

การดูดซับไนโตรเจนและไนเตรตออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยดินเบาที่ผ่านการเผา



นางสาวกิตติยา น้อยม่วง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**NITRITE AND NITRATE ADSORPTION FROM SYNTHETIC  
WASTEWATER BY CALCINED DIATOMITE**



**Miss Kitiya Noimuang**

**สถาบันวิทยบริการ  
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 2006**

**Copyright of Chulalongkorn University**

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การดูดซับไนโตรเจนและไนเตรตออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยดินเบา  
ที่ผ่านการเผา  
โดย นางสาวกิตติยา น้อยม่วง  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เฟื่องปรีชา  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. ปารมี เฟื่องปรีชา

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว. กัลยา ดิงศภัทย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(อาจารย์ ดร. อางอง ประทัตสุนทรสาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เฟื่องปรีชา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ดร. ปารมี เฟื่องปรีชา)

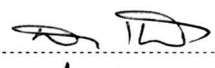

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา เลิศปรัชญา)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวลิต รัตนธรรมสกุล)

นางสาวกิตติยา น้อยม่วง: การดูดซับไนไตรท์และไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์โดยดินเบาที่ผ่านการเผา (NITRITE AND NITRATE ADSORPTION FROM SYNTHETIC WASTEWATER BY CALCINED DIATOMITE) อ. ที่ปรึกษา: รศ.ดร. สมใจ เฟื่องปรีชา, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ดร. ปารมี เฟื่องปรีชา, 124 หน้า

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไนไตรท์และไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์โดยดินเบาที่ผ่านการเผา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าดินเบาที่ผ่านการเผาที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C และหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนไตรท์และไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์โดยแปรผันความเข้มข้นของไนไตรท์และไนเตรท พีเอช เวลาสัมผัส และปริมาณดินเบาเผา โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ผลการศึกษาระบุว่าประสิทธิภาพการดูดซับไนไตรท์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยดินเบาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เท่ากับ 96 % ที่ความเข้มข้นของไนไตรท์ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 2 ใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม ที่อัตราเร็วในการเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรท เท่ากับ 93 % ที่ความเข้มข้นของไนเตรท 40 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 2 ใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม ที่อัตราเร็วในการเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของไนไตรท์และไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C พบว่าสัมพันธ์กับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช การศึกษาการชะละลายของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C พบว่า มีการชะละลายไนไตรท์ และไนเตรทออกมาไม่เกินค่าที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต..... กิตติยา น้อยม่วง.....  
ปีการศึกษา..... 2549..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 

# # 4689056620 : MAJOR OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : NITRATE/ NITRITE/ DIATOMACEOUS EARTH/ ADSORPTION

KITIYA NOIMUANG : NITRITE AND NITRATE ADSORPTION FROM SYNTHETIC WASTEWATER BY CALCINED DIATOMITE. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMCHAI PENGPRECHA, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: PARAMEE PENGPRECHA, Ph.D., 124 pp.

The efficiency of nitrite and nitrate adsorption from synthetic wastewater by calcined diatomite was studied in a batch experiment. The results indicated that the most effective calcined diatomite was a diatomite calcined at 800 °C. The appropriate condition for nitrite and nitrate adsorption from synthetic wastewater was determined by varying concentration of nitrite and nitrate , pH, contact time and amount of calcined diatomite at room temperature. The results indicated that the efficiency of nitrite adsorption from synthetic wastewater was 96% at 30 mg/l of nitrite concentration using 3 grams of calcined diatomite at pH 2 with shaking rate 200 rpm for 8 hours and the efficiency of nitrate adsorption was 93 % at 40 mg/l of nitrate concentration using 3 grams of calcined diatomite at pH 2 with shaking rate 200 rpm for 24 hours. The adsorption isotherm of nitrite and nitrate can be described by the Freundlich isotherm. The study also indicated that the leaching of nitrite and nitrate from calcined diatomite was lower than the level which can harm human beings.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of study... Environmental Science ..... Student's signature... *Kitiya Noimuang* .....  
Academic year... 2006 ..... Advisor's signature... *Somchai Pengprecha* .....  
Co-advisor's signature... *Paramee Pengprecha* .....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และ ดร.ปารมี เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ในการแก้ไขปัญหาต่างๆจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อาจง ประทัดสุนทรสาร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา เลิศปรัชญา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล ที่ให้ความกรุณามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนอุดหนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัยผู้วิจัยขอขอบพระคุณที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณนายหิรัญ ทองมี นางสาวปริญญ รัตนา นางสาวปัทมา แสงไฟโรจน์ นางสาวกฤษมา เอกสาโรจน์ นางสาวนุชภางค์ วรรณบุญเรือง นางสาวสาวเดือน ทาวะรัมย์ น้องหมู่น้อย เพื่อนๆ ม.เกษตรศาสตร์ เพื่อนๆ และน้องๆ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ตลอดมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัวน้อยม่วง และทองมีที่ดูแลและให้การส่งเสริมสนับสนุนการศึกษาแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 สมมติฐาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 สารประกอบไนโตรเจน.....	5
2.1.1 ไนโตรที่และไนเตรท.....	5
2.1.1.1 ไนเตรทและไนโตรที่ในแหล่งธรรมชาติ.....	6
2.1.1.2 ไนเตรทและไนโตรที่ที่ก่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์.....	7
2.1.1.3 ข้อเสนอแนะและมาตรการทางกฎหมายประเทศไทย.....	12
2.1.1.4 ผลกระทบต่อสุขภาพ.....	12
2.1.1.5 ระดับการปนเปื้อนไนเตรทในน้ำดื่ม.....	14
2.1.1.6 การปนเปื้อนไนเตรทของน้ำจากบ่อน้ำบาดาลของประเทศไทย.....	14
2.2 ดินเบา.....	19
2.2.1 การกำเนิดดินเบา.....	19
2.2.2 ชีววิทยาและนิเวศวิทยาของไดอะตอม.....	20
2.2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของดินเบา.....	21
2.2.4 ลักษณะทางกายภาพ.....	22
2.2.5 แหล่งแร่ดินเบาที่พบในประเทศไทย.....	23

2.2.6 การใช้ประโยชน์จากดินเบาในอุตสาหกรรมต่างๆ.....	24
2.3 การดูดซับ (adsorption).....	25
2.3.1 หลักการดูดซับ.....	25
2.3.2 การดูดซับทางกายภาพ.....	25
2.3.3 การดูดซับทางเคมี.....	26
2.3.4 ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี.....	27
2.3.5 สรุปข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี.....	28
2.3.6 วัฏภาคตัวถูกดูดซับ.....	28
2.3.7 แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ.....	29
2.3.8 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล.....	30
2.3.9 จลนพลศาสตร์ของการดูดซับ.....	30
2.3.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	30
2.3.11 ไอโซเทอร์มการดูดซับ.....	33
2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	38
3.1 ขั้นตอนการวิจัย.....	38
3.2 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	38
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย.....	39
3.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	39
3.4.1 การเตรียมดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C.....	39
3.4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C.....	40
3.4.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C.....	46
3.4.4 ศึกษาการชะละลายของไนไตรท์และไนเตรท.....	52
3.4.5 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเบาเผาช่วงอุณหภูมิ ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์และไนเตรทที่ดีที่สุด.....	52

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	53
4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนโตรเจนโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ	
400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	53
4.1.1 ผลของความเข้มข้นของไนโตรเจนที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโดย	
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	53
4.1.2 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนโดยดินเบาเผา	
ที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	57
4.1.3 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนโดยดินเบาเผา	
ที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C .....	62
4.1.4 ผลของปริมาณดินเบาเผาที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนโดยใช้	
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	66
4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนเตรตโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600,	
800 และ 1,000 °C.....	71
4.2.1 ผลของความเข้มข้นของไนเตรตที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรต	
โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	71
4.2.2 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรตโดยดินเบาเผาที่	
อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	75
4.2.3 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรตโดยดินเบาเผา	
ที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	80
4.2.4 ผลของปริมาณดินเบาเผาที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรตโดยใช้	
ดินเบาเผา ที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	84
4.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C.....	89
4.4 การศึกษาเสถียรภาพของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C หลังจากผ่านการดูดซับ	
ไนโตรเจนและไนเตรตแล้วโดยวิธีทดสอบการชะละลาย.....	96
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	97
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	97
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	98
รายการอ้างอิง.....	99

	หน้า
ภาคผนวก.....	99
ภาคผนวก ก.....	104
ภาคผนวก ข.....	109
ภาคผนวก ค.....	113
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	124



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 การกำหนดปริมาณไนเตรทในน้ำของประเทศไทย.....	12
ตารางที่ 2.2 ระดับการปนเปื้อนไนเตรทในน้ำดื่มตามมาตรฐานขององค์กรต่างๆ.....	14
ตารางที่ 2.3 การปนเปื้อนไนเตรทของบ่อน้ำบาดาลในประเทศไทยที่มีค่าเกิน 20 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L และ 45 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/L.....	15
ตารางที่ 2.4 แสดงผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินเบา จากแหล่งแร่ต่างๆ.....	21
ตารางที่ 2.5 แสดงลักษณะทางกายภาพของดินเบา.....	22
ตารางที่ 4.1 ผลของความเข้มข้นของไนไตรท์ที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยดินเบา เผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C (ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง).....	54
ตารางที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของไนไตรท์ที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ปริมาณ 1 กรัม เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง pH เท่ากับ 7.....	56
ตารางที่ 4.3 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C ปริมาณ 1 กรัม เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง.....	58
ตารางที่ 4.4 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ปริมาณ 1 กรัม เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง.....	61
ตารางที่ 4.5 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	63
ตารางที่ 4.6 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผา ที่อุณหภูมิ 800 °C (ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัม ต่อลิตร pH เท่ากับ 2).....	65
ตารางที่ 4.7 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	67
ตารางที่ 4.8 ผลของปริมาณดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ต่อการดูดซับไนไตรท์ (ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 2 เวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง).....	69
ตารางที่ 4.9 ความสามารถในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช).....	71
ตารางที่ 4.11 ผลของความเข้มข้นของไนเตรทที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโดยดินเบาเผา ที่อุณหภูมิ 800 °C (ความเข้มข้นไนเตรท 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง pH เท่ากับ 7).....	72

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.12 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C (ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง).....	76
ตารางที่ 4.13 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (ความเข้มข้นไนเตรท 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง).....	79
ตารางที่ 4.14 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	81
ตารางที่ 4.15 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (ความเข้มข้นไนเตรท 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม pH เท่ากับ 2).....	83
ตารางที่ 4.16 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	85
ตารางที่ 4.17 ผลของปริมาณดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ (ความเข้มข้นไนเตรท 40 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 2 เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง)....	87
ตารางที่ 4.18 ความสามารถสูงสุดในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช).....	89
ตารางที่ 4.19 ลักษณะทางกายภาพของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C.....	89
ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินเบา (CD 1) และ ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (CD 2).....	90
ตารางที่ 4.21 การศึกษาเสถียรภาพของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่ผ่านการดูดซับไนเตรทและไนเตรทแล้ว.....	96

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 3.1	42
ขั้นตอนการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายไนไตรท์ที่มีต่อการดูดซับโดยดิน เบบ้าที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C .....	
ภาพที่ 3.2	43
ขั้นตอนการศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบบบ้าที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C .....	
ภาพที่ 3.3	44
ขั้นตอนการศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบบบ้าที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	
ภาพที่ 3.4	45
ขั้นตอนการศึกษาผลของปริมาณดินเบบบ้าที่มีต่อการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบบบ้า ที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C .....	
ภาพที่ 3.5	48
ขั้นตอนการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายไนเตรท ต่อการดูดซับด้วยดินเบบบ้า.....	
ภาพที่ 3.6	49
ขั้นตอนการศึกษาผลของพีเอชของไนเตรทที่มีต่อการดูดซับโดยดิน เบบ้าที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	
ภาพที่ 3.7	50
ขั้นตอนการศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับไนเตรทต่อการดูดซับโดยดิน เบบ้าที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	
ภาพที่ 3.8	51
ขั้นตอนการศึกษาผลของปริมาณดินเบบบ้าที่มีต่อการดูดซับไนเตรทโดยดิน เบบ้าที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C .....	
ภาพที่ 4.1	55
ผลของความเข้มข้นของไนไตรท์ที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยดินเบบบ้าที่ อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	
ภาพที่ 4.2	56
ประสิทธิภาพการดูดซับไนไตรท์ด้วยดินเบบบ้าที่อุณหภูมิ 800 °C ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	
ภาพที่ 4.3	60
ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบบบ้าที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	
ภาพที่ 4.4	60
ประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบบบ้าที่อุณหภูมิ 800 °C ที่พีเอชต่างๆ.....	
ภาพที่ 4.5	64
ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบบบ้าที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	
ภาพที่ 4.6	65
ประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบบบ้าที่อุณหภูมิ 800 °C ที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 4.7 ผลของปริมาณดินเบาเผาที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ โดยใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C .....	68
ภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C โดยดินเบาเผาปริมาณต่างๆ.....	69
ภาพที่ 4.9 ความสามารถในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช).....	70
ภาพที่ 4.10 ผลของความเข้มข้นของไนเตรทที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ (ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C).....	73
ภาพที่ 4.11 ประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	74
ภาพที่ 4.12 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	78
ภาพที่ 4.13 ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่พีเอชต่างๆ.....	78
ภาพที่ 4.14 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผา ที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C.....	82
ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่เวลาสัมผัสต่างๆ.....	83
ภาพที่ 4.16 ผลของปริมาณดินเบาเผาที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรท (ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C).....	86
ภาพที่ 4.17 ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C โดยดินเบาเผา ปริมาณต่างๆ.....	87
ภาพที่ 4.18 ความสามารถสูงสุดในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผา ที่อุณหภูมิ 800 °C (ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช).....	88
ภาพที่ 4.19 ลักษณะของดินเบาก่อนการเผา.....	91
ภาพที่ 4.20 ลักษณะของดินเบาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C.....	92
ภาพที่ 4.21 ภาพถ่าย SEM ของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (กำลังขยาย 5,000 เท่า).....	93
ภาพที่ 4.22 ภาพถ่าย SEM ของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (กำลังขยาย 100 เท่า).....	94
ภาพที่ 4.23 ภาพถ่าย SEM ของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (กำลังขยาย 500 เท่า).....	95

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการตื่นตัวอย่างมากต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ซึ่งเป็นผลกระทบโดยตรงและโดยอ้อมจากการกระทำของมนุษย์ เนื่องจากการพัฒนาอย่างรวดเร็วของประเทศไทยรวมถึงประเทศต่างๆทั่วโลก และการเพิ่มจำนวนของประชากรทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านต่างๆเพิ่มมากขึ้น โดยได้นำเอาวิทยาการสมัยใหม่มาใช้พัฒนาทั้งในด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และสาธารณสุขซึ่งเกษตรกรรมนับเป็นอาชีพที่สำคัญของประเทศไทย และเนื่องจากกิจกรรมทางการเกษตรที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีและสารฆ่าแมลงในปริมาณมากจึงเป็นสาเหตุของการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ได้แก่ แหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำใต้ดิน ดังนั้นหากน้ำเสียที่ปนเปื้อนถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัดที่ถูกต้องแล้ว ย่อมก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่อแหล่งน้ำ สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้นจะได้รับผลกระทบโดยตรง และส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยน้ำและสัตว์น้ำในแหล่งน้ำนั้นเพื่อการอุปโภคบริโภค กองน้ำบาดาลกรมทรัพยากรธรณี (2543) ได้วิเคราะห์น้ำในบ่อบาดาลจากจังหวัดต่างๆในประเทศไทย พบว่ามีหลายจังหวัดที่มีการปนเปื้อนของไนเตรทในระดับที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม (10 ppm) ซึ่งหากนำมาบริโภคอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้

เมื่อร่างกายได้รับปริมาณไนเตรทในปริมาณสูง จะทำให้เกิดโทษกับร่างกายได้ คือ ไนเตรทที่ถูกดูดซึมจะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน เกิดเม็ทฮีโมโกลบิน (methaemoglobin) ซึ่งในผู้ใหญ่จะเปลี่ยนเป็นออกซี-ฮีโมโกลบิน (oxyhaemoglobin) โดยการเกิด reducing systems เช่น NADH-methaemoglobin reductase และ ในเด็กอายุไม่เกิน 3 เดือนและสัตว์ที่มีอายุน้อยๆ ระบบการทำงานของเอนไซม์ยังพัฒนาไม่สมบูรณ์ ดังนั้น เม็ทฮีโมโกลบินจะเพิ่มมากขึ้นมีผลให้เกิดโรค methaemoglobinaemia (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) นอกจากนี้ ไนเตรทที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของไนเตรทสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับสารประกอบอะมิโนได้เป็นไนโตรซามีน (nitrosamine) หรือสารประกอบเอ็นไนโตรโซ (N-nitroso compound) ซึ่งเป็นสาเหตุที่สำคัญในการก่อมะเร็งได้ (cancerogenic) (Anderson, 1985) และการได้รับสารประกอบเอ็นไนโตรโซระหว่างการตั้งครรภ์ ในระยะที่สองพบว่าก่อให้เกิดเนื้องอกในรุ่นลูกได้ สารเอ็นไนโตรซามีนมีความเป็นพิษต่อตัวอ่อนและอาจทำให้ถึงตายได้ ในขณะที่ไนโตรซามีนทำให้เกิดการผิดปกติของอวัยวะและระบบต่างๆ

ซึ่งในบางรายอาจมีอาการเฉียบพลันและถึงแก่ชีวิตได้ในทันที (Bouwer, 1989) นอกจากนี้ยังพบว่า ถ้ำบริโภคน้ำที่มีระดับการปนเปื้อนของไนไตรท์และไนเตรทสูงอย่างต่อเนื่องและเป็นเวลานานจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง (Damgaard, 1998)

ในการกำจัดไนเตรทมีหลายวิธี ได้แก่ กระบวนการทางเคมี เช่น กระบวนการอิเล็กโทรไดอะไลซิส (Electrodialysis) ออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse osmosis) และการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) ซึ่งเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายสูง นอกจากนั้นกระบวนการทางชีววิทยาก็นับว่าเป็นวิธีที่นิยมอย่างแพร่หลาย แต่การที่จะปรับให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมนั้นทำได้ยากอีกทั้งยังเกิดปัญหาการปนเปื้อนของแบคทีเรียที่ตายซึ่งจะเป็นปัญหามากกับกระบวนการบำบัดที่เกี่ยวข้องกับน้ำที่ใช้บริโภค (Kei Mizuta และคณะ, 2004) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้วิธีการดูดซับด้วยดินเบา (Diatomaceous earth) ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่หาได้ในประเทศไทยคือ จังหวัดลำปาง โดยดินเบา มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกาไร้ฟอสฟอรัส มีความพรุนสูง มีพื้นที่ผิวมาก สามารถดูดซับสิ่งเจือปนได้ดี มีความคงทนด้านเคมี และเป็นตัวนำความร้อนต่ำ (สุชาดา วุ่นพันธ์, 2545) จึงเป็นเหตุให้มีการนำดินเบาไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากยิ่งขึ้น โดยส่วนใหญ่ใช้เป็นสารช่วยกรอง (filter-aids) สารตัวเติม (functional fillers) ใช้เป็นสารดูดกลิ่น (absorbents) และอื่นๆ

ด้วยเหตุจูงใจดังกล่าวนี้ จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษาการดูดซับไนไตรท์และไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์โดยดินเบาที่ผ่านการเผา โดยการนำดินเบาไปปรับปรุงคุณภาพโดยการเผาเพื่อปรับสภาพให้เหมาะสมต่อการดูดซับไนไตรท์และไนเตรท จากนั้นจึงทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนไตรท์และไนเตรทโดยดินเบาที่ผ่านการเผา ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อไปในการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษจากไนไตรท์และไนเตรทในแหล่งน้ำหรือแหล่งปนเปื้อนอื่นๆ ในลำดับต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินเบาโดยการเผาสำหรับใช้ในการดูดซับไนไตรท์และไนเตรทออกจากน้ำเสียสังเคราะห์
- 1.2.2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับไนไตรท์และไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์โดยดินเบาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิที่ทำให้การดูดซับไนไตรท์และไนเตรทดีที่สุด

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรตออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไนโตรเจนและไนเตรตโดยดินเบาที่ผ่านการเผา โดยศึกษาในห้องปฏิบัติการ
- 1.3.2 ดินเบาที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับ นำมาจาก จังหวัดลำปาง
- 1.3.3 การศึกษาการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรตโดยดินเบาที่ผ่านการเผาโดยมีตัวแปรที่กำหนดให้คงที่ คืออุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ พีเอช เวลาสัมผัส และ ปริมาณดินเบาเผา
- 1.3.4 อุณหภูมิที่ใช้อุณหภูมิปกติ (ambient temperature)
- 1.3.5 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองคือน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไนโตรเจนและไนเตรต

### 1.4 สมมติฐาน

ดินเบาที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยการเผา มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรตได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายไนโตรเจนและไนเตรต ค่าพีเอช ช่วงเวลาสัมผัส และปริมาณดินเบาที่ผ่านการเผา

### 1.5 ข้อจำกัดของการวิจัย

- 1.5.1 การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติจริงได้
- 1.5.2 การวิเคราะห์หาค่าไนโตรเจนและไนเตรต จะหาค่าในรูปของไนโตรเจน ( $\text{NO}_2$ ) และไนเตรต ( $\text{NO}_3$ ) ในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l)

### 1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรตในน้ำเสียสังเคราะห์โดยดินเบาที่ผ่านการเผา โดยทำการทดลองแบบทีละที (batch study) ทำการทดลอง 2 ขั้นตอนคือ การปรับปรุงดินเบาโดยการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ และการหาสภาวะที่เหมาะสมคือความเข้มข้นของสารละลายไนโตรเจนและไนเตรต ค่าพีเอช ช่วงเวลาสัมผัส และปริมาณดินเบาที่ผ่านการเผาในการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรตในน้ำเสียสังเคราะห์

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยดินเบาที่ผ่านการเผา
- 1.7.2 สามารถใช้เป็นข้อมูลในการใช้ดินเบาให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรท
- 1.7.3 เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เพื่อจัดการปนเปื้อนของไนโตรเจนและไนเตรทในแหล่งน้ำโดยการใช้วัสดุทางธรรมชาติเป็นตัวดูดซับ แทนการใช้วิธีอื่นซึ่งสิ้นเปลืองมากกว่า
- 1.7.4 เป็นการลดต้นทุนในการกำจัดไนโตรเจนและไนเตรทที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ เนื่องจากเป็นวัสดุทางธรรมชาติที่หาได้ง่ายและมีมากในประเทศไทย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สารประกอบไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อระบบนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำมาก เพราะเป็นส่วนประกอบของอินทรีย์สารหลายชนิดที่มีความสำคัญต่อการเป็นอยู่ของพืชและสัตว์ เช่น เป็นส่วนประกอบของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันบางชนิด (เปี่ยมศักดิ์, 2525) ในธรรมชาติไนโตรเจนเกิดสารประกอบได้หลายแบบเพราะไนโตรเจนมีหลายวาเลนซ์ด้วยกัน การเปลี่ยนแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจนนี้ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยสิ่งมีชีวิตและขึ้นกับสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจนแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1) สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic nitrogen compound) คือ สารประกอบไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบหรือโครงสร้างของพืชและสัตว์ สิ่งขับถ่ายจากสัตว์ ซากเน่าเปื่อย และสารจากการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิต ได้แก่ โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดอะมิโนยูเรียและกรดยูริก เป็นต้น

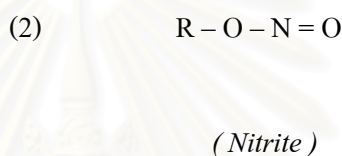
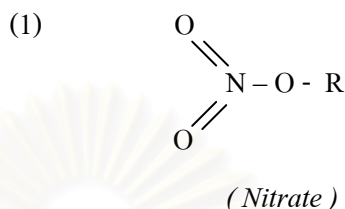
2) สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน (Inorganic nitrogen compound) ได้แก่ แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) ไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) และไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) ซึ่งเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน อันเป็นการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนจากอินทรีย์สารเป็นอนินทรีย์สาร โดยกลุ่มของแบคทีเรียในดินและน้ำที่มีชื่อว่า Nitrifying bacteria ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินและน้ำ เพราะไนเตรทเป็นสารอาหารที่ความต้องการพืชน้ำ ในทางกลับกันหากขาดออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดย Denitrifying bacteria ทำให้สูญเสียปุ๋ยในดินและน้ำ

##### 2.1.1 ไนเตรทและไนไตรท์

ไนเตรทเป็นเกลือของกรดไนตริกซึ่งเป็นกรดแก่ เกลือไนเตรทที่ใช้ในทางการเกษตรและอุตสาหกรรม ได้แก่ เกลือไนเตรทของโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แอมโมเนียม ทองแดง เหล็ก อลูมิเนียม โครเมียม พรอท เงิน บิสมัท แบเรียม สตรอนเทียม และ ตะกั่ว

ไนโตรเจนเป็นเกลือของกรดไนตริกซึ่งเป็นกรดอ่อน สารไนโตรเจนที่ถูกออกซิไดส์เป็นสารไนเตรทได้ง่าย ดังนั้นในสิ่งแวดล้อมมักพบไนโตรเจนในปริมาณต่ำ

### สูตรโครงสร้าง



#### 2.1.1.1 ไนเตรทและไนโตรเจนในแหล่งธรรมชาติ

ไนเตรทในดิน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินเกิดขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีนในพืช สัตว์ และของเสียจากสัตว์ โดยจุลินทรีย์แอมโมเนียอ็อกไซด์ จะถูกออกซิไดส์เป็นไนโตรเจนและไนเตรท การเกิดไนเตรทและไนโตรเจนตามธรรมชาติจึงเป็นผลเนื่องมาจากวัฏจักรของไนโตรเจน แต่ไนโตรเจนโดยปกติจะพบในปริมาณต่ำมาก ไนโตรเจนเป็นเกลือของกรดไนตริกซึ่งเป็นกรดอ่อน สารไนโตรเจนที่ถูกออกซิไดส์เป็นสารไนเตรทได้ง่าย ดังนั้นในสิ่งแวดล้อมมักพบไนโตรเจนในปริมาณต่ำ

ไนเตรทและไนโตรเจนพบได้ตามธรรมชาติ โดยไนโตรเจนในบรรยากาศสามารถที่จะเข้าสู่แหล่งน้ำได้โดยตรงและถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบไนโตรเจนหลายรูป เช่น แอมโมเนีย ไนเตรท และไนโตรเจน ในระบบนิเวศน์สารประกอบไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปต่างๆ ได้หลายรูป กระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นได้ทั้งที่อาศัยและไม่ต้องอาศัยสิ่งมีชีวิตเป็นผู้ดำเนินการ ปฏิกริยาที่อาศัยสิ่งมีชีวิตเป็นผู้ดำเนินการได้แก่ การรับเข้าไว้ทางชีวภาพ (Biological assimilation) การย่อยสลาย (Decomposition) ซึ่งเกิดขึ้นเป็นวงจร นอกจากนี้ไนโตรเจนอาจถูกทำให้ออกไปจากระบบได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งจะสลายไนเตรทเป็นไนโตรเจนหรือไนตรัสออกไซด์ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) เข้าสู่บรรยากาศหรือมีการหมุนเวียนตามวัฏจักรไนโตรเจนต่อไป

### 2.1.1.2 ไนเตรทและไนโตรที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์

#### 1) ปุ๋ย

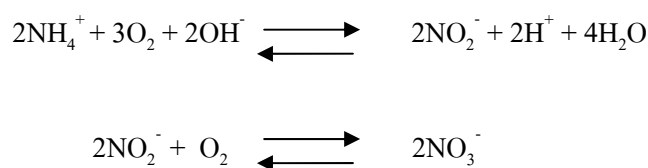
ปุ๋ยสังเคราะห์เป็นแหล่งที่พบไนเตรทมากในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ สารประกอบไนเตรทของแอมโมเนีย แคลเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมรวมทั้งยูเรีย ปริมาณการผลิตปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่า จาก 15.8 ล้านตัน ในปี ค.ศ. 1961/62-1965/66 เป็น 42.3 ล้านตัน ในปี ค.ศ.1974/75 เนื่องจากพืชไม่สามารถใช้ไนโตรเจนในดินได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีบางส่วนที่สะสมในดินและไหลลงสู่แหล่งน้ำ Sawyer (1947) รายงานว่าไนโตรเจนในน้ำที่ไหลมาจากพื้นที่ซึ่งใช้ปุ๋ย มีปริมาณสูงกว่าพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้ปุ๋ยในบริเวณเดียวกันถึง 3-10 เท่า อย่างไรก็ตาม การศึกษาหาปริมาณไนเตรทในแม่น้ำในอังกฤษ ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของปริมาณไนเตรทและปริมาณการใช้ปุ๋ยของพื้นที่ใกล้เคียง

#### 2) ของเสียจากสัตว์

การทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์ก่อให้เกิดสารประเภทไนโตรเจน ซึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทได้ ของเสียที่ได้จากวัว 7-8 ตัว สามารถนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์เป็นจำนวนถึงเฮกเตอร์ และการใช้ในปริมาณมาก อาจก่อให้เกิดการสะสมของปริมาณไนเตรทในชั้นน้ำใต้ดินสูงกว่า 10 มก./ล. ปริมาณของไนเตรทจากของเสียจากมนุษย์ประเมินได้ว่ามีประมาณ 5 กก.ต่อคนต่อปี

นอกจากนี้สารประกอบไนโตรเจนจะถูกออกซิไดส์ได้สารประกอบที่มีแอมโมเนียเป็นส่วนใหญ่ นอกจากแอมโมเนียจะมีความเป็นพิษโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตแล้ว ยังถูกออกซิไดส์ได้ง่ายและกลายเป็นไนเตรทที่มีความเป็นพิษสูงต่อสัตว์น้ำ โดยแอมโมเนียในแหล่งน้ำมีต้นกำเนิดมาจากสองแหล่งด้วยกัน คือ แอมโมเนียที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นการทิ้งน้ำโสโครกจากบ้านเรือน และจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับแอมโมเนีย การเกษตรกรรมหรืออาจจะมาจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำโดยที่การกำจัดสารนี้ออกจากร่างกายอาจอยู่ในรูปของแอมโมเนียโดยตรงหรืออยู่ในรูปกรดยูริกหรือยูเรียขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์

ในสภาพแวดล้อมทั่วไป แอมโมเนียสามารถที่จะเปลี่ยนไปเป็นไนเตรทและไนโตรที่ไอออนได้โดยกระบวนการ Biological oxidation เรียกกระบวนการดังกล่าวนี้ว่ากระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือ (รัชณี, 2533)



ปฏิกิริยาทั้งสองนี้อาศัยจุลินทรีย์ที่ต่างกัน โดยแบคทีเรียในสกุล *Nitrosomonas* จะสามารถใช้แอมโมเนียแล้วเปลี่ยนเป็นไนไตรท์ออกมาเมื่อใดก็ตามที่มีแอมโมเนียในปริมาณมากๆ จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนไตรท์ นอกจากนั้นไนไตรท์อาจจะสร้างขึ้นได้จากปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ของไนเตรท ไนไตรท์จะถูกย่อยสลายอีกชั้นหนึ่งโดยการเติมออกซิเจน ซึ่งไนไตรท์จะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรท แบคทีเรียที่ย่อยสลายไนไตรท์ในขั้นตอนนี้ได้แก่แบคทีเรียในสกุล *Nitrobacter* และถ้าเกิดสภาวะขาดออกซิเจนด้วยแล้ว จะเกิดปฏิกิริยาผันกลับไนเตรทเป็นไนไตรท์ ทำให้ปริมาณไนไตรท์เพิ่มขึ้นได้อีกทางหนึ่ง (Armstrong et al., 1976)

ไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) เป็นแอนไอออน (anion) ที่พบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็มจัดเป็น Intermediate compound ที่ถูกสร้างขึ้นระหว่างกระบวนการไนตริฟิเคชันของแอมโมเนียและไนเตรท การใช้ปุ๋ยทางการเกษตรนับว่าเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลทำให้เกิดการปนเปื้อนของไนเตรทในแหล่งน้ำ นอกเหนือจากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น บริเวณที่มีการเพาะปลูกและใส่ปุ๋ยจะมีเกลือไนเตรทในปริมาณมาก โดยพืชจะสามารถใช้ในดินได้บางส่วน บางส่วนจะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ ในขณะที่บางส่วนเกิดดีไนตริฟิเคชันซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่สลายไนเตรทเป็นไนโตรเจนและไนตรัสออกไซด์แล้วเข้าสู่บรรยากาศ นอกจากนี้ยังมีพืชบางชนิดที่พบว่ามีปริมาณของเกลือไนเตรทสูง เช่น หัวแครอท ผักโขม คื่นช่าย หัวผักกาด ผักกะหล่ำ

