชาติและชนิดสังเคราะห์ โดยที่จะมีหมู่ฟังก์ชันของไอออนติดอยู่และถูกทำให้สมดุลด้วยไอออนที่มีประจุตรงกันข้าม ซึ่งไอออนที่มีประจุตรงกันข้ามนี้เป็นไอออนที่จะเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย วิธีการนี้จะเหมาะสำหรับการกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง นิยมใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า

### 2.2.4 ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation and reduction)

เป็นวิธีการทางเคมีที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ ซึ่งมีสารประกอบของโลหะต่างๆ เจือปนอยู่ ซึ่งในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไป เพื่อไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันกับสารประกอบที่ต้องการกำจัด ทำให้สารประกอบนั้นเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็น

พิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำให้เกิดออกซิเดชัน ได้แก่ อากาศ ออกซิเจน โอโซน คลอรีน ไฮโปคลอไรต์ เปอร์แมงกาเนต โครเมตและไนเตรต ส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดรีดักชัน ได้แก่ ไฮดรอน (II) ซัลเฟต ไปทำปฏิกิริยากับสารประกอบโครเมต ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นได้ดีที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 3 จึงต้องเติมกรดซัลฟิวริกไปด้วย จากนั้นจึงเติมปูนไลม์ลงไปเพื่อตกตะกอนอีกชั้นหนึ่ง การควบคุมระบบบำบัดแบบนี้ค่าพีเอชมีความสำคัญมาก จะต้องมีความเหมาะสมปฏิกิริยาจึงจะเกิดขึ้นได้สมบูรณ์

### 2.2.5 รีเวิร์สออสโมซิส (Reverse osmosis)

วิธีนี้เป็นการแยกโลหะหนักออกจากน้ำเสีย โดยใช้หลักการความแตกต่างของแรงดันระหว่างแผ่นเมมเบรนที่ทำด้วยสารเซลลูโลส อะซีเตต และโพลีเอมีด ซึ่งจะให้เฉพาะตัวทำละลายผ่าน Semipermeable membrane เพื่อแยกสารที่ต้องการออกและทำให้เข้มข้นขึ้น วิธีนี้ต้องใช้แรงดันสูงโดยอาจสูงกว่า 100 บรรยากาศ ซึ่งแผ่นเมมเบรนที่ใช้ต้องทนต่อแรงดันสูงและต้องมีการบำบัดชั้นต้นโดยการปรับค่าพีเอช แยกสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงออก และกรองสารแขวนลอยออกก่อนเพื่อป้องกันแผ่นเมมเบรนอุดตัน วิธีนี้เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า น้ำเสียจากการล้างภาพ

### 2.2.6 การระเหย (Evaporation)

เป็นวิธีการทำให้สารมีความเข้มข้นสูงขึ้น การระเหยที่บรรยากาศธรรมดาและการระเหยภายใต้สุญญากาศ วิธีการบำบัดแบบนี้จะได้ผลดีกับน้ำเสียที่มีปริมาณโลหะหนักสูงเท่านั้น ข้อเสียของวิธีนี้คือต้องใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูง

### 2.2.7 อิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis)

เป็นการแยกไอออนออกจากสารละลาย ด้วยกระแสไฟฟ้าตรงร่วมกับการใช้เมมเบรนที่เฉพาะเจาะจงสำหรับไอออนแต่ละชนิด (Ion selective membrane) กลไกของวิธีการนี้เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย และน้ำเสียจะต้องผ่านการกรองก่อนเพื่อป้องกันการอุดตันของแผ่นเมมเบรน ความบริสุทธิ์ของไอออนขึ้นกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ไหลผ่านเมมเบรน

วิธีนี้มีต้นทุนค่าก่อสร้างและดำเนินการสูง แต่มีข้อดีคือความสามารถกำหนดชนิดของไอออนที่ต้องการได้

### 2.2.8 การสกัดกลับคืนด้วยไฟฟ้า (Electrolytic recovery)

วิธีนี้เป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทดและเกิดก๊าซออกซิเจนที่ขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง แต่วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก

### 2.2.9 การบำบัดโดยจุลินทรีย์ (Biological treatment)

เป็นการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการกำจัดโลหะหนัก เช่น จากกระบวนการ Activate Sludge พบว่าสามารถกำจัดโลหะหนัก เช่น ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และโครเมียมได้อย่างใดอย่างหนึ่ง ที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

### 2.2.10 การดูดซับ (Adsorption) (ชฎาภรณ์ บุญแท้, 2545)

#### 2.2.10.1 หลักการดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) คือกระบวนการที่โมเลกุลของสารไปเกาะอยู่บนผิวหน้าของของแข็งหรือของเหลว สารที่ไปเกาะเรียกว่า สารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) และของแข็งหรือของเหลวที่พื้นที่ผิวของมันถูกสารเกาะเรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) การดูดซับด้วยของแข็งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของของแข็ง การดูดซับจะเกิดขึ้นทั้งทางกายภาพ (physisorption) และทางเคมี (chemisorption)

เมื่อโมเลกุลในวัฏภาคแก๊ส (gas phase) หรือวัฏภาคของเหลว (liquid phase) ยึดติดกับผิวของของแข็ง เนื่องจากแรงดึงดูดที่พื้นผิวของของแข็งซึ่งเป็นสารดูดซับมีค่ามากกว่าค่าพลังงานจลน์ของโมเลกุลของของเหลวนั้น ในทางสิ่งแวดล้อม การดูดซับถูกนำมาใช้ในการบำบัดหรือขจัดสาร



มลพิษ ซึ่งกระบวนการนั้นขึ้นอยู่กับระบบของการบำบัดว่าจะได้ประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด และโดยทั่วไปกระบวนการดูดซับมักเกิดขึ้นในขั้นสุดท้ายของระบบบำบัด

### 2.2.10.2 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption หรือ physisorption)

เกิดจากความแตกต่างของพลังงานหรือแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (electrical attractive force) อย่างอ่อนๆ ระหว่างโมเลกุลซึ่งเรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waals force) ทำให้เกิดการเกาะหรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับและโมเลกุลที่ผิวหน้าของตัวดูดซับด้วยการดึงดูดของแรงระหว่างโมเลกุลของสารทั้งสองโดยวิธีทางกายภาพ ซึ่งจะทำให้เกิดชั้นหลายๆ ชั้น ชั้นซ้อนทับกัน โดยแต่ละชั้นจะซ้อนทับอยู่เหนือชั้นที่เกิดขึ้นก่อน จำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร การดูดซับทางกายภาพนี้จะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดส่วนที่หนาและผันกลับไม่ได้ (irreversible) การดูดซับทางกายภาพมักจะเป็นแบบไม่เฉพาะ (nonspecific) กล่าวคือ โมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ จะไม่ดูดติดกับเฉพาะบริเวณใดบริเวณหนึ่งบนผิวหน้าของของแข็ง แต่จะเป็นอิสระในการเคลื่อนที่อยู่เหนือบริเวณผิวนั้น โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นจะไม่ขึ้นตรงกับอุณหภูมิ และความแรงไอออน (ionic strength) ของสารละลาย แต่มักจะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช และสารเชิงซ้อนที่ปะปนอยู่ในวัฏภาคของเหลว ทั้งนี้การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไปจะสามารถผันกลับได้ การผันกลับของการดูดซับทางกายภาพจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับ ถ้าแรงดึงดูดนี้มีค่าน้อยจะสามารถเกิดการปลดปล่อยหรือคายสารที่ถูกดูดซับออกมา (desorption) ซึ่งอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ หรือการเพิ่มอุณหภูมิเข้าไปในปริมาณมาก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางกายภาพจะทำให้เกิดการคายความร้อน โดยปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกับความร้อนแฝงของการกลั่นตัวเป็นของเหลว

### 2.2.10.3 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption หรือ chemisorption)

เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับและตัวดูดซับ หรือแรงดึงดูดทางเคมีซึ่งเป็นแรงที่แข็งแรงกว่าการดูดซับทางกายภาพ และเป็นแรงที่ทำให้เกิดพันธะ ๓ บริเวณเฉพาะ (specific) ใดๆ บนพื้นผิวของวัฏภาคของแข็ง เกิดเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่ที่ผิวสัมผัสของตัวดูดซับ ทำให้ค่าความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงใกล้เคียงกับค่าของพลังงานพันธะเคมี อาจเกิดการดูดซับได้ช้าและผันกลับไม่ได้เป็นบางส่วน โดยทั่วไปสารที่ถูกดูดซับจะเกิดเป็นโมเลกุลชั้นเดียว (monolayer) เหนือผิวหน้าของตัวดูดซับโดยโมเลกุลของสารถูกดูดซับจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้



อิสระ จากบริเวณผิวหน้านั้นไปยังบริเวณอื่น เมื่อผิวหน้าของตัวดูดซับถูกปกคลุมด้วยโมเลกุล 1 ชั้น แล้ว ความสามารถในการดูดซับของมันจะลดลง จึงเกิดการผันกลับได้ยาก นอกจากนี้จะมีการให้ความร้อนถึงอุณหภูมิสูงๆ แล้วสารที่ถูกดูดซับจึงจะแยกตัวออกมาจากตัวดูดซับได้ ปฏิริยาที่เกิดขึ้นจะเกิดที่อุณหภูมิสูงและเกี่ยวข้องกับพลังงานกระตุ้น (activation energy) รวมทั้งยังมีการใช้พลังงานความร้อนในการผันกลับของปฏิริยาด้วย ทั้งนี้การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ ได้แก่ ส่วนประกอบของพื้นผิวของของแข็ง ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย พีเอช และ อุณหภูมิของสารละลาย

นอกจากนี้ยังมีการกล่าวถึงการดูดซับอีกประเภทหนึ่ง คือ การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (exchange adsorption) ซึ่งใช้ในการอธิบายถึงการดูดซับที่บอกลักษณะด้วยการดึงดูดทางไฟฟ้า ระหว่างสารที่ถูกดูดซับกับบริเวณผิวหน้าของตัวดูดซับ โดยที่การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) ก็ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของการดูดซับประเภทนี้เช่นกัน กล่าวคือไอออนของสารที่ถูกดูดซับซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากบริเวณผิวหน้าเป็นผลมาจากการดึงดูดทางศักย์ไฟฟ้า (electrostatic attraction) ซึ่งดึงดูดไอออนสู่บริเวณที่มีประจุแบบตรงกันข้ามที่อยู่บนผิวหน้าของตัวดูดซับ รวมทั้งไอออนของสารที่ถูกดูดซับที่มีอยู่ในสารละลายจะเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีประจุแบบเดียวกันซึ่งแปะติดอยู่กับตัวดูดซับ โดยทั่วไปนั้นไอออนที่มีประจุมากกว่า เช่น ไอออนแบบไตรวาเลนต์ (trivalent ions) จะถูกดึงดูดสู่บริเวณที่มีประจุแบบตรงกันข้ามได้แรงกว่าไอออนที่มีประจุน้อยกว่า เช่น ไอออนแบบโมนิวาเลนต์ (monovalent ions) การแลกเปลี่ยนไอออนเป็นปฏิริยาเคมีที่ผันกลับได้ นอกจากนี้ไอออนที่มีขนาดเล็กกว่าจะถูกดึงดูดได้แรงกว่าไอออนที่มีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีความแตกต่างกันระหว่างการดูดซับทั้ง 3 ประเภทที่กล่าวมา แต่ก็ยังเป็นการยากที่จะตัดสินใจว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นบนตัวดูดซับใดๆ จะมีการดูดซับแบบใดแบบหนึ่งที่กล่าวมาเกิดขึ้นเพียงแบบเดียวบนตัวดูดซับนั้น

การดูดซับทางกายภาพจะต่างจากการดูดซับทางเคมีคือ

- 1) การดูดซับทางกายภาพไม่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนหรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน
- 2) การดูดซับทางกายภาพจะไม่จำกัดเกี่ยวกับบริเวณที่เกิดปฏิริยา โมเลกุลที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปเกาะยังพื้นที่ผิวส่วนใดก็ได้ แต่การดูดซับทางเคมีจะเลือกเฉพาะบริเวณที่สามารถเกิดพันธะเคมีได้เท่านั้น

3) ค่าความร้อนของการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าต่ำ โดยมีค่าเท่ากับความร้อนของการกลายเป็นของเหลว ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับทางเคมีที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

4) การดูดซับทางกายภาพจะเกี่ยวข้องกับการเกิดของชั้นหลายโมเลกุล (multimolecular layers) ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นสมบูรณ์ เมื่อมีการเกิดชั้นที่หนึ่งแล้ว ซึ่งบางครั้งการดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวชั้นบนของการดูดซับทางเคมีก็ได้

5) การดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นอย่างทันที เป็นการแพร่เข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ ซึ่งต้องใช้เวลาพอสมควร ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างทันทีเช่นกัน แต่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้นด้วย

#### 2.2.10.4 จลนพลศาสตร์ของการดูดซับ (Kinetic adsorption)

ลักษณะของการดูดซับหรือการส่งถ่ายมวลสารที่อยู่ภายในสารละลายไปยังพื้นที่ผิวของของแข็งซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้กำจัดสารปนเปื้อน มี 3 ขั้นตอนสำคัญ คือ

1) การถ่ายโอนมวลสารของสารที่ถูกดูดซับจากภูมิภาคของเหลวหรือแก๊สเข้าสู่บริเวณรอบนอกที่ใกล้กับพื้นผิวของตัวดูดซับหรือที่ทางเข้ารูพรุนของตัวดูดซับ

2) การแพร่กระจายของมวลสารที่ถูกดูดซับจากรอบนอกที่ใกล้กับพื้นผิวของตัวดูดซับเข้าสู่ผิวภายในรูพรุนของตัวดูดซับ

3) การดูดซับ คือ การที่โมเลกุลที่อยู่ภายในรูพรุนถูกดูดซับจากสารละลายไปแปะติดอยู่ที่ภูมิภาคของแข็ง ซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับ 2 ขั้นตอนที่ผ่านมา คาดว่าภาวะสมดุลเกิดขึ้นระหว่างภูมิภาคทั้งสองนี้