### 3) พิษของไนไตรท์ต่อปลา

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า ไนไตรท์เป็นสารประกอบไนโตรเจนอีกชนิดหนึ่งที่มีความเป็นพิษสูงต่อสัตว์น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์น้ำที่มีกระดูกสันหลัง (Russo et al, 1974) ความเป็นพิษของ ไนไตรท์นั้น ทำให้เกิดภาวะเมทฮีโมโกลบินีเมีย (methaemoglobinaemia) ซึ่งเป็นสภาวะที่ฮีโมโกลบินไม่สามารถรวมตัวกับออกซิเจนได้ เกิดจากมีการออกซิเดชัน (oxidation) ของ  $\text{Fe}^{2+}$  (ferrous form) ทำให้ไม่สามารถจับกับออกซิเจน ของฮีโมโกลบินตรงตำแหน่งที่ 6 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะจับกับออกซิเจนไปเป็น  $\text{Fe}^{3+}$  (ferric form) ทำให้ไม่สามารถจับกับออกซิเจนได้

ความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนของเลือดไปยังเนื้อเยื่อต่างๆลดลง และถ้ามีเมทฮีโมโกลบินในปริมาณสูงจะทำให้เกิดการขาดออกซิเจนขึ้นได้ (Tomasso et al., 1979; Huey et al., 1980) เช่นเดียวกับสัตว์ชั้นสูงชนิดอื่นที่จะสังเกตได้ว่าเลือดจะมีสีน้ำตาล (Smith and Russo, 1975) โดยปกติฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงมีหน้าที่นำออกซิเจนให้กับเซลล์โดยที่ ออกซิเจนจะรวมตัวกับฮีโมโกลบินกลายเป็นออกซฮีโมโกลบิน (oxyhaemoglobin) ซึ่งเป็นการรวมในแบบที่ออกซิเจนสามารถที่จะแยกออกจากฮีโมโกลบินได้ง่าย เพื่อผลในการนำส่งออกซิเจน

ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ไนโตรที่รวมตัวกับไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) เกิดเป็นกรดไนตริก ( $HNO_2$ ) อยู่ในสภาวะสมดุล ดังสมการ (Russo, Thurston and Emerson, 1981)



#### 4) พิษของไนเตรทและไนไตรท์ในคน

ได้มีรายงานถึงความเป็นพิษของสารประกอบไนเตรทต่อคนเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1793 (Beck, 1909) การเกิดพิษเนื่องจากการได้รับสารไนเตรทหรือไนไตรท์ไม่ว่าจะได้รับจากอาหารหรือน้ำดื่มก็ตามถ้าได้รับในปริมาณที่มากหรือได้รับเป็นเวลานานก็มีผลทำให้เกิดภาวะเมทฮีโมโกลบินนีเมียได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็กทารก ภาวะเมทฮีโมโกลบินนีเมียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะถูกรายงานว่าเกิดจากการได้รับสารไนเตรท ซึ่งไนเตรทเองไม่ได้เป็นตัวที่ทำให้เกิดพิษ แต่เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นไนไตรท์และทำให้เกิดพิษตามมา โดยไนเตรทสามารถที่จะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นไนไตรท์ได้โดยแบคทีเรียที่อยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนบน (upper gastrointestinal tract) หลังจากนั้นไนไตรท์จะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดแล้วมีผลไปออกซิไดส์ฮีโมโกลบิน ทำให้เกิดเมทฮีโมโกลบินได้ (Marshall and Marshall, 1945) ในคนปกติจะมีปริมาณเมทฮีโมโกลบินอยู่ 1% สมดุลย์กับฮีโมโกลบินปกติ 99%

อาการพิษจากไนเตรทหรือไนไตรท์คือ ทำให้หลอดเลือดแดงทั่วร่างกายขยายตัวและเกิดภาวะเมทฮีโมโกลบินสูงในเลือด พิษที่ร้ายแรงอีกอย่างหนึ่งก็จะเป็นต้นเหตุทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง (carcinogen) ขึ้นภายในร่างกาย ความรุนแรงของการเกิดพิษขึ้นอยู่กับปริมาณไนเตรทหรือไนไตรท์ที่ร่างกายได้รับอาการมีดังนี้

- ผลต่อระบบทางเดินอาหาร กลืนไนเตรททำให้เกิดการระคายเคืองต่อกระเพาะอาหารและลำไส้ทำให้เกิดอาการปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเดิน ถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้มีอาการอักเสบของกระเพาะอาหารและลำไส้ อาเจียน หรือ อุจจาระเป็นเลือดได้

- ผลต่อระบบกล้ามเนื้อและหลอดเลือด การออกฤทธิ์ของไนเตรทและไนไตรท์ทำให้กล้ามเนื้อเรียบคลายตัว รวมทั้งกล้ามเนื้อของผนังหลอดเลือด เชื่อกันว่ากลไกการออกฤทธิ์ของไนเตรทและไนไตรท์จะถูกเปลี่ยนเป็นไนตริกออกไซด์ (nitric oxide) ที่เซลล์ของกล้ามเนื้อเรียบแล้วไปทำปฏิกิริยากับ sulphydryl group เกิด s-nitrosothiols มีผลไปกระตุ้น guanylate cyclase ทำให้เกิดการคลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบขึ้น (Ignarro and Gruetter, 1980) จะเกิดอาการปวดศีรษะ เนื่องจากการขยายตัวของหลอดเลือด หน้าแดงร้อนผ่าว เวียนศีรษะ ความดันโลหิตต่ำ หัวใจเต้นเร็ว เหงื่อออก เป็นลม

- การเกิดเมทฮีโมโกลบินในเลือด โดยปกติแล้วไนเตรทจะไม่มีพิษแต่เมื่อถูกรีดิวซ์ให้อยู่ในรูปของไนไตรท์ โดยเอนไซม์ nitrate reductase ที่มีอยู่ในแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนบน (Marshall and Marshall, 1945) ไนไตรท์ที่เกิดขึ้นจะมีฤทธิ์ไปออกซิไดส์ฮีโมโกลบินที่มี  $Fe^{2+}$  ในฮีมของฮีโมโกลบินให้เปลี่ยนเป็นเมทฮีโมโกลบินที่มี  $Fe^{3+}$  ส่งผลทำให้โมเลกุลของฮีม (heme) ไม่สามารถจับกับออกซิเจน และนำออกซิเจนไปสู่เซลล์ต่างๆ ในร่างกายได้ จึงทำให้เกิดอาการตัวเขียวขึ้น (cyanosis)

ความเป็นพิษของไนเตรทและไนไตรท์ในร่างกายในการทำให้เกิดเมทฮีโมโกลบินขึ้นอยู่กับปริมาณที่ร่างกายได้รับเข้าไปและการทำงานของ NADH-methaemoglobin reductase (cytochrome b<sub>5</sub> reductase) ในคนที่ขาดเอนไซม์นี้ โดยเฉพาะในเด็กอ่อนที่อายุต่ำกว่า 3 เดือนและเด็กเล็ก การทำงานของเอนไซม์นี้ยังไม่สมบูรณ์ จึงทำให้เกิดอาการพิษได้มาก แม้จะได้รับไนไตรท์ในปริมาณต่ำๆ ประกอบกับความเป็นกรดในกระเพาะอาหารต่ำ ส่งผลทำให้แบคทีเรียที่มีเอนไซม์ที่สามารถรีดิวซ์ไนเตรทเป็นไนไตรท์เจริญเติบโตได้ดี (แบคทีเรียชนิดนี้จะไม่เจริญเติบโตในภาวะที่เป็นกรด) ในประเทศไทยเคยมีรายงานการเกิดพิษจากโซเดียมไนไตรท์เมื่อปี พ.ศ. 2529 เด็ก 4 คน อายุ 1-3 ปี ดื่มน้ำที่มีโซเดียมไนไตรท์ผสมอยู่ ถูกนำส่งโรงพยาบาลด้วยอาการตัวเขียวทั้งตัว หัวใจเต้นเร็ว อ่อนเพลียมาก เลือดมีสีน้ำตาลซ็อกโกแลต (รัตนพร ภิญญา สโมสร, 2529)

ไนไตรท์ที่ใช้อย่างแพร่หลายที่สุด ได้แก่ โซเดียมไนไตรท์ ซึ่งใช้ในกิจการต่างๆ ดังต่อไปนี้

- เป็นตัวเร่งให้คอนกรีตแข็งตัว
- ใช้ถนอมอาหารสำหรับผลิตภัณฑ์เนื้อ
- การผลิต azo dye
- เป็น oxidant สำหรับอุตสาหกรรมไอโอดีน
- ทำให้เหล็กแข็งตัวในการผลิตส่วนของเครื่องจักร
- ป้องกันการกัดกร่อนของโลหะในน้ำและน้ำเกลือใน boiler
- เป็นสารป้องกันการกัดกร่อนจากบรรยากาศ
- เป็นส่วนผสมใน lubricant coolant liquid และสารเคลือบผิวโลหะ
- ด้านเภสัชกรรม
- อุตสาหกรรมกระดาษ
- เป็นสารกำจัดวัชพืช

แหล่งสำคัญที่มนุษย์ได้รับไนเตรทคือน้ำ ไนเตรทในน้ำมีตั้งแต่ไม่พบเลยจนสูงกว่า 200 มก./ล. ในแหล่งน้ำของชุมชนหรือน้ำประปามักพบไนเตรทต่ำกว่า 10 มก./ล. ถ้าประมาณว่าแต่ละคนดื่มน้ำวันละ 2 ลิตร ปริมาณไนเตรทที่ได้รับแต่ละวันจะน้อยกว่า 20 มก. โดยเกณฑ์มาตรฐานของปริมาณไนเตรทในน้ำของประเทศไทย แสดงในตารางที่ 2.1

### 2.1.1.3 ข้อเสนอแนะและมาตรการทางกฎหมายประเทศไทย

ตารางที่ 2.1 การกำหนดปริมาณไนเตรทในน้ำของประเทศไทย

ชนิด	มาตรฐาน (มก./ล.)	หน่วยงานควบคุม	ที่มา
น้ำดื่ม	ไนเตรท-ไนโตรเจน 4 มก./ล.	กระทรวงสาธารณสุข	ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 พ.ศ. 2524
น้ำบาดาลเพื่อการ บริโภค	ไนเตรท-ไนโตรเจน 10 มก./ล.	กระทรวงอุตสาหกรรม	ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4 พ.ศ. 2521
น้ำทิ้งชุมชน	ไนเตรท-ไนโตรเจนไม่ กำหนดสำหรับชุมชน น้อยกว่า 501 คน และจะ กำหนดเมื่อน้ำมีปัญหา สำหรับชุมชนมากกว่า 500 คน	สำนักงาน คณะกรรมการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ	คณะกรรมการกำหนด มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งชุมชน
น้ำผิวดิน	ไนเตรท-ไนโตรเจน 5 มก./ล.	สำนักงาน คณะกรรมการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ	ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน พ.ศ. 2528

ที่มา : ไนเตรท ไนไตรท์ และสารประกอบอื่นไนโตรไซ

### 2.1.1.4 ผลกระทบต่อสุขภาพ

ปัญหาน้ำเสียที่เกิดจากการปนเปื้อนของไนเตรทมีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง จะมีระดับของการปนเปื้อนไนเตรทในแหล่งน้ำสูงกว่าปกติ ทำให้มีการศึกษาถึงผลข้างเคียงที่เกิดจากการบริโภคน้ำที่ปนเปื้อนไนเตรท

การประเมินอันตรายของไนเตรทและไนไตรท์ต่อสุขภาพจากข้อมูลที่มีพบว่าปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่พบในเครื่องดื่มจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพในผู้ใหญ่ โดยทั่วไปและในเด็กโต ความเป็นพิษหลักที่เกิดขึ้นจากการรับประทานไนเตรทและไนไตรท์คือ methaemoglobinaemia ซึ่งเด็กทารกมีความเสี่ยงอันตรายเป็นพิเศษเนื่องจาก

- 1) ความเป็นกรดในกระเพาะต่ำมีผลต่อจุลินทรีย์ที่มีเอ็นไซม์ ซึ่งสามารถรีดิวซ์ไนเตรทและไนไตรท์ให้เจริญเติบโตได้ดี
- 2) ฮีโมโกลบินของทารกในครรภ์และเม็ดเลือดแดงของเด็กอาจเปลี่ยนเป็นเม็ทฮีโมโกลบิน
- 3) เด็กทารกขาดระบบเอ็นไซม์ที่สามารถรีดิวซ์เม็ทฮีโมโกลบินเป็นฮีโมโกลบิน
- 4) การรับ (intake) ของเหลวในร่างกายของเด็กทารกสูงกว่าผู้ใหญ่เมื่อเทียบกับน้ำหนักร่างกาย

ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะว่าการผสมนมผงให้เด็กทารก ควรใช้น้ำที่มีไนเตรทต่ำ อย่างน้อยที่สุดไม่ควรเกิน 10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L และควรเลี้ยงเด็กทารกด้วยผักที่มีปริมาณไนเตรทต่ำ นอกจากนี้ควรลดการใช้ไนเตรทและไนไตรท์ให้น้อยที่สุดและหลีกเลี่ยงการใช้ในเนื้อสดและปลาและปริมาณไนเตรทในน้ำประปาควรจะมีไนเตรทไม่เกิน 10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L ตามข้อเสนอแนะเกี่ยวกับมาตรฐานน้ำดื่มระหว่างประเทศขององค์การอนามัยโลกปี ค.ศ.1971 (The 1971 WHO International standards for drinking-water.)

พบว่าการบริโภคน้ำที่มีระดับการปนเปื้อนไนเตรทสูงกว่า 10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคตัวเขียวในเด็กทารกที่มีอายุต่ำกว่า 6 เดือนซึ่งทางการแพทย์เรียกว่า Methemoglobinaemia (Infant Cyanosis หรือ Blue – Baby Syndrome) ทั้งนี้เพราะผิวของทารกมีสีเขียวคล้ำเนื่องจากเลือดขาดออกซิเจน ทารกที่เกิดจากมารดาที่บริโภคน้ำที่ปนเปื้อนไนเตรทมีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคตัวเขียว ในบางรายอาจมีอาการเฉียบพลัน หากไม่ได้รับการรักษาอย่างรวดเร็วทารกจะขาดอากาศและเสียชีวิตในที่สุด และแม้ว่าจะยังไม่มีการยืนยันอย่างแน่ชัด แต่มารดาที่อยู่ระหว่างการให้นมบุตรควรหลีกเลี่ยงการบริโภคน้ำที่มีระดับการปนเปื้อนไนเตรทสูงกว่า 50 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L

สำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจหรือโรคปอด หากบริโภคน้ำที่ปนเปื้อนไนเตรทอาจทำให้ได้รับผลกระทบจากไนเตรทรุนแรงกว่าคนปกติ นอกจากนี้ผู้เชี่ยวชาญบางท่านยังเชื่อว่าการบริโภคน้ำที่มีระดับการปนเปื้อนไนเตรทสูงอย่างต่อเนื่องและเป็นเวลายาวนานจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง

### 2.1.1.5 ระดับการปนเปื้อนไนเตรทในน้ำดื่ม

ในน้ำผิวดินจะพบไนเตรทในปริมาณน้อย โดยทั่วไปมักต่ำกว่า 1 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L และอย่างสูงก็ไม่เกิน 5 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L แต่สำหรับน้ำใต้ดินอาจมีไนเตรทสูงตั้งแต่ 0–1,000 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ ไนเตรทนอกจากเข้าสู่แหล่งน้ำจากการเน่าเปื่อยของสิ่งมีชีวิตแล้วยังมาจากปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตรกรรมและน้ำเสียอีกด้วย (มันสิน, 2540) เมื่อน้ำมีปริมาณการปนเปื้อน ไนเตรทสูงขึ้นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ด้วยเหตุนี้ USEPA (The United States Environmental Protection Agency) และองค์กรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจึงกำหนดค่าการปนเปื้อนไนเตรทในน้ำดื่ม (Sawyer, 1994) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระดับการปนเปื้อนไนเตรทในน้ำดื่มตามมาตรฐานขององค์กรต่างๆ

มาตรฐาน	เกณฑ์กำหนดสูงสุด Concentration (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L)	เกณฑ์อนุ โลมสูงสุด Concentration (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L)
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (มอก.)	10	10
มาตรฐานน้ำดื่มของสหรัฐอเมริกา (USEPA)	-	10
มาตรฐานน้ำดื่มของการประปานครหลวงไทย	-	10

ที่มา : ฌรงค์ (2540)

### 2.1.2.6 การปนเปื้อนไนเตรทของน้ำจากบ่อน้ำบาดาลในประเทศ

เมื่อปี 2543 กรมทรัพยากรธรณีได้ทำการขุดเจาะบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ทั่วประเทศ ไทย และทำการวิเคราะห์ผลทางเคมีของน้ำในบ่อน้ำบาดาล พบการปนเปื้อนของไนเตรท ดังแสดงในตารางที่ 2.3 (ปริมาณไนเตรทที่ตรวจพบสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณสารมลทินจากการเกษตร ปริมาณน้ำที่ซึมลงสู่ใต้ดิน ฤดูกาล และพฤติกรรมเฉพาะปลูก)

ตารางที่ 2.3 การปนเปื้อนไนเตรทของบ่อน้ำบาดาลในประเทศไทยที่มีค่าเกิน 20 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N/L และ 45 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N/L

ภาค	จังหวัด	ร้อยละของจำนวนบ่อ		
		การวิเคราะห์จาก จำนวนบ่อ ทั้งหมดที่มีใน พื้นที่	จากจำนวนบ่อที่มีการวิเคราะห์	
			ที่พบปริมาณ ไนเตรทเกิน 20 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L	ที่พบปริมาณ ไนเตรท เกิน 45 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L
ใต้	กระบี่	49.64	1.09	1.09
	ชุมพร	59.66	1.00	0.17
	ตรัง	50.05	1.16	0.39
	นครศรีธรรมราช	65.23	0.38	0.13
	นราธิวาส	58.26	3.37	0.96
	ปัตตานี	64.93	0.86	0.29
	พังงา	50.98	0.77	0.00
	พัทลุง	56.44	0.38	0.19
	ภูเก็ต	53.38	1.41	0.00
	ยะลา	58.54	3.24	1.08
	ระนอง	48.10	0.00	0.00
	สงขลา	68.24	0.93	0.27
	สตูล	43.12	0.52	0.00
	สุราษฎร์ธานี	49.95	0.74	0.00

ภาค	จังหวัด	ร้อยละของจำนวนบ่อ		
		การวิเคราะห์จาก จำนวนบ่อ ทั้งหมดที่มีใน พื้นที่	จากจำนวนบ่อที่มีการวิเคราะห์	
			ที่พบปริมาณ ไนเตรทเกิน 20 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L	ที่พบปริมาณ ไนเตรท เกิน 45 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L
กลาง	กรุงเทพมหานคร	88.24	0.74	0.74
	ชัยนาท	48.82	8.45	5.28
	นครนายก	59.28	0.51	0.00
	นครปฐม	80.08	0.25	0.00
	นนทบุรี	76.32	0.00	0.00
	ปทุมธานี	63.13	2.40	0.00
	พระนครศรีอยุธยา	57.89	0.45	0.23
	ลพบุรี	69.48	27.09	15.44
	สมุทรปราการ	91.67	0.00	0.00
	สมุทรสาคร	40.85	0.00	0.00
	สระบุรี	69.87	7.20	1.44
	สิงห์บุรี	72.89	0.00	0.00
	สุพรรณบุรี	71.43	3.93	1.37
	อ่างทอง	74.69	0.00	0.00

ภาค	จังหวัด	ร้อยละของจำนวนบ่อ		
		การวิเคราะห์จาก จำนวนบ่อ ทั้งหมดที่มีใน พื้นที่	จากจำนวนบ่อที่มีการวิเคราะห์	
			ที่พบปริมาณ ไนเตรทเกิน 20 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L	ที่พบปริมาณ ไนเตรท เกิน 45 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L
ตะวันออก เฉียงเหนือ	ขอนแก่น	66.74	13.34	8.81
	ชัยภูมิ	67.70	18.02	13.50
	นครพนม	72.68	12.17	9.47
	นครราชสีมา	76.19	3.96	1.32
	บุรีรัมย์	63.03	13.88	8.85
	มหาสารคาม	63.80	9.51	6.47
	มุกดาหาร	65.57	24.30	19.62
	ยโสธร	57.55	5.22	2.32
	ร้อยเอ็ด	77.77	8.55	5.10
	เลย	77.38	11.10	7.37
	ศรีสะเกษ	72.22	2.63	1.31
	สกลนคร	72.99	4.97	3.47
	สุรินทร์	75.90	7.79	3.83
	หนองคาย	65.28	7.50	3.92
	หนองบัวลำภู	68.41	3.26	1.33
	อำนาจเจริญ	70.01	6.28	4.12
	อุดรธานี	58.96	4.42	2.30
	อุบลราชธานี	66.30	6.69	3.87
	อุบลราชธานี	68.52	4.00	1.51
เหนือ	กำแพงเพชร	73.76	0.51	0.34
	เชียงราย	81.95	0.95	0.19
	สุโขทัย	70.41	1.19	0.85
	เชียงใหม่	81.50	1.44	0.48
	นครสวรรค์	55.42	12.25	5.67
	น่าน	58.09	2.67	0.38

ภาค	จังหวัด	ร้อยละของจำนวนบ่อ		
		การวิเคราะห์จาก จำนวนบ่อ ทั้งหมดที่มีใน พื้นที่	จากจำนวนบ่อที่มีการวิเคราะห์	
			ที่พบปริมาณ ไนเตรทเกิน 20 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L	ที่พบปริมาณ ไนเตรท เกิน 45 mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L
	พะเยา	80.43	1.85	0.51
	เพชรบูรณ์	66.87	10.46	4.71
	พิจิตร	68.53	1.10	0.55
	พิษณุโลก	76.19	1.83	1.22
	แพร่	76.32	2.86	0.95
	แม่ฮ่องสอน	65.00	0.00	0.00
	ลำปาง	67.43	4.99	1.97
	ลำพูน	29.45	3.64	2.23
	อุตรดิตถ์	65.63	3.04	2.03
ตะวันออก	จันทบุรี	32.28	1.72	0.57
	ฉะเชิงเทรา	52.27	2.52	1.68
	ชลบุรี	60.57	3.64	0.78
	ตราด	43.98	0.00	0.00
	ปราจีนบุรี	64.06	3.23	0.44
	ระยอง	45.18	2.08	0.52
	สระแก้ว	56.23	4.32	1.98
ตะวันตก	ประจวบคีรีขันธ์	72.36	3.65	1.00
	เพชรบุรี	69.83	7.65	4.44
	ราชบุรี	72.01	5.25	2.80

ที่มา : กองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี

จากตารางที่ 2.3 พบว่า น้ำในบ่อน้ำบาดาลของจังหวัดลพบุรี มหาสารคาม และขอนแก่น มีระดับการปนเปื้อนไนเตรทสูงที่สุดในประเทศไทย สำหรับการปนเปื้อนไนเตรทเกิน 20 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L คิดเป็นร้อยละ 27.09, 24.30 และ 18.02 ตามลำดับ และสำหรับการปนเปื้อนไนเตรทเกิน 45 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/L คิดเป็นร้อยละ 15.44, 19.22 และ 13.52 ตามลำดับ

ภูมิภาคที่น้ำในบ่อน้ำบาดาลมีการปนเปื้อนไนเตรทน้อยที่สุดและมากที่สุดคือ ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตามลำดับ

จากข้อมูลตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าน้ำในบ่อน้ำบาดาลของประเทศไทยมีการปนเปื้อนไนเตรทระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค ควรมีการกำจัดไนเตรทที่ปนเปื้อนในน้ำก่อนนำไปใช้

## 2.2 ดินเบา

ดินเบา (Diatomaceous earth) หรือรู้จักกันในชื่อต่างๆ เช่น Diatomite, Kieselguhr, Tripolite, Fossil flour เป็นต้น เรียกชื่อภาษาไทยว่า “ดินเบา” ทั้งนี้เนื่องจากมีน้ำหนักเบา แร่ดินเบาเป็นหินพวก siliceous ชนิดหนึ่ง โครงสร้างส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยฟอสซิลขนาดละเอียดของพืชเซลล์เดียวในอดีตกาลที่เรียกว่า diatom จึงเกิดเป็นหินตะกอนที่มีลักษณะการเกิดเป็นชั้นๆ มีสีเทา ขาว นวล ถึงสีน้ำตาลอ่อน โครงสร้างของไคอะตอมเหล่านี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิกาไร้ผลึกชนิดบริสุทธิ์ โดยที่ไคอะตอมแต่ละสปีชีส์ จะมีโครงสร้างซับซ้อนและมีคุณสมบัติเด่นเฉพาะตัวคือมีความบริสุทธิ์ การมีความพรุนตัวสูง และมีพื้นที่ผิวมาก จึงเป็นผลที่เกิดขึ้นโดยตรงจากรูปร่าง โครงสร้างและส่วนประกอบภายในของไคอะตอมแต่ละชนิดนั้น คุณสมบัติเหล่านี้ เมื่อรวมกับความคงทนทางด้านเคมีและเป็นตัวนำความร้อน จึงเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำดินเบาไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

### 2.2.1 การกำเนิดดินเบา

ดินเบาสามารถกำเนิดได้ทั้งในน้ำทะเล น้ำกร่อย และน้ำจืด ขณะที่มีชีวิตอยู่ตัวไคอะตอมจะสกัดดึงน้ำรอบๆตัว และคายออกมาในรูปเปลือกหอยห่อหุ้มตัวมันเอง ภายหลังจากที่ตาย โครงสร้างแบบเปลือกหอยเหล่านี้จะค่อยๆ ตกตะกอนสู่พื้นของแอ่ง (basin) ทับถมรวมกับตะกอนชนิดอื่นๆ แหล่งดินเบาเกิดขึ้นจากการจับตัวแน่นของตะกอนเหล่านี้ ภายใต้อุณหภูมิและความกดดัน โดยมักมีทราย ดิน สารคาร์บอนเนต และแร่ธาตุไฟแทรกเจือปนอยู่ด้วย ส่วนที่เป็นอินทรีย์วัตถุ

จะสลายตัวไปหมด หรืออาจคงเหลืออยู่บ้าง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมต่อการสะสมตัว ซากเหล่านี้ก็จะสะสมจนมีความหนาแน่นมาก และค่อยๆ จับตัวกันแน่นจนกลายเป็นแหล่งดินเบา ปัจจุบันตะกอนทางทะเลที่มีไคอะตอมมากจะสะสมในแอ่งทะเลบริเวณที่มีสารอาหารสมบูรณ์ เช่นเขตมหาสมุทรที่มีกระแสน้ำแตกต่างกัน แถบกึ่งแอนตาร์กติก อย่างไรก็ตามดินเบาสามารถเกิดขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมน้ำจืด มีรายงานว่าดินเบาที่เกิดขึ้นในน้ำจืด มีการสะสมตัวในทะเลสาบ บนภูเขา หรือจากปล่องภูเขาไฟ (Congar, 1942) มีการสะสมตัวอย่างอิสระที่มีกระแสน้ำหรือแม่น้ำมาเกี่ยวข้อง น้ำจะไหลเข้ามาโดยการซึม ผลจากกระบวนการหลังการสะสมตัวของแหล่งดินเบา มีอิทธิพลต่อความพรุน และระดับชั้นของการประสานตัว ซึ่งมีการแยกตัว การเคลื่อนไหว และการตกตะกอนใหม่ของซิลิกาในไคอะตอม ในที่สุดดินเบาจะเปลี่ยนเป็นเชิร์ต (chert) หรือโคลนไคอะตอม (Mathers, 1989) มีรายงานว่ามีส่วนของสารอินทรีย์มากมาย ซึ่งแปรสภาพจากรูปร่างที่อ่อนนุ่มของไคอะตอมและอาจจะเป็นหินกำเนิดของแหล่งปิโตรเลียมได้ (Talliaferro, 1933) เมื่อแหล่งสะสมนี้ถูกยกตัวขึ้นพื้นระดับน้ำก็จะเป็นแหล่งแร่ที่มีความสำคัญต่อด้านเศรษฐกิจ

แหล่งดินเบาที่สำคัญที่สำรวจโดยกรมทรัพยากรธรณีในประเทศไทย พบที่ จ.ลำปาง ใน อ.เมือง อ.เกาะคา อ.แม่ทะ และ อ.สบปราบ มักพบเป็นเนินลูกรังเล็กๆ โดยมีความสูงจากท้องนา 10-20 เมตร เช่นที่แหล่งบ้านม่อนหินแก้ว บ้านป่าม่วง บ้านน้ำโจ้และบ้านม่อนแสงสี รวมทั้งแหล่งบ้านกล้วยแพะ ชั้นดินเบาถูกปิดทับด้วยก้อนกรวดและก้อนหินมนเล็ก การสะสมตัวอีกชนิดหนึ่งเกิดขึ้นตามเชิงลาด บริเวณขอบของแอ่งลำปาง โดยชั้นก้อนกรวดปิดทับ พบเห็นตามเนินเตี้ยๆ เป็นหย่อมๆ มีความยาวหลายกิโลเมตร ที่บ้านพิชัย บ้านห้วยน้ำเค็ม บ้านกัวลม และทางใต้ของนิคมกัวลม บริเวณแหล่งที่กล่าวถึงทั้งหมดนี้มีพื้นที่ครอบคลุมประมาณ 30 ตารางกิโลเมตร

## 2.2.2 ชีววิทยาและนิเวศวิทยาของไคอะตอม

ไคอะตอมจัดอยู่ในพวก protista เช่นเดียวกับ protozoans, moulds และ fungi ไคอะตอมเป็นพืชเซลล์เดียวขนาดเล็กมาก มีขนาดตั้งแต่ 2-2,000 ไมครอน มีรูปร่างอ่อนนุ่ม ประกอบด้วย cytoplasm, oil, globules และ chloplasts เชื่อมกันด้วย opaline exoskeleton ซึ่งโครงกระดูกนี้หรือ frustules อาจจะมีลักษณะเป็นทรงกลมหรือทรงรี ลักษณะภายนอกเป็นรูคล้ายตะแกรง มีโครงสร้างเป็นตาข่ายซับซ้อน ตัวไคอะตอมสร้างอาหารโดยการรวมคาร์บอน (ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงของคาร์บอนไดออกไซด์) กับสารอาหารที่สกัดจากน้ำทะเล ไคอะตอมเป็นพื้นฐานของวงจรอาหารในทะเล เป็นอาหารหลักของกุ้งตัวเล็กๆ ซึ่งเป็นอาหารของสัตว์มีกระดูกสันหลังอีกต่อหนึ่ง

ไดอะตอมสามารถอยู่ในสภาพแวดล้อมทางน้ำหลายแบบ โดยต้องการเงื่อนไข สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจึงจะเจริญเติบโตได้ เช่น มีอุณหภูมิ และเงื่อนไขทางแสงที่เหมาะสม มีสภาพความเค็ม ความเป็นกรดในวงจำกัด และได้รับสารอาหารตลอดเวลา คือพวกซิลิกา ในโตรเจน ฟอสฟอรัส เหล็ก ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ไดอะตอมอาศัยอาศัยอยู่ในเขตที่มีแสง มีความลึกถึง 200 เมตร การศึกษาเมื่อไม่นานมานี้ได้ใช้กลุ่มไดอะตอมเป็นเครื่องชี้บอก สภาพแวดล้อมของทะเลสาบน้ำจืดในยุค quaternary และในสมัยปัจจุบัน (Stager, 1988)

### 2.2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของดินเบา

ดินเบาบริสุทธิ์ ประกอบด้วย opaline หรือ hydro silica กับสารอนินทรีย์อื่นๆ เล็กน้อย เช่น alumina, alkaline metals เป็นต้น ดินเบาดีอาจมีอินทรีย์สาร หิน ทรายดิน หรือคาร์บอนเตใน ปริมาณต่างๆ โดยในตารางที่ 2.4 พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของดินเบา คือ silica จึงทำให้ พื้นที่ผิวส่วนใหญ่ของดินเบาเป็นหมู่ silanol group ทำให้สามารถดูดซับโมเลกุลที่มีขั้วได้ (อิชิซา บวรวัฒนานนท์, 2527)

ตารางที่ 2.4 แสดงผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินเบา จากแหล่งแร่ต่างๆ

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

Composition in %	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	73.71	83.5	68.8	68.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.25	10.56	13.7	13.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.63	2.04	5.3	5.00
MgO	1.47	0.67	0.9	0.87
CaO	1.72	1.18	1.1	0.42
Na <sub>2</sub> O	1.19	2.05	1.8	1.00
K <sub>2</sub> O	1.00	2.05	1.8	-