### 2.2.10.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

#### 1) ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และอัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดตัวดูดซับ โดยกลไกของการดูดซับภายนอกของตัวดูดซับที่ไม่มีโพรงนั้น อัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวดูดซับ สำหรับตัวดูดซับที่มีโพรง อัตราของการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ผิวภายในโพรงถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า film transport ดังนั้นอัตราการดูดซับจะมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวดูดซับ ในทางตรงกันข้าม ถ้าการเคลื่อนที่ภายในเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวดูดซับ และได้พบว่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายของมวลภายนอกจะประมาณได้ว่าคงที่สำหรับขนาดอนุภาคคาร์บอนที่อยู่ในช่วง 300-900 (50/70 ขนาดตะแกรงมาตรฐาน ถึง 20/25 ขนาดตะแกรงมาตรฐาน) และจะลดลงเมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค

#### 2) ลักษณะของตัวดูดซับ

ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ซึ่งในที่นี้คือ น้ำ โดยตัวถูกละลายที่ละลายน้ำได้ดี หรือแตกตัวเป็นไอออนได้ดีจะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูง จึงเป็นการยากในการดูดซับ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยจะสามารถดูดซับได้ดี นอกจากความสามารถในการละลายแล้ว ขนาดโมเลกุลของตัวถูกละลายยังมีความสัมพันธ์กับการดูดซับ ซึ่งถ้าอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกแล้ว ความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกละลาย

### 3) พีเอช (pH)

พีเอชมีอิทธิพลต่อการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน และไฮดรอกไซด์ไอออน สามารถถูกดูดติดอย่างค่อนข้างแข็งแรง การดูดติดไอออนอื่นๆ จึงมีผลกระทบมาจากพีเอชของสารละลาย นอกจากนี้พีเอชยังมีผลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ อีกด้วย

### 4) อุณหภูมิ

การดูดซับโดยทั่วไปเป็นกระบวนการคายความร้อน ดังนั้นความสามารถในการดูดซับ จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง แต่อัตราเร็วในการดูดซับจะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลของปฏิกิริยา นอกจากนี้อุณหภูมิจะมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ โดยเปลี่ยนความสามารถในการละลาย เช่น เมื่ออุณหภูมิซึ่งโดยปกติจะทำให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้นมีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง

### 5) ความปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ การแพร่ภายนอกและการแพร่ภายใน ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาตัวดูดซับ ดังนั้นการแพร่ภายนอกจึงเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าความปั่นป่วนสูงจะเกิดฟิล์มบางๆ ทำให้การแพร่ภายในเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

### 6) เวลาสัมผัส

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของถัง เวลาสัมผัสใช้ในการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น พื้นที่ผิวในการดูดซับ ลักษณะของโพร่ง ชนิดและขนาดโมเลกุลของตัวดูดซับในสารละลาย และชนิดของคาร์บอน

### 2.2.10.6 ประโยชน์ของการดูดซับในทางอุตสาหกรรม

การดูดซับเป็นกระบวนการแยกกำจัดอย่างหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นเวลานาน ดังที่ทราบได้จากการใช้ถ่านเพื่อกำจัดกลิ่นและรสของน้ำ ซึ่งมีการบันทึกไว้เป็นภาษาสันสกฤตมานานกว่า 2,000 ปี การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ เริ่มจากที่มีผู้ค้นพบว่า ถ่านสามารถกำจัดสีของสารละลายได้ จึงมีการพัฒนาคุณสมบัติของถ่านเรื่อยมาจนกระทั่งได้ ถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษ การดูดซับจึงจัดได้ว่าเป็นกระบวนการที่มีประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม ประโยชน์จากการดูดซับที่ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น การกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ออกจากน้ำดื่ม เช่น สารพวกไตรฮาโลมีเทน (trihalomethanes) สารปราบศัตรูพืช และสารประกอบอินทรีย์คลอรีนต่างๆ การกำจัดกลิ่น รส และสีออกจากน้ำดื่ม การกำจัดสีออกจากน้ำมันพืช การบำบัดน้ำเสียหรือของเสียจากอุตสาหกรรมโดยใช้เป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการทางเคมีฟิสิกส์ (physicochemical process) หรือกระบวนการบำบัดขั้นที่ 3 (tertiary treatment) เป็นต้น

### 2.2.10.7 ไอโซเทอมการดูดซับ

ไอโซเทอมการดูดซับ เป็นการแสดงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดผิวต่อหน่วยของสารดูดติดผิว ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารละลายที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอมการดูดซับมีหลายรูปแบบ ดังต่อไปนี้

#### 1) ไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ (Langmuir adsorption isotherm)

สมมติฐานของแบบจำลองไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ คือ

- โมเลกุลถูกดูดติดอยู่บริเวณที่แน่นอนบนพื้นผิวของสารดูดติดผิว
- มีโมเลกุลเดียวในบริเวณถูกดูดติดผิว
- พื้นที่ของบริเวณดูดติดผิวมีจำนวนที่แน่นอน ซึ่งกำหนดโดยลักษณะของพื้นผิว
- พลังงานการดูดติดผิวมีค่าเท่ากันทุกบริเวณ

การดูดติดผิวจากสารละลายโดยสารดูดติดผิว แสดงได้ดังสมการ

$$X = (X_m b C_e) / (1 + b C_e) \quad (2.8)$$

โดย  $X$  = ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดผิวต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน  
(มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ โมลต่อกรัม)

$X_m$  = ปริมาณตัวถูกละลายมากที่สุดที่ถูกดูดติดผิวเพื่อสร้างแผ่นชั้นเดียว  
(monolayer) (มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ โมลต่อกรัม)

$C_e$  = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล  
(มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ โมลต่อลิตร)

$b$  = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดติดผิว

## 2) ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช (Freundlich adsorption isotherm)

ลักษณะของไอโซเทอมแบบนี้คือ การดูดซับจะยังคงดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับ ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช เขียนได้ดังนี้

$$X/m = K C_e^{1/n} \quad (2.9)$$

โดย  $X$  = ปริมาณตัวถูกละลายที่ถูกดูดติดผิวต่อหน่วยน้ำหนักของคาร์บอน  
(มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ โมลต่อกรัม)

$C_e$  = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายที่จุดสมดุล  
(มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ โมลต่อลิตร)

$K$  = ค่าคงที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดติดผิวของคาร์บอน

$1/n$  = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดติดผิว

$m$  = น้ำหนักของสารดูดติดผิว (กรัม)



## 2.3 ดินเบา (Diatomaceous earth) (ชฎาภรณ์ บุญแท้, 2545)

ดินเบา (Diatomaceous earth) หรือที่รู้จักกันในชื่อต่างๆ เช่น Diatomite, Kieselguhr, Tripolite, Fossil flour เป็นต้น เรียกชื่อภาษาไทยว่า “ดินเบา” ดินเบาเป็นหินตะกอนที่มีลักษณะการเกิดเป็นชั้นๆ มีสีเทา ขาว นวล สีน้ำตาลอ่อน โครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบด้วยฟอสซิล ขนาดละเอียดของพืชเซลล์เดียวในอดีตกาลที่เรียกว่า ไดอะตอม โครงสร้างของไดอะตอมเหล่านี้ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิกาไร้ผลึกชนิดบริสุทธิ์ โดยที่ไดอะตอมแต่ละสปีชีส์ จะมีโครงสร้างซับซ้อนและมีคุณสมบัติเด่นเฉพาะตัว คือ ความบริสุทธิ์ การมีความพรุนตัวสูง และมีพื้นที่ผิวมาก จึงเป็นผลที่เกิดขึ้นโดยตรงจากรูปร่าง โครงสร้าง และส่วนประกอบภายในของไดอะตอมแต่ละชนิดนั้น คุณสมบัติเหล่านี้ เมื่อรวมกับความคงทนทางเคมีและเป็นตัวนำความร้อน จึงเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำดินเบาไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ

### 2.3.1 การกำเนิดทางธรณีวิทยา

การกำเนิดของดินเบา มีแหล่งกำเนิดได้ทั้งในน้ำทะเล น้ำกร่อย และน้ำจืด ขณะที่มีชีวิตอยู่ตัวไดอะตอมจะสกัดดึงซิลิกาจากรอบๆ ตัว และคายออกมาในรูปเปลือกหอยห่อหุ้มตัวมันเอง ภายหลังจากที่ตาย โครงสร้างแบบเปลือกหอยเหล่านี้จะค่อยๆ ตกตะกอนสู่พื้นของแอ่ง (basin) ทับถมร่วมกับตะกอนชนิดอื่นๆ แหล่งดินเบาเกิดขึ้นจากการจับตัวแน่นของตะกอนเหล่านี้ ภายใต้อุณหภูมิและความกดดัน โดยมักมีทราย ดิน สารคาร์บอนเนต และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์แทรก เป็นมลทินเจือปนอยู่ด้วย

ในปัจจุบันตะกอนทางทะเลที่มีไดอะตอมมากจะสะสมในแอ่งทะเลบริเวณที่มีสารอาหารสมบูรณ์ เช่น เขตมหาสมุทรที่มีกระแสน้ำแตกต่างกัน แถบกึ่งแอนตาร์กติก บริเวณพื้นทะเลระดับลึกไม่มีการเคลื่อนไหวของน้ำอย่างรุนแรง ทำให้มีการสะสมตัวของตะกอนจากพื้นทวีป อย่างไรก็ตามดินเบาสามารถเกิดขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมน้ำตื้น มีรายงานว่าดินเบาที่เกิดขึ้นในน้ำจืดมีการสะสมตัวในทะเลสาบ บึงหรือจากปล่องภูเขาไฟ มีการสะสมตัวอย่างอิสระที่มีกระแสน้ำหรือแม่น้ำมาเกี่ยวข้อง น้ำจะไหลเข้ามาโดยการซึม ผลจากกระบวนการหลังการสะสมตัวของแหล่งดินเบา มีอิทธิพลต่อความพรุน และระดับชั้นของการประสานตัว ซึ่งมีการแยกตัว การเคลื่อนไหว และการตกตะกอนใหม่ของซิลิกาในไดอะตอม ในที่สุดดินเบาจะเปลี่ยนเป็นเชิร์ต (chert) หรือโคลนไดอะตอมมีรายงานว่า มีสัดส่วนของสารอินทรีย์มากมาย ซึ่งแปรสภาพจากรูปร่างที่อ่อนนุ่มของไดอะตอมและอาจจะเป็นหิน

กำเนิดของแหล่งปิโตรเลียมได้ การยกตัวของแหล่งดินเบาภายใต้เงื่อนไขการระบายน้ำที่ดี สามารถช่วยจัดมลพิษพวกอินทรีย์ โดยการเติมออกซิเจนและการชะละลาย

แหล่งดินเบาที่สำคัญที่สำรวจโดยกรมทรัพยากรธรณีในประเทศไทย พบที่ จังหวัดลำปาง พบกระจัดกระจายในเขต อำเภอเมือง อำเภอเกาะคา อำเภอแม่ทะ และ อำเภอสบปราบ มักพบเป็นเนินลูกรังเล็กๆ โดยมีความสูงจากท้องนา 10-20 เมตร เช่น ที่แหล่งบ้านม่อนหินแก้ว บ้านป่าม่วง บ้านน้ำใจ และบ้านม่อนแสงสี รวมทั้งแหล่งบ้านกล้วยแพะ ชั้นดินเบาถูกปิดทับด้วยก้อนกรวดและก้อนหินมนเล็ก การสะสมตัวอีกชนิดหนึ่งเกิดขึ้นตามเชิงลาด บริเวณขอบของแอ่งลำปาง โดยชั้นก้อนกรวดปิดทับ พบเห็นตามเนินเตี้ยๆ เป็นหย่อมๆ มีความยาวหลายกิโลเมตร ที่บ้านพิชัย บ้านห้วยน้ำเค็ม บ้านกิวลม และทางใต้ของนิคมกิวลม บริเวณแหล่งที่กล่าวถึงทั้งหมดนี้มีพื้นที่ครอบคลุมประมาณ 30 ตารางกิโลเมตร

### 2.3.2 ชีววิทยาและนิเวศวิทยาของไดอะตอม

ไดอะตอมจัดอยู่ในพวก protista เช่นเดียวกับ protozoans, moulds และ fungi ไดอะตอมเป็นพืชเซลล์เดียว ขนาดเล็กมาก มีขนาดตั้งแต่ 2-2,000 ไมครอน มีรูปร่างอ่อนนุ่ม ประกอบด้วย cytoplasm, oil, globules และ chloroplasts เชื่อมกันด้วย opaline exoskeleton ซึ่งโครงสร้างนี้หรือ frustules อาจมีลักษณะเป็นทรงกลมหรือทรงรี ลักษณะภายนอกเป็นรูคล้ายตะแกรง มีโครงสร้างเป็นตาข่ายซับซ้อน ตัวไดอะตอมสร้างอาหารโดยการรวมคาร์บอน (ที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของคาร์บอนไดออกไซด์) กับสารอาหารที่สกัดจากน้ำทะเล ไดอะตอมเป็นพื้นฐานของวงจรอาหารในทะเล เป็นอาหารหลักของกุ้งตัวเล็กๆ ซึ่งเป็นอาหารของพวกสัตว์มีกระดูกสันหลังอีกต่อหนึ่ง

ไดอะตอมสามารถอยู่ในสภาพแวดล้อมทางน้ำหลายแบบ โดยต้องการเงื่อนไขสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจึงจะเจริญเติบโตได้ เช่น มีอุณหภูมิ และเงื่อนไขทางแสงที่เหมาะสม มีสภาพความเค็ม ความเป็นกรดในวงจำกัด และได้รับสารอาหารตลอดเวลาจำพวก ซิลิกา ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เหล็ก ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ไดอะตอมอาศัยอยู่ในเขตที่มีแสง มีความลึกถึง 200 เมตร การศึกษาเมื่อไม่นานนี้ได้ใช้กลุ่มไดอะตอมเป็นเครื่องชี้บอกสภาพแวดล้อมของทะเลสาบน้ำจืดในยุคควอเทอร์นารี (quaternary) และในสมัยปัจจุบัน

### 2.3.3 ส่วนประกอบทางเคมีของดินเบา

ดินเบาบริสุทธิ์ ประกอบด้วย opaline หรือ hydrosilica กับสารอนินทรีย์อื่นๆ เล็กน้อย เช่น alumina, เหล็ก, alkaline metal เป็นต้น ดินเบาดิบอาจมีอินทรีย์สาร และพวกเกลือละลาย ขึ้นส่วนของแร่ประกอบหิน ททราย ดิน หรือคาร์บอนเนตในปริมาณต่างๆ ดังแสดงเป็นตัวอย่างในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินเบา จากแหล่งแร่ต่างๆ

1. Hollywood, California
2. Dragowistiza near Sofia, Bulgaria
3. The Gurmen deposit, Blagoevgrad, Bulgaria
4. อำเภอมะเข่ จังหวัดลำปาง