- ที่มา :
1. Pettijohn (1957)
  2. Atanasov (1972)
  3. Atanasov (1974)
  4. ชฎาภรณ์ (2545)

## 2.2.4 ลักษณะทางกายภาพ

ดินเบาจะมีสีค่อนข้างอ่อน มีสีขาวหรือสีครีมคล้ายพวกชอล์ก โดยแหล่งดินเบาที่เกิดในแหล่งน้ำจืดมักจะมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่ด้วย สารที่ปรากฏจะทำให้สีแตกต่างออกไปจากน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเขียว หรือเกือบดำซึ่งยากแก่การแยกจากสารพวกที่คล้ายถ่านหิน (peatlike material) โครงสร้างอาจจะเป็นแบบเนื้อแน่นหรือเป็นลาย ความแข็งของอนุภาคดินเบาตามสเกลความแข็งมาตรฐาน โมลห์ อยู่ระหว่าง 4.5–6.0 แต่ความแข็งปรากฏของแร่ดินเบาเนื้อแน่นประมาณ 1.5 ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นปรากฏน้อย และความร่วนของเนื้อดินที่มีรูพรุนความถ่วงจำเพาะ 2.1-2.2 เมื่อบริสุทธิ์และแห้งมีความถ่วงจำเพาะปรากฏน้อยกว่า 1 ดังนั้น แร่ดินเบาจะลอยน้ำได้จนกว่าจะอมจนอึดตัวด้วยน้ำ ความหนาแน่นปรากฏ 5-16 ปอนด์/ลบ.ฟุต ความหนาแน่นเมื่อเปียก 10-20 ปอนด์/ลบ.ฟุต ดัชนีหักเห 1.42-1.348 นอกจากนี้ดินเบายังมีสีที่แตกต่างกันออกไป โดยมีลักษณะทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงลักษณะทางกายภาพของดินเบา

Parameters	ดินเบาสีเหลือง	ดินเบาสีขาว
pH	9-7	8-9
True density, g/cm <sup>3</sup>	2.26	2.20
Free fall density, g/cm <sup>3</sup>	0.41	0.21
Packed density, g/cm <sup>3</sup>	0.47	0.24
Void space	0.8	0.9
Surface area, m <sup>2</sup> /g	4.00	1.00

ที่มา : Ottenstein (1963)

มีสิ่งควรคำนึงในเรื่องต่างๆ เพิ่มเติมดังต่อไปนี้

### 1) ความขาว (Whiteness) ของดินเบา

ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมในการปฏิบัติที่ตัวช่วยกรองน่าจะมีสีอ่อนๆ ให้เห็นว่าเป็นสิ่งสะอาด Diatomite นั้นเป็น Amorphous silica ชนิดหนึ่ง ซึ่งตามธรรมชาติแล้วจะมีสีขาว ดังนั้นเพื่อให้ Diatomite มีความบริสุทธิ์เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีในการใช้หรือ Diatomite ดิบจากแหล่งอำเภอกะก้านั้นมักจะมีสีเหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งเกิดจากธาตุเหล็กที่เจือปนอยู่

นอกจากนี้เนื่องด้วยอนุภาคของดินเบาที่มีรูพรุนอยู่อย่างมาก จึงทำให้มีสิ่งเจือปนพวกสารอินทรีย์ หรืออื่นๆ เข้าไปอุดตันอยู่ด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการขจัดออกไป

### 2) สมบัติในการเป็น filtering media ของ diatomite

เพื่อแสดงว่านอกจากดินเบาเองจะมีสมบัติเป็นตัวช่วยกรองแล้วยังสามารถใช้เป็นตัวกลางกรองได้อีกด้วย โดยที่ดิน ดินเบาจะต้องไม่สามารถแทรกผ่านตัวกลางกรอง (Filter medium) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ขนาดอนุภาคของดินเบาต้องไม่เล็กเกินกว่าขนาดของรูพรุนของตัวกลางกรอง

### 3) ความสามารถในการเป็น adsorption

สมบัติข้อนี้เป็นสิ่งสำคัญของดินเบาที่จะสามารถทำให้ดูดซับเอาสิ่งสกปรก รวมทั้งสิ่งมีชีวิตจำพวกแบคทีเรียหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เข้าไปในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของมันได้ ดินเบาดิบมักจะมีสารอินทรีย์ที่ไม่ต้องการที่มีขนาดเล็กขนาดคอลลอยด์เข้าไปอุดตันอยู่ในรูพรุนของอนุภาคดินเบาไว้ รูพรุนที่เกิดการอุดตันของ ดินเบา เหล่านี้จะทำให้ของเหลวไหลผ่านไปได้ไม่สะดวก อัตราการกรองจะช้าลง ดังนั้นในการปรับปรุงคุณภาพของดินเบาจึงคำนึงถึงสมบัติข้อนี้เป็นสำคัญ

## 2.2.5 แหล่งแร่ดินเบาที่พบในประเทศไทย

แหล่งแร่ดินเบาที่สำคัญทั้งชนิดที่เกิดขึ้นในทะเลและน้ำจืด มีอายุต่างๆกันตั้งแต่ยุคน้ำแข็งตอนกลางของยุค Quaternary ถึง Tertiary แหล่งสะสมในบริเวณที่พื้นโลกต้นตัวอยู่เสมอ มักมีขนาดเล็ก พบแหล่งดินเบาที่เกิดในยุค Paleocene และ Cretaceous บ้างแต่แหล่งดินเบาเหล่านี้มักมีคุณภาพค่อนข้างต่ำและไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ

แหล่งแร่ดินเบาในประเทศไทยพบที่จังหวัดลำปาง ซึ่งกระจุกกระจายอยู่ 5 แหล่งภายในแหล่งลำปาง คือ

1. บ้านหมอนหินแก้ว ตำบลวังพร้าว อำเภอเกาะคา จังหวัดลำปาง
2. วัดม่อนศิริวัน ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
3. บ้านห้วยน้ำเค็ม ตำบลบ้านแสง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
4. บ้านหนองถ้อย ตำบลนาครี อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง
5. ตำบลกล้วยแพะ อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

## 2.2.6 การใช้ประโยชน์จากดินเบาในอุตสาหกรรมต่างๆ

### 1) ใช้เป็นสารช่วยกรอง (filter aids)

การใช้ประโยชน์ของดินเบา ส่วนใหญ่ใช้เป็นสารช่วยกรอง (ซึ่งมีปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของการใช้งานดินเบาทั้งหมด) ในการกรองผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวในอุตสาหกรรมและที่ไม่ใช่อุตสาหกรรม รวมทั้งสารเคมีชนิดอินทรีย์และอนินทรีย์เวชภัณฑ์ (pharmaceuticals) เบียร์ เหล้าองุ่น น้ำมันต่างๆ ดินเบาใช้เป็นสารช่วยกรองเพราะมีคุณสมบัติในการซึมซับ อนุภาคชนิดละเอียดที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายที่ต้องการกรองได้เป็นอย่างดี รวดเร็ว และได้สารละลายที่ใสขึ้น

### 2) ใช้เป็นตัวเติม (fillers)

ดินเบาใช้เป็นสารตัวเติมมีการใช้มากเป็นอันดับสองโดยใช้เติมเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น สี พลาสติก ยาง เกสซ์ภัณฑ์ สารขัดมันและเคมีภัณฑ์ ต่างๆ ดินเบาที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์เพื่อการค้า มีทั้งชนิดจากธรรมชาติ และชนิดที่ผ่านการทำ calcine แล้ว โดยทั่วไปดินเบาที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์ของสี และสีรองพื้น เพราะดินเบาที่มีคุณสมบัติเป็น flatting ที่ดี ทำให้การซึมของสีดีขึ้นและแห้งเร็วมีความตึงผิวดี และเรียบเหมือนขัดด้วยทราย ส่วนดินเบาที่ใช้เติมในอุตสาหกรรมพลาสติก ส่วนใหญ่ใช้เป็นสาร anti-blocking ในผลิตภัณฑ์ฟิล์มโพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำตามปกติจะเติมดินเบาลงไปให้มีความเข้มข้น 300-500 ppm เพื่อป้องกันการติดกันของฟิล์ม

### 3) ใช้ทำแผ่นฉนวนและผงดูดซับ (insulators and absorbents)

ทำเป็นอิฐฉนวนซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติเป็นสารผสมระหว่าง ดินเบา และ 20-25% ของ plastic clay และใช้ในการผลิตสารดูดซับชนิดผงและชนิดเม็ดที่ใช้ในเตาอบแห้งด้วย ใช้ในการดูดซับในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ยาฆ่าแมลง ส่วนดินเบาที่เป็นผงและผ่านการเผาแล้วจะใช้ในวัตถุระเบิด, seed coating และในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เคมีต่างๆ

### 4) การใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

นอกจากประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังสามารถนำดินเบามาใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆได้อีก เช่น เป็นสารขัดถูชนิดอ่อนสำหรับผสมในยาสีฟันและน้ำยาขัดโลหะ เป็นตัวกลางที่ใช้ป้องกัน

การแข็งตัวของปฏิกิริยา ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก โดยเป็นตัวเติมเพื่อลดความเหนียวใน ดินปั้น และเพิ่มความแข็งแรงด้วย ช่วยในการขึ้นรูปได้ดี ใช้ทำน้ำยาเคลือบในการทำผงสีเซรามิกและทำอิฐทนไฟ เพราะมีคุณสมบัติต้านทานความร้อนได้ดี เป็นตัวกลางควบคุมในวัฏจักรเบ็ด ใช้ใน chromatography support media และ pitch control ในอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นตัวนำพาตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ เช่น ใช้เป็นตัวนำพาในอุตสาหกรรมทำกรดกำมะถัน และในกรดฟอสฟอริกในการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม

## 2.3 การดูดซับ (adsorption)

### 2.3.1 หลักการดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) เป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของสารไปเกาะอยู่บนผิวหน้าของของแข็งหรือของเหลว สารที่ไปเกาะเรียกว่า สารที่ถูกดูดซับ (adsorbate) และของแข็งหรือของเหลวที่พื้นผิวของมันถูกสารเกาะเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent) การดูดซับด้วยของแข็งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของของแข็ง การดูดซับจะเกิดขึ้นทั้งทางกายภาพ (physisorption) และทางเคมี (chemisorption)

เมื่อ โมเลกุลในวัฏภาคของเหลว (liquid phase) ยึดติดกับผิวของของแข็ง เนื่องจากแรงดึงดูดที่พื้นผิวของของแข็งซึ่งเป็นสารดูดซับมีค่ามากกว่าค่าพลังงานจลน์ของ โมเลกุลของของเหลวนั้นในทางสิ่งแวดล้อม การดูดซับถูกนำมาใช้ในการบำบัดหรือกำจัดสารมลพิษ ซึ่งกระบวนการนั้นขึ้นกับระบบของการบำบัดว่าจะได้ประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดและโดยทั่วไปกระบวนการดูดซับมักเกิดขึ้นในขั้นสุดท้ายของระบบบำบัด

### 2.3.2 การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption หรือ physisorption)

เกิดจากความแตกต่างของพลังงานหรือแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (electrical attractive force) อย่างอ่อนๆ ระหว่างโมเลกุลซึ่งเรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waals force) ทำให้เกิดการเกาะหรือยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับและ โมเลกุลที่ผิวหน้าของสารดูดซับด้วยการดึงดูดของแรงระหว่างโมเลกุลของสารทั้งสองโดยวิธีทางกายภาพ ซึ่งจะทำให้เกิดชั้นหลายๆ ชั้นซ้อนทับกัน โดยแต่ละชั้นจะซ้อนทับอยู่เหนือชั้นที่เกิดขึ้นก่อน จำนวนชั้นจะทำให้เกิดชั้นหลายๆ ชั้นซ้อนทับกัน โดยแต่ละชั้นจะซ้อนทับอยู่เหนือชั้นที่เกิดขึ้นก่อน จำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร การดูดซับทางกายภาพนี้จะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ทำให้

เกิดส่วนที่หนาและผันกลับไม่ได้ (irreversible) การดูดซับทางกายภาพมักจะเป็นแบบไม่เฉพาะ (nonspecific) กล่าวคือ โมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ จะไม่ดูดติดกับเฉพาะบริเวณใดบริเวณหนึ่งบนผิวหน้าของของแข็ง แต่จะเป็นอิสระในการเคลื่อนที่อยู่เหนือบริเวณผิวนั้น (Sawyer et al., 1994) โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นจะไม่ขึ้นตรงกับอุณหภูมิและค่าไอออนิกสเตรงท์ (ionic strength) ของสารละลายแต่จะขึ้นอยู่กับการแข่งขันของค่าพีเอชและสารเชิงซ้อนที่ปะปนอยู่ในวัฏภาคของเหลว (Allard et al., 1987) ทั้งนี้การดูดซับทางกายภาพโดยทั่วไปจะสามารถผันกลับได้ การผันกลับของการดูดซับทางกายภาพจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของแรงดึงดูดระหว่างสารดูดซับกับสารที่ถูกดูดซับ ถ้าแรงดึงดูดนี้มีค่าน้อยจะสามารถเกิดการปลดปล่อยหรือคายสารที่ถูกดูดซับออกมา (disruption) ซึ่งอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ หรือการเพิ่มอุณหภูมิเข้าไปในปริมาณมาก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการดูดซับทางกายภาพจะทำให้เกิดการคายความร้อน โดยปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกับความร้อนแฝงของการกลั่นตัวเป็นของเหลว (พล, 2518)

### 2.3.3 การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption หรือ chemisorption)

เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับและสารดูดซับ หรือแรงดึงดูดทางเคมีซึ่งเป็นแรงที่แข็งแรงกว่าการดูดซับทางกายภาพ และเป็นแรงทำให้เกิดพันธะ ณ บริเวณเฉพาะ (specific) ใดๆบนพื้นผิวของวัฏภาคของแข็ง เกิดเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่ที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับ ทำให้ค่าความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงใกล้เคียงกับค่าของพลังงานพันธะเคมี อาจเกิดการดูดซับได้ช้าและผันกลับไม่ได้เป็นบางส่วน โดยทั่วไปสารที่ถูกดูดซับจะเกิดเป็นโมเลกุลชั้นเดียว (monolayer) เหนือผิวหน้าของสารดูดซับโดยโมเลกุลของสารดูดซับจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ จากบริเวณผิวนั้นไปยังบริเวณอื่น เมื่อผิวหน้าของสารดูดซับถูกปกคลุมด้วยโมเลกุล 1 ชั้นแล้ว ความสามารถในการดูดซับของมันจะลดลง จึงเกิดการผันกลับได้ยาก นอกจากจะมีการให้ความร้อนถึงอุณหภูมิสูงๆ แล้วสารดูดซับจึงจะแยกตัวออกมาจากสารดูดซับได้ (Sawyer et al., 1994) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเกิดที่อุณหภูมิสูงและเกี่ยวข้องกับพลังงานกระตุ้น (activation energy) รวมทั้งยังมีการใช้พลังงานความร้อนในการผันกลับของปฏิกิริยาดังนี้ การดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ ได้แก่ ส่วนประกอบของพื้นผิวของของแข็ง ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย พีเอช และอุณหภูมิของสารละลาย (Allard et al., 1987)

นอกจากนี้ยังมีการกล่าวถึงการดูดซับอีกประเภทหนึ่ง คือการดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (exchange adsorption) ซึ่งใช้ในการอธิบายถึงการดูดซับที่บอกลักษณะด้วยการดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างสารดูดซับกับบริเวณผิวหน้าของสารดูดซับ โดยที่การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) ก็ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของการดูดซับประเภทนี้เช่นกัน กล่าวคือ ไอออนของสารดูดซับซึ่งมีอยู่เป็น

จำนวนมากบริเวณผิวหน้าเป็นผลมาจากการดึงดูดทางศักย์ไฟฟ้า (electrostatic attraction) ซึ่งดึงดูดไอออนสู่บริเวณที่มีประจุแบบตรงกันข้ามที่อยู่บนผิวหน้าของสารดูดซับ รวมทั้งไอออนของสารดูดซับที่มีอยู่ในสารละลายจะเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีประจุแบบเดียวกันซึ่งปะติดอยู่กับสารดูดซับ โดยทั่วไปนั้นไอออนที่มีประจุมากกว่า เช่น ไอออนแบบไตรวาเลนต์ (trivalent ions) จะถูกดึงดูดบริเวณที่มีประจุแบบตรงกันข้ามได้แรงกว่าไอออนที่มีประจุน้อยกว่า เช่น ไอออนแบบโมนวาเลนต์ (monovalent ions) การแลกเปลี่ยนไอออนเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ผันกลับได้ นอกจากนี้ไอออนที่มีขนาดเล็กกว่าจะถูกดึงดูดได้แรงกว่าไอออนที่มีขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะมีความแตกต่างกันระหว่างการดูดซับทั้ง 3 ประเภทที่กล่าวมา แต่ก็ยังเป็นการยากที่จะตัดสินใจว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นบนสารดูดซับใดๆ จะมีการดูดซับแบบใดแบบหนึ่งที่กำลังกล่าว มาเกิดขึ้นเพียงแบบเดียวบนสารดูดซับนั้น (Sawyer et al., 1994)

### 2.3.4 ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

การดูดซับทางกายภาพไม่ได้รวมถึงการถ่ายเทหรือการใช้อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกันและมักจะเกิดพันธะหรือการสัมผัสกันเฉพาะตัว (Individuality of interacting species) จึงทำให้การผันกลับ (Reversible interaction) และในการขจัดหรือทำให้ตัวถูกดูดซับหลุดออกจากพื้นผิวตัวดูดซับที่เรียกว่า การคายสาร (Desorption) นั้นสามารถที่จะย้อนกลับในสภาวะอุณหภูมิเดียวกันได้ ถึงแม้ว่ากระบวนการนั้นจะเกิดอย่างช้า ๆ เนื่องจากอิทธิพลของการแพร่ก็ตาม (Diffusion effects) แต่การดูดซับทางเคมี รวมถึงการเกิดพันธะทางเคมีจะไม่สามารถผันกลับได้

การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดได้ทั่ว ๆ บนพื้นผิวของตัวดูดซับนั้น คือ ไม่มีบริเวณจำเพาะในการเกิดกระบวนการดูดซับ (site specific) และภายใต้สภาวะความดัน อุณหภูมิที่เหมาะสมจะเกิดการดูดซับหลายชั้นได้ ในทางตรงข้ามการดูดซับทางเคมีจะเกิดเฉพาะส่วน โมเลกุลที่ถูกดูดซับอย่างพอเหมาะ ในพื้นที่ที่เหมาะสมเท่านั้น และจะเกิดการดูดซับชั้นเดียวเสมอ

แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับทางกายภาพส่วนใหญ่เป็นแรง แวนเดอร์วาลส์ความร้อนที่จะได้น้อยกว่าการดูดซับทางเคมีซึ่งเกิดจากพันธะเคมี อย่างไรก็ตามความร้อนนี้มักไม่ใช่เป็นข้อเปรียบเทียบความแตกต่างเท่าไรนัก โดยทั่วไปค่าสูงสุดของค่าความร้อน (upper limit) ของตัวดูดซับมีค่ามากกว่า 20 kcal/mol ขึ้นไป ส่วนค่าความร้อนของการดูดซับทางเคมีมีช่วงต่ำกว่า 20 kcal/mol ถึงมากกว่า 100 kcal/mol ดังนั้นจะเห็นว่า ถ้าใช้ค่าความร้อนบอกลักษณะแตกต่างของทั้งสองกระบวนการแล้ว ต้องใช้ค่าความร้อนที่มีค่าสูงหรือต่ำเท่านั้นจึงจะใช้ได้

### 2.3.5 สรุปข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี

- 1) การดูดซับทางกายภาพไม่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนหรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน
- 2) การดูดซับทางกายภาพจะไม่จำกัดเกี่ยวกับบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา โมเลกุลที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปเกาะยังพื้นที่ผิวส่วนใดก็ได้ แต่การดูดซับทางเคมีจะเลือกเฉพาะบริเวณที่สามารถเกิดพันธะเคมีได้เท่านั้น
- 3) ค่าความร้อนของการดูดซับทางกายภาพจะมีค่าต่ำ โดยมีค่าเท่ากับความร้อนของการกลายเป็นของเหลว ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการดูดซับทางเคมีที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น
- 4) การดูดซับทางกายภาพจะเกี่ยวข้องกับการเกิดของชั้นหลายโมเลกุล (multimolecular layers) ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นสมบูรณ์ เมื่อมีการเกิดชั้นที่หนึ่งแล้ว ซึ่งบางครั้งการดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวชั้นบนของการดูดซับทางเคมีก็ได้
- 5) การดูดซับทางกายภาพจะเกิดขึ้นอย่างทันที เป็นการแพร่เข้าไปในรูพรุนของสารดูดซับ ซึ่งต้องใช้เวลาพอสมควร ส่วนการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างทันทีเช่นกัน แต่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้นด้วย (ปิยะพร, 2542)

### 2.3.6 วัฏภาคตัวถูกดูดซับ (Adsorbate phase)

ลักษณะอย่างหนึ่งของอนุภาคตัวถูกดูดซับ คือ ความสามารถในการเคลื่อนที่ (mobility) ของตัวถูกดูดซับ ลักษณะและความสามารถในการเคลื่อนที่จะแปรเปลี่ยนอยู่ระหว่างลักษณะที่มีสภาวะคล้ายกับของเหลวกับลักษณะที่มีสภาวะคล้ายกับของแข็ง ซึ่งสามารถแยกประเภทของวัฏภาคตัวถูกดูดซับได้เป็น 2 ประเภท คือ วัฏภาคเคลื่อนที่ (mobile phase หรือ nonlocalized phase) และวัฏภาคไม่เคลื่อนที่ (immobile phase หรือ localized phase) ภายในวัฏภาคเคลื่อนที่ ตัวถูกดูดซับจะประพฤติตัวคล้ายกับของเหลวและโมเลกุลของมันสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ แต่ความสามารถในการเคลื่อนที่นี้ จะถูกจำกัดโดยแรงดึงดูดของแข็งที่มีต่อโมเลกุลที่ถูกดูดซับอันเนื่องมาจากอิทธิพลของสนามศักย์ภาพ (potential field) ของพื้นผิวของแข็ง โดยทั่วไปแล้วการดูดซับทางฟิสิกส์จะเกิดวัฏภาคประเภทนี้ สำหรับกรณีของวัฏภาคไม่เคลื่อนที่ อนุภาคตัวถูกดูดซับ

จะติดแน่นกับที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ แต่ว่าโมเลกุลยังคงมีการสั่นไหว (vibration) อยู่ วัฏภาคประเภทหลังนี้เกิดขึ้นเสมอสำหรับการดูดซับทางเคมี ส่วนในการดูดซับทางฟิสิกส์นั้นจะเกิดวัฏภาคประเภทนี้ได้ก็ต่อเมื่อสนามศักย์ภาพมีความแข็งแรงมากพอเท่านั้น

### 2.3.7 แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ (Adsorption force)

สำหรับการดูดซับทางกายภาพแล้ว โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเกาะบนผิวพื้นของของแข็งได้ก็ด้วยผลของแรงชนิดต่าง ๆ ซึ่งแบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ

1) แรงแพร่กระจาย (Dispersion force) เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เกิดจากการกระจายตัวของอิเล็กตรอนบริเวณต่าง ๆ ภายในอะตอมขณะใดขณะหนึ่งไม่เท่ากัน ทำให้อะตอมหรือโมเลกุลมีขั้วชั่วขณะหนึ่ง เกิดไดโพล (dipole) ขึ้น สามารถเหนี่ยวนำให้โมเลกุลข้างเคียงเกิดมีไดโพลตรอน เป็นผลให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล

2) แรงผลักระยะสั้น (Short-range repulsive force) เป็นแรงผลักรังที่เกิดจากอะตอมหรือโมเลกุลทั้งสองอยู่ใกล้ชิดกันมาก ระยะของแรงผลักรังจะมีอยู่ระยะหนึ่งเมื่อพ้นระยะดังกล่าวจะไม่เกิดแรงผลักรัง อะตอมหรือโมเลกุลสามารถเกิดแรงดึงดูดกันได้ แรงผลักระยะสั้นมีการซ้อนทับกันของหมอกอิเล็กตรอน (Electron clouds) แรงชนิดนี้จะมีผลต่อการดูดซับเมื่อปริมาณก๊าซที่ถูกดูดซับมีค่าสูงเพราะที่สภาวะเช่นนี้โมเลกุลก๊าซจะอยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้น

3) แรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) เป็นแรงที่มีผลจากการที่อะตอมของแข็งเป็นอะตอมที่มีไอออน หรืออะตอมมีขั้ว ซึ่งสามารถเหนี่ยวนำให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกิดไดโพลได้ นอกจากนั้นยังเป็นผลจากการที่โมเลกุลเองมีไดโพลถาวร (Permanent dipole) แรงเหล่านี้จะทำให้เกิดการดูดซับดียิ่งขึ้น

แรงเหล่านี้ต่างก็มีผลต่อการดูดซับ แรงประเภท 1 และ 2 จะเกิดขึ้นเสมอในการดูดซับ ในการคำนวณค่าของแรงแต่ละประเภทรังนั้นทำไม่ได้ เนื่องจากพื้นผิวของแข็งมีโครงสร้างที่ซับซ้อน ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้เพียงลักษณะเท่านั้น

### 2.3.8 อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุล (Rate of molecular transfer)

อัตราการเคลื่อนย้ายโมเลกุลมีความสำคัญต่อการดูดซับ ขั้นตอนในการดูดซับที่ผิวของสารดูดซับที่มีรูพรุน มี 3 ขั้นตอน คือ

1) การขนส่งทั้งก้อน (Bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลว จะถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบาง ๆ ที่หุ้มอยู่ที่ผิวของสารดูดซับ

2) การขนส่งชั้นฟิล์ม (Film transport) เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบาง ๆ แทรกตัวเข้าสู่ที่ผิวหน้าของสารดูดซับ การขนส่งชั้นฟิล์มเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม (Film diffusion) จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับที่ผิวชั้นตอนหนึ่ง

3) การขนส่งภายในอนุภาค (Intraparticle transport) เป็นการแพร่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายที่อยู่ที่ผิวหน้าของสารดูดซับเข้าสู่รูพรุนของสารดูดซับ (Pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับภายใน ซึ่งขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำกัดอัตราการดูดซับเช่นกัน

### 2.3.9 จลนพลศาสตร์ของการดูดซับ (Kinetic adsorption)

ลักษณะของการดูดซับหรือการส่งถ่ายมวลสารที่อยู่ภายในสารละลายไปยังพื้นที่ผิวของของแข็งซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้กำจัดสารปนเปื้อนมี 3 ขั้นตอนสำคัญ คือ

1) การถ่ายโอนมวลสารของสารที่ถูกดูดซับจากวัฏภาคของเหลวหรือแก๊สเข้าสู่บริเวณรอบนอกที่ใกล้กับพื้นผิวของสารดูดซับหรือที่ทางเข้ารูพรุนของสารดูดซับ

2) การแพร่กระจายของมวลสารที่ถูกดูดซับจากรอบนอกที่ใกล้กับพื้นผิวของสารดูดซับเข้าสู่ผิวภายในรูพรุนของสารดูดซับ

3) การดูดซับ คือการที่โมเลกุลที่อยู่ภายในรูพรุนถูกดูดซับจากสารละลายไปแปะติดอยู่ที่วัฏภาคของแข็ง ซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับ 2 ขั้นตอนที่ผ่านมา คาดว่าภาวะสมดุลเกิดขึ้นระหว่างวัฏภาคทั้งสองนี้

### 2.3.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

#### 1) ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และ อัตราการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดตัวดูดซับ โดยกลไกของการดูดซับภายนอกของตัวดูดซับที่ไม่มีโพรงนั้น อัตราการดูดซับจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวดูดซับ สำหรับตัวดูดซับที่มีโพรง อัตราการของการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ผิวภายในโพรงถูกควบคุมโดยความต้านทานภายนอกที่เรียกว่า film transport ดังนั้น อัตราการดูดซับจะมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าการเคลื่อนที่ภายในเป็นตัวควบคุมอัตราการดูดซับเคลื่อนย้ายของมวลภายนอก จะประมาณได้ว่าคงที่สำหรับขนาดอนุภาคคาร์บอนที่อยู่ในช่วง 300–900 (50/70) ขนาดตะแกรงมาตรฐาน ถึง 20/25 ขนาดตะแกรงมาตรฐาน) และจะลดลงเมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (Mathews and Zayas, 1989)

#### 2) ลักษณะของตัวดูดซับ

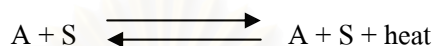
ความสามารถในการละลายน้ำของตัวดูดซับเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดซับ การดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวดูดซับในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดซับตัวดูดซับจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลาย ซึ่งในที่นี้คือ น้ำ โดยตัวดูดซับที่ละลายน้ำได้ดี หรือแตกตัวเป็นไอออนได้ดีจะมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูง จึงเป็นการยากในการดูดซับ ดังนั้นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยจะสามารถดูดซับได้ดี นอกจากความสามารถในการละลายแล้ว ขนาดโมเลกุลของตัวดูดซับยังมีความสัมพันธ์กับการดูดซับ ซึ่งถ้าอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงเป็นอัตราที่ควบคุมกลไกแล้ว ความสามารถในการดูดซับจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวดูดซับ

#### 3) พีเอช (pH)

พีเอชมีอิทธิพลต่อการดูดซับ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนสามารถถูกดูดซับอย่างค่อนข้างแข็งแรง การดูดซับไอออนอื่นๆ จึงมีผลกระทบมาจากพีเอชของสารละลาย นอกจากนี้ พีเอชยังมีผลต่อการแตกตัวของไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆอีกด้วย

#### 4) อุณหภูมิ

การดูดซับโดยทั่วไปเป็นกระบวนการคายความร้อน (exothermal) ดังนั้นความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง แต่อัตราเร็วในการดูดซับจะสูงขึ้น แสดงดังสมการ



ที่ซึ่ง A คือสารถูกดูดซับ และ S คือพื้นที่ผิว เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยา นอกจากนี้ อุณหภูมิ จะมีผลต่อความสามารถในการดูดซับ โดยเปลี่ยนความสามารถในการละลาย เช่น เมื่ออุณหภูมิซึ่งโดยปกติจะทำให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้น มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับลดลง

#### 5) ความปั่นป่วน

อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ การแพร่ภายนอกและการแพร่ภายใน ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถังน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลเข้าไปหาตัวดูดซับ ดังนั้นการแพร่ภายนอกจึงเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าความปั่นป่วนสูงจะเกิดฟิล์มบางๆ ทำให้การแพร่ภายในเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

#### 6) เวลาสัมผัส

เวลาสัมผัสเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ และอายุการใช้งานของถังดูดติดผิว มีการพบว่าเวลาสัมผัสของถังเปล่าของสารดูดซับ และความเข้มข้นของน้ำเข้าของสารชีวมีคเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งมีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของชั้นคาร์บอน โดยถ้าเวลาสัมผัสถังเปล่าเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของน้ำลดลงแล้ว อายุการใช้งานของถังคาร์บอนจะนานขึ้น เวลาสัมผัสใช้ในการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสียขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น พื้นที่ผิวในการดูดซับ ลักษณะของโพรง ชนิดและขนาดโมเลกุลของตัวดูดซับในสารละลายและชนิดของคาร์บอน

### 2.3.11 ไอโซเทอร์มการดูดติดผิว

สมการเอมพิริคัลทางคณิตศาสตร์จำนวนมากซึ่งเรียกว่าไอโซเทอร์ม ถูกพัฒนาเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ดูดติดผิว (sorption) ไอโซเทอร์ม เป็นการพล็อตขนาดการดูดติดผิว เมื่อความเข้มข้นสารถูกดูดซับ (sorbate) เพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอร์มทำให้ได้กราฟของวัตถุที่ถูกดูดซับ (mass of sorbate/mass of sorbent) ในฟังก์ชันของความเข้มข้นที่สมดุลของสารถูกดูดซับ รูปแบบของไอโซเทอร์มที่เหมาะสมกับแต่ละระบบขึ้นอยู่กับชนิดของสารถูกดูดซับ (sorbate) และสารดูดซับ (sorbent) อาจจะมีไอโซเทอร์มหลายลักษณะที่สามารถอธิบายถึงระบบนั้นๆ ได้มีการใช้ไอโซเทอร์มการดูดติดผิวมาเป็นเวลานานเพื่อศึกษาปรากฏการณ์การดูดติดผิวหลายรูปแบบ มีการค้นคว้าถึงแบบจำลองสำหรับการดูดติดผิวทางกายภาพ บางส่วนเพิ่มสมการที่เหมาะสมสำหรับการดูดติดผิวทางเคมีด้วย (Shuman, 1975) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการดูดติดผิวที่พบเห็นโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ แลงมัวร์ และฟรุนดลิชไอโซเทอร์ม (Langmuir และ Freundlich isotherms)