Composition in %	Hollywood	Dragowistiza	The Gurmen deposit	อำเภอมะเข่ จังหวัดลำปาง
SiO <sub>2</sub>	73.71	83.50	68.80	68.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.25	10.56	13.70	13.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.63	2.04	5.30	5.00
MgO	1.47	0.67	0.90	0.87
CaO	1.72	1.18	1.10	0.42
Na <sub>2</sub> O	1.19	2.05	1.80	1.00
K <sub>2</sub> O	1.00	2.05	1.80	-

ที่มา : กิตติยา น้อยม่วง (2549)

### 2.3.4 คุณสมบัติทางกายภาพของดินเบา

ดินเบามักมีสีค่อนข้างอ่อน ขาวหรือสีครีมคล้ายพวกชอล์ก โดยแหล่งดินเบาที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำจืดมักจะมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่ด้วย สารที่ปรากฏจะทำให้สีแตกต่างออกไปจากน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเขียว หรือเกือบดำซึ่งยากแก่การแยกจากสารพวกที่คล้ายถ่านหิน (peatlike material)

โครงสร้างอาจจะเป็นแบบเนื้อแน่นหรือเป็นลาย ความแข็งของอนุภาคดินเบาตามสเกลความแข็งมาตรฐานโมลท์ อยู่ระหว่าง 4.5-6.0 แต่ความแข็งปรากฏของแร้ดินเบาเนื้อแน่นประมาณ 1.5 ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นปรากฏน้อย และความร่วนของเนื้อดินที่มีพูนความถ่วงจำเพาะ 2.1-2.2 เมื่อบริสุทธิ์และแห้งมีความถ่วงจำเพาะปรากฏน้อยกว่า 1 ดังนั้นแร้ดินเบาจะลอยน้ำได้จนกว่าจะอมจนอิมตัวด้วยน้ำ ความหนาแน่นปรากฏ 5-16 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ความหนาแน่นเมื่อเปียก 10-20 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ดัชนีหักเห 1.42-1.48 ไม่ละลายในกรดยกเว้นกรด HF แต่ละลายได้ง่ายในด่าง

### 2.3.5 การใช้ประโยชน์ดินเบาในอุตสาหกรรมต่างๆ

#### 1) ใช้เป็นสารช่วยกรอง (Filter aids)

การใช้ประโยชน์ของดินเบา ส่วนใหญ่ใช้เป็นสารช่วยกรอง (ซึ่งมีปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้งานดินเบาทั้งหมด) ในการกรองผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวในอุตสาหกรรมและที่ไม่ใช่อุตสาหกรรม รวมทั้งสารเคมีชนิดอินทรีย์ และอนินทรีย์เภสัชภัณฑ์ (pharmaceuticals) เบียร์ เหล้าองุ่น น้ำมันต่างๆ ดินเบาใช้เป็นสารช่วยกรองเพราะมีคุณสมบัติในการซึมซับ อนุภาคชนิดละเอียดที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายที่ต้องการกรองได้เป็นอย่างดี รวดเร็ว และได้สารละลายที่ใสขึ้น คุณสมบัติการเป็นสารช่วยกรองที่ดีต้องมีความบริสุทธิ์ทางเคมีสูง มีปริมาณแคลเซียม และเหล็กต่ำ รวมทั้งมีสารอื่นที่ละลายได้ (soluble salts) อยู่เป็นส่วนน้อย มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมกับการเป็นสารช่วยกรอง คือ ต้องมีการซึมซับสูง มีลักษณะรูพูนมาก และมีขนาดอนุภาคที่พอเหมาะ

#### 2) ใช้เป็นตัวเติม (Fillers)

ดินเบาใช้เป็นสารตัวเติมในสี พลาสติก ยาง เภสัชภัณฑ์ สารขัดมันและเคมีภัณฑ์ต่างๆ ดินเบาใช้เป็นตัวเติมมีการใช้มากเป็นอันดับที่สอง ดินเบาที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์เพื่อการค้า มีทั้งชนิดจากธรรมชาติ และชนิดที่ผ่านการทำ calcine แล้ว โดยทั่วไปดินเบาที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์ของสี และสีรองพื้น เพราะดินเบาที่มีคุณสมบัติเป็น flatting ที่ดี ทำให้การซึมของสีดีขึ้นและแห้งเร็ว มีความตึงผิวดี และเรียบเหมือนขัดด้วยทราย ส่วนดินเบาที่ใช้เติมในอุตสาหกรรมพลาสติก ส่วนใหญ่ใช้เป็นสาร anti-blocking ในผลิตภัณฑ์ ฟิล์มโพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำตามปกติจะเติมดินเบาลงไปให้มีความเข้มข้น 300-500 ppm เพื่อป้องกันการติดกันของฟิล์ม

### 3) ใช้ทำแผ่นฉนวนและผงดูดซับ (Insulators and absorbents)

บริษัทในประเทศเดนมาร์ก ได้ผลิตอิฐฉนวนจากวัตถุดิบที่เรียกว่า molar ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติเป็นสารผสมระหว่าง ดินเบา และ 20-25 เปอร์เซ็นต์ ของ plastic clay นอกจากนี้ยังใช้ molar ซึ่งมีส่วนผสมของดินเบา นั้น ในการผลิตสารดูดซับชนิดผงและชนิดเม็ดที่ใช้ในเตาอบแห้งด้วย ใช้ในการดูดซับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ยาฆ่าแมลง ส่วนดินเบาที่เป็นผงและผ่านการ calcine แล้ว จะใช้ในวัตถุระเบิด, seed coating และในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เคมีต่างๆ แต่ molar ไม่มีความบริสุทธิ์พอสำหรับการใช้เป็นสารช่วยกรองและตัวเติมได้

### 4) การใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

นอกจากประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังสามารถนำดินเบามาใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ได้อีก เช่น เป็นสารขัดถูชนิดอ่อนสำหรับผสมในยาสีฟันและน้ำยาขัดโลหะ เป็นตัวกลางที่ใช้ป้องกันการแข็งตัวของปุ๋ย ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก โดยเป็นตัวเติมเพื่อลดความเหนียวในดินปั้น และเพิ่มความแข็งแรงด้วย ช่วยในการขึ้นรูปได้ดี ใช้ทำน้ำยาเคลือบในการทำผงสีเซรามิก และ ทำอิฐทนไฟ เพราะมีคุณสมบัติด้านทานความร้อนได้ดี เป็นตัวกลางควบคุมในวัตถุระเบิด ใช้ใน chromatography support media และ pitch control ในอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นตัวนำพาตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ เช่น ใช้เป็นตัวนำพาในอุตสาหกรรมทำกรดกำมะถัน และในกรดฟอสฟอริก ในการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม

## 2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ghouti และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาค่าองค์ประกอบของดินเบาที่ทับถมกันของโดอะตอมเป็นหินตะกอน พบว่า มีแร่ซิลิกาเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ ซึ่งสามารถดูดซับโมเลกุลที่มีขั้วได้ และได้มีการศึกษาการดูดซับด้วยดินเบา โดยมีการปรับปรุงคุณภาพของดินเบาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการเผา (ชัยศรี ไชยวุฒิ, 2544)

ชฎาภรณ์ บุญแท้ (2545) ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียมโครเมียม (ประจุ +3) และอาร์เซนิก จากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยดินเบา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแคดเมียมคือ ความเข้มข้นของแคดเมียมเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณดินเบาที่ใช้เท่ากับ 2.0 กรัม ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 5 และเวลาที่สัมผัส 10 ชั่วโมง และประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 99.92 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการดูดซับโครเมียม สภาวะที่เหมาะสมคือ



ความเข้มข้นของโครเมียมเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณดินเบาที่ใช้เท่ากับ 1.0 กรัม ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4 และช่วงเวลาที่สัมผัส 10 ชั่วโมง และประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 98.82 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำดินเบาไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าสามารถใช้กำจัดอาร์เซนิกได้ดี โดยสภาวะที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของอาร์เซนิกเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณดินเบาที่ใช้ 1.0 กรัม ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4 และช่วงเวลาที่สัมผัส 6 ชั่วโมง และประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 99.96 เปอร์เซ็นต์

พรเพ็ญ มีทองมูล (2545) ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับโลหะหนักสามชนิด ได้แก่ อาร์เซนิก แคดเมียม และตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการใช้ดินเบาเคลือบเมงกานีสออกไซด์ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลการศึกษาที่ชี้ให้เห็นว่า ชนิดของโลหะหนัก ความเข้มข้นของโลหะหนัก พีเอชของน้ำเสียและระยะเวลาที่ดินเบาเคลือบเมงกานีสออกไซด์สัมผัสกับน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก จากผลการศึกษาใช้ดินเบาเคลือบเมงกานีสออกไซด์ปริมาณ 0.1 กรัม พบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับอาร์เซนิกคือ 7 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาสัมผัส 12 ชั่วโมง โดยจะได้ประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 35.19 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการดูดซับแคดเมียมได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับคือ 5 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง โดยจะได้ประสิทธิภาพเท่ากับ 91.67 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการดูดซับตะกั่วได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับคือ 4 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาสัมผัส 45 นาที โดยจะได้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าตะกั่วเป็นโลหะหนักที่ถูกดูดซับไปได้เร็วที่สุด รองลงมาคือแคดเมียมและอาร์เซนิกตามลำดับ ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโลหะหนักทั้งสามชนิดพบว่าอาร์เซนิกและตะกั่วมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ สำหรับแคดเมียมมีความสัมพันธ์กับไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช การทดสอบการชะละลายของโลหะหนักทั้งสามชนิด พบว่าแคดเมียมและตะกั่วปริมาณโลหะหนักถูกชะละลายต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด แต่อาร์เซนิกมีปริมาณถูกชะละลายเกินกว่าค่ามาตรฐานการทดสอบการดูดซับอาร์เซนิกและตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ซึ่งมีความเข้มข้นของอาร์เซนิก 0.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และตะกั่ว 5.89 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าดินเบาเคลือบเมงกานีสออกไซด์มีประสิทธิภาพดูดซับโลหะหนักทั้งสองชนิดได้ดีมาก

เบญจมาศ เจริญตรา (2546) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดปรอทออกจากน้ำเสียอรัลแกมทางทันตกรรม วัดความเข้มข้นของปรอทในน้ำเสียจากคลินิกบริการทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่ามีความเข้มข้นของปรอทอยู่ในช่วง 4.69



19.26 ไมโครกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของปรอทในน้ำเสียจากคลินิกไม่มีความสัมพันธ์กับจำนวนคนไข้ที่เข้ารับบริการ ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยแร่ดินเบา โดยแปรผันระยะเวลาในการสัมผัส พีเอชของสารละลาย และปริมาณของแร่ดินเบา ผลการทดลองพบว่าแร่ดินเบา 1 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเข้มข้นของปรอท 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 3 - 9 ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดปรอทและค่าความสามารถในการดูดซับ พบว่า แร่ดินเบาที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับโพลิเมอร์ (Lewatit TP 214) และ ไคโตซาน แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่าถ่านกัมมันต์ แร่ดินเบาน้ำหนักเพียง 0.05 กรัม สามารถกำจัดปรอทในน้ำเสียอมลั้มทางทันตกรรมที่ความเข้มข้น 20.42 ไมโครกรัมต่อลิตรให้มีความเข้มข้นต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งกระทรวงอุตสาหกรรม

กิตติยา น้อยม่วง (2549) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์โดยดินเบาที่ผ่านการเผา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าดินเบาที่ผ่านการเผาที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยแปรผันความเข้มข้นของไนโตรเจนและไนเตรท พีเอช เวลาสัมผัส และปริมาณดินเบาเผา โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ผลการศึกษาระบุว่าประสิทธิภาพการดูดซับไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์โดยดินเบาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เท่ากับ 96 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นของไนโตรเจน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 2 ใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม ที่อัตราเร็วในการเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรท เท่ากับ 93 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นของไนเตรท 40 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 2 ใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม ที่อัตราเร็วในการเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของไนโตรเจนและไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800°C พบว่าสัมพันธ์กับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช การศึกษาการชะละลายของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800°C พบว่า มีการชะละลายไนโตรเจน และไนเตรทออกมาไม่เกินค่าที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

มธุรส แสงไพโรจน์ (2549) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของแร่ดินเบาที่ถูกปรับปรุงคุณภาพสำหรับกำจัดอาร์เซนไนต์ และอาร์เซนเนต พบว่าแร่ดินเบาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (CD4006) สามารถดูดซับอาร์เซนไนต์ และแร่ดินเบาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (CD8006) สามารถดูดซับอาร์เซนเนตได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกำจัดอาร์เซนไนต์ และอาร์เซนเนต คือ ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5 เวลาสัมผัส 5 ชั่วโมง อัตราการเขย่า 180 รอบต่อนาที และปริมาณตัวดูดซับ CD4006 และ CD8006

เท่ากับ 3 กรัม สามารถกำจัดอาร์เซนไนต์ และอาร์เซนเตไต์ได้ 98.72 และ 99.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และผลของประจุลบขึ้นที่รบกวนการดูดซับ พบว่าฟอสเฟตมีผลต่อการดูดซับอาร์เซนไนต์ และ อาร์เซนเตบอนด์ดูดซับ CD4006 และ CD8006 สำหรับการทดลองใช้ตัวดูดซับ CD4006 และ CD8006 กำจัดอาร์เซนิกในน้ำเสียจริงที่มีค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิก 1.95 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณตัวดูดซับ CD4006 และ CD8006 0.1 กรัม สามารถกำจัดอาร์เซนิกในน้ำเสียได้มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความเข้มข้นของอาร์เซนิกที่เหลือมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำดื่มตามที่องค์การอนามัยโลกกำหนด (< 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ศิริโรจน์ ศรีเกษเพชร (2543) พบว่าการดูดซับสารโลหะหนัก ตะกั่ว สังกะสี แคดเมียม และโครเมียม ด้วยตัวดูดซับต่างๆ ได้แก่ แร่ดินเหนียว Kaolinite และ Bentonite และดินเหนียวจากสถานที่ต่างๆ พบว่าจะเข้าสู่สมดุลของการดูดซับประมาณ 2 ชั่วโมง และเมื่อความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายโลหะหนักเริ่มต้นสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับต่างๆ ก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากพีเอชที่สูงขึ้นจะทำให้ประจุที่ผิวของคอลลอยด์เป็นลบมากขึ้นดังนั้นจึงสามารถดูดซับกับประจุบวกของโลหะหนักได้เพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าแร่ดินเหนียว Bentonite สามารถดูดซับโลหะหนักได้ดีที่สุด รองลงมาคือแร่ดินเหนียว Muscovite และแร่ดินเหนียว Kaolinite ตามลำดับ โดยลำดับความสามารถในการถูกดูดซับจากมากไปหาน้อยดังนี้คือ Cr > Pd > Cd > Zn ยกเว้นแร่ดินเหนียว Kaolinite ที่ดูดซับตะกั่วได้สูงสุด