#### 1) แบบจำลองแลงมัวร์ (Langmuir model)

แบบจำลองแลงมัวร์ขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่ว่า ที่ผิวของของแข็งมีสารถูกดูดซับสะสมอยู่เพียงชั้นเดียว กราฟของไอโซเทอร์มแบบแลงมัวร์ จากกราฟที่เฟสของเหลว (liquid phase) เมื่อความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ (sorbate) เพิ่มขึ้น แสดงว่าผงของสารดูดซับ (sorbent) ถูกปกคลุมด้วย สารดูดซับในสัดส่วนที่มากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารในเฟสของสารละลาย (solution phase) สูงขึ้น สารดูดซับจะอิ่มตัวอย่างสมบูรณ์ จุดที่ความเข้มข้นสูงกว่านี้จะไม่เกิดการดูดซับสารใดๆ ดังนั้นจะไม่มีการดูดซับเกิดขึ้นอีก สมการที่ใช้อธิบายระบบของแลงมัวร์คือ

$$X = \frac{X_m b C_e}{1 + b C_e}$$

โดยที่

$X$  = ปริมาณของตัวถูกละลายต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับที่ใช้ในการสร้างแผ่นชั้นเดียว (Monolayer) มีหน่วยเป็น mg/g หรือ mol/g

$C_e$  = ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุล มีหน่วยเป็น mg/l หรือ mol/l

$b$  = ค่าคงที่ของพลังงานในการดูดซับ

## 2) แบบจำลองของฟรอนด์ลิช (Freundlich model)

ลักษณะของไอโซเทอร์มแบบนี้คือ การดูดซับจะยังดำเนินต่อไปเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับ ไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรอนด์ลิช เขียนได้ดังนี้

$$x/m = KC_e^{1/n} \quad \text{หรือ} \quad q = K_F C_e^{1/n}$$

โดยที่

$$q = \frac{(C_0V - C_eV)}{m}$$

โดยที่

$X$  = จำนวนของตัวถูกละลายที่ดูดติดผิว หน่วยเป็น mg/l หรือ mol/l

$K, 1/n$  = สัมประสิทธิ์การดูดซับของฟรอนด์ลิช หรือค่าคงที่ของระบบ

$q$  = ค่าปริมาณการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$m$  = น้ำหนักของตัวดูดซับ (กรัม)

$C_0$  = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$C_e$  = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$V$  = ปริมาตรของสารละลาย (มิลลิลิตร)

จากไอโซเทอร์มฟรอนด์ลิชจะเห็นได้ว่ามวลของสารที่ถูกดูดซับเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นเฟสของน้ำ (aqueous phase) จากสมการข้างต้น สามารถเขียนในรูป ลอการิทึม ได้ดังนี้

$$\text{Log } q = \log K_F + 1/n \log C_e$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $\log q$  กับ  $\log C_e$  จะได้เส้นตรง ซึ่งมีความชัน  $1/n$  และจุดตัดแกน  $y$  เท่ากับ  $\log K_F$  สำหรับค่า  $1/n$  ที่เกือบจะเท่ากับ 1 แสดงถึงความจุของการดูดซับที่ดี

## 2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดินเบาเป็นหินตะกอนที่ทับถมกันของไคอะตอม มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ซิลิกา (Si-OH) สามารถดูดซับโมเลกุลที่มีขั้วได้ (Gouti และคณะ, 2003) ได้มีการศึกษาการดูดซับด้วยดินเบาโดยมีการปรับปรุงคุณภาพของดินเบาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการเผา (ชัยศรี ชัยวุฒิ, 2544)

ชฎาภรณ์ บุญแท้ (2545) ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับ แคลเซียม โครเมียม (ประจุ+3) และอาร์เซนิก จากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยดินเบา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก ปริมาณดินเบา ค่าพีเอชของสารละลายและช่วงเวลาสัมผัส มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับแคลเซียมคือ ความเข้มข้นของแคลเซียมเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาปริมาณ 2.0 กรัม ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 5 และช่วงเวลาสัมผัส 10 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 99.92% สำหรับการดูดซับโครเมียมสภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของโครเมียม เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาปริมาณ 1.0 กรัม ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4 และช่วงเวลาสัมผัส 10 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 98.82% จากการศึกษาพบว่าดินเบาไม่เหมาะสม ที่จะใช้ในการ ดูดซับอาร์เซนิกในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา แต่สามารถดูดซับได้ดีเมื่อนำดินเบาไปเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมงมาใช้ในการดูดซับ พบว่าสามารถใช้กำจัดอาร์เซนิกได้ดี โดยสภาวะที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของอาร์เซนิก เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาเผาปริมาณ 1.0 กรัมกับค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4 และช่วงเวลาสัมผัสเท่ากับ 6 ชั่วโมง ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงถึง 99.96%

พรเพ็ญ มีทองมูล (2545) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาเคลือบแมงกานีสออกไซด์ในการดูดซับ อาร์เซนิก แคลเซียม และตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ผลการศึกษา พบว่าความเข้มข้นของอาร์เซนิก เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาปริมาณ 0.1 กรัม ค่าพีเอช

ของสารละลายเท่ากับ 7 และช่วงเวลาสัมผัส 12 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 35.19% สำหรับการดูดซับแคดเมียม สภาพที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของแคดเมียม เท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาปริมาณ 0.1 กรัม ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 5 และช่วงเวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 91.67 % สำหรับการดูดซับตะกั่ว สภาพที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของตะกั่ว เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ดินเบาปริมาณ 0.1 กรัม ค่าพีเอชของสารละลายเท่ากับ 4 และช่วงเวลาสัมผัส 45 นาทีโดยประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่า 99 %

Srimurali, Pragathi และKarthikeyan (1998) ได้ศึกษาเรื่องการนำ kaolinite, bentonite, charfines, lignite และnirmali seed มาใช้ในการดูดซับฟลูออไรด์ในน้ำดื่ม โดยเลือกมาทำการศึกษาแบบ batch adsorption ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ เวลาที่สัมผัส พีเอช ปริมาณและขนาดของตัวดูดซับ ผลการศึกษาได้ว่า nirmali seed และlignite ไม่มีประสิทธิภาพพอในการกำจัดฟลูออไรด์ คือ กำจัดฟลูออไรด์ได้เพียง 6 เปอร์เซ็นต์ และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ดิน kaolinite มีประสิทธิภาพถึง 18.2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ charfines และ bentonite มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดคือ 38 เปอร์เซ็นต์และ 46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ศุภวรรณ เกตุคุ้ม (2545) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาในการดูดซับไซยาไนด์ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่า ปริมาณดินเบา พีเอช เวลาสัมผัสและความเข้มข้นของไซยาไนด์ไอออน มีผลต่อความสามารถในการดูดซับไซยาไนด์ไอออนด้วยดินเบาโดยภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาดูดซับไซยาไนด์ไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ใช้ปริมาณดินเบา 1 กรัม พีเอช 9 ในเวลา 9 ชั่วโมง เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ไอออนคือ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไซยาไนด์ไอออนของดินเบาถึง 90-95%

Aytas และคณะ (1999) ศึกษาการกำจัดยูเรเนียมในสารละลายด้วยไดอะตอมไมต์ซึ่งมีคุณสมบัติในการเป็นตัวดูดซับที่ดี โดยใช้การศึกษาแบบโครมาโทกราฟี การศึกษาใช้ตัวแปรในการทดลอง 4 ด้าน คือ ความเข้มข้นของสารละลายยูเรเนียม pH เวลาที่สัมผัส และอุณหภูมิ และใช้ Langmuir isotherm ศึกษาคุณสมบัติการดูดซับ

Agdi และคณะ (2000) ศึกษาการกำจัดสาร Atrazine และ Chlorpyriphous จากสารละลายโดยการดูดซับโดยดินเบา พารามิเตอร์ในการศึกษา คือ ปริมาณดินเบา พีเอช เวลาในการสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้นของสาร และ อุณหภูมิ ผลการศึกษาพบว่า ดินเบาเป็นตัวดูดซับที่ดีมากสำหรับ Atrazine และ Chlorpyriphous พีเอชมีอิทธิพลต่อการดูดซับคือ ค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นทำให้การดูดซับลดลง สำหรับเวลาในการสัมผัสจะเป็นอิสระต่อการดูดซับ เวลาสัมผัสมากการดูดซับ

จะเกิดมาก ปริมาณดินเบาที่ 20 กรัม ให้ค่าการดูดซับสูงสุด ผลของความเข้มข้นของสารเริ่มต้นทั้งสองชนิดพบว่า Atrazine และ Chlorpyrifos ที่ 25 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เป็นจุดที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุด และอุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับ

Kei Mizuta และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาการกำจัดไนเตรทในน้ำดื่มโดยใช้ผงถ่านที่ทำจากไม้ไผ่ พบว่าผงถ่านจะมีการดูดซับได้ดีเมื่อผ่านการเผา ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยสถานะที่ดูดซับสารละลายไนเตรทได้ดี คือที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของไนเตรทคือ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

Ozturk และ Bektas (2004) ศึกษาการดูดซับไนเตรทด้วยดิน Sepiolite ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกา โดยเปรียบเทียบระหว่างดิน Sepiolite ดิบ และดิน Sepiolite ที่ผ่านการเตรียมกับกรดไฮโดรคลอริก โดยทำการดูดซับไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากสารละลายโซเดียมไนเตรท 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าดิน Sepiolite ที่ผ่านการเตรียมกับกรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพในการดูดซับดีกว่าดิน Sepiolite ดิบ โดยภาวะที่เหมาะสมคือ ใช้เวลาที่สัมผัส 5 นาที พีเอชคือ 2 และใช้ปริมาณ Sepiolite 20 กรัมต่อลิตรของสารละลาย การเพิ่มขึ้นของปริมาณตัวดูดซับมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรทเพิ่มขึ้นด้วย

Yong H. Huang และ Tian C. Zhang (2004) ได้ศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับไนเตรทโดยผงเหล็ก พบว่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับไนเตรทคือที่พีเอชเท่ากับ 2

## บทที่ 3

### ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

- 3.1.1 เตรียมดินเบาโดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C
- 3.1.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ดินเบาเผาดูดซับไนไตรท์และไนเตรทออกจากน้ำเสียสังเคราะห์
- 3.1.3 ศึกษาประสิทธิภาพของดินเบาเผาที่อุณหภูมิที่ทำให้การดูดซับไนไตรท์และไนเตรทดีที่สุด
- 3.1.4 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเบาเผาที่อุณหภูมิที่ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์และไนเตรทดีที่สุด
- 3.1.5 ศึกษาการชะละลายไนไตรท์และไนเตรทของดินเบาเผาที่ผ่านการดูดซับแล้ว

#### 3.2 วัสดุดิบและสารเคมี

##### 3.2.1 ดินเบา

มีลักษณะเป็นผงค่อนข้างละเอียดสีเหลืองอ่อน

##### 3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 1) Potassium permanganate (Univar, AR grade)
- 2) NaAsO<sub>2</sub> (Unilab, AR grade)
- 3) Brucine sulfate (Carlo Erba, AR grade)
- 4) Sulfanilic acid (Univar, AR grade)
- 5) Sulfanilamide (Univar, AR grade)
- 6) N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride (Carlo Erba, AR grade)
- 7) Sodium nitrite (Univar, AR grade)
- 8) Sodium oxalate (Univar, AR grade)
- 9) Sodium hydroxide (Merck, AR grade)
- 10) Sulfuric acid (Merck, AR grade)

11) Sodium chloride ( Mallinckrodt, AR grade)

12) Hydrochloric acid (Merck, AR grade)

### 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย

ลำดับ	อุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย	ยี่ห้อ:รุ่น
1	เครื่องชั่งไฟฟ้าละเอียด	Mettler : AB204-S
2	เครื่องเขย่า (shaker)	GFL3015
3	pH meter	ORION : 920A
4	เครื่อง Scanning electron microscope	JEOL : JSM – 5410 LV
5	เครื่อง BET (Surface area and pore-size distribution)	ASAP 200
6	กระดาษกรองเบอร์ 42	Whatman
7	Spectrophotometer	(HACH DR4000)
8	เคซิเคเตอร์	
9	เครื่องอ่างไอน้ำ (Water bath)	(Yamoto BS – 48)
10	เครื่อง X-ray fluorescence (XRF)	Philips : PW 2400
11	อุปกรณ์เครื่องแก้วทั่วไป	

### 3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.4.1 การเตรียมดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C

ทำการปรับปรุงคุณภาพดินเบาโดยการนำดินเบามาบดอย่างหยาบแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 mesh จากนั้นนำดินเบาไปเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C โดยใช้เครื่อง Furnace เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำไปเก็บในเคซิเคเตอร์ แล้วนำไปใช้ในการทดลองช่วงต่อไป

### 3.4.2 การหาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับไนโตรเจนโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C

การดำเนินการวิจัยนี้ได้เลือกค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	พารามิเตอร์ต่าง ๆ	ช่วงที่ทำการศึกษา
1	ความเข้มข้นของสารละลายไนโตรเจน	10, 15, 20, 30, 40 และ 50 mg/l
2	พีเอช (pH)	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10
3	เวลาสัมผัส	2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง
4	ปริมาณดินเบาเผา	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม

#### 3.4.2.1 การศึกษาผลความเข้มข้นของสารละลายไนโตรเจนที่เหมาะสมในการดูดซับโดยใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไนโตรเจนความเข้มข้น 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เติมดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม ปรับพีเอชให้เท่ากับ 7 (ใช้ 1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> และ 1N NaOH) นำขวดไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองสารละลายตัวอย่างที่มีดินเบาเผาออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ไนโตรเจนโดยวิธี NED เลือกความเข้มข้นของสารละลายไนโตรเจนที่ดินเบาเผาดูดซับได้ดีที่สุด

#### 3.4.2.2 ศึกษาผลของพีเอชของสารละลายไนโตรเจนที่เหมาะสมในการดูดซับโดยใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C

นำน้ำเสียสังเคราะห์ไนโตรเจนปริมาตร 50 มิลลิลิตร ความเข้มข้นเท่ากับค่าความเข้มข้นที่ได้ จากข้อ 3.4.2.1 นำมาเติมดินเบาปริมาณ 1.0 กรัม ปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 (ใช้ 1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> และ 1N NaOH) จากนั้นนำไปเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองสารละลายตัวอย่างที่มีดินเบาเผาออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารละลายไปวิเคราะห์หาไนโตรเจนโดยวิธี NED เลือกค่าพีเอชที่ดินเบาเผาดูดซับได้ดีที่สุด

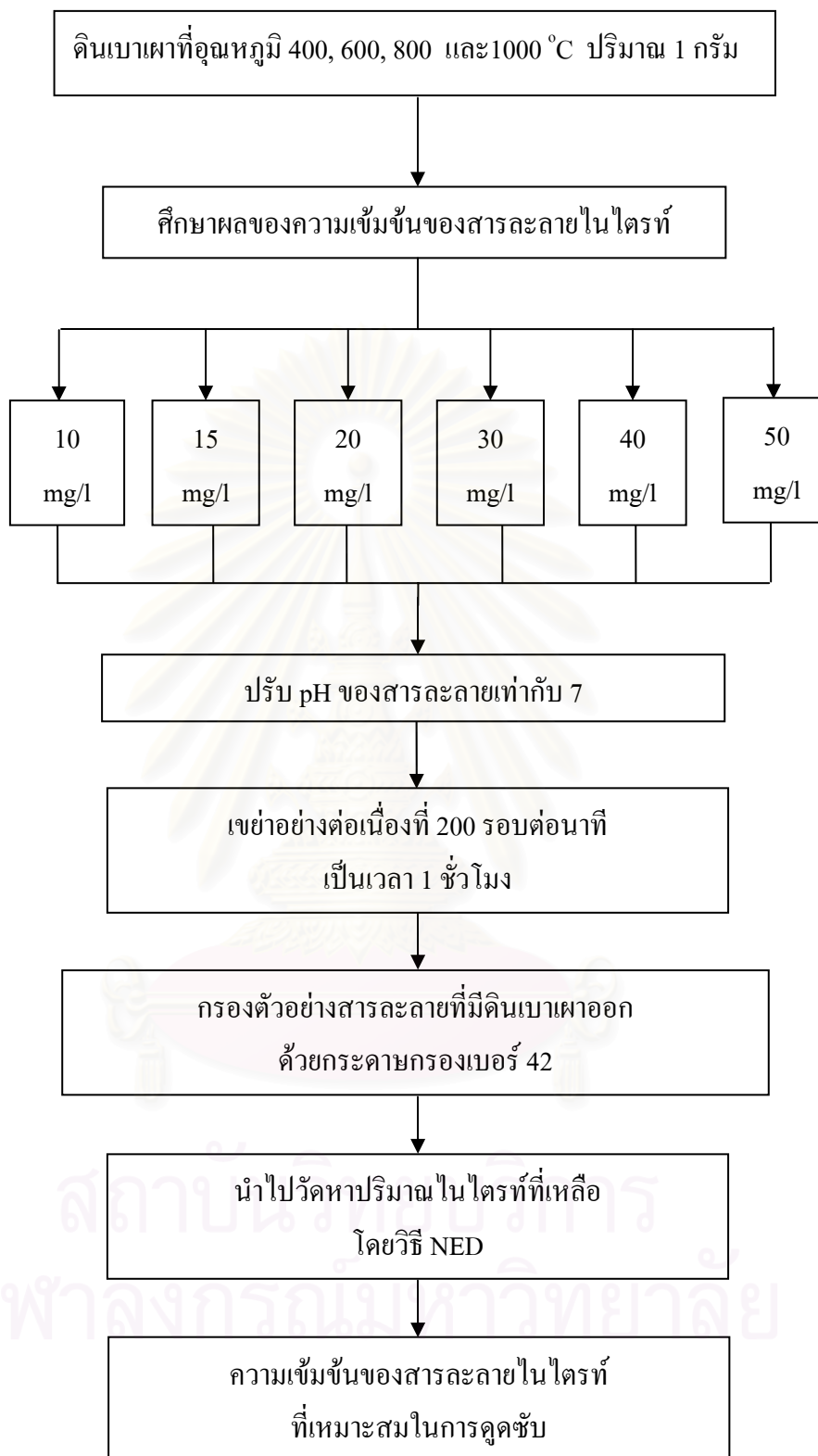
### 3.4.2.3 ศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับไนไตรท์โดยใช้ ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C

นำน้ำเสียสังเคราะห์ไนไตรท์ความเข้มข้นเท่ากับค่าความเข้มข้นที่ได้จากข้อ 3.4.2.1 มาปรับค่าพีเอชให้เท่ากับค่าพีเอชที่เกิดการดูดซับดีที่สุดจากผลการทดลองในข้อ 3.4.2.3 เติมดินเบาปริมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง กรองสารละลายตัวอย่างที่มีดินเบาเผาออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาไนไตรท์ เลือกเวลาสัมผัสของสารละลายไนไตรท์ที่ดินเบาเผาดูดซับได้ดีที่สุด

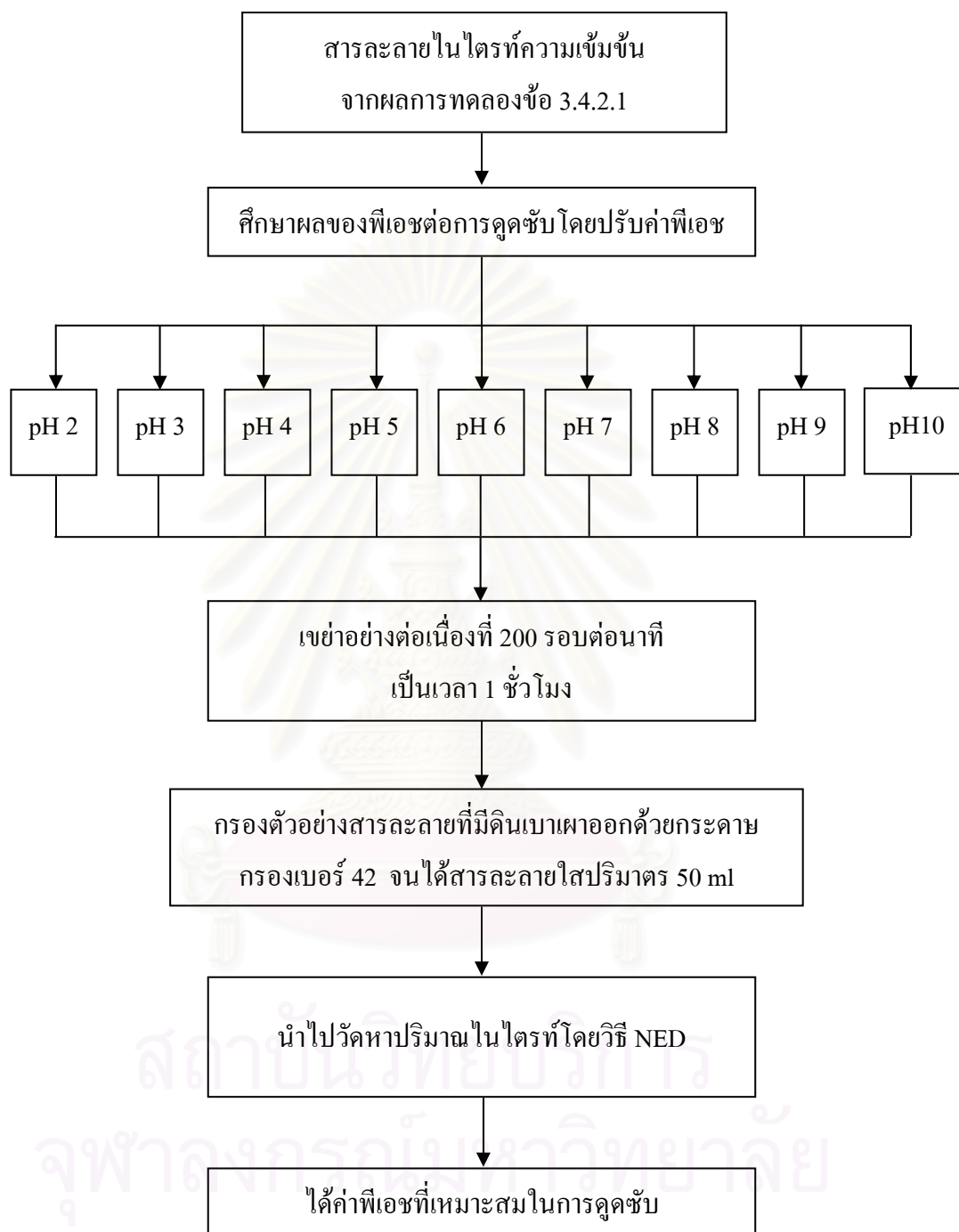
### 3.4.2.4 ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณดินเบาเผากับสถานะที่เหมาะสมในการ ดูดซับไนไตรท์โดยใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C

นำน้ำเสียสังเคราะห์ไนไตรท์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ทราบความเข้มข้นจากข้อ 3.4.2.1 ค่าพีเอชจากข้อ 3.4.2.2 และ เวลาสัมผัสที่ดินเบาเผาดูดซับดีที่สุดจากข้อ 3.4.2.3 เติมดินเบาเผาปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม จากนั้นนำไปเขย่าที่ 200 รอบต่อนาที กรองสารละลายตัวอย่างที่มีดินเบาเผาออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาไนไตรท์ที่เหลืออยู่ นำค่าที่ได้ไปศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิชและแลงมัวร์

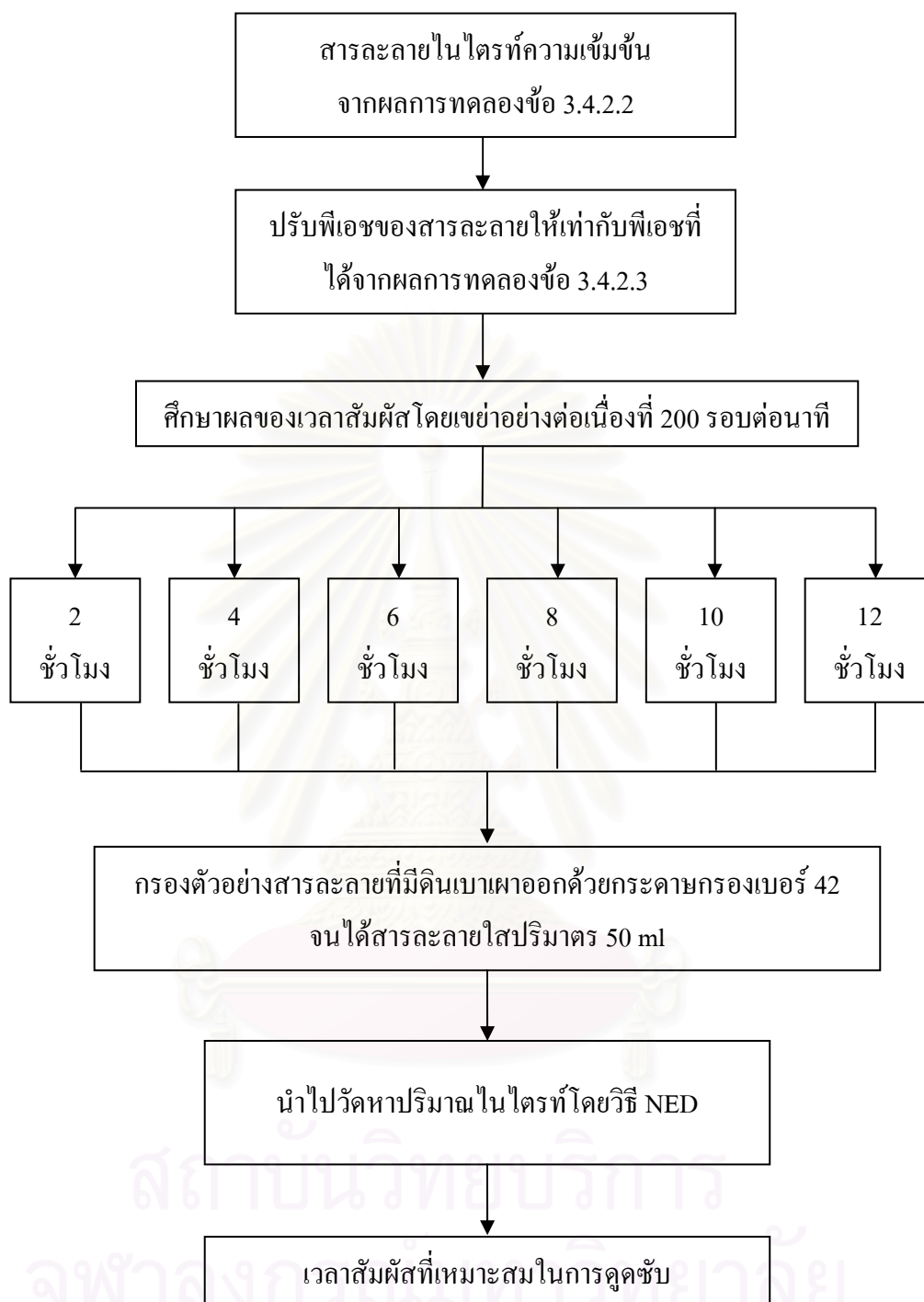
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



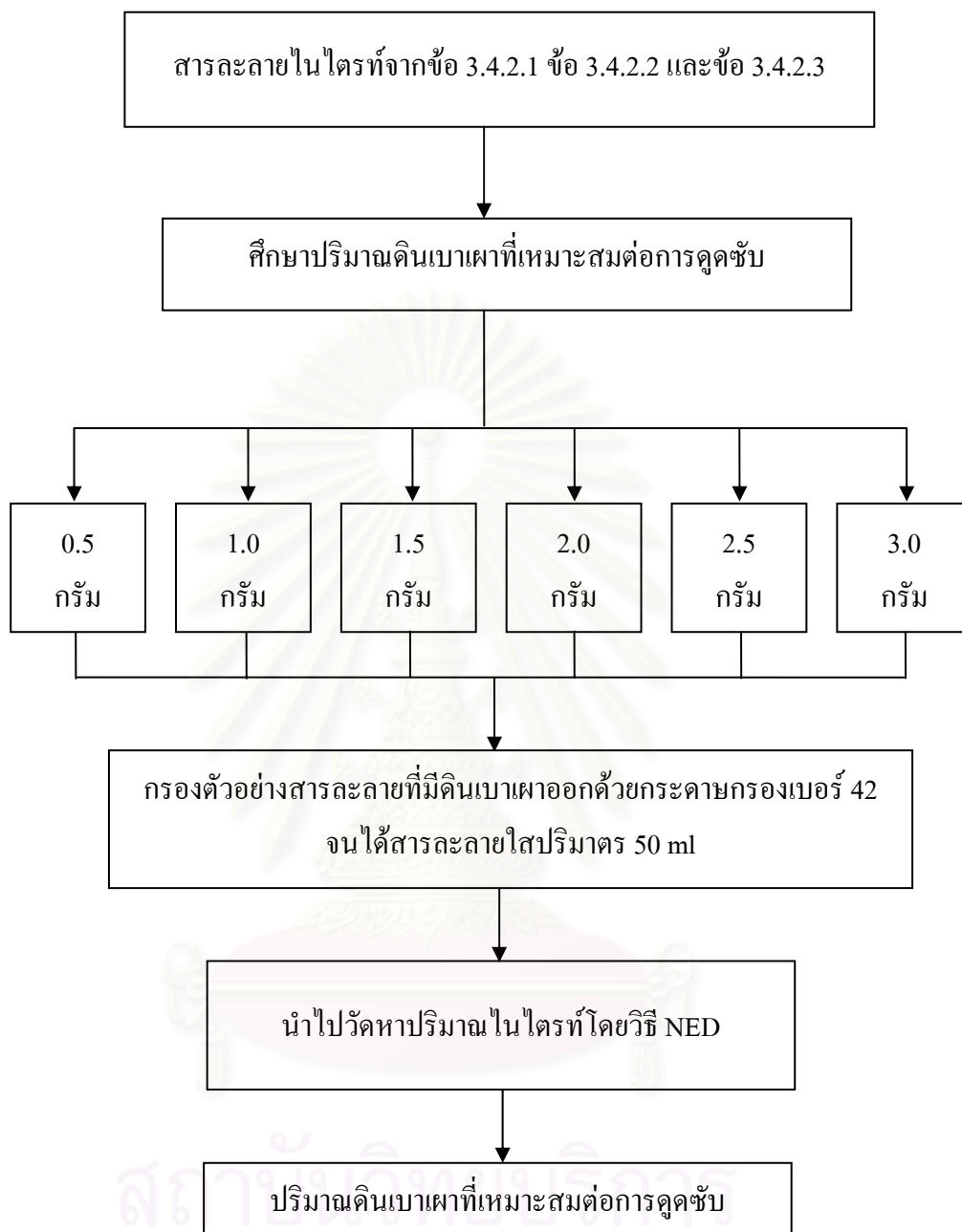
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายไนไตรท์ที่มีต่อการดูดซับ โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบา  
ที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษาผลของปริมาณดินเบาเผาที่มีต่อการดูดซับไนไตรท์ โดยใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C

### 3.4.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C

การดำเนินการวิจัยนี้ได้เลือกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	พารามิเตอร์ต่าง ๆ	ช่วงที่ทำการศึกษา
1	ความเข้มข้นของสารละลายไนเตรท	10, 15, 20, 30, 40 และ 50 mg/l
2	พีเอช (pH)	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10
3	เวลาสัมผัส	3, 6, 9, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง
4	ปริมาณดินเบาเผา	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม

#### 3.4.3.1 ศึกษาผลความเข้มข้นของสารละลายไนเตรทที่เหมาะสมในการดูดซับโดยใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไนเตรทความเข้มข้น 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เติมดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม ปรับพีเอชให้เท่ากับ 7 (ใช้ 1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> และ 1 N NaOH) นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองสารละลายตัวอย่างที่มีดินเบาเผาออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทโดยวิธี brucine เลือกความเข้มข้นของสารละลายไนเตรทที่ดินเบาเผาดูดซับได้ดีที่สุด

#### 3.4.3.2 ศึกษาผลของพีเอชของสารละลายไนเตรทที่เหมาะสมในการดูดซับโดยใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C

นำน้ำเสียสังเคราะห์ไนเตรทความเข้มข้นเท่ากับค่าความเข้มข้นที่ได้จากช่วงที่ 3.4.3.1 นำมาเติมดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม ปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 (ใช้ 1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> และ 1N NaOH) จากนั้นนำไปเขย่าที่ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

กรองสารละลายตัวอย่างที่มีดินเบาเผาออก นำสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทโดยวิธี brucine เลือกค่าพีเอชของสารละลายไนเตรทที่ดินเบาเผาดูดซับได้ดีที่สุด