อดิศักดิ์ ปิยสถิตย์ (2543) ทำการศึกษา 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและความสามารถในการกำจัดโครเมียม (ประจุ+6) พบว่า ทราเยเคลือบแมกนีไทต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม (ประจุ+6) ได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 4 ซึ่งปริมาณโครเมียม (ประจุ+6) ที่ทราเยเคลือบแมกนีไทต์สามารถกำจัดได้ เท่ากับ 1.74 มิลลิกรัมต่อทราเยเคลือบแมกนีไทต์ 1 กรัม และขั้นตอนที่สอง ศึกษาความเป็นไปได้ในกรณีพื้นอำนาจตัวกลาง ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก พีเอช 4 พบว่า สามารถนำกลับโลหะหนักได้ โดยสามารถนำกลับมาใช้งานได้ ต่อได้ โดยประสิทธิภาพจะลดลงประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ในครั้งแรก และ 50 เปอร์เซ็นต์ในครั้งต่อไป

Seng, Lee และ Liew (2001) ศึกษาการใช้ดินฟอสฟอรัสในอุตสาหกรรมน้ำมันมาดูดซับโครเมียม (VI) และนิกเกิล(II) ดินฟอสฟอรัสที่ใช้ถูกปรับสภาพโดยการใช้กรดตามด้วยการให้ความร้อน และปรับสภาพโดยความร้อนเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิระหว่าง 200 และ 800 องศาเซลเซียส พื้นที่ผิวของดินที่ปรับสภาพโดยความร้อนมีค่ามากที่สุด 120 ตารางเมตรต่อกรัม ที่อุณหภูมิการเผาระหว่าง 400 และ

500 องศาเซลเซียส ขณะการปรับสภาพโดยการไ้กรดและความร้อนทำให้ดินมีพื้นที่ผิวมากที่สุดคือ 140 ตารางเมตรต่อกรัม ค่าการดูดซับโครเมียม(VI) ของทั้งสองวิธีมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นจนถึง 300 องศาเซลเซียส และจะมีค่าการดูดซับลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกว่านี้ ที่ค่าพีเอชต่างๆ มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ของโครเมียมถูกดูดซับโดยดินที่เผาที่ 300 องศาเซลเซียสโดยใส่ตัวดูดซับ 1 กรัม กับสารละลายโครเมียมเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร การดูดซับนี้สอดคล้องกับสมการการดูดซับของฟรุนดลิช (Freundlich) การดูดซับนิกเกิล (II) โดยใช้ดินที่ปรับสภาพโดยการเผาที่ 200 และ 700 องศาเซลเซียส และโดยการไ้กรดร่วมกับการเผาที่ 200 และ 500 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 42 และ 44 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับที่พีเอชเท่ากับ 6

ณัฐ ดิลกเกียรติ (2546) ศึกษาปัจจัยการผลิตตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าว และดินดำผสมกะลาปาล์ม และศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับเฮกซะวาเลนท์โครเมียมของตัวดูดซับที่ผลิตได้โดยการแปรผันค่าพีเอช (pH) การชะไฮดรอนด้วยสารละลายกรดและน้ำกลั่น ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมี การหาประสิทธิภาพในคอลัมน์ดูดซับ และได้เปรียบเทียบพฤติกรรมดูดซับระหว่างถ่านกัมมันต์กับตัวดูดซับที่ผลิตได้ พบว่าตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถดูดซับเฮกซะวาเลนท์โครเมียมได้ดีที่สุดและมีความคงตัว คือตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าวที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างดินดำต่อกะลามะพร้าวที่ 20 ต่อ 80 และตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลาปาล์มที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก ระหว่างดินดำต่อกะลามะพร้าวที่ 10 ต่อ 90 ซึ่งผ่านการเผาแบบไร้ออกซิเจนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยสามารถดูดซับเฮกซะวาเลนท์โครเมียมได้ร้อยละ 99.02 และ 96.66 ตามลำดับ โดยที่สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับของตัวดูดซับทั้งสองชนิดคือ เวลาสัมผัสน้ำ 4 ชั่วโมง ค่าพีเอชเท่ากับ 3 ซึ่งจากการทดลองไอโซเทอมที่สภาวะดังกล่าวโดยสมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ ค่าปริมาณการดูดซับสูงสุด ของตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าว และตัวดูดซับที่ผลิตจากดินดำผสมกะลาปาล์ม เท่ากับ 11.08 และ 8.20 มิลลิกรัมเฮกซะวาเลนท์โครเมียมต่อกรัมตัวดูดซับ ตามลำดับ ขณะที่ถ่านกัมมันต์มีค่าเท่ากับ 47.40 มิลลิกรัมเฮกซะวาเลนท์โครเมียมต่อกรัมถ่านกัมมันต์ การศึกษาการชะตัวดูดซับด้วยสารละลายกรดอ่อน และน้ำกลั่นที่ 24 ชั่วโมง พบว่าไม่สามารถชะไฮดรอนโครเมียมออกมาได้ด้วยสารละลายกรดอ่อนและน้ำกลั่น ในการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ ในการกำจัดเฮกซะวาเลนท์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ของตัวดูดซับผลิตจากดินดำผสมกะลามะพร้าว ที่พีเอช 3 ความเข้มข้นเฮกซะวาเลนท์โครเมียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับความลึกของตัวดูดซับ 30, 60 และ 90 เซนติเมตรพบว่าปริมาตรน้ำเสียไหลผ่านชั้นตัวดูดซับที่จุดหมดสภาพคือ 485.5, 521.7 และ 664.3 เท่าของปริมาตรของคอลัมน์ ตามลำดับ

## บทที่ 3

### ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

3.1.1 เตรียมแร่ดินเบาเผาให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม โดยทำการปรับปรุงแร่ดินเบาโดยการเผา ที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส

3.1.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของแร่ดินเบาธรรมชาติ และแร่ดินเบาเผา (ที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส) ในเตาเผาแบบเปิด

3.1.3 หาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมตของแร่ดินเบาออกจากร้ำเสียสังเคราะห์

3.1.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมตออกจากร้ำเสียสังเคราะห์ ระหว่างแร่ดินเบาธรรมชาติ และแร่ดินเบาเผาในเตาเผาแบบเปิด

3.1.5 ศึกษาผลกระทบของแอนไอออนต่างๆ ได้แก่ คลอไรด์ ไนเตรท คาร์บอเนต ฟอสเฟต และซัลเฟต ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของแร่ดินเบาออกจากร้ำเสียสังเคราะห์

#### 3.2 วัสดุดิบและสารเคมี

##### 3.2.1 แร่ดินเบา

มีลักษณะเป็นผงค่อนข้างละเอียดสีเหลืองอ่อน โดยนำมาจากอำเภอแม่ทะ จังหวัด ลำปาง

##### 3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 1) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท MERCK ประเทศ Germany
- 2) ซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) บริษัท MERCK ประเทศ Germany
- 3) 1,5- ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (1,5- diphenylcabazide) บริษัท Fluka ประเทศ Switzerland
- 4) อะซิโตน (Acetone) บริษัท MERCK ประเทศ Germany

### 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย

ลำดับ	อุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย	ยี่ห้อ : รุ่น
1	เครื่องชั่งไฟฟ้าละเอียด 4 ตำแหน่ง	Mettler : AB204-S
2	เครื่องเขย่า (shaker)	GFL3015
3	pH meter	ORION : 920A
4	เครื่อง Scanning electron microscope	JEOL : JSM – 5410LV
5	เครื่อง X-ray fluorescence	Philips : PW 2400
6	เครื่อง BET (Surface area and pore-size)	ASAP 200
7	Spectrophotometer	HACH DR4000
8	กระดาษกรอง	Whatman
9	เดซิเคเตอร์ และอุปกรณ์เครื่องแก้วทั่วไป	

### 3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.4.1 การเตรียมแร่ดินเบาให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม ทำการปรับปรุงแร่ดินเบาโดยการเผา

1) นำแร่ดินเบามาล้างด้วยน้ำกลั่นและเอาสิ่งเจือปนออก นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100–105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จนแห้ง แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh และนำแร่ดินเบามาเก็บใส่ในถุงโพลีเอทิลีนที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น

2) นำแร่ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ตามลำดับ ในเตาเผาแบบเปิด แล้วนำมาเก็บใส่ในถุงโพลีเอทิลีนที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น แล้วนำไปใช้ในการทดลองต่อไป



### 3.4.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของแร่ดินเบาธรรมดา และแร่ดินเบาเผา ในเตาเผาแบบเปิด

นำแร่ดินเบาแร่ดินเบาธรรมดา และแร่ดินเบาเผา (ที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส) ในเตาเผาแบบเปิด จากข้อ 3.4.1 มาศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ พื้นที่ผิวด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) และศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF) และความเป็นรูพรุนด้วยเครื่อง Surface area and pore-size (BET)

### 3.4.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมตของแร่ดินเบาออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

ในการทดลองได้ทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โครเมต โดยเตรียมจากโปรแตสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ซึ่งโปรแตสเซียมไดโครเมตมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 294 กรัม และโครเมียมมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 52 กรัม ทำการเตรียมเป็นสารละลายเริ่มต้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้โปรแตสเซียมไดโครเมต 2.828 กรัม ละลายในน้ำ 200 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์โครเมตความเข้มข้น 1, 3, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทำได้โดยการเจือจางสารละลายเริ่มต้นปริมาตร 1, 3, 5 และ 10 มิลลิลิตร ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

#### 3.4.3.1 ศึกษาผลของพีเอชของสารละลายโครเมตที่เหมาะสมในการดูดซับโดยแร่ดินเบา

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมตอยู่ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เทลงในขวดรูปชมพู่ เติมแร่ดินเบาที่ได้จากข้อ 3.4.1 ปริมาณ 1.0 กรัม ปรับค่าพีเอชเป็น 4, 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ (ใช้ 1M  $H_2SO_4$  และ 1M NaOH ) แล้วนำขวดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที และทำการเก็บตัวอย่างสารละลาย โดยนำไปกรองตัวอย่างสารละลายที่มีแร่ดินเบาออก แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยวิธี Colorimetric เลือกค่าพีเอชที่แร่ดินเบาดูดซับได้ดีที่สุด



### 3.4.3.2 ศึกษาผลของช่วงเวลาที่มีผลสัมฤทธิ์ที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมตโดย แร่ดินเบา

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมตอยู่ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เทลงในขวดรูปชมพู่ เติมแร่ดินเบาที่ได้จากข้อ 3.4.1 ปริมาณ 1.0 กรัม ปรับค่าพีเอช ให้เท่ากับค่าพีเอชที่เกิดการดูดซับได้ดีที่สุดที่ได้จากข้อ 3.4.3.1 นำขวดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10, 20, 30, 45, 60, 120 และ 240 นาที ตามลำดับ และทำการเก็บตัวอย่างสารละลายโดยนำไปกรองตัวอย่างสารละลายที่มีแร่ดินเบาออก แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยวิธี Colorimetric เลือกช่วงเวลาที่มีผลสัมฤทธิ์ของสารละลายโครเมตที่มีแร่ดินเบา ดูดซับได้ดีที่สุด

### 3.4.3.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมตที่เหมาะสมในการดูดซับ โดยแร่ดินเบา

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมตอยู่ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ระดับความเข้มข้น 1, 3, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เทลงในขวดรูปชมพู่ เติมแร่ดินเบาจากข้อ 3.4.1 ปริมาณ 1.0 กรัม ปรับค่าพีเอชให้เท่ากับค่าพีเอชที่เกิดการดูดซับได้ดีที่สุดที่ได้จากข้อ 3.4.3.1 แล้วนำขวดไปเขย่าด้วย เครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ที่ช่วงเวลาที่มีผลสัมฤทธิ์แร่ดินเบาเผาดูดซับได้ดีที่สุดจากข้อ 3.4.3.2 อุณหภูมิห้อง และทำการเก็บตัวอย่างสารละลายโดยนำไปกรองตัวอย่างสารละลายที่มีแร่ดินเบาออก แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยวิธี Colorimetric เลือกความเข้มข้นของสารละลายโครเมตที่มีแร่ดินเบาดูดซับได้ดีที่สุด

### 3.4.3.4 ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณแร่ดินเบาเผากับสภาวะที่เหมาะสมในการ ดูดซับโครเมตโดยใช้แร่ดินเบาเผา

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมียม (VI) อยู่ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ทราบความเข้มข้น จากข้อ 3.4.3.3 ค่าพีเอชจากข้อ 3.4.3.1 และช่วงเวลาที่มีผลสัมฤทธิ์แร่ดินเบาเผาดูดซับได้ดีที่สุดจากข้อ 3.4.3.2 เติมแร่ดินเบาปริมาณ 1, 2, 3, 4, 6, 8 และ 10 กรัม ตามลำดับ ใส่ในขวดรูปชมพู่ จากนั้นนำไป เขย่าบนเครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายโดยนำไปกรองตัวอย่าง

สารละลายที่มีแร่ดินเบาออก แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยวิธี Colorimetric นำค่าที่ได้ไปเขียนสมการไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ และฟรุนดลิช

**3.4.4 การศึกษาผลกระทบของแอนไอออนต่างๆ ได้แก่ คลอไรด์ ไนเตรท คาร์บอเนต ฟอสเฟต และซัลเฟต ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของแร่ดินเบาออกจากน้ำเสียสังเคราะห์**

3.4.4.1 ศึกษาผลกระทบของแอนไอออนที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของแร่ดินเบาออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมตอยู่ ที่ทราบความเข้มข้นจากข้อ 3.4.3.3 ค่าพีเอชจากข้อ 3.4.3.1 และช่วงเวลาที่สัมผัสที่แร่ดินเบาดูดซับได้ดีที่สุดจากข้อ 3.4.3.2 เติมปริมาณแร่ดินเบาที่ได้จากข้อ 3.4.3.4 ในสารละลาย 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ และเติมสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ ไนเตรท คาร์บอเนต ฟอสเฟต และซัลเฟต ที่ระดับความเข้มข้น 0, 10, 100, 500 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากนั้นนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายโดยนำไปกรองตัวอย่างสารละลายที่มีแร่ดินเบาออก แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยวิธี Colorimetric

3.4.4.2 ศึกษาผลกระทบของไอออนผสม (mix anions) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของแร่ดินเบาออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมตอยู่ ที่ทราบความเข้มข้นจากข้อ 3.4.3.3 ค่าพีเอชจากข้อ 3.4.3.1 และช่วงเวลาที่สัมผัสที่แร่ดินเบาดูดซับได้ดีที่สุดจากข้อ 3.4.3.2 เติมปริมาณแร่ดินเบาที่ได้จากข้อ 3.4.3.4 ในสารละลาย 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ และเติมสารละลายมาตรฐานไอออนผสม ที่ระดับความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่า ที่ 200 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายโดยนำไปกรองตัวอย่างสารละลายที่มีแร่ดินเบาออก แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยวิธี Colorimetric

### 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลปริมาณโคเรตจากการทดลอง โดยใช้ ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้วยวิธีการของ Duncan's New Multiple Rang Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งนี้การวิเคราะห์ทางสถิติดังกล่าวนั้น จะปฏิบัติการโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติคือ Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

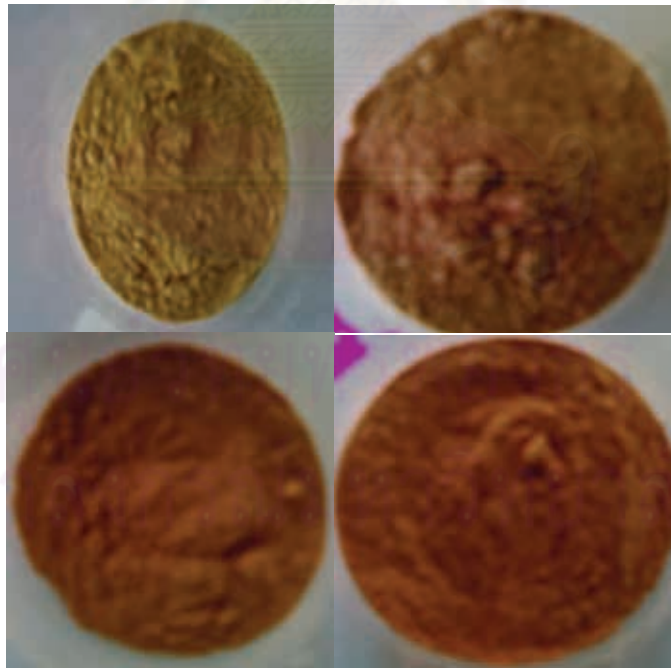
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของแร่ดินเบา

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของแร่ดินเบา ได้แก่ พื้นที่ผิวด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) และองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF) และความเป็นรูพรุนด้วยเครื่อง Surface area and pore-size (BET) ดังตารางที่ 4.1

แร่ดินเบาที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับนำมาจาก อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง มีลักษณะเป็นผงค่อนข้างละเอียดสีเหลืองอ่อน เมื่อทำการเผาแร่ดินเบาที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส พบว่า แร่ดินเบาเผาจะมีสีเข้มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากปริมาณ  $Fe_2O_3$  ที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้สีเหลืองอ่อนของแร่ดินเบาเปลี่ยนเป็นสีส้มแดง (กาญจนะ แก้วกำเนิด, 2535)



ภาพที่ 4.1 แร่ดินเบาธรรมชาติ (Diatomite) และแร่ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 (CD400), 600 (CD600) และ 800 (CD800) องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของแร่ดินเบาธรรมชาติ (Diatomite) และแร่ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 (CD400), 600 (CD600) และ 800 (CD800) องศาเซลเซียส

ลักษณะทางกายภาพ	Diatomite	CD400	CD600	CD800
พื้นที่ผิว BET (ตารางเมตรต่อกรัม)	56.94	55.91	55.01	39.29
ปริมาตรรูพรุน (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)	0.15	0.16	0.17	0.13
ขนาดโพรงเฉลี่ย (อังสตรอม)	102.05	116.51	122.28	136.70

จากตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ ซึ่งจะมีคุณสมบัติแสดงถึงความสามารถในการดูดซับของแร่ดินเบา ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้คือ Diatomite มีค่าพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดโพรงเฉลี่ย เท่ากับ 56.94 ตารางเมตรต่อกรัม 0.15 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และ 102.05 อังสตรอม ตามลำดับ สำหรับ CD400 มีค่าพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดโพรงเฉลี่ย เท่ากับ 55.91 ตารางเมตรต่อกรัม 0.16 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และ 116.51 อังสตรอม ตามลำดับ ส่วน CD600 มีค่าพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดโพรงเฉลี่ย เท่ากับ 55.01 ตารางเมตรต่อกรัม 0.17 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และ 122.28 อังสตรอม ตามลำดับ และ CD800 มีค่าพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดโพรงเฉลี่ย เท่ากับ 39.29 ตารางเมตรต่อกรัม 0.13 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และ 136.70 อังสตรอม ตามลำดับ

จากการศึกษาแร่ดินเบาธรรมชาติ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscope: SEM) พบว่า มีลักษณะเป็นรูพรุน และมีโครงสร้างเป็นตาข่าย ทำให้มีความสามารถในการดูดซับ รวมทั้งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินเบาธรรมชาติด้วยเครื่อง X-ray fluorescence ดังตารางที่ 4.2 จะเห็นว่า มีปริมาณซิลิกาถึง 72.50 เปอร์เซ็นต์ จัดได้ว่าเป็น silicate clay ซึ่งใช้เรียกดินที่มีแร่ซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก (นัทธีรา สรรพณี, 2541)

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของแร่ดินเบาธรรมดาด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF)

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (%)
SiO <sub>2</sub>	72.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.81
MgO	0.25
CaO	1.48
Na <sub>2</sub> O	7.21
K <sub>2</sub> O	0.69

#### 4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมตของแร่ดินเบาออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมตของแร่ดินเบาธรรมดา (Diatomite) และแร่ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 (CD400), 600 (CD600) และ 800 (CD800) องศาเซลเซียส ซึ่งได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมต คือ ค่าพีเอช ช่วงเวลาที่สัมผัส ความเข้มข้นของสารละลายโครเมต และปริมาณแร่ดินเบา ผลการทดลองมีดังนี้

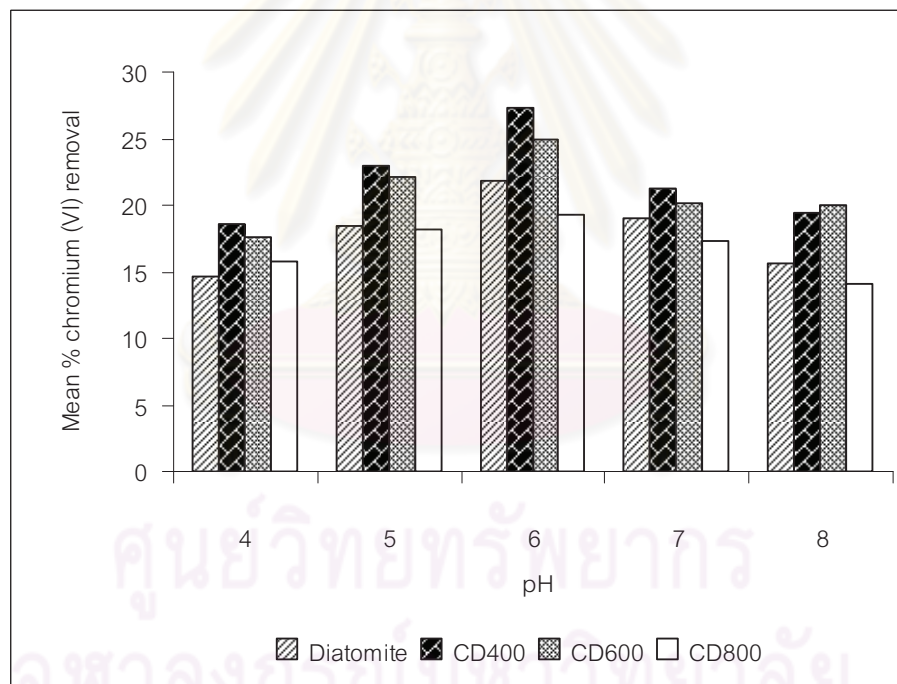
##### 4.2.1 ผลของพีเอชของสารละลายโครเมตที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมตโดยแร่ดินเบา

การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของพีเอชของสารละลายโครเมตที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมต โดย Diatomite, CD400, CD600 และ CD800 ทำการศึกษาโดยนำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมตอยู่ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เทลงในขวดรูปชมพู่ เติมแร่ดินเบาปริมาณ 1.0 กรัม ปรับค่าพีเอชเป็น 4, 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ แล้วนำขวดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที และทำการเก็บตัวอย่างสารละลายโดยนำไปกรองตัวอย่างสารละลายที่มีแร่ดินเบาออก แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยวิธี Colorimetric

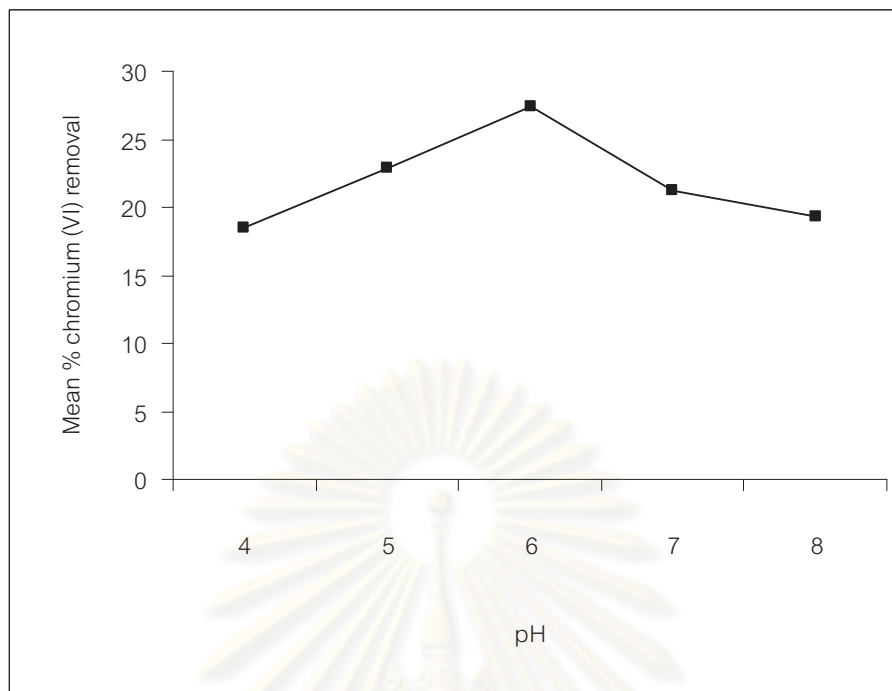


ตารางที่ 4.3 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตโดยแร่ดินเบา

pH	Mean % Chromate removal			
	Diatomite	CD400	CD600	CD800
4	14.61	18.54	17.56	15.73
5	18.40	22.89	22.05	18.12
6	21.77	27.39	25.00	19.24
7	18.96	21.21	20.08	17.28
8	15.59	19.38	19.94	14.05



ภาพที่ 4.2 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตโดยแร่ดินเบา



ภาพที่ 4.3 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตโดย CD400

จากตารางที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.2 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ Diatomite, CD400, CD600 และ CD800 ที่ pH 4, 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ pH 4-6 และจะมีแนวโน้มลดลง ตั้งแต่ pH 6-8 โดยที่ Diatomite มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต เท่ากับ 14.61, 18.40, 21.77, 18.96 และ 15.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับ CD400 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต เท่ากับ 18.54, 22.89, 27.39, 21.21 และ 19.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 4.3) ส่วน CD600 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต เท่ากับ 17.56, 22.05, 25.00, 20.08 และ 19.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ CD800 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต เท่ากับ 15.73, 18.12, 19.24, 17.28 และ 14.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า CD400 ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตดีที่สุดที่ pH 6 และ ประสิทธิภาพการกำจัดขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลาย โดยค่าพีเอชจะมีผลต่อประจุบริเวณผิวหน้าของแร่ดินเบา กล่าวคือ เมื่อสารประกอบออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของแร่ดินเบาเผาสัมผัสกับน้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายในสารละลาย ไฮโดรเจนไอออน จากโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบประจุลบของสารประกอบ

ออกไซด์จะเคลื่อนย้ายมาสู่ออกซิเจนที่ประกอบอยู่ตรงชั้นผิวของสารประกอบออกไซด์ ทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถรับและให้ไฮโดรเจนไอออนได้ (Leckie, 1986; Dzombak และ Morel, 1990) ดังนั้นพีเอชของสารละลายมีผลต่อการดูดซับโครเมต โดยการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดี เมื่อพีเอชของสารละลายลดลง เนื่องจากในสารละลายที่มีพีเอชต่ำจะมีไฮโดรเจนไอออนอยู่เป็นจำนวนมาก และไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่เป็นจำนวนมากนั้นจะไปดูติดกับผิวหน้าของสารประกอบออกไซด์ จึงทำให้มีการดูดซับโครเมตได้มาก และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ทุกค่าพีเอชของสารละลายโครเมตให้ผลประสิทธิภาพในการกำจัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (แสดงในภาคผนวก)