#### 3.4.3.3 ศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับไนเตรทโดยใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C

นำน้ำเสียดังเคราะห์ไนเตรทความเข้มข้นเท่ากับค่าความเข้มข้นที่ได้จากข้อ 3.4.3.1 มาปรับค่าพีเอชให้เท่ากับค่าพีเอชที่เกิดการดูดซับได้ดีที่สุดจากผลการทดลองในข้อ 3.4.3.2 เติมดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัมจากนั้นนำไปเขย่าเป็นเวลา 3, 6, 9, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กรองสารละลายตัวอย่างที่มีดินเบาเผาออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทโดยวิธี brucine เลือกเวลาสัมผัสที่สามารถดูดซับไนเตรทได้ดีที่สุด

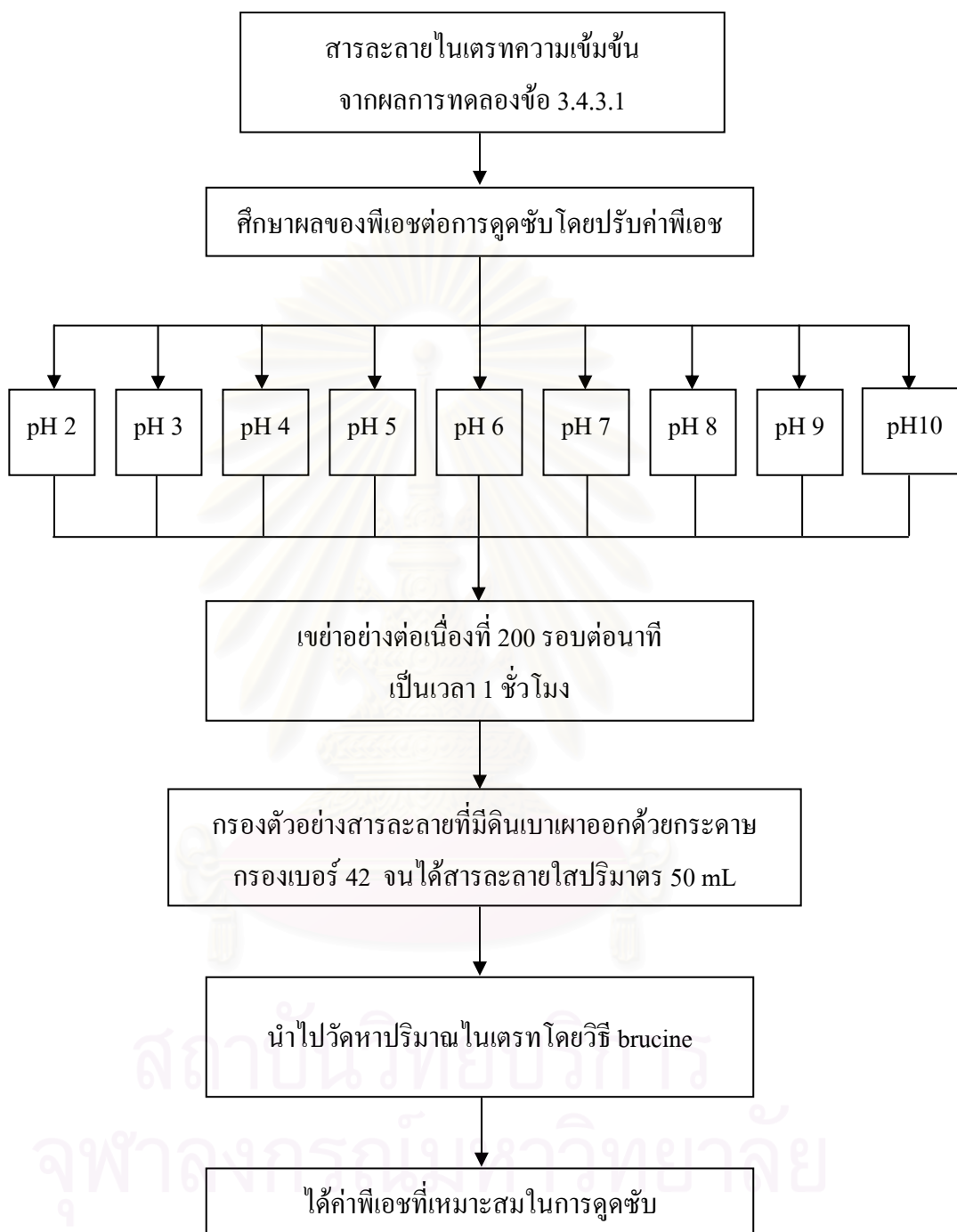
#### 3.4.3.4 ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณดินเบาเผากับสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนเตรทโดยใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C

นำน้ำเสียดังเคราะห์ไนเตรทที่ทราบความเข้มข้นจากข้อ 3.4.3.1 ค่าพีเอชจากข้อ 3.4.3.2 และเวลาสัมผัสที่ดินเบาเผาดูดซับได้ดีจากข้อ 3.4.3.3 เติมดินเบาเผาปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม จากนั้นนำไปเขย่าบนเครื่องเขย่า กรองสารละลายตัวอย่างที่มีดินเบาเผาออก นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทที่เหลืออยู่โดยวิธี brucine นำค่าที่ได้ไปศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิชและแลงมัวร์

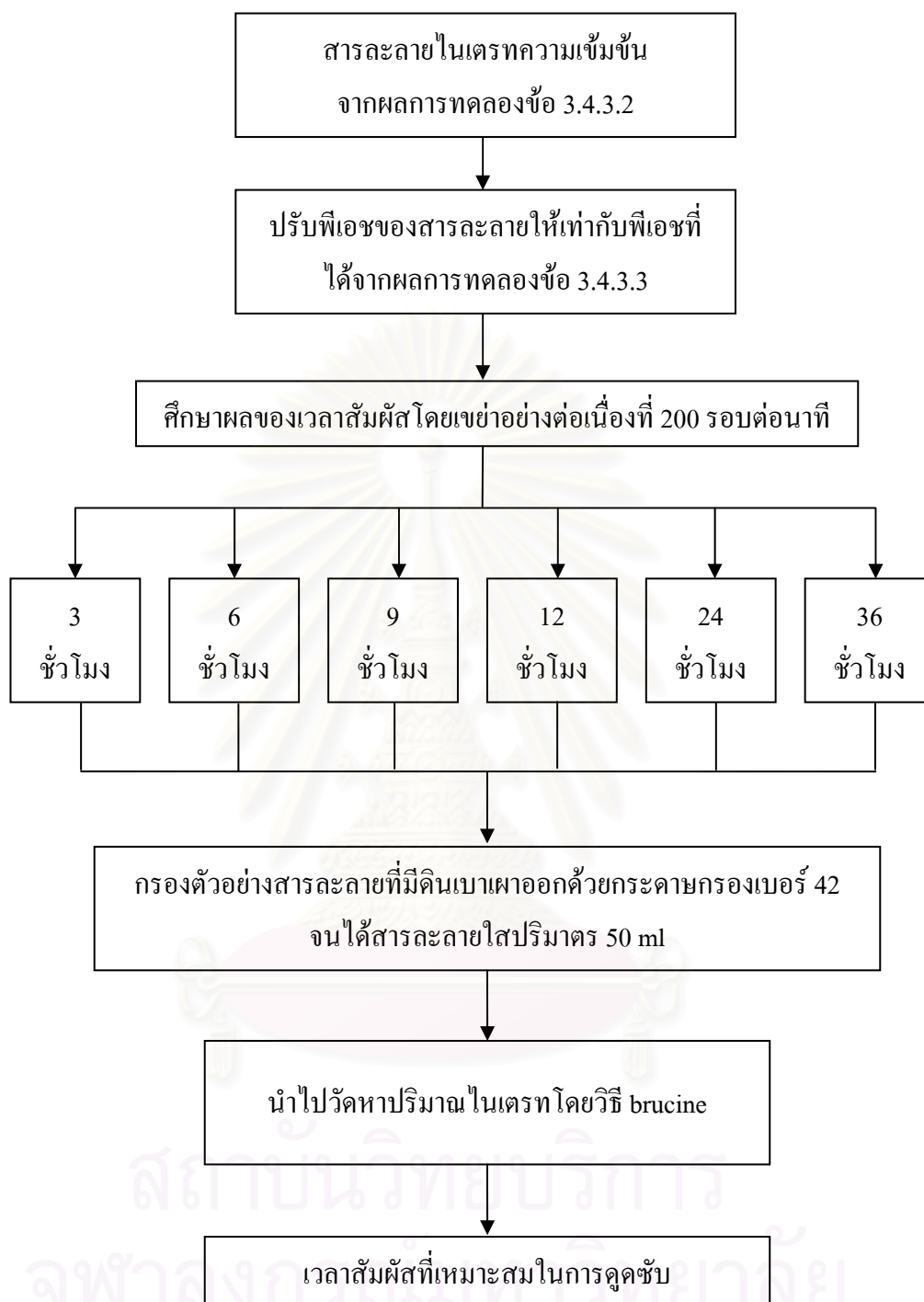
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



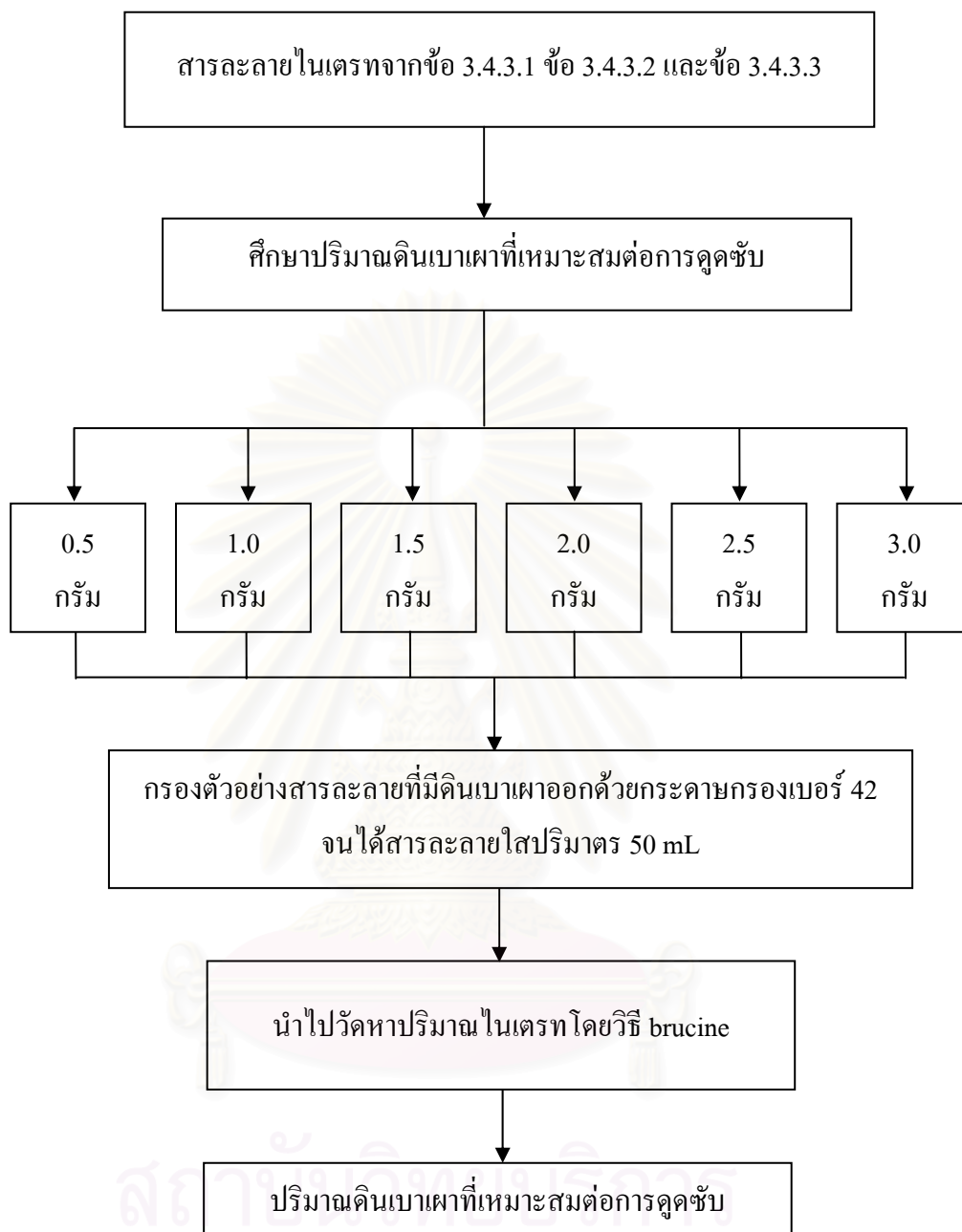
ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายไนเตรทที่มีต่อการดูดซับ โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C



ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผา  
ที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C



ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผา  
ที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C



ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการศึกษาผลของปริมาณดินเบาเผาที่มีต่อการดูดซับไนเตรท โดยใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1000 °C

### 3.4.4 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเบาเผาช่วงอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรตที่ดีที่สุด

นำดินเบาเผาช่วงอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรตที่ดีที่สุด มาศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ พื้นที่ผิวด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF) และความเป็นรูพรุนด้วยเครื่อง Surface area and pore-size (BET)

### 3.4.5 ศึกษาการชะละลายของไนโตรเจนและไนเตรต

นำดินเบาเผาที่ผ่านการทดลองจากข้อ 3.4.2 และ 3.4.3 นำมาศึกษาการชะละลายของไนโตรเจนและไนเตรตเพื่อทดสอบเสถียรภาพของดินเบาเผาที่ดูดซับสารละลายไนโตรเจนและไนเตรตแล้วด้วยวิธี Leaching test ซึ่งปรับปรุงจากวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พ.ศ. 2540 เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2540) โดยบดตัวอย่างดินเบาเผาที่ผ่านการทดลองจากข้อ 3.4.2 และ 3.4.3 ให้เป็นผง นำตัวอย่างที่ได้มาเติมน้ำสกัด (Leachant) ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) ค่าพีเอช เท่ากับ 5 แล้วปรับปริมาตรให้อัตราส่วนของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง เขย่าที่ 60 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 15 ชั่วโมง กรองสารละลาย (leachate) ด้วยกระดาษกรองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนและไนเตรตที่เหลืออยู่โดยวิธี NED และวิธี brucine ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาการดูดซับไนไตรท์และไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์โดยดินเบาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C ซึ่งได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนไตรท์และไนเตรท คือ ความเข้มข้นของไนไตรท์และไนเตรท พีเอช เวลาสัมผัส และปริมาณดินเบา จากนั้นเลือกชนิดดินเบาเผาที่อุณหภูมิที่ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์และไนเตรทดีที่สุด มาทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมี จากนั้นทำการศึกษาเสถียรภาพของดินเบาเผาหลังจากดูดซับไนไตรท์และไนเตรทด้วยวิธีการทดสอบการชะละลาย ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

#### 4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C ซึ่งได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนไตรท์ คือ ความเข้มข้นของไนไตรท์ พีเอช เวลาสัมผัส และปริมาณดินเบา ผลการทดลองเป็นดังนี้

##### 4.1.1 ผลของความเข้มข้นของไนไตรท์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของความเข้มข้นของไนไตรท์ต่อการดูดซับโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C ทำการศึกษาโดยใช้ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัมในการดูดซับไนไตรท์ที่ความเข้มข้นต่างๆกันคือ 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับ pH ของสารละลายเป็น 7 และนำไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง แยกเฉพาะส่วนของสารละลายใสออกมา จากนั้นนำมาหาปริมาณไนไตรท์ที่เหลือด้วยวิธี NED

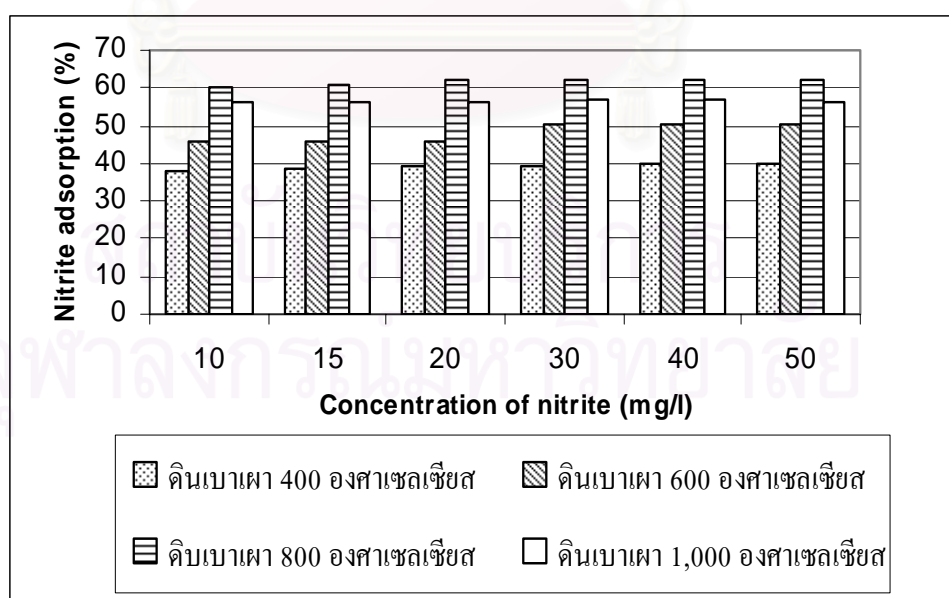
จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของการดูดซับไนไตรท์ (Nitrite adsorption, %) ของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 40.13% ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 50.33% ที่ความ

เข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 62.21% ที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 56.78% ที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของความเข้มข้นของไนไตรท์ที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C (ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง)

Initial concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrite adsorption (%)
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C		
10	6.18	38.24
15	9.20	38.66
20	12.19	39.05
30	18.23	39.24
40	24.10	39.76
50	24.94	40.13
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C		
10	5.45	45.55
15	8.13	45.82
20	10.81	45.97
30	14.94	50.21
40	19.87	50.33
50	24.88	50.25

Initial concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrite adsorption (%)
<b>ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C</b>		
10	3.98	60.13
15	5.84	61.09
20	7.62	61.92
30	11.34	62.21
40	15.16	62.09
50	19.02	61.95
<b>ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C</b>		
10	4.37	56.27
15	6.54	56.39
20	8.71	56.43
30	17.03	56.78
40	17.36	56.61
50	21.73	56.55

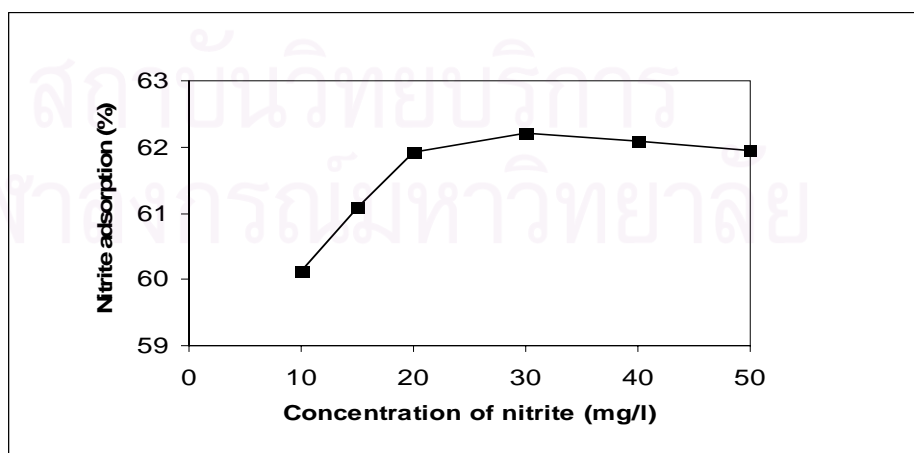


ภาพที่ 4.1 ผลของความเข้มข้นของไนไตรท์ที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่า การดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ที่ดีที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.1 โดยพบว่าที่ความเข้มข้นของไนไตรท์ คือ 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์คือ 60.13, 61.09, 61.92, 62.21, 62.09 และ 61.95% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากผลการทดลองจะพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีความเข้มข้นของไนไตรท์ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นเมื่อความเข้มข้นของไนไตรท์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ลดลง ดังแสดงในภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของไนไตรท์ที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ปริมาณ 1 กรัม เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง pH เท่ากับ 7

Initial concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrite adsorption (%)
10	3.98 ± 0.01	60.13 ± 0.05
15	5.84 ± 0.01	61.09 ± 0.05
20	7.62 ± 0.02	61.92 ± 0.06
30	11.34 ± 0.01	62.21 ± 0.05
40	15.16 ± 0.01	62.09 ± 0.04
50	19.02 ± 0.03	61.95 ± 0.06



ภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับไนไตรท์ด้วยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C สามารถดูดซับไนไตรท์ได้ดี เมื่อมีความเข้มข้นของไนไตรท์ที่ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ มีประสิทธิภาพในการดูดซับ 62.21% และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าความเข้มข้นที่ 30 มิลลิกรัมต่อลิตรให้ผลประสิทธิภาพในการดูดซับแตกต่างกับความเข้มข้น 10, 15 และ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่แตกต่างกับความเข้มข้น 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (แสดงในภาคผนวก ก-1)

ดังนั้น จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนไตรท์ โดยหาช่วงของความเข้มข้นของไนไตรท์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการดูดซับ โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ได้ผลคือ ความเข้มข้นของไนไตรท์เท่ากับ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### 4.1.2 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

การศึกษาลำดับต่อไปนี้เป็นการศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C โดยปรับความเข้มข้นของไนไตรท์ คือ ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C ที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C ที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร และแปรผันค่าพีเอชของสารละลายเป็น 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ต่อมาใส่ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม และนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง กรองเฉพาะส่วนใสของสารละลาย จากนั้นจึงนำมาหาปริมาณไนไตรท์ที่เหลืออยู่ด้วยวิธี NED

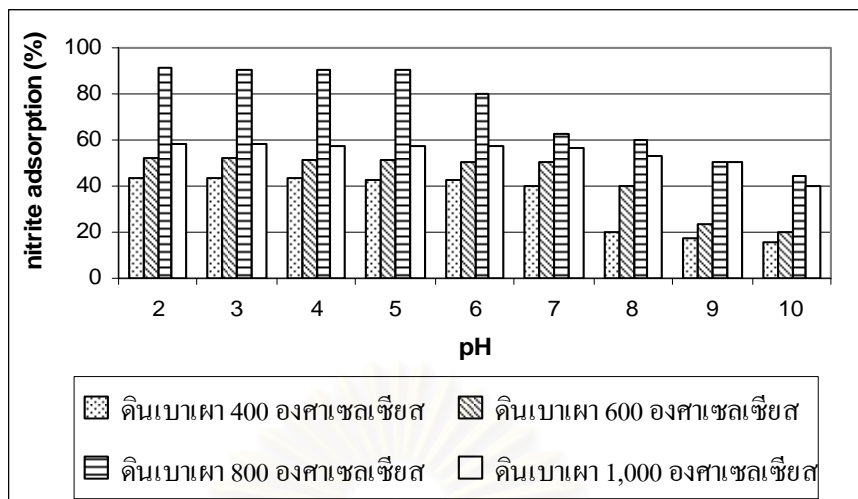
จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ (Nitrite adsorption, %) ของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 43.32 % ที่พีเอชเท่ากับ 3, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 52.29% ที่พีเอชเท่ากับ 2, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 90.88% ที่พีเอชเท่ากับ 2 และ ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 58.22 % ที่พีเอชเท่ากับ 2 ดังแสดงในตารางที่

4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C ปริมาณ 1 กรัม เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง

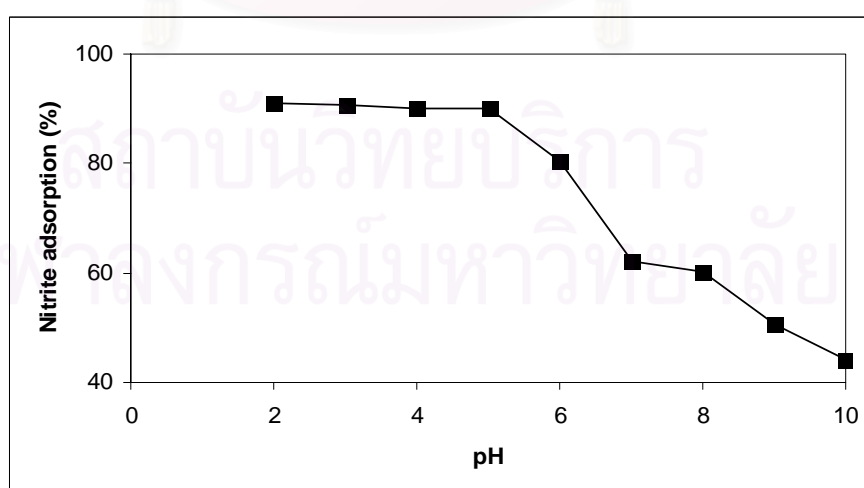
pH	Initial concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrite adsorption (%)
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C			
2	50	28.42	43.16
3	50	28.34	43.32
4	50	28.48	43.05
5	50	28.50	43.00
6	50	28.88	42.25
7	50	29.94	40.13
8	50	39.94	20.12
9	50	41.12	17.76
10	50	42.19	15.63
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C			
2	40	19.08	52.29
3	40	19.20	52.00
4	40	19.43	51.42
5	40	19.56	51.11
6	40	19.78	50.56
7	40	19.87	50.33
8	40	24.06	39.84
9	40	30.69	23.28
10	40	31.98	20.06

pH	Initial concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrite adsorption (%)
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C			
2	30	2.74	90.88
3	30	2.82	90.61
4	30	2.95	90.17
5	30	2.95	90.17
6	30	5.91	80.29
7	30	11.34	62.21
8	30	11.97	60.09
9	30	14.85	50.50
10	30	16.73	44.23
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C			
2	30	12.53	58.22
3	30	12.65	57.83
4	30	12.71	57.62
5	30	12.88	57.08
6	30	12.91	56.97
7	30	12.97	56.78
8	30	14.04	53.21
9	30	14.78	50.75
10	30	17.96	40.14



ภาพที่ 4.3 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

จากการศึกษาผลของพีเอชต่อการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผา พบว่าดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ดีที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.3 โดยที่พีเอช 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ (Nitrite adsorption, %) คือ 90.88, 90.61, 90.17, 90.17, 80.29, 62.21, 60.09, 50.50 และ 44.23% ซึ่งเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ ภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่พีเอชต่างๆ

ตารางที่ 4.4 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ปริมาณ 1 กรัม เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง

pH	Initial concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrite adsorption (%)
2	30	2.74 ± 0.01	90.88 ± 0.05
3	30	2.82 ± 0.01	90.61 ± 0.05
4	30	2.95 ± 0.02	90.17 ± 0.07
5	30	2.95 ± 0.03	90.17 ± 0.06
6	30	5.91 ± 0.01	80.29 ± 0.05
7	30	11.34 ± 0.01	62.21 ± 0.05
8	30	11.97 ± 0.02	60.09 ± 0.06
9	30	14.85 ± 0.02	50.50 ± 0.06
10	30	16.73 ± 0.08	44.23 ± 0.20

สำหรับค่าพีเอชที่ผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์นั้นเป็นการยืนยันว่า ประสิทธิภาพการดูดซับขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลายโดยค่าพีเอชจะมีผลต่อประจุบริเวณผิวหน้าของดินเบาเผา โดยอาศัยพื้นฐานการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (aqua complex formation) ของโลหะออกไซด์ที่ผิวหน้าของดินเบาเผา กล่าวคือเมื่อสารประกอบออกไซด์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของดินเบาเผาสัมผัสกับน้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายในสารละลาย ไฮโดรเจนไอออน(H<sup>+</sup>) จากโมเลกุลของน้ำที่ล้อมรอบสารประกอบออกไซด์จะเคลื่อนย้ายมาสู่ออกซิเจนที่ประกอบอยู่ตรงชั้นผิวของสารประกอบออกไซด์ ทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถรับและให้ไฮดรเจนไอออนได้ดังสมการ (Leckie, 1986 ; Dzombak and Morel, 1990)



โดย SOH คือ ผิวหน้าของสารประกอบออกไซด์ในดินเบาเผาหลังจากสัมผัสกับน้ำ จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า การสร้างประจุบวกของโลหะออกไซด์ ทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์สูง ดังนั้นพีเอชของสารละลายมีผลต่อการดูดซับไนไตรท์ โดยที่การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อพีเอชของสารละลายลดลง เนื่องจากในสารละลายที่มีพีเอชต่ำจะมีไฮโดรเจนไอออนอยู่เป็นจำนวนมาก ไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่เป็นจำนวนมากจะไปดูดติดกับผิวหน้าของสารประกอบออกไซด์ จึงมีการดูดซับไนไตรท์ได้มาก และเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นการเกิดโปรโตเนชัน (protonation) ลดลง ทำให้พื้นที่ผิวของดินเบาเผาเกิดการสร้างประจุลบขึ้น เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ลดลง

และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ที่พีเอช 2 ให้ผลของประสิทธิภาพในการดูดซับแตกต่างกับที่พีเอช 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (แสดงในภาคผนวก ก-2)

ดังนั้นผลของพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C คือ พีเอชเท่ากับ 2 เนื่องจากที่ค่าพีเอชนี้มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับไนไตรท์ด้วยดินเบาเผาดีที่สุด

#### 4.1.3 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

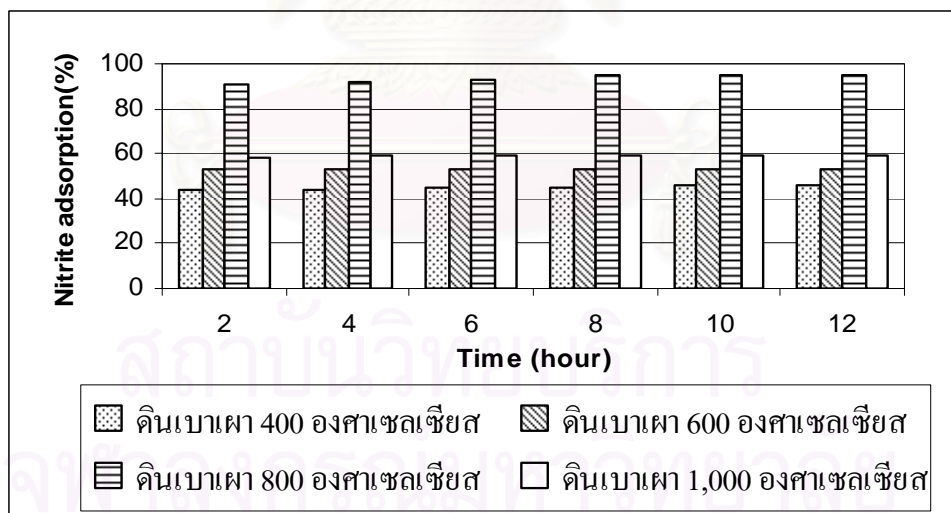
ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C โดยใช้ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายไนไตรท์ ค่าพีเอช ตามการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับไนไตรท์จากข้อที่ผ่านมา จากนั้นนำไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที โดยแปรผันเวลาในการสัมผัสเป็น 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ชั่วโมง กรองเฉพาะส่วนของสารละลายใสออกมา จากนั้นนำมาหาปริมาณไนไตรท์ที่เหลืออยู่ด้วยวิธี NED

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ (Nitrite adsorption, %) ของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 4.92% ใช้เวลาสัมผัส 12 ชั่วโมง, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 53.19% ใช้เวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 94.59% ใช้เวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง และดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 59.17% ใช้เวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

Time (hour)	Initial concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrite adsorption (%)
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C			
2	50	28.25	43.50
4	50	27.87	44.26
6	50	27.50	45.00
8	50	27.34	45.32
10	50	27.07	45.87
12	50	27.04	45.92
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C			
2	40	18.94	52.66
4	40	18.91	52.74
6	40	18.83	52.93
8	40	18.73	53.19
10	40	18.79	53.03
12	40	18.76	53.09
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C			
2	30	2.71	90.97
4	30	2.37	92.11
6	30	2.06	93.12
8	30	1.62	94.59
10	30	1.65	94.51
12	30	1.68	94.40

Time (hour)	Initial concentration, $\text{NO}_2^-$ (mg/l)	Final concentration, $\text{NO}_2^-$ (mg/l)	Nitrite adsorption (%)
	ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000°C		
2	30	12.44	58.54
4	30	12.38	58.73
6	30	12.31	58.98
8	30	12.25	59.17
10	30	12.27	59.10
12	30	12.29	59.05

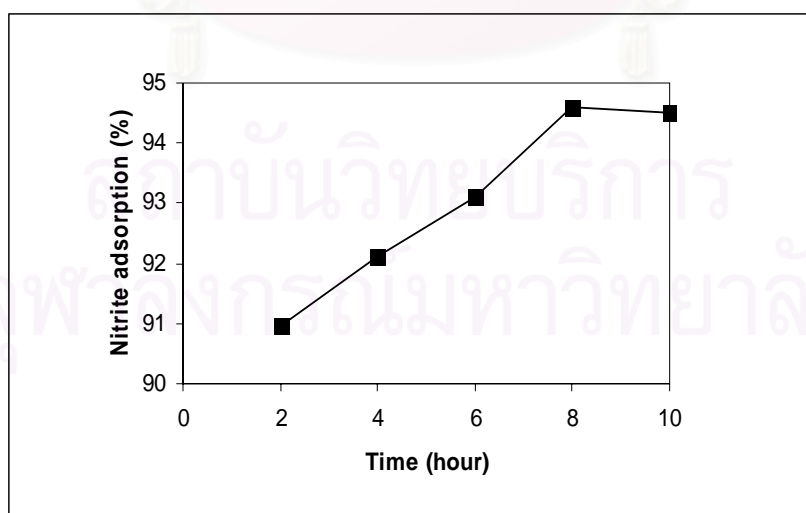


ภาพที่ 4.5 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรต์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

จากผลการทดลองที่ผ่านมา พบว่า การดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ดีที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.5 โดยอัตราการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สังเกตได้จากความชันของกราฟ ดังแสดงในภาพ 4.3 และพบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ดีที่สุด คือที่เวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง ต่อจากนั้นมีแนวโน้มลดลงและคงที่เมื่อเวลาสัมผัสมากขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 2)

Time (hour)	Final concentration , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrite adsorption (%)
2	2.71 ± 0.01	90.97 ± 0.05
4	2.37 ± 0.01	92.11 ± 0.05
6	2.06 ± 0.02	93.12 ± 0.07
8	1.62 ± 0.02	94.59 ± 0.07
10	1.65 ± 0.01	94.51 ± 0.05
12	1.68 ± 0.01	94.40 ± 0.06



ภาพที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่เวลาสัมผัสต่างๆ

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ที่ช่วงเวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง ให้ผลของประสิทธิภาพในการดูดซับแตกต่างกับช่วงเวลาสัมผัส 2, 4, 6 และ 12 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าไม่แตกต่างกันกับที่เวลาสัมผัส 10 ชั่วโมง (แสดงในภาคผนวก ค-3)

ดังนั้น จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนไตรท์ จะเห็นว่า เวลาสัมผัสหรืออิทธิพลจากการเขย่า มีส่วนช่วยในการดูดซับไนไตรท์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับช่วงเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่ทำให้ไนไตรท์สามารถเข้าไปยึดเกาะในบริเวณ active surface sites ได้ง่ายขึ้น สำหรับการศึกษานี้ พบว่าสภาวะคงที่ของการดูดซับ (Equilibrium adsorption) อยู่ในช่วง 8-10 ชั่วโมง ที่ประสิทธิภาพประมาณ 95% โดยจากผลการทดลองสรุปได้ว่า เวลาสัมผัสที่เหมาะสม คือ เวลา 8 ชั่วโมง

#### 4.1.4 ผลของปริมาณดินเบาเผาที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

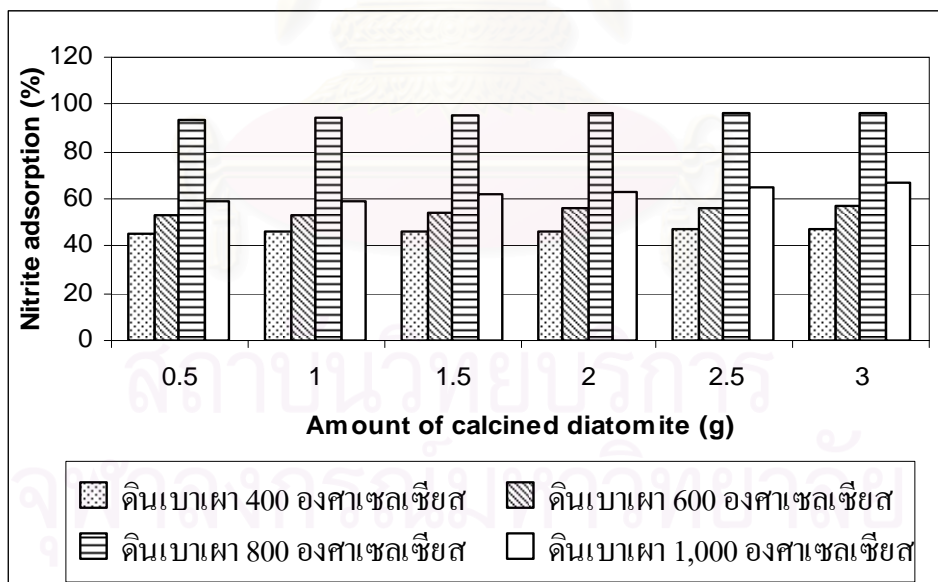
ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของปริมาณดินเบาเผาที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ โดยผันแปรปริมาณดินเบาเผาที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม ตามลำดับ โดยใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C ความเข้มข้นของสารละลายไนไตรท์พีเอช เวลาในการสัมผัส ตามการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับไนไตรท์จากข้อที่ผ่านมา จากนั้นจึงนำมาหาปริมาณไนไตรท์ที่เหลืออยู่ด้วย วิธี NED

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ (Nitrite adsorption, %) ของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 46.96% ใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 56.95% ใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 96.47% ใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม และดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 67.21% ใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

Amount (g)	Initial concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrite adsorption (%)
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C			
0.5	50	27.49	45.03
1.0	50	27.04	45.92
1.5	50	26.87	46.27
2.0	50	26.71	46.58
2.5	50	26.55	46.91
3.0	50	26.52	46.96
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C			
0.5	40	18.94	52.64
1.0	40	18.72	53.19
1.5	40	18.30	54.26
2.0	40	17.72	55.71
2.5	40	17.58	56.06
3.0	40	17.22	56.95
ดินเบาเผาอุณหภูมิ 800 °C			
0.5	30	2.01	93.30
1.0	30	1.62	94.61
1.5	30	1.43	95.24
2.0	30	1.13	96.22
2.5	30	1.07	96.42
3.0	30	1.06	96.47

Amount (g)	Initial concentration, $\text{NO}_2^-$ (mg/l)	Final concentration, $\text{NO}_2^-$ (mg/l)	Nitrite adsorption (%)
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000°C			
0.5	30	12.29	59.02
1.0	30	12.25	59.17
1.5	30	11.53	61.58
2.0	30	10.97	63.42
2.5	30	10.53	64.89
3.0	30	9.84	67.21

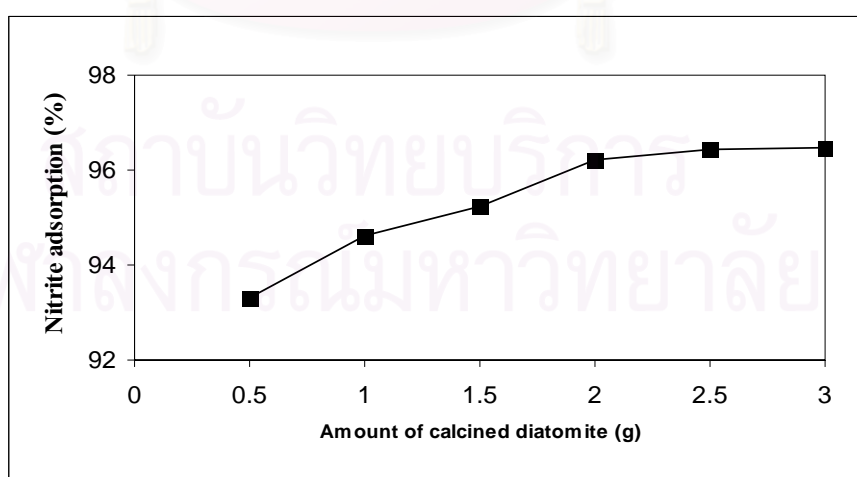


ภาพที่ 4.7 ผลของปริมาณดินเบาเผาที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์  
(ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C)

จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่า การดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ที่ดีที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.7 และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณดินเบาเผา ประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือเมื่อใช้ปริมาณดินเบาเผา 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์ 93.30, 94.61, 95.24, 96.22, 96.42 และ 96.47% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลของปริมาณดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ต่อการดูดซับไนไตรท์ (ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 2 เวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง)

Amount of calcined diatomite (g)	Final concentration , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrite adsorption (%)
0.5	2.01 ± 0.03	93.30 ± 0.07
1.0	1.62 ± 0.10	94.61 ± 0.15
1.5	1.43 ± 0.01	95.24 ± 0.05
2.0	1.13 ± 0.01	96.22 ± 0.05
2.5	1.07 ± 0.03	96.42 ± 0.08
3.0	1.06 ± 0.01	96.47 ± 0.06

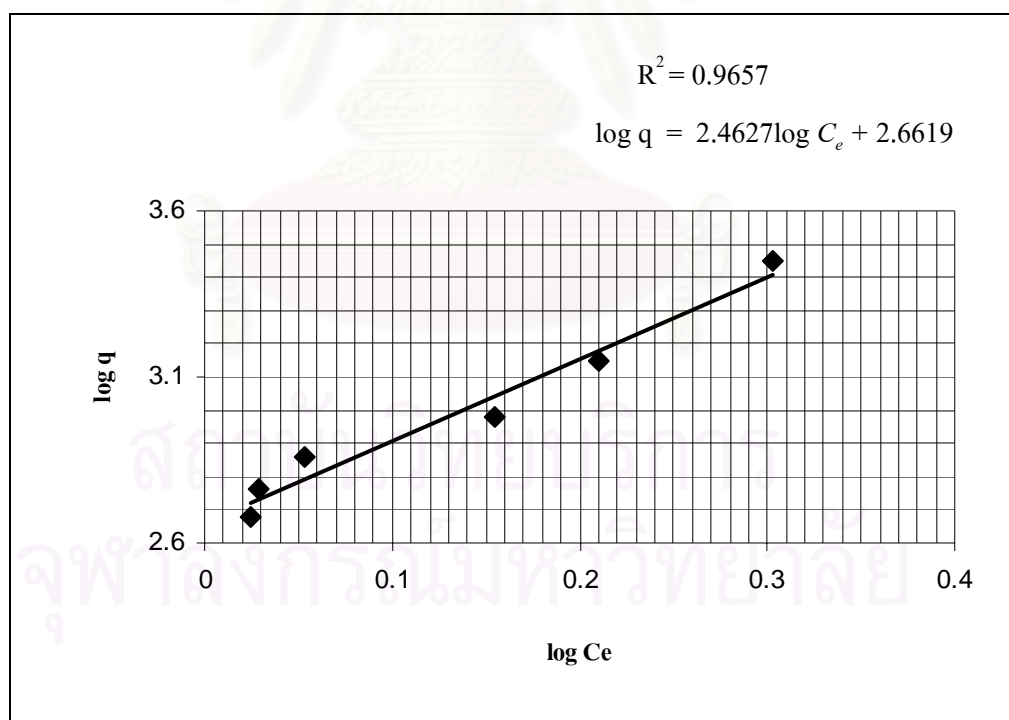


ภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C โดยใช้ดินเบาเผาปริมาณต่างๆ

ผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C สามารถดูดซับไนโตรเจนได้ดีที่สุด เมื่อใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม ก็มีประสิทธิภาพในการดูดซับ 96.47% และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าที่ปริมาณดินเบาเผา 2.5 และ 3 กรัม ให้ผลประสิทธิภาพในการดูดซับไม่แตกต่างกัน (แสดงในภาคผนวก ก-4)

ดังนั้น จากการศึกษาผลของปริมาณดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800°C ที่ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนได้ดีที่สุด คือ ใช้ดินเบาเผาปริมาณ 3 กรัม

เมื่อทำการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ พบว่า การดูดซับไนโตรเจนโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C นั้นสัมพันธ์กับสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช โดยมีค่า  $1/n$  ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงในการดูดซับเท่ากับ 2.4627 และมีค่า  $K_f$  โดยเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนของดินเบาเผา มีค่าเท่ากับ 2.6619 ค่า  $1/n$  และค่า  $K_f$  ที่มีค่ามากกว่า 1 นั้นแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนของดินเบาเผา ดังแสดงในภาพที่ 4.9 และตารางที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ความสามารถในการดูดซับไนโตรเจนโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช)

ตารางที่ 4.9 ความสามารถในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผา  
ที่อุณหภูมิ 800 °C (ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนคลิช)

Amount of calcined diatomite (g)	[NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ] เมื่อเข้าสู่สมดุล (Ce)	q	log Ce	log q
0.5	2.01	2,799.00	0.303	3.45
1.0	1.62	1,419.00	0.210	3.15
1.5	1.43	952.30	0.155	2.98
2.0	1.13	721.70	0.053	2.86
2.5	1.07	578.60	0.029	2.76
3.0	1.06	482.30	0.025	2.68

#### 4.2 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C ซึ่งได้ทำการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับไนเตรท คือ ความเข้มข้นของไนเตรท พีเอช เวลาสัมผัส และปริมาณดินเบาเผา ผลการทดลองมีดังนี้

##### 4.2.1 ผลของความเข้มข้นของไนเตรทที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

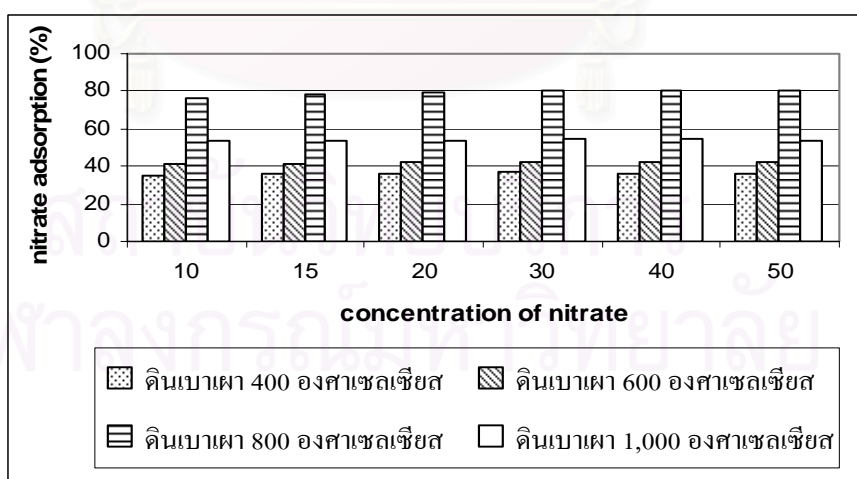
การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของความเข้มข้นของไนเตรทที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C ทำการศึกษาโดยใช้ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม ในการดูดซับไนเตรทที่ความเข้มข้นต่างๆกันคือ 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับ pH ของสารละลายเป็น 7 และนำไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง แยกเฉพาะส่วนของสารละลายใสออกมา จากนั้นนำมาหาปริมาณไนเตรทที่เหลือด้วยวิธี brucine

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรท (Nitrate adsorption, %) ของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 36.62% ที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 42.28% ที่ ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 80.75% ที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 54.23% ที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลของความเข้มข้นของไนเตรทที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C (ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม พีเอช เท่ากับ 7 เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง)

Initial concentration, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrate adsorption (%)
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C		
10	6.47	35.33
15	9.59	36.10
20	12.71	36.47
30	19.04	36.62
40	25.46	36.35
50	32.00	36.00
ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C		
10	5.84	41.58
15	8.75	41.65
20	11.60	41.98
30	17.30	42.28
40	23.22	41.95
50	29.10	41.81

Initial concentration, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrate adsorption (%)
<b>ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C</b>		
10	2.35	76.50
15	3.22	78.53
20	4.15	79.25
30	5.95	80.17
40	7.70	80.75
50	9.78	80.44
<b>ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C</b>		
10	5.33	53.27
15	7.01	53.61
20	9.28	53.96
30	13.76	54.13
40	23.11	54.23
50	22.98	54.04

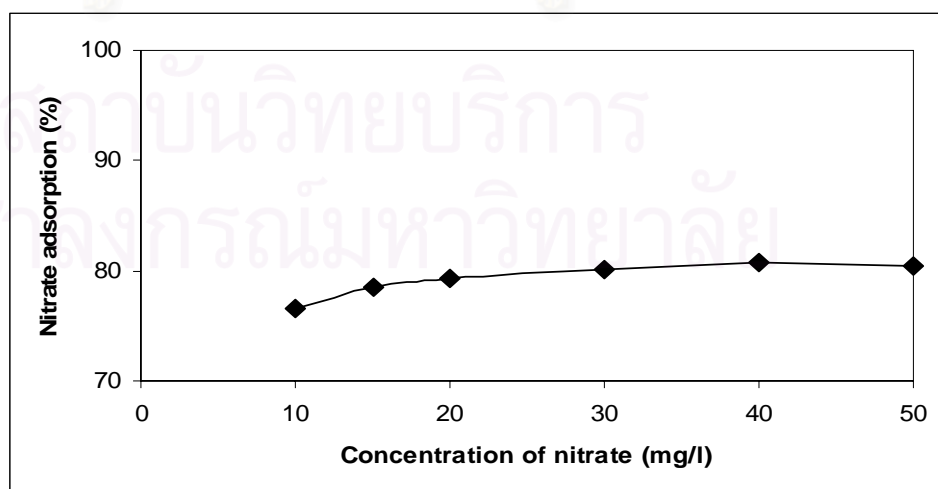


ภาพที่ 4.10 ผลของความเข้มข้นของไนเตรทที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ  
(ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C)

จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่า การดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทดีที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.10 โดยพบว่าความเข้มข้นของไนเตรทที่ 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทคือ 76.50, 78.53, 79.25, 80.17, 80.75 และ 80.44 % ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 จากผลการทดลองจะพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีความเข้มข้นของไนเตรท 40 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทมีแนวโน้มลดลง เมื่อความเข้มข้นของไนเตรทเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลของความเข้มข้นของไนเตรทที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ( ความเข้มข้นไนเตรท 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง pH เท่ากับ 7 )

Initial concentration, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrate adsorption (%)
10.00	2.35 ± 0.01	76.50 ± 0.05
15.00	3.22 ± 0.01	78.53 ± 0.05
20.00	4.15 ± 0.01	79.25 ± 0.05
30.00	5.95 ± 0.01	80.17 ± 0.05
40.00	7.70 ± 0.01	80.75 ± 0.05
50.00	9.78 ± 0.01	80.44 ± 0.05



ภาพที่ 4.11 ประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C สามารถดูดซับไนเตรทได้ดีที่สุด เมื่อมีความเข้มข้นของไนเตรทที่ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ มีประสิทธิภาพในการดูดซับ 80.75% และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าทุกค่าความเข้มข้นของไนเตรทให้ผลประสิทธิภาพในการดูดซับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (แสดงในภาคผนวก ก-5)

ดังนั้น จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนเตรท โดยหาความเข้มข้นของไนเตรทที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการดูดซับ โดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ได้ผลคือความเข้มข้นของไนเตรทเท่ากับ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### 4.2.2 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

การศึกษาในลำดับต่อไปนี้ เป็นการศึกษาผลของพีเอชต่อการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C โดยปรับความเข้มข้นของไนเตรท คือ ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C ที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C ที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C ที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร และแปรผันค่าพีเอชของสารละลายเป็น 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ต่อมาใส่ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม และนำไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง กรองเฉพาะส่วนใสของสารละลาย จากนั้นจึงนำมาหาปริมาณไนเตรทที่เหลืออยู่ด้วยวิธี brucine

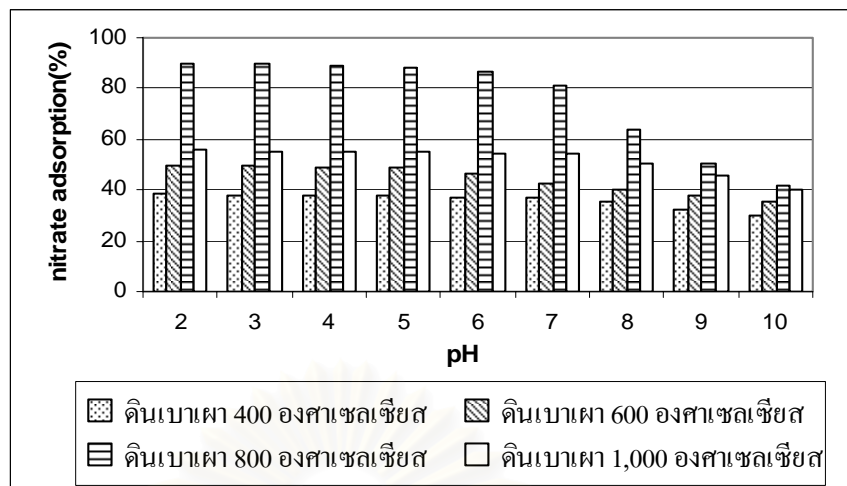
จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรท (Nitrate adsorption, %) ของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 38.57% ที่พีเอชเท่ากับ 2, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 49.34% ที่พีเอชเท่ากับ 2, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 89.53% ที่พีเอชเท่ากับ 2 และดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 55.84% ที่พีเอชเท่ากับ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ

400, 600, 800 และ 1,000 °C (ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม เวลาสัมผัส 1 ชั่วโมง)

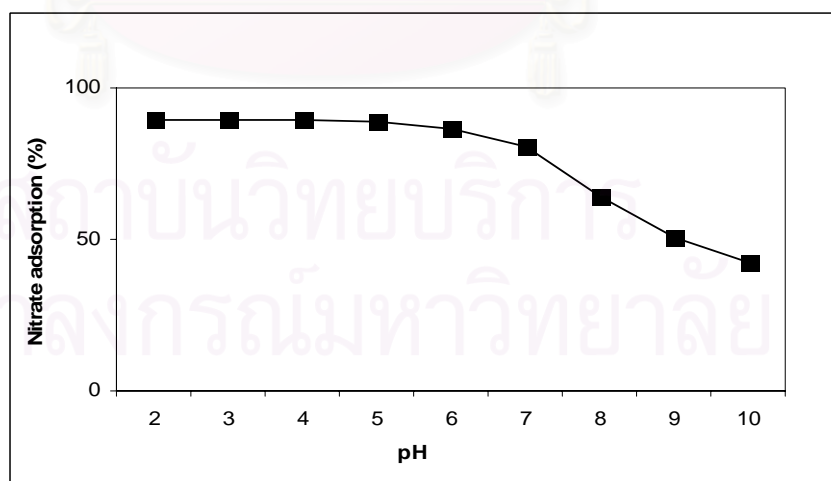
pH	Initial concentration, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrate adsorption (%)
ดินเบาเผาอุณหภูมิ 400 °C			
2	30	18.43	38.57
3	30	18.59	38.02
4	30	18.62	37.95
5	30	18.67	37.76
6	30	18.83	37.22
7	30	19.01	36.62
8	30	19.41	35.31
9	30	20.36	32.14
10	30	20.98	30.0
ดินเบาเผาอุณหภูมิ 600 °C			
2	30	15.20	49.34
3	30	15.21	49.29
4	30	15.27	49.09
5	30	15.41	48.65
6	30	16.07	46.43
7	30	17.32	42.28
8	30	17.97	40.11
9	30	18.56	38.15
10	30	19.23	35.59

pH	Initial concentration, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrate adsorption (%)
ดินเบาเผาอุณหภูมิ 800 °C			
2	40	4.19	89.53
3	40	4.24	89.40
4	40	4.27	89.33
5	40	4.58	88.55
6	40	5.47	86.33
7	40	7.70	80.75
8	40	14.42	63.95
9	40	19.77	50.58
10	40	23.16	42.10
ดินเบาเผาอุณหภูมิ 1,000 °C			
2	40	17.66	55.84
3	40	17.78	55.51
4	40	17.95	55.13
5	40	18.03	54.92
6	40	18.17	54.57
7	40	18.31	54.23
8	40	19.96	50.11
9	40	21.72	45.69
10	40	23.91	40.23



ภาพที่ 4.12 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

จากการศึกษาผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผา พบว่า ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทดีที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.3 โดยที่พีเอช 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรท (Nitrate adsorption, %) คือ 89.53, 89.40, 89.33, 88.55, 86.33, 80.75, 63.95, 50.58 และ 42.10% ซึ่งเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่พีเอชต่างๆ

ตารางที่ 4.13 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (ความเข้มข้นไนเตรท 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม เวลาในการสัมผัส 1 ชั่วโมง )

pH	Final concentration, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrate adsorption (%)
2	4.19 ± 0.01	89.53 ± 0.05
3	4.24 ± 0.01	89.40 ± 0.05
4	4.27 ± 0.02	89.33 ± 0.06
5	4.58 ± 0.02	88.55 ± 0.07
6	5.47 ± 0.03	86.33 ± 0.08
7	7.70 ± 0.02	80.75 ± 0.07
8	14.42 ± 0.02	63.95 ± 0.07
9	19.77 ± 0.02	50.58 ± 0.07
10	23.16 ± 0.08	42.10 ± 0.12

นอกจากนี้ยังพบว่าผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับการทดลองของ Ozturk และBektas (2004) ซึ่งศึกษาการดูดซับไนเตรทด้วยดิน Sepiolite ในน้ำเสียสังเคราะห์ผลการศึกษพบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทเกิดขึ้นได้ดีที่สุดคือที่พีเอช เท่ากับ 2

สำหรับค่าพีเอชที่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทนั้นเป็นการยืนยันว่าประสิทธิภาพการดูดซับขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลายโดยค่าพีเอชจะมีผลต่อประจุบริเวณผิวหน้าของดินเบาเผา กล่าวคือเมื่อสารประกอบออกไซด์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของดินเบาเผาสัมผัสกับน้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายในสารละลาย ไฮโดรเจนไอออน(H<sup>+</sup>) จากโมเลกุลของน้ำที่ล้อมอยู่รอบสารประกอบออกไซด์จะเคลื่อนย้ายมาสู่ออกซิเจนที่ประกอบอยู่ตรงชั้นผิวของสารประกอบออกไซด์ ทำให้เกิดหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถรับและให้ไฮโดรเจนไอออนได้ดังสมการ (Leckie, 1986 ; Dzombak and Morel, 1990)



โดย SOH คือ ผิวหน้าของสารประกอบออกไซด์ในดินเบาเผาหลังจากสัมผัสกับน้ำคังนั้นพีเอชของสารละลายมีผลต่อการดูดซับไนเตรท โดยที่การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อพีเอชของสารละลายลดลง เนื่องจากในสารละลายที่มีพีเอชต่ำจะมีไฮโดรเจนไอออนอยู่เป็นจำนวนมาก และไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่เป็นจำนวนมากนั้นจะไปดูดติดกับผิวหน้าของสารประกอบออกไซด์ จึงทำให้มีการดูดซับไนเตรทได้มาก

และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ที่พีเอช 2, 3 และ 4 ให้ผลของประสิทธิภาพในการดูดซับไม่แตกต่างกัน ส่วนที่พีเอช 5-10 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (แสดงในภาคผนวก ก-6 )

ดังนั้นผลของพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C คือ พีเอชเท่ากับ 2 เนื่องจากที่ค่าพีเอชนี้มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาดีที่สุด

#### 4.2.3 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

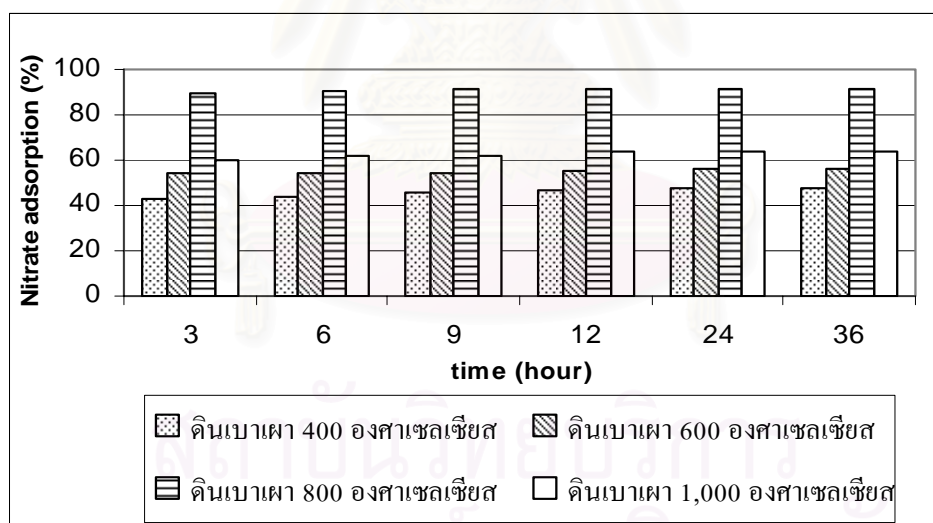
ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C โดยใช้ดินเบาเผาปริมาณ 1 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายไนเตรท ค่าพีเอช ตามการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการดูดซับไนเตรทจากข้อที่ผ่านมา จากนั้นนำไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที โดยแปรผันเวลาในการสัมผัสเป็น 3, 6, 9, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง กรองเฉพาะส่วนของสารละลายใสออกมา และนำมาหาปริมาณไนเตรทที่เหลืออยู่ด้วยวิธี brucine

จากการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรท (Nitrate adsorption, %) ของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 47.82% ใช้เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 56.08% ใช้เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 91.24% ใช้เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง และดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 63.65% ใช้เวลาสัมผัส 36 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผา  
ที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

Time (hour)	Initial concentration, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrate adsorption (%)
ดินเบาเผาอุณหภูมิ 400 °C			
2	50	17.17	42.77
4	50	16.74	44.21
6	50	16.21	45.98
8	50	16.04	46.53
10	50	15.65	47.82
12	50	15.66	47.79
ดินเบาเผาอุณหภูมิ 600 °C			
2	40	13.81	53.97
4	40	13.76	54.12
6	40	13.63	54.56
8	40	13.50	55.00
10	40	13.18	56.08
12	40	13.20	56.00
ดินเบาเผาอุณหภูมิ 800 °C			
2	30	4.09	89.78
4	30	3.94	90.14
6	30	3.61	90.98
8	30	3.57	91.08
10	30	3.50	91.24
12	30	3.50	91.24

Time (hour)	Initial concentration, $\text{NO}_3^-$ (mg/l)	Final concentration, $\text{NO}_3^-$ (mg/l)	Nitrate adsorption (%)
ดินเบาเผาอุณหภูมิ 1,000°C			
2	30	15.90	60.25
4	30	15.29	61.78
6	30	15.19	62.02
8	30	14.58	63.55
10	30	14.56	63.61
12	30	14.54	63.65

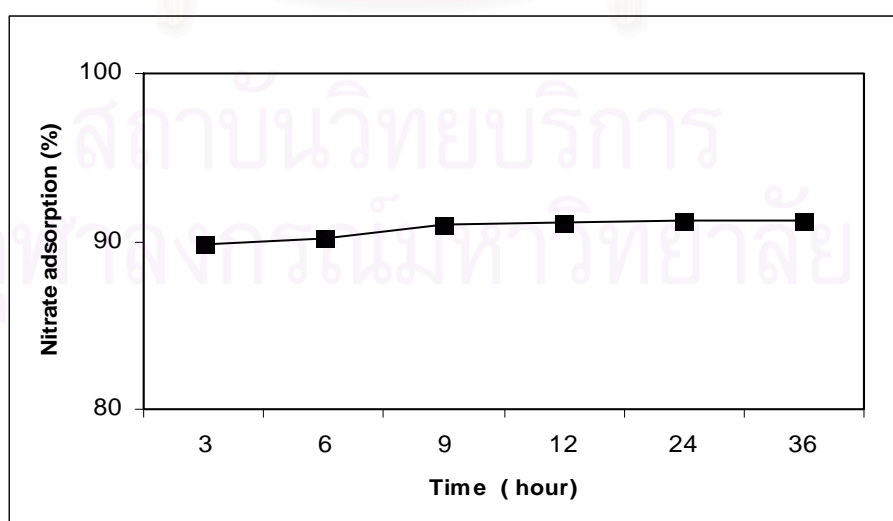


ภาพที่ 4.14 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่า การดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทดีที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.14 โดยการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาสัมผัสเริ่มต้นที่ 3 ,6 และ9 ชั่วโมงตามลำดับ สังเกตได้จากความชันของกราฟดังแสดงในภาพ 4.15 หลังจากนั้นความชันค่อนข้างคงที่ และพบว่าค่าของไนเตรทที่ลดลงเหลือน้อยที่สุด คือ ที่เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง และมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาสัมผัสมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลของเวลาสัมผัสที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (ความเข้มข้นไนเตรท 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ดินเบาเผา ปริมาณ 1 กรัม pH เท่ากับ 2)

Time (hour)	Final concentration , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrate adsorption , %
3	4.09 ± 0.01	89.78 ± 0.05
6	3.94 ± 0.02	90.14 ± 0.06
9	3.61 ± 0.01	90.98 ± 0.05
12	3.57 ± 0.02	91.08 ± 0.06
24	3.50 ± 0.01	91.24 ± 0.05
36	3.50 ± 0.01	91.24 ± 0.05



ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่เวลาสัมผัสต่างๆ

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าในช่วงเวลาสัมผัส 3-12 ชั่วโมง ให้ผลของประสิทธิภาพในการดูดซับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนผลของช่วงเวลา 24 และ 36 ชั่วโมง ค่าไม่แตกต่างกัน (แสดงในภาคผนวก ก-7)

ดังนั้น จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนเตรท จะเห็นว่า เวลาสัมผัส หรืออิทธิพลจากการเขย่า มีผลต่อการดูดซับไนเตรทขึ้นอยู่กับช่วงเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่ทำให้ไนเตรทสามารถเข้าไปยึดเกาะในบริเวณ active surface sites ได้ง่ายขึ้น สำหรับการศึกษานี้ พบว่า สภาวะคงที่ของการดูดซับ (Equilibrium adsorption) อยู่ในช่วง 91-92% โดยจากการทดลองสรุปได้ว่า เวลาสัมผัสที่เหมาะสม คือ 24 ชั่วโมง

#### 4.2.4 ผลของปริมาณดินเบาเผาที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

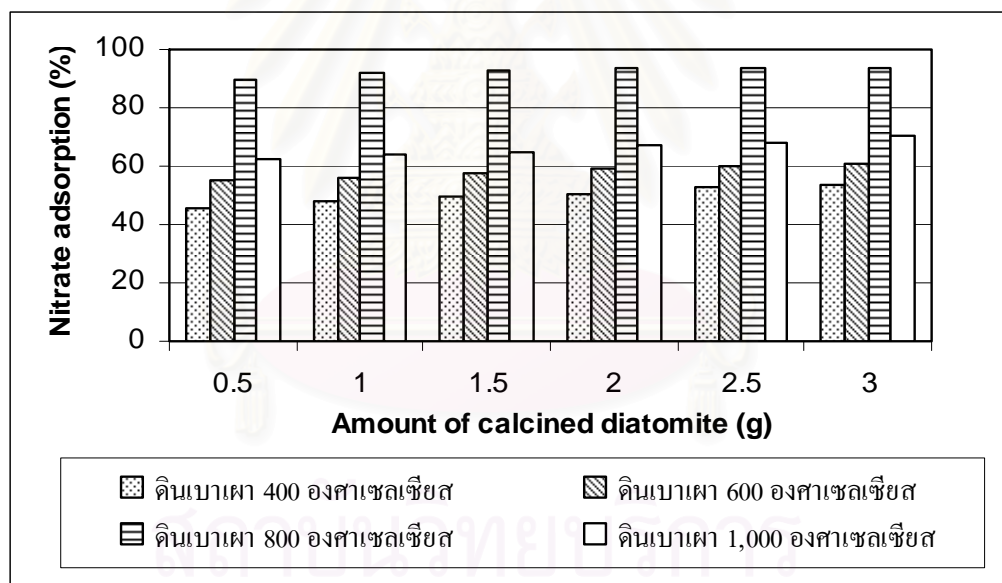
ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของปริมาณดินเบาเผาที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ โดยผันแปรปริมาณดินเบาเผาที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม ตามลำดับโดยใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C ความเข้มข้นของสารละลายไนเตรท พีเอช เวลาในการสัมผัส ตามการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนเตรทจากข้อที่ผ่านมา จากนั้นจึงนำมาหาปริมาณไนเตรทที่เหลืออยู่ด้วยวิธี brucine

จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรท (Nitrate adsorption, %) ของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 53.34% ใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 60.82% ใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม, ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 93.50% ใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม และดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับ คือ 70.05% ใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ผลของพีเอชที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C

Amount of calcined diatomite (g)	Initial concentration, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Final concentration, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrate adsorption (%)
	ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400 °C		
0.5	50	16.32	45.59
1.0	50	15.65	47.82
1.5	50	15.20	49.32
2.0	50	14.98	50.06
2.5	50	14.19	52.71
3.0	50	14.00	53.34
	ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 600 °C		
0.5	40	13.47	55.11
1.0	40	13.18	56.08
1.5	40	12.61	57.98
2.0	40	12.26	59.14
2.5	40	11.96	60.13
3.0	40	11.75	60.82
	ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C		
0.5	30	4.04	89.90
1.0	30	3.11	92.23
1.5	30	2.75	93.13
2.0	30	2.65	93.38
2.5	30	2.63	93.43
3.0	30	2.61	93.50

Amount of calcined diatomite (g)	Initial concentration, $\text{NO}_3^-$ (mg/l)	Final concentration, $\text{NO}_3^-$ (mg/l)	Nitrate adsorption (%)
	ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C		
0.5	30	15.12	62.19
1.0	30	14.56	63.61
1.5	30	13.93	65.19
2.0	30	13.22	66.94
2.5	30	12.66	68.34
3.0	30	11.98	70.05



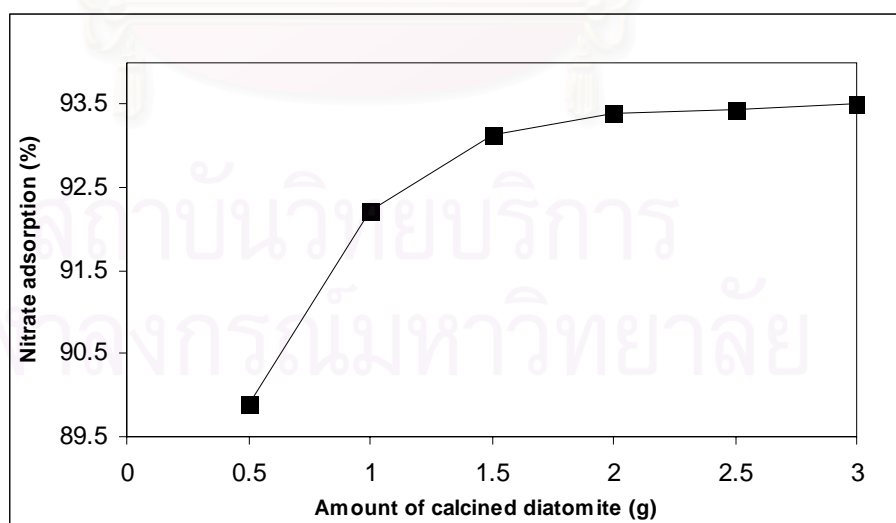
ภาพที่ 4.16 ผลของปริมาณดินเบาเผาที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรท (ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C)

จากการทดลองที่ผ่านมา พบว่า การดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทดีที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.16 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณดินเบาเผา ประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือเมื่อใช้ดินเบาเผาปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัม มีประสิทธิภาพในการดูดซับ 89.90, 92.23, 93.13,

93.38, 93.43 และ 93.50% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.17 และพบว่าผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับการทดลองของ Ozturk และ Bektas (2004) ซึ่งศึกษาการดูดซับไนเตรทด้วยดิน Sepiolite ในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณตัวดูดซับส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไนเตรทเพิ่มขึ้นโดยใช้ปริมาณ Sepiolite 20 กรัมต่อลิตรของสารละลาย

ตารางที่ 4.17 ผลของปริมาณดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่มีต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ (ความเข้มข้นไนเตรท 40 มิลลิกรัมต่อลิตร pH เท่ากับ 2 เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง)

Amount of calcined diatomite (g)	Final concentration , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Nitrate adsorption (%)
0.5	4.04 ± 0.03	89.90 ± 0.07
1.0	3.11 ± 0.23	92.23 ± 0.27
1.5	2.75 ± 0.02	93.13 ± 0.06
2.0	2.65 ± 0.01	93.38 ± 0.05
2.5	2.63 ± 0.04	93.43 ± 0.08
3.0	2.61 ± 0.01	93.50 ± 0.05

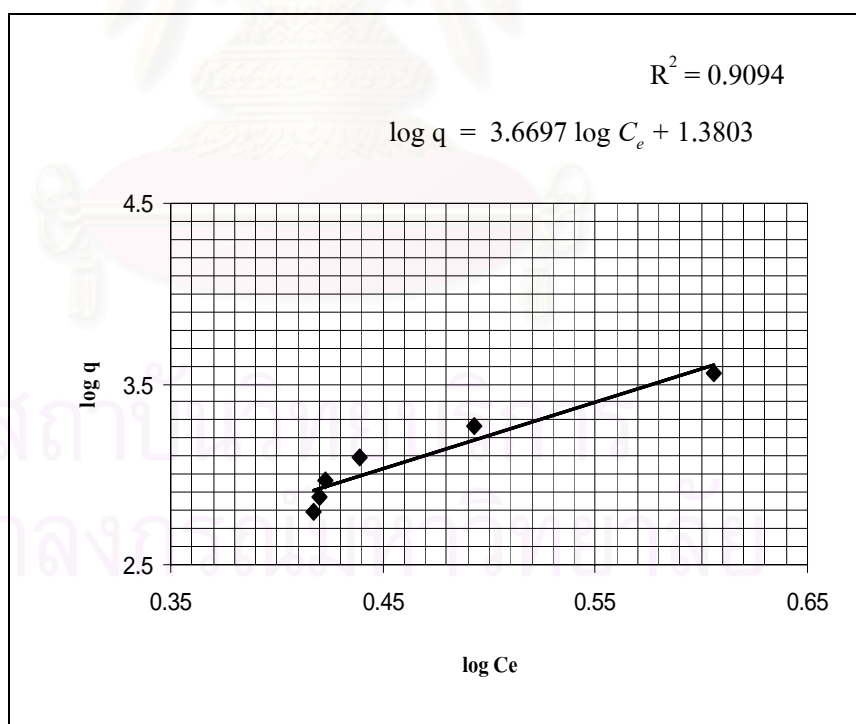


ภาพที่ 4.17 ประสิทธิภาพการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C โดยดินเบาเผาปริมาณต่างๆ

ผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C สามารถดูดซับไนเตรทได้ดีที่สุดเมื่อใช้ดินเบาเผาปริมาณ 3 กรัม คือมีประสิทธิภาพในการดูดซับ 93.50% และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าดินเบาเผาปริมาณ 3 กรัมให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไม่แตกต่างกันกับ 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัม (แสดงในภาคผนวก ค-8 )

ดังนั้น จากการศึกษาผลของปริมาณดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทดีที่สุด คือ ใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม

เมื่อทำการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ พบว่า การดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C นั้นสัมพันธ์กับสมการไอโซเทอร์มการดูดซับของฟรุนดลิช โดยมีค่า  $1/n$  ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงในการดูดติดผิว เท่ากับ 3.6697 ซึ่งค่า  $1/n$  ที่สูงๆนั้นแสดงถึงความสามารถในการดูดซับที่ดี และมีค่า  $K_f$  โดยเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการดูดซับไนเตรทของดินเบาเผา มีค่าเท่ากับ 1.3803 ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการดูดซับไนเตรทของดินเบาเผา ดังแสดงในภาพที่ 4.13 และตารางที่ 4.9



ภาพที่ 4.18 ความสามารถในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช)

ตารางที่ 4.18 ความสามารถสูงสุดในการดูดซับไนเตรทโดยดินเบาเผา  
ที่อุณหภูมิ 800 °C (ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช)

Amount of calcined diatomite (g)	[NO <sub>2</sub> ] เมื่อเข้าสู่สมดุล (Ce)	q	log Ce	log q
0.5	4.04	3,596.00	0.606	3.56
1.0	3.11	1,844.5	0.493	3.27
1.5	2.75	1,241.67	0.439	3.09
2.0	2.65	933.75	0.423	2.97
2.5	2.63	747.40	0.420	2.87
3.0	2.61	623.17	0.417	2.79

#### 4.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C

ดินเบาเผาที่นำมาศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีในช่วงนี้คือดินเบาที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C โดยพบว่าเป็นดินเบาเผาที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์และไนเตรทดีที่สุดในชุด โดยการเผาจะมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากปริมาณของ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้สีเหลืองอ่อนของดินเบาเปลี่ยนเป็นสีส้มแดง (กาญจนะ, 2535)

ตารางที่ 4.19 ลักษณะทางกายภาพของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C

พารามิเตอร์	ดินเบาเผา
พีเอช	7.8
พื้นที่ผิว BET (ตารางเมตรต่อกรัม)	60.97
ปริมาตรรูพรุน (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม)	0.07
ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (อังสตรอม)	71.66

ที่มา : ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง BET

ดินเผาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีส่วนประกอบหลักทางเคมีโดยประมาณ คือ SiO<sub>2</sub> 79.04%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 7.96%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6.26%, MgO 0.62% และ CaO 0.67% ดังแสดงในตารางที่ 4.20 จากการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของดินเผาเผาด้วยเครื่อง X-ray fluorescence จะเห็นว่า มีปริมาณซิลิกาถึง 79.04% ซึ่งพบในปริมาณที่มากกว่าดินเผาที่ไม่ได้ผ่านการเผา จึงทำให้เพิ่มความสามารถในการดูดซับระหว่างพื้นผิวได้ จึงจัดได้ว่าเป็น silicate clay ซึ่งใช้เรียกดินที่มีแร่ซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก (นัทธีรา, 2541)

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินเผา (CD 1) และดินเผาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C (CD 2)

Composition	CD 1	CD 2
SiO <sub>2</sub>	68.14 %	79.04 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.75 %	7.96 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.00 %	6.26 %
CaO	0.42 %	0.67 %
MgO	0.87 %	0.62 %
Na <sub>2</sub> O	1.00 %	1.16 %

ที่มา : วิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF

การศึกษาดินเผาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscope : SEM) พบว่าลักษณะส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นรู มีความพรุนสูง และมีโครงสร้างเป็นตาข่าย ดังแสดงในภาพที่ 4.21 ภาพที่ 4.22 และภาพที่ 4.23 สาเหตุน่าจะสืบเนื่องมาจากการเผาทำให้ปริมาณน้ำในโมเลกุลของดินเบาระเหยออกไป จึงส่งผลให้ดินเผามีความพรุนและมีความสามารถในการดูดซับได้ดี

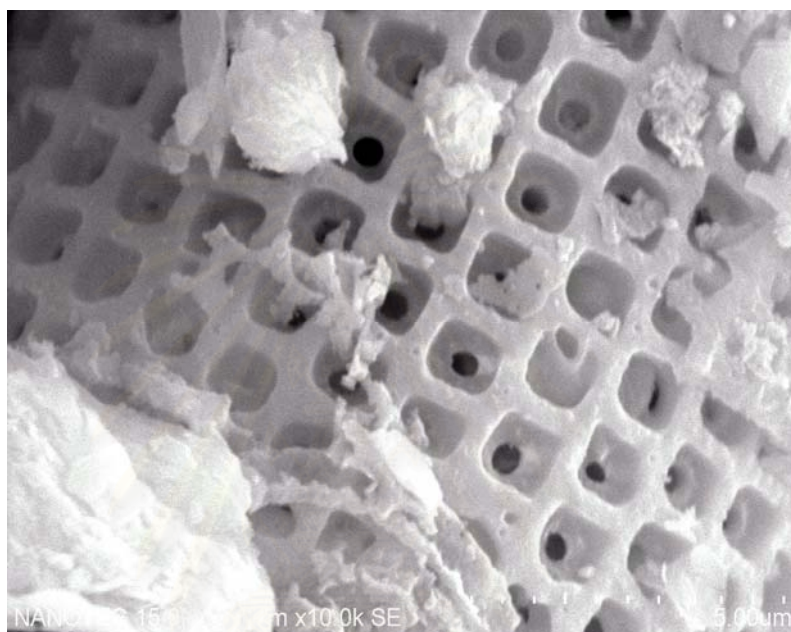


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ภาพที่ 4.19 ลักษณะของดินเบาก่อนการเผา



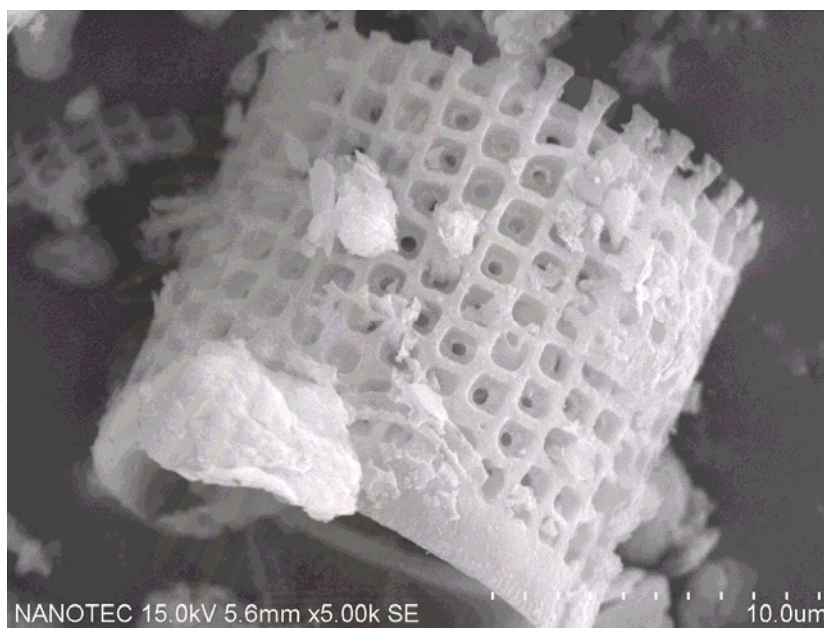
ภาพที่ 4.20 ลักษณะของดินเบาที่ผ่านการเผา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



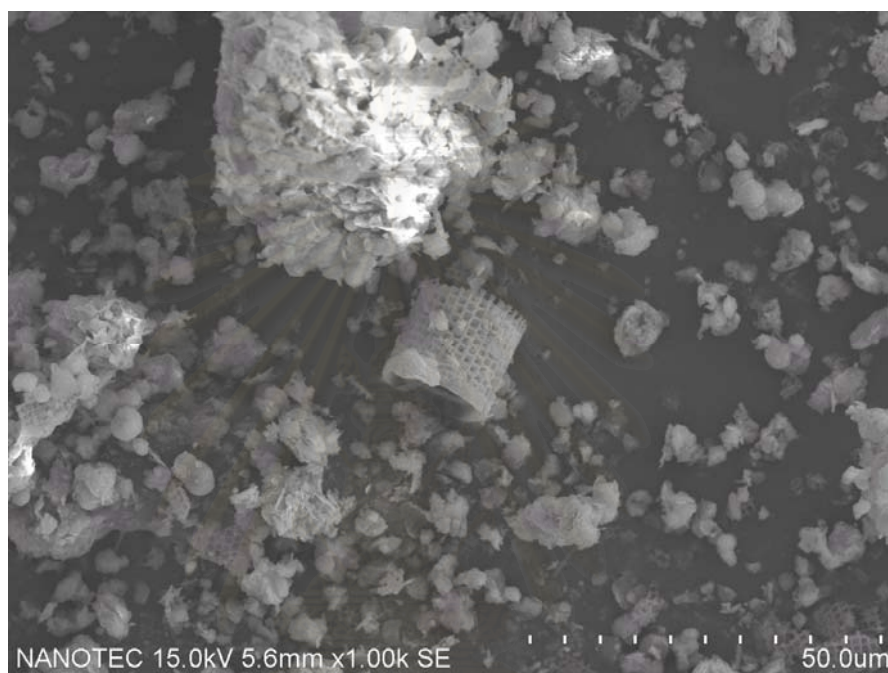
ภาพที่ 4.21 ภาพถ่าย SEM ของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C  
(กำลังขยาย 5,000 เท่า)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.22 ภาพถ่าย SEM ของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C  
(กำลังขยาย 100 เท่า)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.23 ภาพถ่าย SEM ของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C

(กำลังขยาย 500 เท่า)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.3 การศึกษาเสถียรภาพของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C หลังจากผ่านการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรทแล้วโดยวิธีทดสอบการชะละลาย

ผลการศึกษาเสถียรภาพของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่ผ่านการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรทโดยวิธี Leaching test ซึ่งปรับปรุงจากวิธีของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (2540) โดยนำดินเบาเผาที่ผ่านการดูดซับแล้ว มาบดเป็นผงและเติมสารละลายสังเคราะห์ซึ่งประกอบด้วยน้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดซัลฟิวริกจนส่วนผสมมีค่าพีเอชเท่ากับ 5 ปรับอัตราส่วนของปริมาณน้ำเป็น 20 เท่า (20 มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของดินเบาเผา จากนั้นนำมาเขย่า 60 รอบ ต่อนาทีที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.21 การศึกษาเสถียรภาพของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่ผ่านการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรทแล้ว

ชนิดของกากตะกอน (ดูดซับด้วยดินเบาเผา)	ความเข้มข้น (mg/l)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)	ปริมาณที่ชะละลายออกมา	
			(mg/l)	(%)
ไนโตรเจน	1.06	96.47	0.37	34.91
ไนเตรท	2.61	93.50	0.52	19.92

ผลการศึกษาเสถียรภาพของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่ผ่านการดูดซับไนโตรเจนแล้ว มีค่าเท่ากับ 1.06 มิลลิกรัมต่อลิตร และเสถียรภาพของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่ผ่านการดูดซับไนเตรทแล้วมีค่าเท่ากับ 2.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ถือว่ากากตะกอนที่เกิดขึ้นมีความเข้มข้นของไนโตรเจนและไนเตรทในปริมาณที่น้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนและไนเตรท 10 mg NO<sub>3</sub>-N/L ซึ่งเริ่มเป็นความเข้มข้นที่มีผลต่อสุขภาพ ดังนั้นดินเบาเผาที่ผ่านการดูดซับแล้วสามารถนำไปกำจัดได้โดยวิธีการฝังกลบตามหลักสุขาภิบาลได้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์โดยดินเบาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C สรุปผลได้ดังนี้

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรทโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 400, 600, 800 และ 1,000 °C พบว่า ดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800°C มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรท โดยพบว่า ความเข้มข้น พีเอช เวลาสัมผัส และปริมาณดินเบาเผา มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนและไนเตรท โดยสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 2 ใช้เวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง ที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที และใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไนโตรเจนมีค่าประมาณ 96-97 % และสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ความเข้มข้นของไนเตรท 40 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 2 ใช้เวลาสัมผัส 24 ชั่วโมง ที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที และใช้ปริมาณดินเบาเผา 3 กรัม ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไนเตรทมีค่าประมาณ 93-94 %

2. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C โดยสมบัติทางกายภาพได้ทำการศึกษาพื้นที่ผิวของดินเบาเผา ซึ่งมีผลต่อการดูดซับโดยใช้เครื่อง BET ในการวิเคราะห์ผล พบว่าดินเบาเผาที่มีพื้นที่ผิว 60.97 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดของรูพรุนเฉลี่ย 71.66 อังสตรอม และปริมาตรรูพรุน เท่ากับ 0.07 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม สำหรับการศึกษารูปร่างและโครงสร้างของดินเบาเผาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope: SEM) พบว่าดินเบาเผามีลักษณะส่วนใหญ่เป็นรูพรุน ซึ่งส่งผลให้มีความสามารถในการดูดซับที่ดี สำหรับสมบัติทางเคมีของดินเบาเผาโดยทำการศึกษาคู่ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF) พบว่ามีองค์ประกอบหลักคือ SiO<sub>2</sub> ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับไอออนต่างๆ ได้ดี

3. การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับโดยดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เมื่อทดสอบไอโซเทอร์มการดูดซับของไนไตรท์ พบว่าสัมพันธ์กับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช และเมื่อทดสอบไอโซเทอร์มการดูดซับของไนเตรท พบว่าสัมพันธ์กับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิชเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการดูดซับไนไตรท์และไนเตรทโดยดินเบาเผาได้ดี และเมื่อทำการศึกษาการชะละลายของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ที่ดูดซับไนไตรท์และไนเตรท พบว่าการชะละลายของดินเบาเผาที่ดูดซับไนไตรท์และไนเตรท มีค่าไม่เกินค่าที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อมูลที่ได้นี้ สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นและนำไปประยุกต์ในการนำดินเบาซึ่งเป็นวัตถุดิบทางธรรมชาติ ที่หาได้ง่ายในประเทศไทย และมีราคาถูก มาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีไนไตรท์และไนเตรทปนเปื้อน เช่น การทำนาเลี้ยงกุ้ง อุตสาหกรรมการผลิตปุ๋ย ซึ่งทดแทนการใช้สารเคมี หรือวิธีการอื่นที่มีต้นทุนสูงกว่า

2. ควรมีการศึกษา การใช้ดินเบาเผาที่อุณหภูมิต่างๆในการดูดซับไอออนลบชนิดอื่น ๆ ที่มีพิษและปนเปื้อนในแหล่งน้ำ

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- ควบคุมมลพิษ, กรม. 2541. ไนเตรทไนโตรเจนและสารประกอบอื่น-ไนโตรเจน. ครั้งที่ 2, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. 2543. มาตรฐานคุณภาพน้ำและเกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำในประเทศไทย : “Water quality standard & criterion in Thailand. กรุงเทพมหานคร : กรมควบคุมมลพิษ. กาญจนะ แก้วกำเนิด. การผลิตสารช่วยกรองดินเบาในการกรองทางอุตสาหกรรม. รายงานการวิจัย ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ; 2535.
- ชฎาภรณ์ บุญแท้. 2545. การดูดซับโลหะหนักบางชนิดจากน้ำเสียด้วยดินเบา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัยศรี ไชยวุฒิ. 2544. การเตรียมไดอะทอมไมต์เพื่อใช้เป็นสารช่วยกรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ดีพร้อม ไชยวงศ์เกียรติ. การใช้ปูนและซีโอไลท์ในบ่อเลี้ยงกุ้ง. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชา จุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2534.
- ทวี พรหมพฤกษ์. เตาและการเผา. เอกสารการนิเทศการศึกษา ฉบับที่ 240. ภาคพัฒนาและเอกสารวิชาการหน่วยศึกษานิเทศกรรมฝึกหัดครู. 2525.
- ทรัพยากรธรณี, กรม. หินและแร่. โรงพิมพ์รุ่งเรืองรัตน์, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ ; 2520
- ทรงศิลา จรัสตันมงคล. การผลิตซีโอไลท์ด้วยดินเบาให้เป็นสารดูดซับและการทดลองใช้บำบัดน้ำเสียในนาุ้ง. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2542
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิ์ศักดิ์. 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 3. โรงพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์. สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- ธีรานี โชติกไกร และชาญ จรรยาณิชย์. 2534. ไดอะทอมไมต์ แหล่งน้ำแม่โจ้ อ.แม่ทะ จ.ลำปาง. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17 (วทท. 17). มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นัทธีรา สรรพณี. 2541. เคมีสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครปฐม : ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2525. ไนโตรเจนและสารประกอบไนโตรเจน. แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ 2525 (พิมพ์ครั้งที่ 1), โรงพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 290 น.

- พล สาเกทอง. 2518. รายงานผลการวิจัยเรื่องการดูดซับที่ผิวของของแข็งต่อสารที่ปะปนในน้ำโดยของแข็งอยู่กับที่วิธีหนึ่งและของแข็งอยู่ในลักษณะเป็นฟลูอิดส์. รายงานผลการวิจัยทุนรัชดาภิเษกสมโภชน์ สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ ปีการศึกษา 2516.
- มันสิน ตันทุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2536. การจัดการคุณภาพน้ำและบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์อื่นๆ เล่ม 1 การจัดการคุณภาพน้ำ. ภาควิชาสิ่งทอ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 319 น.
- มันสิน ตันทุลเวศม์. 2540. ไนเตรต-ไนโตรเจน. คู่มือการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 2540 (พิมพ์ครั้งที่ 2), โรงพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 351 น.
- มันสิน ตันทุลเวศม์. 2546. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัชณี วัชรคุปต์ และชาญ จรรย์าณิษฐ์. 2533. ไดอะทอมไมต์ แร่อุตสาหกรรมสำหรับอนาคต. ข่าวสารการธรณี. 35(9) : 25-30.
- ศุภวรรณ เกตุคุ้ม. 2545. การดูดซับไซยาไนด์ไอออนด้วยดินเบา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สถานะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุจิตร์ พิตรากุล. 2530. แหล่งแร่ และแร่ในอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่ : ศูนย์ส่งเสริมตำรา และเอกสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เสริมพล รัตนสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- สุดา วุ่นพันธ์. 2545. การเตรียมตัวพองตัวเร่งจากไดอะทอมไมต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อริชา บวรวัฒนานนท์. 2527. การเตรียมสารของแข็งรองรับจากไดอะทอมไมต์ในประเทศไทย สำหรับโครมาโตกราฟีคอลัมน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุดร จารุรัตน์ และจารุรัตน์ วรรณิสรากุล. 2542. คุณภาพของน้ำ. วิศวกรรมประปาและการจัดการน้ำเสีย เล่มที่ 1, 2542 (พิมพ์ครั้งที่ 1), เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ

## ภาษาอังกฤษ

- APHA, AWWA and WPCF. 1975. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 14<sup>th</sup> Edition, APHA. Washington, DC. 1193 p.
- APHA, AWWA and WEF. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18<sup>th</sup> Edition, APHA. Washington, DC.
- American Health Public Association, American Water Work Association and Water Pollution Control Federation. 1981. Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater. 15<sup>th</sup> ed., American Health Public Association, Washington, D.C. 1134 p.
- Andersso, R. 1985. Nitrate reduction during fermentation by Gram-negative bacterial activity in carrots. International Journal of Food Microbiology. 2:219-225.
- Agdi, K., et al. 2000. Removal of Atrazine and Chlorpyrifos from aqueous solutions by absorption on Diatomaceous earth – Competitive adsorption. The International of Environmental Studies. Vol 3.
- Aytas, S., et al. 1999. Removal of uranium from aqueous solutions by diatomite (Kieselguhr). Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 240(3) : 973-976.
- Al-degs, Y., Khraisheh, M.A. and Tutunji, M.F. 2001. Sorption of Lead Ions on Diatomite and Manganese Oxides Modified Diatomite. Water Research 35 : 3724-3728.
- Bucksteeg, W. and Thiele, H. 1957. Possibilities of Experimental Assessment of Population Equivalents for Industrial Wastes. Gas Wasserfash. 98 : 909-910.
- Bouwer, H. 1989. Agricultural contamination : problems and solutions. Water Environ.Technol. (October),292 –297.
- Congar, PS. 1942. Accumulation of Diatomaceous Deposites. J. Sed. Petrol. 12(2) : 55-66.
- Damgaard, M. 1998. Nitrate in drinking water. [online]. Aviable from:  
<http://www.dnr.state.wi.us/org/water/dwg/nitrate.htm>.January 15,2000.
- Dzombak, D. A., and Morel, F. M. M. 1990. Surface Complexation Modeling : Hydrous Ferric Oxide. New York: John Wiley & Sons.
- Grasshoff, K. 1976. Methods of Seawater Analysis. Verlag Chemie, New York. 317 p.
- Ghouti, 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 Environmental Management. 69: 229 – 238.
- Huang, Y.H. and Zhang, T.C. 2004. Effects of low pH on nitrate reduction by iron powder. Water Research .38 :2631 –2642.
- Kadey L. and Frederic, JR. 1983. Diatomite. Industrial Minerals and Rocks. 2 vols. 5 th ed., pp. 677-708. Maryland : Port City Press.
- Kadey L. and Frederic, JR. 1983. Diatomite. Industrial Minerals and Rocks. 2 vols. 5 th ed., pp. 677-708. Maryland: Port City Press.
- 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
- Mathers, SJ. 1989. Costa Rican Diatomite : a review of existing knowledge and future potential. Rev. Geol. Amer. Central. 10: 3-17.
- Mathews, A.P., and Zayas, I. 1989. Particle size and shape effects on adsorption rate parameters. J. of Environmental Engineering., 41-55.
- Montgomery, J.M. 1985. Waste treatment principles and design. New York: John Wiley & Sons.
- Mizuta, K., Matsumoto, T., Hatate, Y., Nishihara, K. and Nakanishi, T. 2004. Removal of nitrate-nitrogen from drinking water using bamboo powder Charcoal. Bioresource Technology. 95 :255 –257.
- Ozturk, N. and Bektas, T.E. 2004. Nitrate removal from aqueous solution by adsorption onto various materials. Journal of Hazardous Materials.155-162.
- Pettijohn, P.J. 1957. Sedimentary Rocks. 2 nd ed. New York: Harper & Raw, 435.
- Sawyer, Clair N. 1994. Chemistry for environmental engineering, Nitrogen. 4<sup>th</sup> Edition, McGraw Hill Inc. Singapore. 658 p.
- Shuman, L.M. 1975. The effect of soil properties on zinc adsorption by soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 5 : 454-458.
- Srimurali, M., et al. 1998. A study on a removal of fluorides from drinking water by adsorption onto low-cost materials. Environmental Pollution. 99 : 285-289.
- Talliaferro, NL. 1933. The Relation of Valcanism to Diatomaceous and Associated Siliceous Sedimens Geological Science. University California Publish. 23 : 1-55.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ไนโตรเจนและไนเตรท

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ก-1 วิธีการวิเคราะห์ไนเตรท

### วิธีวิเคราะห์ไนเตรท (วิธี Brucine)

#### เครื่องมือ

1. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์สำหรับวัดที่ 410 nm
2. ปิเปต
3. wire rack สำหรับใส่หลอดทดลอง
4. stirred boiling water bath อย่างน้อยให้อุณหภูมิ 95 C
5. reaction tube ขนาด 2.5 X 15 เซนติเมตร
6. cool water bath

#### น้ำยาเคมี

##### 1. สารละลายสต็อกไนเตรท

ละลาย anhydrous  $\text{KNO}_3$  0.7218 กรัม เติมน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

##### 2. สารละลายมาตรฐานไนเตรท

นำสารละลายสต็อกไนเตรทมา 20 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนครบ 1,000 มิลลิลิตร 1.00 มิลลิลิตร = 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตรไนโตรเจน

##### 3. สารละลายโซเดียมอาร์ซีไนต์

ละลาย  $\text{NaAsO}_2$  5.0 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร

##### 4. Brucine-sulfanilic acid solution

ละลาย brucine sulfate 1 กรัม และ sulfanilic acid 0.1 กรัม ในน้ำร้อน 70 มิลลิลิตร เติมกรดเกลือเข้มข้น 3 มิลลิลิตร ทำให้เย็น เติมน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้เก็บไว้ได้หลายเดือน สีชมพูที่ค่อยๆ เกิดขึ้นไม่มีผลต่อการวิเคราะห์

## 5. สารละลายกรดซัลฟูริก (4+1)

ค่อยๆ เทกรดซัลฟูริกเข้มข้น 500 มิลลิลิตรลงในน้ำกลั่น 125 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง ปิดจุกให้แน่น

## 6. สารละลายโซเดียมคลอไรด์

ละลาย NaCl 300 กรัม ในน้ำกลั่น ในน้ำกลั่นแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร

วิธีวิเคราะห์

## 1. การสร้างกราฟมาตรฐาน

- ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรทจำนวน 1, 2, 3, 4 และ 5 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นให้แต่ละหลอดมีปริมาตรครบ 10 มล. ซึ่งแต่ละหลอดจะมีความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ไมโครกรัมตามลำดับ แบลงก์ใช้น้ำกลั่น 10 มล. โดยไม่ใช้สารละลายมาตรฐานไนเตรท

- เติมน้ำกลั่นโซเดียมคลอไรด์ 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันโดยใช้ vortex mixer เติมน้ำกลั่นกรดซัลฟูริก (4+1) 10 มล. เขย่าอีก ปล่อยให้ทิ้งไว้เย็นหรือแช่ในน้ำให้หายร้อน วาง rack ลงในอ่างน้ำเย็น เติมน้ำกลั่น brucine-sulfanic acid 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันยก rack วางในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 95 °C ได้ทิ้งไว้ 20 นาที นำ rack มาใส่ในอ่างน้ำเย็นปล่อยให้เย็นจนเท่าอุณหภูมิห้อง นำมาอ่านค่า Absorbance ที่ 410 nm พล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นกับ Absorbance

## 2. การทำให้เกิดสี

- จัดหลอดลงใน rack ปิเปตตัวอย่าง 10 มิลลิลิตรหรือน้อยกว่านี้ แล้วเติมน้ำจนครบ

10 มิลลิลิตร

- ทำตามขั้นตอนเหมือนการทำกราฟมาตรฐาน

การคำนวณ

$$\text{NO}_3^- - \text{N mg/l} = \frac{\text{ไมโครกรัมไนเตรทที่อ่านได้จากกราฟ}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างนำ (มล.)}}$$

## ก-2 วิธีการวิเคราะห์ไนไตรท์

### การหาไนไตรท์ (วิธี NED)

#### เครื่องมือ

1. สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ใช้วัดที่ 543 nm ด้วยเซลล์ขนาด 1 เซนติเมตรหรือยาวกว่า
2. หลอดเนสเลอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

#### น้ำยาเคมี

1. สารละลายซัลฟานิลาไมด์ (*Sulphanilamide solution*)  
ละลาย 5 กรัมของ Sulphanilamide ใน 50 มล. กรด HCl เข้มข้น เติมน้ำกลั่นประมาณ 300 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปจนได้ปริมาตร 500 มล.