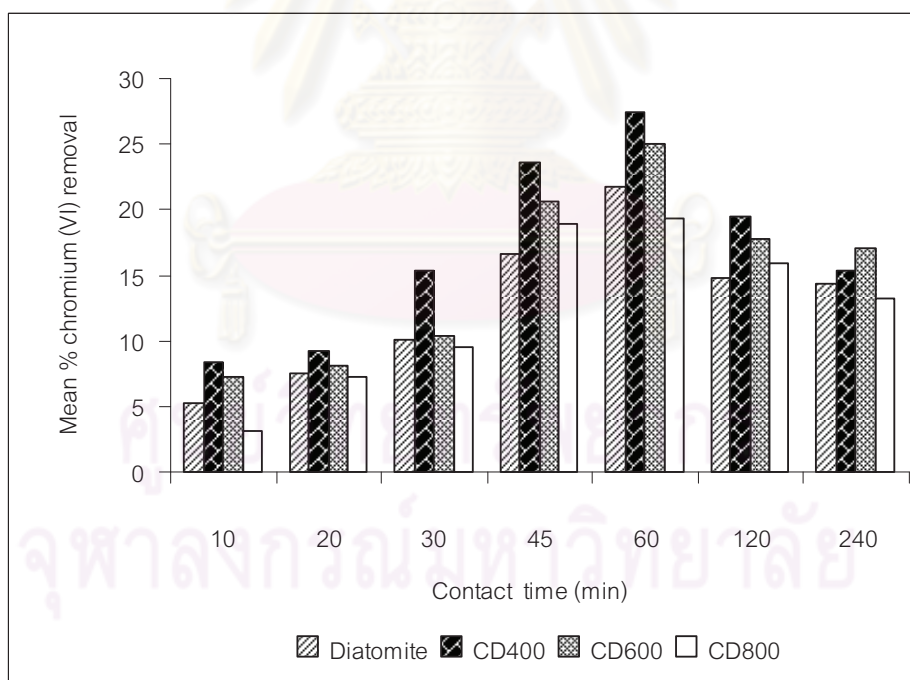
ดังนั้น ค่าพีเอชของสารละลายโครเมตมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการกำจัดโดย CD400 ได้ผลคือ พีเอชเท่ากับ 6

#### 4.2.2 ผลของช่วงเวลาที่สัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมตโดยแร่ดินเบา

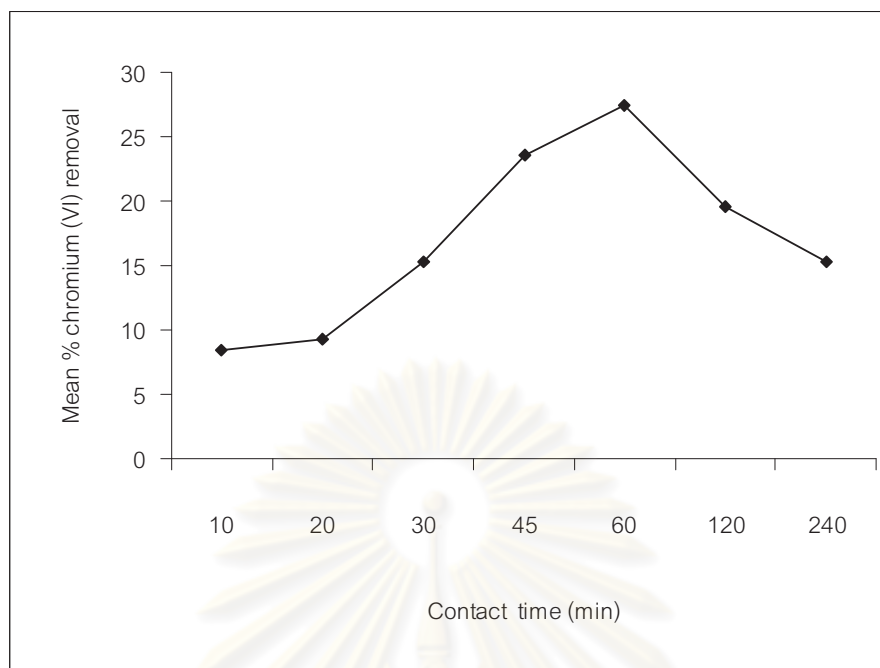
การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของช่วงเวลาที่สัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมต โดย Diatomite, CD400, CD600 และ CD800 ทำการศึกษาโดยนำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมตอยู่ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เทลงในขวดรูปชมพู่ เต็มแร่ดินเบาปริมาณ 1.0 กรัม ปรับค่าพีเอชเป็น 6 แล้วนำขวดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10, 20, 30, 45, 60, 120 และ 240 นาที ตามลำดับ และทำการเก็บตัวอย่างสารละลายโดยนำไปกรองตัวอย่างสารละลายที่มีแร่ดินเบาออก แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยวิธี Colorimetric

ตารางที่ 4.4 ผลของช่วงเวลาที่สัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตโดยแร่ดินเบา

Contact time (min)	Mean % Chromate removal			
	Diatomite	CD400	CD600	CD800
10	5.20	8.43	7.30	3.09
20	7.58	9.27	8.15	7.30
30	10.11	15.31	10.39	9.55
45	16.57	23.60	20.65	18.96
60	21.77	27.39	25.00	19.38
120	14.75	19.52	17.84	15.87
240	14.33	15.31	16.99	13.20



ภาพที่ 4.4 ผลของช่วงเวลาที่สัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตโดยแร่ดินเบา



ภาพที่ 4.5 ผลของช่วงเวลาที่สัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต โดย CD400

จากตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.4 พบว่า CD400 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต เท่ากับ 27.39 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาสัมผัส 60 นาที (ดังแสดงในภาพที่ 4.5), CD600 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต เท่ากับ 25.00 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาสัมผัส 60 นาที, ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ Diatomite เท่ากับ 21.77 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาสัมผัส 60 นาที และ CD800 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต เท่ากับ 19.38 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาสัมผัส 60 นาที ตามลำดับ

จากการทดลอง พบว่า การดูดซับโครเมต โดย CD400 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตดีที่สุด โดยการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาสัมผัสเริ่มต้นที่ 10, 20, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาสัมผัสมากขึ้น อาจเนื่องมาจากการเขย่าที่แรงเกินไป ทำให้โมเลกุลของแร่ดินเบาแตก ซึ่งจะส่งผลให้ขนาดโพรงของแร่ดินเบาลดลง และมีคอลลอยด์มากขึ้น และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ทุกช่วงเวลาที่สัมผัสให้ผลประสิทธิภาพในการกำจัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (แสดงในภาคผนวก)

ดังนั้น ช่วงเวลาสัมผัส หรืออิทธิพลจากการเขย่า มีผลต่อการดูดซับโครเมต ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่ทำให้โครเมตสามารถเข้าไปยึดเกาะในบริเวณ active surface sites ได้ง่ายขึ้น โดยจากผลการทดลองสรุปได้ว่า เวลาสัมผัสที่เหมาะสมคือ 60 นาที

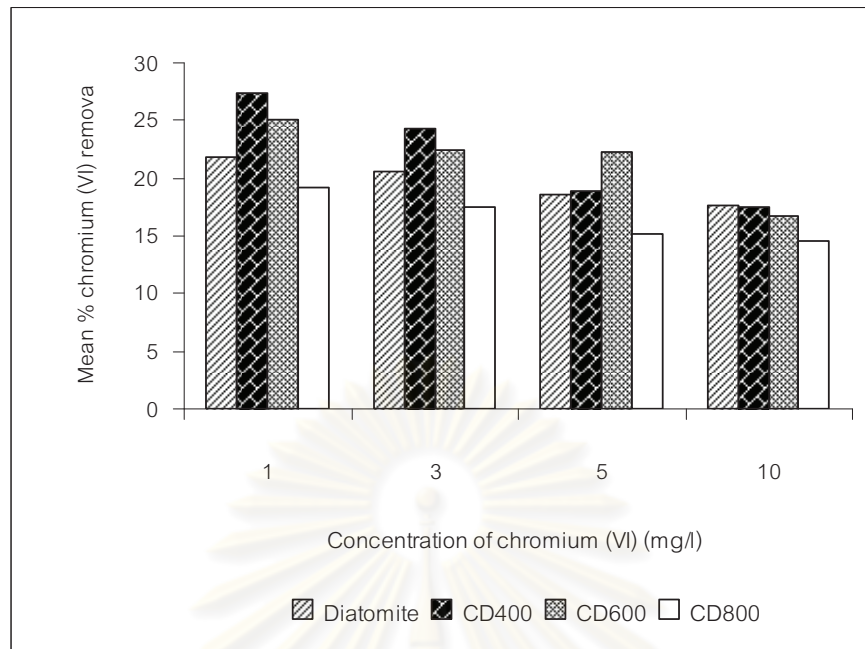
#### 4.2.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมตที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมตโดยแร่ดินเบา

การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมตที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมต โดย Diatomite, CD400, CD600 และ CD800 ทำการศึกษาโดยนำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมตอยู่ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ระดับความเข้มข้น 1, 3, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เติลงในขวดรูปชมพู่ เติมแร่ดินเบาปริมาณ 1.0 กรัม ปรับค่าพีเอชเป็น 6 แล้วนำขวดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที และทำการเก็บตัวอย่างสารละลายโดยนำไปกรองตัวอย่างสารละลายที่มีแร่ดินเบาออก แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยวิธี Colorimetric

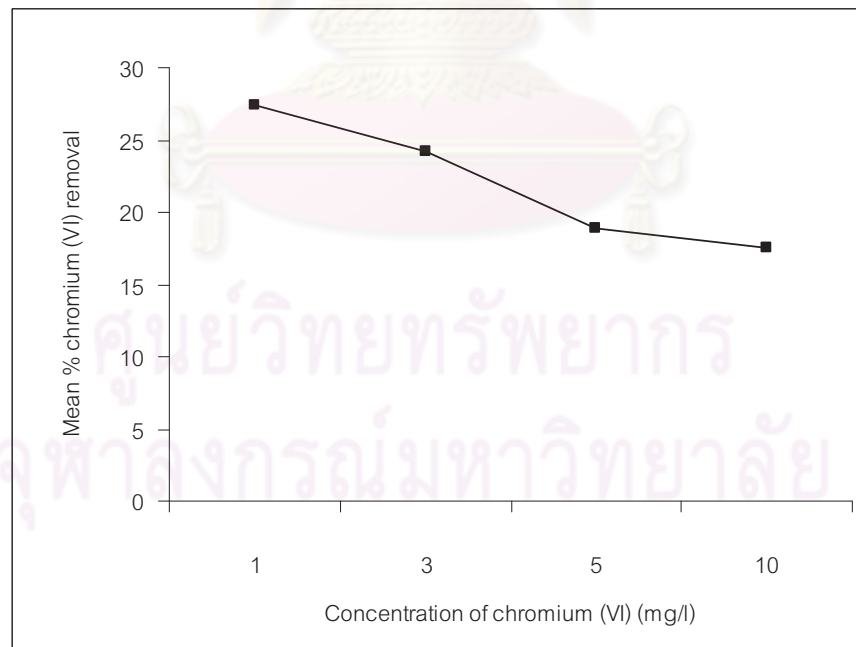
ตารางที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมตที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโดยแร่ดินเบา

Concentration (mg/l)	Mean % Chromate removal			
	Diatomite	CD400	CD600	CD800
1	21.77	27.39	25.00	19.24
3	20.59	24.21	22.40	17.47
5	18.48	18.85	22.20	15.12
10	17.56	17.48	16.77	14.58





ภาพที่ 4.6 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมตที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโดยแร่ดินเบา



ภาพที่ 4.7 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมตที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโดย CD400

จากตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.6 พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโครเมตจาก 1, 3, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ Diatomite, CD400, CD600 และ CD800 มีแนวโน้มลดลง โดย Diatomite พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตจะลดลงจาก 21.77, 20.59, 18.14 และ 17.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับ CD400 พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตจะลดลงจาก 27.39, 24.01, 18.85 และ 17.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 4.7) ส่วน CD600 พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตจะลดลงจาก 25.00, 22.40, 22.20 และ 16.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ CD800 พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตจะลดลงจาก 19.24, 17.47, 15.12 และ 14.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโครเมต ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต ทั้ง Diatomite, CD400, CD600 และ CD800 จะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการดูดติดผิวของแร่ดินเบาในระยะแรกของโครเมต จะแทรกเข้าไปอยู่บริเวณรูพรุนและมีพื้นที่ผิวมากพอบริเวณผิวของแร่ดินเบา แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นเรื่อยๆ โครเมต ซึ่งมีลักษณะของการจับตัวเป็นชั้นๆ ที่ไม่แข็งแรงมากนัก ดังนั้นจึงมีโอกาที่จะหลุดออกจากผิวของแร่ดินเบาได้ง่าย ดังนั้นที่ความเข้มข้นต่ำๆ Diatomite, CD400, CD600 และ CD800 จึงมีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นสูงๆ ดังนั้นที่ความเข้มข้นของโครเมต 1 มิลลิกรัมต่อลิตร CD400 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต เท่ากับ 27.39 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ทุกค่าความเข้มข้นของโครเมต ให้ผลประสิทธิภาพในการกำจัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (แสดงในภาคผนวก )

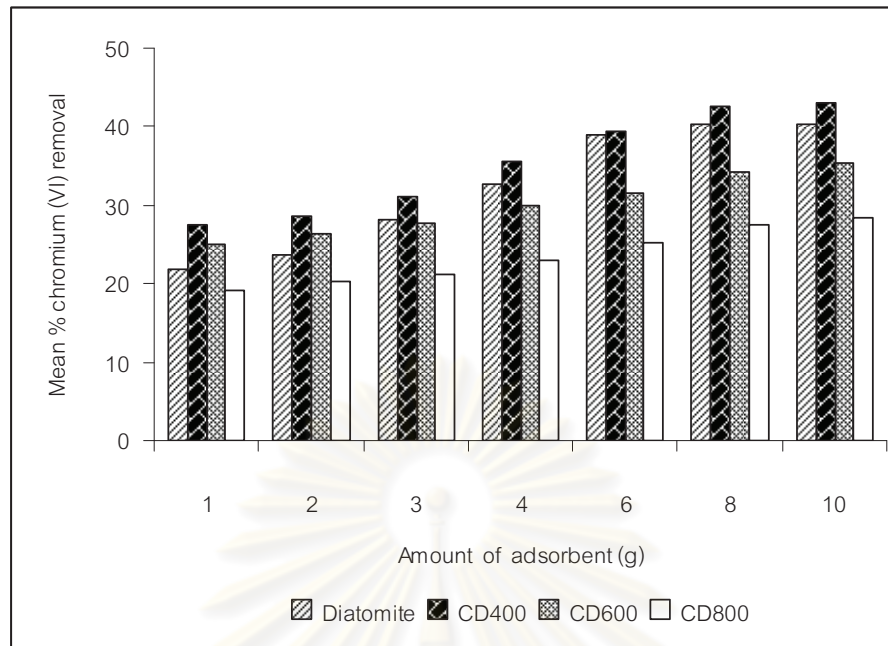
ดังนั้น ความเข้มข้นของโครเมตที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในกำจัดโดย CD400 ได้ผลคือ ความเข้มข้นของโครเมต เท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### 4.2.4 ผลของปริมาณแร่ดินเบาที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมต

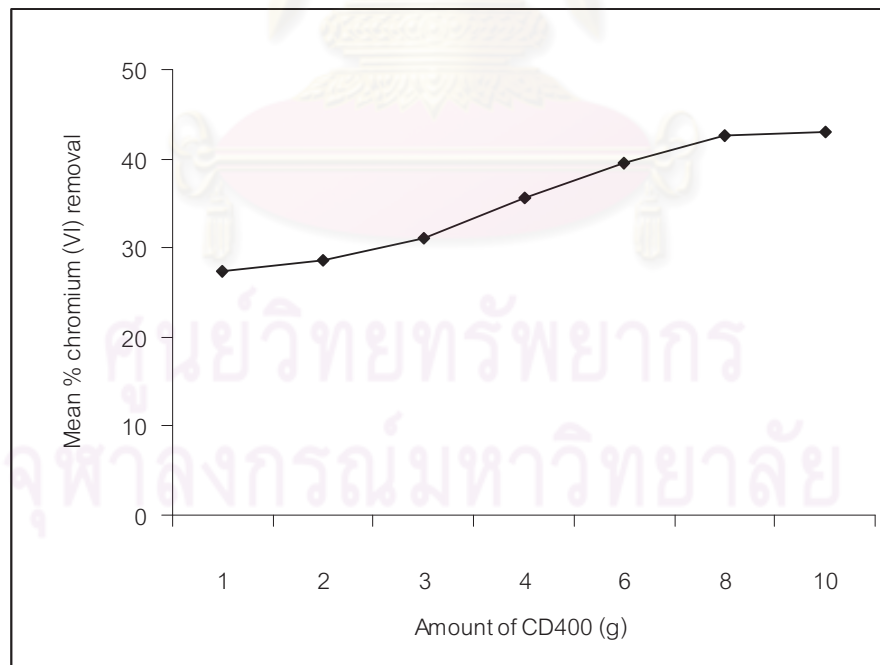
การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของปริมาณ Diatomite, CD400, CD600 และ CD800 ที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมต ทำการศึกษาโดยนำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมตอยู่ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เทลงในขวดรูปชมพู่ เติมแร่ดินเบาปริมาณ 1, 2, 3, 4, 6, 8 และ 10 กรัม ตามลำดับ ปรับค่าพีเอชเป็น 6 แล้วนำขวดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที ตามลำดับ และทำการเก็บตัวอย่างสารละลายโดยนำไปกรองตัวอย่างสารละลายที่มีแร่ดินเบาออก แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยวิธี Colorimetric

ตารางที่ 4.6 ผลของปริมาณแร่ดินเบาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต

Amount of adsorbent (g)	Mean % Chromate removal			
	Diatomite	CD400	CD600	CD800
1	21.77	27.39	25.00	19.24
2	23.74	28.51	26.26	20.23
3	28.23	31.04	27.67	21.07
4	32.58	35.53	29.92	23.03
6	38.90	39.47	31.46	25.14
8	40.31	42.56	34.13	27.53
10	40.31	42.98	35.25	28.37



ภาพที่ 4.8 ผลของปริมาณแบริดินเบาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต



ภาพที่ 4.9 ผลของปริมาณ CD400 ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต

จากตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.8 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400 เท่ากับ 42.56 เปอร์เซ็นต์ ใช้ปริมาณแร่ดินเบา 8 กรัม (ดังแสดงในภาพที่ 4.9), ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ Diatomite เท่ากับ 38.91 เปอร์เซ็นต์ ใช้ปริมาณแร่ดินเบา 6 กรัม, ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD600 เท่ากับ 35.25 เปอร์เซ็นต์ ใช้ปริมาณแร่ดินเบา 10 กรัม และ ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD800 เท่ากับ 28.37 เปอร์เซ็นต์ ใช้ปริมาณแร่ดินเบา 10 กรัม ตามลำดับ

จากการทดลอง พบว่า การดูดซับโครเมตโดย CD400 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตที่ดีที่สุด เมื่อเพิ่มปริมาณแร่ดินเบา ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตโดยแร่ดินเบาที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือ เมื่อใช้แร่ดินเบาปริมาณ 1, 2, 3, 4, 6, 8 และ 10 กรัม ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการกำจัด เท่ากับ 27.39, 28.51, 31.04, 35.53, 39.47, 42.56 และ 42.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า CD400 สามารถดูดซับโครเมตได้ดีที่สุดเมื่อใช้แร่ดินเบาเผาปริมาณ 10 กรัม คือ มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม เท่ากับ 42.98 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ปริมาณแร่ดินเบาที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (แสดงในภาคผนวก )

ดังนั้น จากการศึกษาผลของปริมาณแร่ดินเบา CD400 ที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตที่ดีที่สุด คือ ใช้ปริมาณแร่ดินเบา 8 กรัม

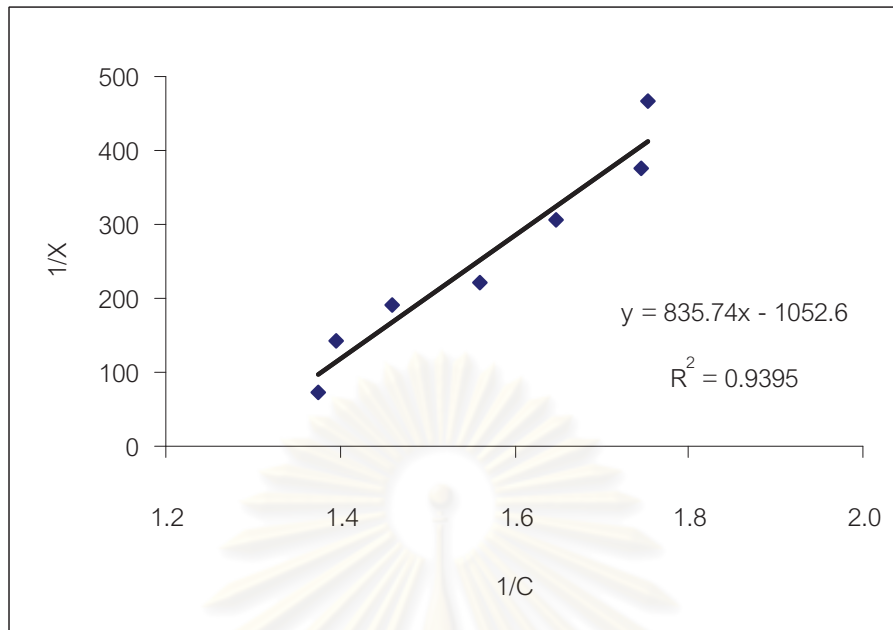
และเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับโครเมตออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ระหว่างแร่ดินเบาธรรมชาติ และแร่ดินเบาเผาในเตาเผาแบบเปิด พบว่า การเผาแร่ดินเบาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีผลทำให้การดูดซับโครเมตดีขึ้น แต่จะมีค่าการดูดซับลดลงเมื่อเผาแร่ดินเบาที่อุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Seng, Lee และ Liew (2001) ที่ได้ทำการศึกษาการใช้ดินฟอกสีในอุตสาหกรรมน้ำมันมาดูดซับโครเมียม (VI) และนิกเกิล (II)

จากนั้นนำไปคำนวณหาสมการที่เหมาะสมในการอธิบายการดูดติดผิวของ CD400 ซึ่งสมการที่ใช้ในการอธิบายไอโซเทอมของการดูดซับไอออนในสารละลาย ซึ่งนิยมใช้สมการของแลงมัวร์ และ ฟรุนดลิช เมื่อนำไปคำนวณเพื่อหาค่า  $R^2$  ของแต่ละสมการ พบว่า ค่า  $R^2$  ของสมการแลงมัวร์ มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่า จึงเลือกสมการของแลงมัวร์มาอธิบายได้ผลดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.10-4.11 โดยมีค่า  $1/n$  ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงในการดูดติดผิว เท่ากับ 835.74 ซึ่งค่า  $1/n$  ที่สูง ๆ นั้นแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับที่ดี

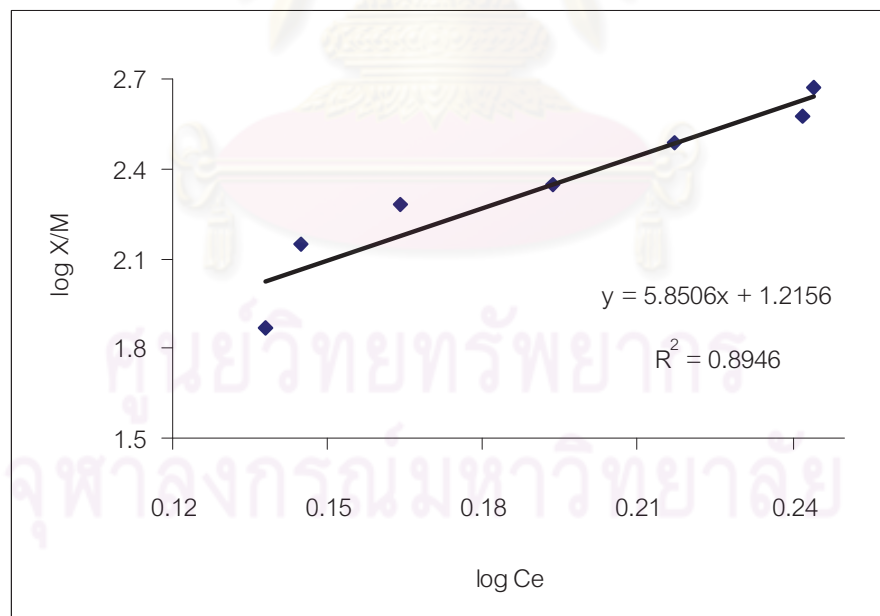
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยปริมาณโครเมตในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อถูกดูดติดผิวด้วย CD400

Amount of calcined diatomite (g)	[Cr] เมื่อเข้าสู่สมดุค (Ce)	X (mg)	X/M (mg/g)	log Ce	log X/M	1/ C	1/X
0	1	0					
1	0.728	0.0136	0.014	0.138	1.866	1.37	73.40
2	0.716	0.0142	0.007	0.145	2.149	1.40	140.99
3	0.685	0.0157	0.005	0.164	2.280	1.46	190.71
4	0.640	0.0180	0.004	0.194	2.347	1.56	222.50
6	0.607	0.0197	0.003	0.217	2.485	1.65	305.14
8	0.573	0.0213	0.003	0.242	2.574	1.75	374.74
10	0.570	0.0215	0.002	0.224	2.668	1.75	465.36





ภาพที่ 4.10 ไอโซเทอมของการดูดซับแบบแลงมัวร์ของ CD400



ภาพที่ 4.11 ไอโซเทอมของการดูดซับแบบฟรุนดลิชของ CD400

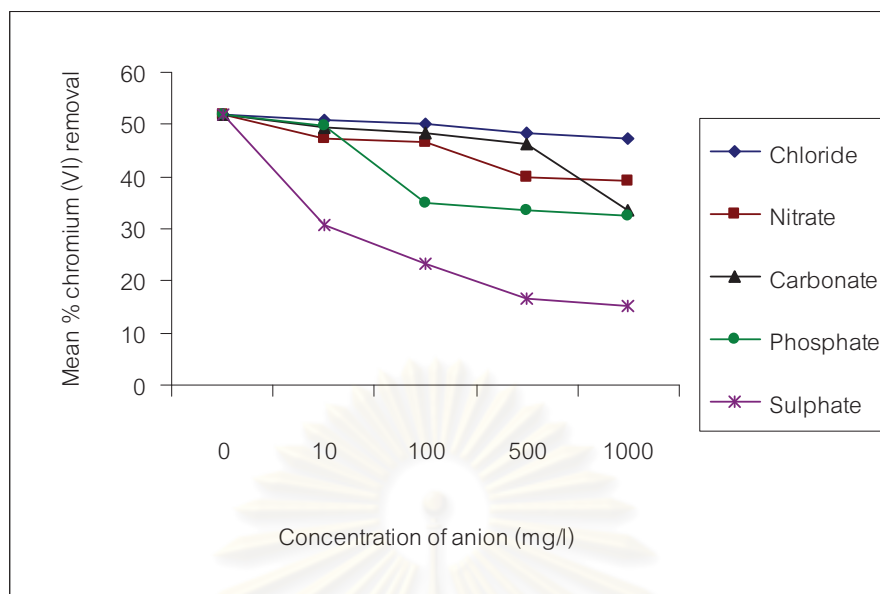
### 4.3 ผลของแอนไอออนต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของแร่ดินเบาออกจากน้ำเสียสังเคราะห์

#### 4.3.1 ผลของแอนไอออนต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400

การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของแอนไอออนต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400 ทำการศึกษาโดยนำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมตอยู่ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 6 และช่วงเวลาที่สัมผัส 60 นาที เติมปริมาณแร่ดินเบา 8 กรัม ในสารละลาย 50 มิลลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ และเติมสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ ไนเตรท คาร์บอเนต ฟอสเฟต และซัลเฟต ที่ระดับความเข้มข้น 0, 10, 100, 500 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากนั้นนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายโดยนำไปกรองตัวอย่างสารละลายที่มีแร่ดินเบาออก แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยวิธี Colorimetric

ตารางที่ 4.8 ผลของแอนไอออนต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400

Concentration (mg/l)	Mean % Chromate removal				
	Chloride	Nitrate	Carbonate	Phosphate	Sulphate
0	51.83	51.83	51.83	51.83	51.83
10	50.70	47.33	49.30	49.72	30.76
100	50.28	46.6	48.32	34.97	23.32
500	48.46	39.89	46.35	33.57	16.71
1000	47.19	39.33	33.43	32.58	15.03



ภาพที่ 4.12 ผลของแอนไอออนต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400

จากตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.12 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400 มีค่าตั้งแต่ 15.30 - 50.90 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเข้มข้นของคลอไรด์ ไนเตรท คาร์บอเนต ฟอสเฟต และซัลเฟต มีค่าตั้งแต่ 10 - 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยที่ระดับความเข้มข้นของซัลเฟต ฟอสเฟต ไนเตรท และคาร์บอเนต เท่ากับ 10, 100, 500 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400 ต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า แอนไอออนต่างๆ มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (แสดงในภาคผนวก)

#### 4.3.2 ผลของไอออนผสม (mix anions) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400

การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของ mix anions ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400 ทำการศึกษาโดยนำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโครเมตอยู่ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 6 และช่วงเวลาที่ย้อมผ้า 60 นาที เติมปริมาณแร่ดินเบา 8 กรัม ในสารละลาย 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ และเติมสารละลายมาตรฐาน mix anions ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากนั้นนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างสารละลาย

โดยนำไปกรองตัวอย่างสารละลายที่มีแร่ดินเบาออก แล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมตโดยวิธี Colorimetric