2. สารละลายเอ็นอีดีไดไฮโดรคลอไรด์ (*NED Dihydrochloride*)  
ละลาย N-(1-Naphthyl) ethylenediamine dihydrochloride 0.5 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มล. และเก็บในขวดสีชา

3. สารละลายโซเดียมออกซาเลต (*Sodium Oxalate*) 0.05 N  
ละลายโซเดียมออกซาเลต ( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) 3.35 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1,000 มล.

4. สารละลายสต็อกไนไตรท์ (*Stock Nitrite Solution*)

)  
- ชั่งโซเดียมไนไตรท์ ( $\text{NaNO}_2$ ) 1.232 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 1,000 มล. (1 มล. = 250  $\mu\text{g}$  N) เก็บรักษาด้วยคลอโรฟอร์ม 1 มล.

- เทียบมาตรฐานความเข้มข้นของสต็อกไนไตรท์ ทำโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.05 N จำนวน 50 มล. เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 5 มล. และสารละลายสต็อกไนไตรท์ 50 มล. นำไปอุ่นบนเตาที่อุณหภูมิในช่วง 70 – 80 °C กำจัดสีโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตโดยค่อยๆเติมสารละลายโซเดียมออกซาเลต 0.05 N ทีละ 10 มล. แล้วไตเตรตส่วนที่เกินพอ

ของโซเดียมออกซาลेटด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.05 N จนได้สีชมพูซึ่งเป็นจุดยุติ (ได้ปริมาตรโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ไป H มล. ทำแบลนด์แล้วใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายสต็อกในไตร์ท์และทำทุกอย่างเหมือนกันคำนวณหาความเข้มข้นตามสมการข้างล่าง)

$$A = (BC-DE) \times 7/F$$

- A = มิลลิกรัมไนไตรท์ในโตรเจนต่อมิลลิลิตรในสารละลายสต็อกไนไตรท์  
 B = ปริมาตรเป็นมิลลิตรของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ทั้งหมด = 50 + H มล.  
 C = นอร์มัลลิตีของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.05 N  
 D = ปริมาตรเป็นมิลลิตรของสารละลายโซเดียมออกซาลेटที่เติมลงไป  
 E = นอร์มัลลิตีของสารละลายโซเดียมออกซาลेट  
 F = ปริมาตรเป็นมิลลิตรของสารละลายสต็อกไนไตรท์ที่นำมาไตเตรท

#### 5. สารละลายไนไตรท์ปานกลาง (Intermediate Nitrite Solution)

คำนวณปริมาณสต็อกไนไตรท์เพื่อเตรียมสารละลายไนไตรท์ปานกลางจาก

$$G = 125/A$$

แล้วนำปริมาตรที่คำนวณได้มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 250 มล.

#### 6. สารละลายมาตรฐานไนไตรท์ (Standard Nitrite Solution)

ปีเปตสารละลายไนไตรท์ปานกลางมา 10.00 มล. ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร 1,000 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบปริมาตร

#### วิธีวิเคราะห์

1. เติมน้ำตัวอย่าง 50 มล. เติมสารละลายซัลฟานิลไมด์ 1.0 มล. เขย่า ตั้งทิ้งประมาณ 2-8 นาที แล้วเติมสารละลายเอ็นอีดีไอไฮโดรคลอไรด์ 1.0 มล. เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 10 นาที (ไม่เกิน 2 ชั่วโมง) รินตัวอย่างน้ำที่เกิดสีแล้วลงในคิวเวตต์ขนาด 1-cm แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยตั้งความยาวคลื่นแสงที่ 543 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็นแบลนด์นำมาอ่านค่าความเข้มข้นจากกราฟมาตรฐาน

2. ทำกราฟมาตรฐานโดย ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนไตรท์จำนวน 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 มล. ลงใน flask 100 มล. เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 มล. สารละลายนี้จะมีค่าเข้มข้น 1,2,3,4, 5 และ 6 ไมโครกรัม แล้วทำตามขั้นตอนข้อ 1

#### การคำนวณ

$$\text{NO}_2^- - \text{N mg/l} = \frac{\text{ไมโครกรัมไนไตรท์ที่อ่านได้จากกราฟ}}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)}}$$

$$\% \text{ Adsorption} = \frac{(\text{Initial concentration} - \text{Final concentration})}{\text{Initial concentration}} \times 100$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

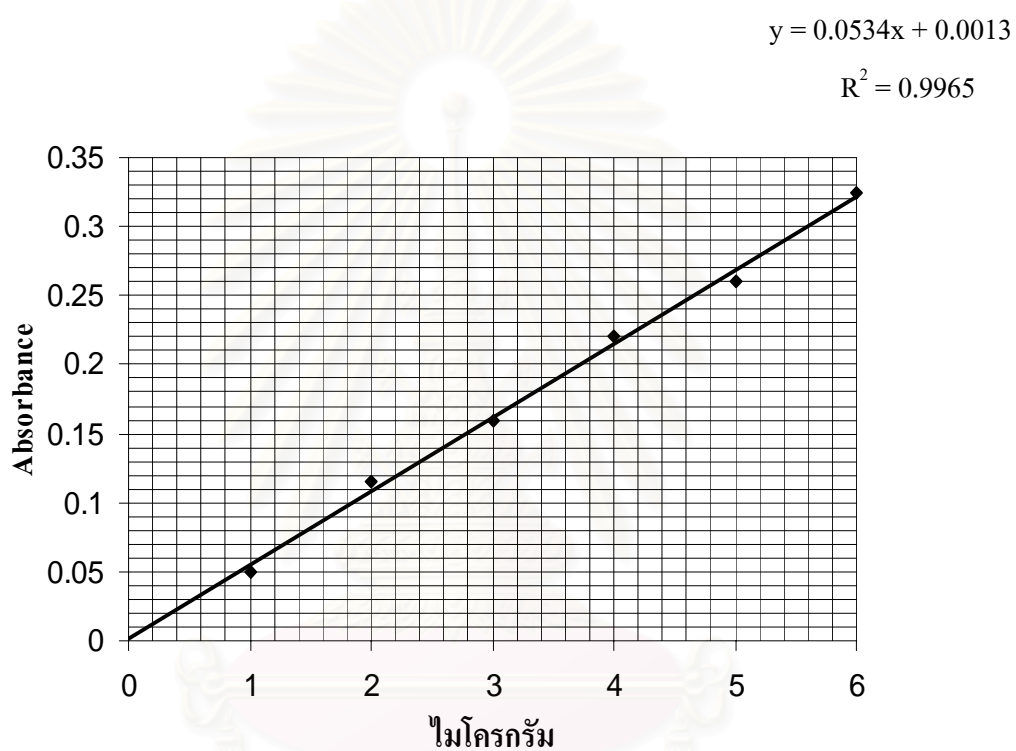
กราฟมาตรฐานไนโตรเจนและไนเตรท

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข

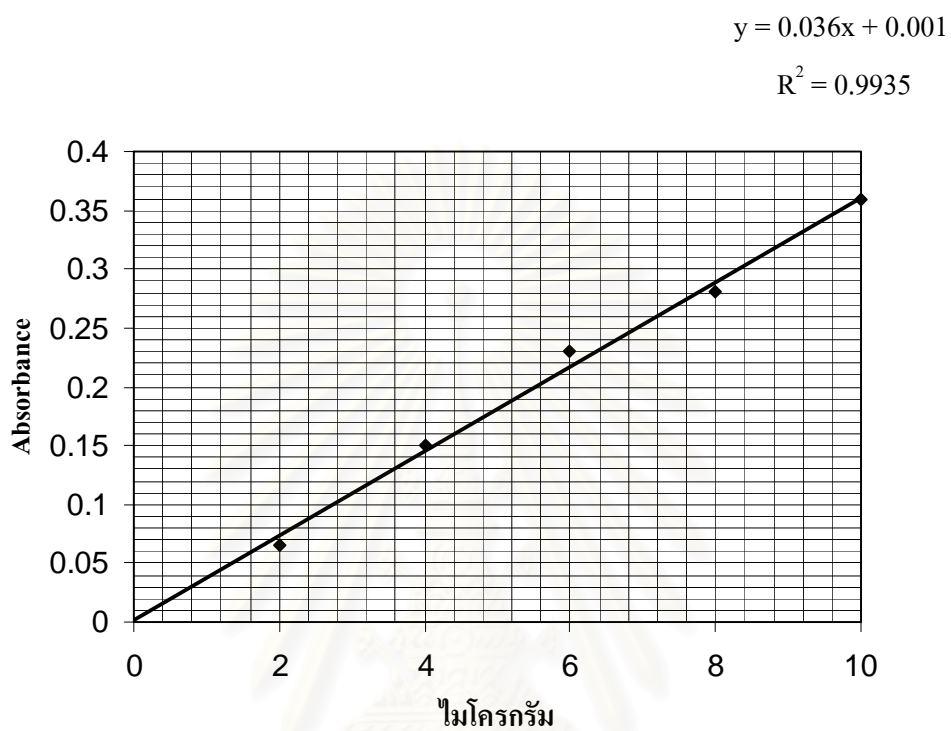
## กราฟสารละลายมาตรฐานไนไตรท์และไนเตรท

ข-1 กราฟสารละลายมาตรฐานไนไตรท์



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ข-2 กราฟฟัสดรละลายมาตรฐานในเตรท



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ก.1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นไนไตรท์ที่มีต่อการดูดซับ

#### Oneway

#### ANOVA

%Adsorption\_nitrite

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9.748	5	1.950	252.821	.000
Within Groups	.093	12	.008		
Total	9.840	17			

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: %Adsorption\_nitrite

Scheffe

(I) conc.	(J) conc.	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
10.00	15.00	-.95667*	.07170	.000	-1.2392	-.6741
	20.00	-1.78333*	.07170	.000	-2.0659	-1.5008
	30.00	-2.08000*	.07170	.000	-2.3625	-1.7975
	40.00	-1.96000*	.07170	.000	-2.2425	-1.6775
	50.00	-1.82000*	.07170	.000	-2.1025	-1.5375
15.00	10.00	.95667*	.07170	.000	.6741	1.2392
	20.00	-.82667*	.07170	.000	-1.1092	-.5441
	30.00	-1.12333*	.07170	.000	-1.4059	-.8408
	40.00	-1.00333*	.07170	.000	-1.2859	-.7208
	50.00	-.86333*	.07170	.000	-1.1459	-.5808
20.00	10.00	1.78333*	.07170	.000	1.5008	2.0659
	15.00	.82667*	.07170	.000	.5441	1.1092
	30.00	-.29667*	.07170	.037	-.5792	-.0141
	40.00	-.17667	.07170	.360	-.4592	.1059
	50.00	-.03667	.07170	.998	-.3192	.2459
30.00	10.00	2.08000*	.07170	.000	1.7975	2.3625
	15.00	1.12333*	.07170	.000	.8408	1.4059
	20.00	.29667*	.07170	.037	.0141	.5792
	40.00	.12000	.07170	.729	-.1625	.4025
	50.00	.26000	.07170	.079	-.0225	.5425
40.00	10.00	1.96000*	.07170	.000	1.6775	2.2425
	15.00	1.00333*	.07170	.000	.7208	1.2859
	20.00	.17667	.07170	.360	-.1059	.4592
	30.00	-.12000	.07170	.729	-.4025	.1625
	50.00	.14000	.07170	.594	-.1425	.4225
50.00	10.00	1.82000*	.07170	.000	1.5375	2.1025
	15.00	.86333*	.07170	.000	.5808	1.1459
	20.00	.03667	.07170	.998	-.2459	.3192
	30.00	-.26000	.07170	.079	-.5425	.0225
	40.00	-.14000	.07170	.594	-.4225	.1425

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

ค.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าพีเอชที่มีต่อการดูดซับไนไตรท์

Oneway

ANOVA

%Adsorption\_nitrite

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8666.410	8	1083.301	335425.83	.000
Within Groups	.058	18	.003		
Total	8666.468	26			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: %Adsorption\_nitrite

Scheffe

(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2.00	3.00	.26333*	.04640	.007	.0554	.4713
	4.00	.71000*	.04640	.000	.5021	.9179
	5.00	.71000*	.04640	.000	.5021	.9179
	6.00	10.59000*	.04640	.000	10.3821	10.7979
	7.00	28.67000*	.04640	.000	28.4621	28.8779
	8.00	30.79000*	.04640	.000	30.5821	30.9979
	9.00	40.37667*	.04640	.000	40.1687	40.5846
	10.00	46.64333*	.04640	.000	46.4354	46.8513
3.00	2.00	-.26333*	.04640	.007	-.4713	-.0554
	4.00	.44667*	.04640	.000	.2387	.6546
	5.00	.44667*	.04640	.000	.2387	.6546
	6.00	10.32667*	.04640	.000	10.1187	10.5346
	7.00	28.40667*	.04640	.000	28.1987	28.6146
	8.00	30.52667*	.04640	.000	30.3187	30.7346
	9.00	40.11333*	.04640	.000	39.9054	40.3213
	10.00	46.38000*	.04640	.000	46.1721	46.5879
4.00	2.00	-.71000*	.04640	.000	-.9179	-.5021
	3.00	-.44667*	.04640	.000	-.6546	-.2387
	5.00	.00000	.04640	1.000	-.2079	.2079
	6.00	9.88000*	.04640	.000	9.6721	10.0879
	7.00	27.96000*	.04640	.000	27.7521	28.1679
	8.00	30.08000*	.04640	.000	29.8721	30.2879
	9.00	39.66667*	.04640	.000	39.4587	39.8746
	10.00	45.93333*	.04640	.000	45.7254	46.1413

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: %Adsorption\_nitrite  
Scheffe

(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5.00	2.00	-.71000*	.04640	.000	-.9179	-.5021
	3.00	-.44667*	.04640	.000	-.6546	-.2387
	4.00	.00000	.04640	1.000	-.2079	.2079
	6.00	9.88000*	.04640	.000	9.6721	10.0879
	7.00	27.96000*	.04640	.000	27.7521	28.1679
	8.00	30.08000*	.04640	.000	29.8721	30.2879
	9.00	39.66667*	.04640	.000	39.4587	39.8746
	10.00	45.93333*	.04640	.000	45.7254	46.1413
6.00	2.00	-10.59000*	.04640	.000	-10.7979	-10.3821
	3.00	-10.32667*	.04640	.000	-10.5346	-10.1187
	4.00	-9.88000*	.04640	.000	-10.0879	-9.6721
	5.00	-9.88000*	.04640	.000	-10.0879	-9.6721
	7.00	18.08000*	.04640	.000	17.8721	18.2879
	8.00	20.20000*	.04640	.000	19.9921	20.4079
	9.00	29.78667*	.04640	.000	29.5787	29.9946
	10.00	36.05333*	.04640	.000	35.8454	36.2613
7.00	2.00	-28.67000*	.04640	.000	-28.8779	-28.4621
	3.00	-28.40667*	.04640	.000	-28.6146	-28.1987
	4.00	-27.96000*	.04640	.000	-28.1679	-27.7521
	5.00	-27.96000*	.04640	.000	-28.1679	-27.7521
	6.00	-18.08000*	.04640	.000	-18.2879	-17.8721
	8.00	2.12000*	.04640	.000	1.9121	2.3279
	9.00	11.70667*	.04640	.000	11.4987	11.9146
	10.00	17.97333*	.04640	.000	17.7654	18.1813
8.00	2.00	-30.79000*	.04640	.000	-30.9979	-30.5821
	3.00	-30.52667*	.04640	.000	-30.7346	-30.3187
	4.00	-30.08000*	.04640	.000	-30.2879	-29.8721
	5.00	-30.08000*	.04640	.000	-30.2879	-29.8721
	6.00	-20.20000*	.04640	.000	-20.4079	-19.9921
	7.00	-2.12000*	.04640	.000	-2.3279	-1.9121
	9.00	9.58667*	.04640	.000	9.3787	9.7946
	10.00	15.85333*	.04640	.000	15.6454	16.0613
9.00	2.00	-40.37667*	.04640	.000	-40.5846	-40.1687
	3.00	-40.11333*	.04640	.000	-40.3213	-39.9054
	4.00	-39.66667*	.04640	.000	-39.8746	-39.4587
	5.00	-39.66667*	.04640	.000	-39.8746	-39.4587
	6.00	-29.78667*	.04640	.000	-29.9946	-29.5787
	7.00	-11.70667*	.04640	.000	-11.9146	-11.4987
	8.00	-9.58667*	.04640	.000	-9.7946	-9.3787
	10.00	6.26667*	.04640	.000	6.0587	6.4746
10.00	2.00	-46.64333*	.04640	.000	-46.8513	-46.4354
	3.00	-46.38000*	.04640	.000	-46.5879	-46.1721
	4.00	-45.93333*	.04640	.000	-46.1413	-45.7254
	5.00	-45.93333*	.04640	.000	-46.1413	-45.7254
	6.00	-36.05333*	.04640	.000	-36.2613	-35.8454
	7.00	-17.97333*	.04640	.000	-18.1813	-17.7654
	8.00	-15.85333*	.04640	.000	-16.0613	-15.6454
	9.00	-6.26667*	.04640	.000	-6.4746	-6.0587

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

### ก.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับไนไตรท์

Oneway

#### ANOVA

%Adsorption\_nitrite

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	33.688	5	6.738	9549.381	.000
Within Groups	.008	12	.001		
Total	33.697	17			

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: %Adsorption\_nitrite

Scheffe

(I) Time(hour)	(J) Time(hour)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2.00	4.00	-1.14333*	.02169	.000	-1.2288	-1.0579
	6.00	-2.15333*	.02169	.000	-2.2388	-2.0679
	8.00	-3.62333*	.02169	.000	-3.7088	-3.5379
	10.00	-3.54333*	.02169	.000	-3.6288	-3.4579
	12.00	-3.43333*	.02169	.000	-3.5188	-3.3479
4.00	2.00	1.14333*	.02169	.000	1.0579	1.2288
	6.00	-1.01000*	.02169	.000	-1.0955	-.9245
	8.00	-2.48000*	.02169	.000	-2.5655	-2.3945
	10.00	-2.40000*	.02169	.000	-2.4855	-2.3145
	12.00	-2.29000*	.02169	.000	-2.3755	-2.2045
6.00	2.00	2.15333*	.02169	.000	2.0679	2.2388
	4.00	1.01000*	.02169	.000	.9245	1.0955
	8.00	-1.47000*	.02169	.000	-1.5555	-1.3845
	10.00	-1.39000*	.02169	.000	-1.4755	-1.3045
	12.00	-1.28000*	.02169	.000	-1.3655	-1.1945
8.00	2.00	3.62333*	.02169	.000	3.5379	3.7088
	4.00	2.48000*	.02169	.000	2.3945	2.5655
	6.00	1.47000*	.02169	.000	1.3845	1.5555
	10.00	.08000	.02169	.072	-.0055	.1655
	12.00	.19000*	.02169	.000	.1045	.2755
10.00	2.00	3.54333*	.02169	.000	3.4579	3.6288
	4.00	2.40000*	.02169	.000	2.3145	2.4855
	6.00	1.39000*	.02169	.000	1.3045	1.4755
	8.00	-.08000	.02169	.072	-.1655	.0055
	12.00	.11000*	.02169	.009	.0245	.1955
12.00	2.00	3.43333*	.02169	.000	3.3479	3.5188
	4.00	2.29000*	.02169	.000	2.2045	2.3755
	6.00	1.28000*	.02169	.000	1.1945	1.3655
	8.00	-.19000*	.02169	.000	-.2755	-.1045
	10.00	-.11000*	.02169	.009	-.1955	-.0245

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

#### ค.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณดินเบาเผาที่มีต่อการดูดซับไนโตรเจน

Oneway

#### ANOVA

%Adsorption\_nitrite

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	23.719	5	4.744	2345.879	.000
Within Groups	.024	12	.002		
Total	23.744	17			

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: %Adsorption\_nitrite

Scheffe

(I) Amount(g)	(J) Amount(g)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.50	1.00	-1.31333*	.03672	.000	-1.4580	-1.1686
	1.50	-1.94333*	.03672	.000	-2.0880	-1.7986
	2.00	-2.92333*	.03672	.000	-3.0680	-2.7786
	2.50	-3.12000*	.03672	.000	-3.2647	-2.9753
	3.00	-3.16667*	.03672	.000	-3.3114	-3.0220
1.00	.50	1.31333*	.03672	.000	1.1686	1.4580
	1.50	-.63000*	.03672	.000	-.7747	-.4853
	2.00	-1.61000*	.03672	.000	-1.7547	-1.4653
	2.50	-1.80667*	.03672	.000	-1.9514	-1.6620
	3.00	-1.85333*	.03672	.000	-1.9980	-1.7086
1.50	.50	1.94333*	.03672	.000	1.7986	2.0880
	1.00	.63000*	.03672	.000	.4853	.7747
	2.00	-.98000*	.03672	.000	-1.1247	-.8353
	2.50	-1.17667*	.03672	.000	-1.3214	-1.0320
	3.00	-1.22333*	.03672	.000	-1.3680	-1.0786
2.00	.50	2.92333*	.03672	.000	2.7786	3.0680
	1.00	1.61000*	.03672	.000	1.4653	1.7547
	1.50	.98000*	.03672	.000	.8353	1.1247
	2.50	-.19667*	.03672	.006	-.3414	-.0520
	3.00	-.24333*	.03672	.001	-.3880	-.0986
2.50	.50	3.12000*	.03672	.000	2.9753	3.2647
	1.00	1.80667*	.03672	.000	1.6620	1.9514
	1.50	1.17667*	.03672	.000	1.0320	1.3214
	2.00	.19667*	.03672	.006	.0520	.3414
	3.00	-.04667	.03672	.890	-.1914	.0980
3.00	.50	3.16667*	.03672	.000	3.0220	3.3114
	1.00	1.85333*	.03672	.000	1.7086	1.9980
	1.50	1.22333*	.03672	.000	1.0786	1.3680
	2.00	.24333*	.03672	.001	.0986	.3880
	2.50	.04667	.03672	.890	-.0980	.1914

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

### ค.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นไนเตรทที่มีต่อการดูดซับ

#### Oneway

#### ANOVA

%Adsorption\_nitrate

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	121.102	5	24.220	435968.5	.000
Within Groups	.001	12	.000		
Total	121.103	17			

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: %Adsorption\_nitrate

Scheffe

(I) conc.	(J) conc.	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
10.00	15.00	-.87333*	.00609	.000	-.8973	-.8494
	20.00	-1.80333*	.00609	.000	-1.8273	-1.7794
	30.00	-3.60667*	.00609	.000	-3.6306	-3.5827
	40.00	-5.35667*	.00609	.000	-5.3806	-5.3327
	50.00	-7.43667*	.00609	.000	-7.4606	-7.4127
15.00	10.00	.87333*	.00609	.000	.8494	.8973
	20.00	-.93000*	.00609	.000	-.9540	-.9060
	30.00	-2.73333*	.00609	.000	-2.7573	-2.7094
	40.00	-4.48333*	.00609	.000	-4.5073	-4.4594
	50.00	-6.56333*	.00609	.000	-6.5873	-6.5394
20.00	10.00	1.80333*	.00609	.000	1.7794	1.8273
	15.00	.93000*	.00609	.000	.9060	.9540
	30.00	-1.80333*	.00609	.000	-1.8273	-1.7794
	40.00	-3.55333*	.00609	.000	-3.5773	-3.5294
	50.00	-5.63333*	.00609	.000	-5.6573	-5.6094
30.00	10.00	3.60667*	.00609	.000	3.5827	3.6306
	15.00	2.73333*	.00609	.000	2.7094	2.7573
	20.00	1.80333*	.00609	.000	1.7794	1.8273
	40.00	-1.75000*	.00609	.000	-1.7740	-1.7260
	50.00	-3.83000*	.00609	.000	-3.8540	-3.8060
40.00	10.00	5.35667*	.00609	.000	5.3327	5.3806
	15.00	4.48333*	.00609	.000	4.4594	4.5073
	20.00	3.55333*	.00609	.000	3.5294	3.5773
	30.00	1.75000*	.00609	.000	1.7260	1.7740
	50.00	-2.08000*	.00609	.000	-2.1040	-2.0560
50.00	10.00	7.43667*	.00609	.000	7.4127	7.4606
	15.00	6.56333*	.00609	.000	6.5394	6.5873
	20.00	5.63333*	.00609	.000	5.6094	5.6573
	30.00	3.83000*	.00609	.000	3.8060	3.8540
	40.00	2.08000*	.00609	.000	2.0560	2.1040

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

ก.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพีเอชที่มีต่อการดูดซับไนเตรท

Oneway

ANOVA

%Adsorption\_nitrate

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1327.790	8	165.974	151394.97	.000
Within Groups	.020	18	.001		
Total	1327.810	26			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: %Adsorption\_nitrate

Scheffe

(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2.00	3.00	-.04667	.02703	.922	-.1678	.0745
	4.00	-.08667	.02703	.311	-.2078	.0345
	5.00	-.39333*	.02703	.000	-.5145	-.2722
	6.00	-1.28667*	.02703	.000	-1.4078	-1.1655
	7.00	-3.51000*	.02703	.000	-3.6311	-3.3889
	8.00	-10.23000*	.02703	.000	-10.3511	-10.1089
	9.00	-15.58667*	.02703	.000	-15.7078	-15.4655
3.00	2.00	.04667	.02703	.922	-.0745	.1678
	4.00	-.04000	.02703	.967	-.1611	.0811
	5.00	-.34667*	.02703	.000	-.4678	-.2255
	6.00	-1.24000*	.02703	.000	-1.3611	-1.1189
	7.00	-3.46333*	.02703	.000	-3.5845	-3.3422
	8.00	-10.18333*	.02703	.000	-10.3045	-10.0622
	9.00	-15.54000*	.02703	.000	-15.6611	-15.4189
4.00	2.00	.08667	.02703	.311	-.0345	.2078
	3.00	.04000	.02703	.967	-.0811	.1611
	5.00	-.30667*	.02703	.000	-.4278	-.1855
	6.00	-1.20000*	.02703	.000	-1.3211	-1.0789
	7.00	-3.42333*	.02703	.000	-3.5445	-3.3022
	8.00	-10.14333*	.02703	.000	-10.2645	-10.0222
	9.00	-15.50000*	.02703	.000	-15.6211	-15.3789
10.00		-18.88333*	.02703	.000	-19.0045	-18.7622

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: %Adsorption\_nitrate  
Scheffe

(I) pH	(J) pH	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5.00	2.00	.39333*	.02703	.000	.2722	.5145
	3.00	.34667*	.02703	.000	.2255	.4678
	4.00	.30667*	.02703	.000	.1855	.4278
	6.00	-.89333*	.02703	.000	-1.0145	-.7722
	7.00	-3.11667*	.02703	.000	-3.2378	-2.9955
	8.00	-9.83667*	.02703	.000	-9.9578	-9.7155
	9.00	-15.19333*	.02703	.000	-15.3145	-15.0722
	10.00	-18.57667*	.02703	.000	-18.6978	-18.4555
6.00	2.00	1.28667*	.02703	.000	1.1655	1.4078
	3.00	1.24000*	.02703	.000	1.1189	1.3611
	4.00	1.20000*	.02703	.000	1.0789	1.3211
	5.00	.89333*	.02703	.000	.7722	1.0145
	7.00	-2.22333*	.02703	.000	-2.3445	-2.1022
	8.00	-8.94333*	.02703	.000	-9.0645	-8.8222
	9.00	-14.30000*	.02703	.000	-14.4211	-14.1789
	10.00	-17.68333*	.02703	.000	-17.8045	-17.5622
7.00	2.00	3.51000*	.02703	.000	3.3889	3.6311
	3.00	3.46333*	.02703	.000	3.3422	3.5845
	4.00	3.42333*	.02703	.000	3.3022	3.5445
	5.00	3.11667*	.02703	.000	2.9955	3.2378
	6.00	2.22333*	.02703	.000	2.1022	2.3445
	8.00	-6.72000*	.02703	.000	-6.8411	-6.5989
	9.00	-12.07667*	.02703	.000	-12.1978	-11.9555
	10.00	-15.46000*	.02703	.000	-15.5811	-15.3389
8.00	2.00	10.23000*	.02703	.000	10.1089	10.3511
	3.00	10.18333*	.02703	.000	10.0622	10.3045
	4.00	10.14333*	.02703	.000	10.0222	10.2645
	5.00	9.83667*	.02703	.000	9.7155	9.9578
	6.00	8.94333