ตารางที่ 4.9 ผลของ mix anions ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400

Mix anions	Concentration of mix anions (mg/l)	Mean % Chromate removal
Control	0	51.83
- Chloride - Nitrate - Carbonate - Phosphate	100	46.21
- Chloride - Nitrate - Carbonate - Phosphate - Sulphate	100	7.16

จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า mix anions (คลอไรด์ ไนเตรท คาร์บอเนต และฟอสเฟต) มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ระดับความเข้มข้นของ mix anions (คลอไรด์ ไนเตรท คาร์บอเนต และฟอสเฟต) 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400 เท่ากับ 46.21 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า mix anions (คลอไรด์ ไนเตรท คาร์บอเนต ฟอสเฟต และซัลเฟต) มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ระดับความเข้มข้นของ mix anions (คลอไรด์ ไนเตรท คาร์บอเนต ฟอสเฟต และซัลเฟต) 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400 เท่ากับ 7.16 เปอร์เซ็นต์

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาลักษณะทางกายภาพของแร่ดินเบาที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับ นำมาจากอำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง พบว่า แร่ดินเบาที่มีลักษณะเป็นผงค่อนข้างละเอียดสีเหลืองอ่อน และเป็นรูพรุนรวมทั้งมี  $\text{SiO}_2$  เป็นองค์ประกอบหลัก และหลังจากการเผาแร่ดินเบา พบว่า แร่ดินเบาจะมีสีเข้มขึ้น และเมื่อทำการเผาแร่ดินเบาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีผลทำให้การดูดซับโครเมตดีขึ้น แต่จะมีค่าการดูดซับลดลงเมื่อเผาแร่ดินเบาที่อุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Seng, Lee และ Liew (2001) ที่ได้ทำการศึกษากการใช้ดินฟอกสีในอุตสาหกรรมน้ำมันมาดูดซับโครเมียม (VI) และนิกเกิล (II) โดยแร่ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส (CD400) มีสีน้ำตาลแดง และมีพื้นที่ผิว เท่ากับ 55.91 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน เท่ากับ 0.16 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และขนาดโพรงเฉลี่ย เท่ากับ 116.51 อังสตรอม

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมตของแร่ดินเบาธรรมชาติ (Diatomite) และแร่ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 (CD400), 600 (CD600) และ 800 (CD800) องศาเซลเซียส พบว่า แร่ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส (CD400) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดโครเมตออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยที่ค่าพีเอช ความเข้มข้นของสารละลายโครเมต และช่วงเวลาที่สัมผัส มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต และสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมตในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ความเข้มข้นของสารละลายโครเมต เท่ากับ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 6 ใช้เวลาสัมผัส 60 นาที ที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที และใช้ปริมาณแร่ดินเบาเผา 8 กรัม ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตมีค่าเท่ากับ 42.98 เปอร์เซ็นต์

3. การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโดยแร่ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส (CD400) พบว่าสัมพันธ์กับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์

4. การศึกษาผลกระทบของคลอไรด์ ไนเตรท คาร์บอนेट ฟอสเฟต และซัลเฟต ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400 พบว่า แอนไอออนทุกตัวที่ระดับความเข้มข้น 10–1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400 ลดลง โดยที่ระดับความเข้มข้นของซัลเฟต ฟอสเฟต ไนเตรท และคาร์บอนेट เท่ากับ 10, 100, 500 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตของ CD400 ต่ำกว่า 40 เปอร์เซ็นต์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการใช้แร่ดินเบาที่ขนาดต่างๆ ในการดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ
2. ควรมีการศึกษาการนำวัสดุดูดซับอื่นๆ มาใช้ในการดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กาญจนะ แก้วกำเนิด. 2535. การผลิตสารช่วยกรองดินเบาในการกรองอุตสาหกรรม.รายงานการวิจัย  
ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- กิตติยา น้อยม่วง. 2549. การดูดซับไนไตรท์และไนเตรทออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยดินเบาที่ผ่าน  
การเผา. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: มิตรนราการพิมพ์.
- ชฎาภรณ์ บุญแท้. 2545. การดูดซับโลหะหนักบางชนิดจากน้ำเสียด้วยดินเบา. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.
- ชัยศรี ไชยวุฒิ. 2544. การเตรียมไดอะทอมไมต์เพื่อใช้เป็นสารช่วยกรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ณัฐ ดิลกเกียรติ. 2546. ตัวดูดซับที่ผลิตจากดินค้ำผสมกะลามะพร้าวหรือกะลาปาล์ม เพื่อการดูดซับ  
เฮกซะวาเลนท์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชา  
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2535. การนำกลับโครเมียมจากน้ำเสีย อุตสาหกรรมฟอกหนัง. กรุงเทพมหานคร:  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นัทธีรา สรรมณี. 2541. เคมีสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครปฐม : ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เบญจมาศ เจริญตรา. 2546. ประสิทธิภาพการกำจัดปรอทจากน้ำเสียอัมัลกัมทางทันตกรรมโดยการ  
ดูดซับด้วยแร่ดินเบา. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรเพ็ญ มีทองมูล. 2545. การดูดซับโลหะหนักบางชนิดจากน้ำเสียด้วยดินเบาเคลือบแมงกานีส  
ออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- มธุรส แสงไพโรจน์. 2549. การปรับปรุงคุณภาพของแร่ดินเบาด้วยการเผาเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับอาร์เซนิกออกจากน้ำที่ปนเปื้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริรัตน์ ศรีเกษเพชร. 2543. การดูดซับสารละลายโลหะหนักด้วยดินเหนียวและดินเหนียวปรับปรุง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อดิศักดิ์ ปิยสฤติย์. 2543. การกำจัดโครเมียม(ประจุ 6) ในน้ำเสียโดยใช้ตัวกลางทรายเคลือบแมกนีไทต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

#### ภาษาอังกฤษ

- Dzombak, D.A., and Morel, F. M. M. 1990. Surface Complexation Modeling : Hydrous Ferric Oxide. New York: John Wiley & Sons.
- Ghouthi, M.A., Khraisheh, M.A., Allen, S.J., and Ahmad, M.N. 2003. The removal of dyes from textile wastewater: a study of the physical characteristics and adsorption mechanisms of diatomaceous earth. Journal of Environment Management. 69: 229-238.
- Leckie, J.O. 1986. Adsorption and Transformation of Trace Element Species at Sediment / Water Interface. In M. Bernhard, F.E. Brinckman, and P.J. Sadler.
- McGrath, S.P., and Smith, S. 1993. Chromium and Nickel. In Alloway, B.J. (ed.), Heavy Metals in Soil, pp. 125-145. New York: Halsted Press.
- Seng, C.E., Lee, C.G., and Leiw, K.Y. 2001. Adsorption of Chromium(VI) and Nickel(II) Ion On Acid-Activated Deoiled Spent Bleaching Clay. Journal of the American Oil Chemists Society. 78 (August): 831-835.
- World Health Organization. 1988. Environmental Health Criteria 61: Chromium. Geneva : WHO.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นของโครเมตที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโดยแร่ดินเบา

1) Diatomite

Oneway

**ANOVA**

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22.232	3	7.411	711.723	.000
Within Groups	4.165E-02	4	1.041E-02		
Total	22.274	7			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

**VAR00002**

Duncan<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
10.00	2	17.5600			
5.00	2		18.4750		
3.00	2			20.5900	
1.00	2				21.7700
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

หมายเหตุ : VAR00001 แทน Concentration (mg/l)

VAR00002 แทน Chromate removal %

2) CD400

Oneway

**ANOVA**

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	179.308	3	59.769	3630.642	.000
Within Groups	6.585E-02	4	1.646E-02		
Total	179.374	7			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

**VAR00002**Duncan<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
10.00	2	15.1250			
5.00	2		18.8500		
3.00	2			24.2100	
1.00	2				27.3900
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

หมายเหตุ : VAR00001 แทน Concentration (mg/l)

VAR00002 แทน Chromate removal %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 3) CD600

Oneway

**ANOVA**

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	71.761	3	23.920	15815.15	.000
Within Groups	6.050E-03	4	1.512E-03		
Total	71.767	7			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

**VAR00002**Duncan<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
10.00	2	16.7700			
5.00	2		22.2000		
3.00	2			22.3950	
1.00	2				25.0000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

หมายเหตุ : VAR00001 แทน Concentration (mg/l)

VAR00002 แทน Chromate removal %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4) CD800

Oneway

**ANOVA**

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	27.965	3	9.322	799.284	.000
Within Groups	4.665E-02	4	1.166E-02		
Total	28.012	7			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

**VAR00002**Duncan<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
10.00	2	14.5800			
5.00	2		15.1250		
3.00	2			17.4700	
1.00	2				19.2400
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

หมายเหตุ : VAR00001 แทน Concentration (mg/l)

VAR00002 แทน Chromate removal %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5) ตัวดูดซับ Diatomite, CD400, CD600 และ CD800 ที่ความเข้มข้นของโครเมต 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

Oneway

### ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	75.156	3	25.052	1239.423	.000
Within Groups	8.085E-02	4	2.021E-02		
Total	75.236	7			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

### VAR00002

Duncan<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
4.00	2	19.3450			
1.00	2		21.7700		
3.00	2			25.0000	
2.00	2				27.3900
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

หมายเหตุ : VAR00001 แทน Adsorbent  
 1.00 แทน Diatomite  
 2.00 แทน CD400  
 3.00 แทน CD600  
 4.00 แทน CD800  
 VAR00002 แทน Chromate removal %

2. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าพีเอชของสารละลายโครเมตที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโดย CD400

Oneway

**ANOVA**

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	98.469	4	24.617	165.261	.000
Within Groups	.745	5	.149		
Total	99.214	9			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

**VAR00002**

Duncan<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
4.00	2	18.5400			
8.00	2	19.3800			
7.00	2		21.2100		
5.00	2			22.8900	
6.00	2				27.3900
Sig.		.081	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

หมายเหตุ : VAR00001 แทน pH

VAR00002 แทน Chromate removal %

3. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของช่วงเวลาที่สัมผัสสารละลายโครเมตที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโดย CD400

Oneway

**ANOVA**

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	593.404	6	98.901	1454.270	.000
Within Groups	.476	7	6.801E-02		
Total	593.880	13			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

**VAR00002**

Duncan<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
10.00	2	8.4300					
20.00	2		9.2700				
30.00	2			15.3100			
240.00	2			15.3100			
120.00	2				19.5200		
45.00	2					23.5950	
60.00	2						27.3900
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

หมายเหตุ : VAR00001 แทน Contact time (min)

VAR00002 แทน Chromate removal %

4. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณแร่ดินเบาที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมต โดย CD400

Oneway

**ANOVA**

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	558.615	6	93.103	783.645	.000
Within Groups	.832	7	.119		
Total	559.447	13			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

**VAR00002**

Duncan<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subset for alpha = .05					
		1	2	3	4	5	6
1.00	2	27.3900					
2.00	2		28.2300				
3.00	2			29.0700			
4.00	2				32.5800		
6.00	2					38.9050	
8.00	2						42.5600
10.00	2						42.9800
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.263

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

หมายเหตุ : VAR00001 แทน Amount of adsorbent (g)

VAR00002 แทน Chromate removal %

5. ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นของแอนไอออนต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมตโดย CD400

1) คลอไรด์

Oneway

**ANOVA**

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	27.446	4	6.862	57.520	.000
Within Groups	.596	5	.119		
Total	28.042	9			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

**VAR00002**

Duncan<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1000.00	2	47.1900			
500.00	2		48.4550		
100.00	2			50.2800	
10.00	2			50.7000	
.00	2				51.8300
Sig.		1.000	1.000	.278	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

หมายเหตุ : VAR00001 แทน Concentration (mg/l)

VAR00002 แทน Chromate removal %



## 2) ไนเตรท

Oneway

**ANOVA**

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	226.105	4	56.526	124.002	.000
Within Groups	2.279	5	.456		
Total	228.384	9			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

**VAR00002**Duncan<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1000.00	2	39.3250		
500.00	2	39.8900		
100.00	2		46.6300	
10.00	2		47.3300	
.00	2			51.8300
Sig.		.441	.347	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

หมายเหตุ : VAR00001 แทน Concentration (mg/l)

VAR00002 แทน Chromate removal %

## 3) คาร์บอนเนต

Oneway

**ANOVA**

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	416.491	4	104.123	505.229	.000
Within Groups	1.030	5	.206		
Total	417.521	9			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

**VAR00002**Duncan<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1000.00	2	33.4300			
500.00	2		46.3500		
100.00	2			48.3150	
10.00	2			49.3000	
.00	2				51.8300
Sig.		1.000	1.000	.082	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

หมายเหตุ : VAR00001 แทน Concentration (mg/l)

VAR00002 แทน Chromate removal %

## 4) ฟอสเฟต

Oneway

**ANOVA**

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	709.248	4	177.312	1181.372	.000
Within Groups	.750	5	.150		
Total	709.999	9			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

**VAR00002**Duncan<sup>a</sup>

VAR00001	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
1000.00	2	32.5850			
500.00	2	33.5700			
100.00	2		34.9700		
10.00	2			49.7200	
.00	2				51.8300
Sig.		.052	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

หมายเหตุ : VAR00001 แทน Concentration (mg/l)

VAR00002 แทน Chromate removal %

## 5) ซัลเฟต

Oneway

**ANOVA**

VAR00003

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1778.586	4	444.646	7599.145	.000
Within Groups	.293	5	5.851E-02		
Total	1778.878	9			

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

**VAR00003**Duncan<sup>a</sup>

VAR00002	N	Subset for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
5.00	2	15.0285				
4.00	2		16.7135			
3.00	2			23.3150		
2.00	2				30.7585	
1.00	2					51.7750
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.000.

หมายเหตุ : VAR00002 แทน Concentration (mg/l)

VAR00003 แทน Chromate removal %

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุชาดา สังกวรวงษ์พนา เกิดเมื่อ วันที่ 11 มกราคม 2522 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 ในระหว่าง การศึกษาได้เข้าร่วมเสนอผลงานวิจัย ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ โดยได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่ผลงานดังต่อไปนี้

สุชาดา สังกวรวงษ์พนา และ สมใจ เพ็งปรีชา. "Calcination effect of diatomite to chromate adsorption." หนังสือประมวลผลการประชุมวิชาการ (Proceeding) "2<sup>nd</sup> International Science, Social Science, Engineering and Energy Conference (I-SEEC 2010)." Organized by: Rajamangala University of Technology Isan and King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. 15-16 December, 2010 at Nakhonphanom, Thailand. 180-185.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย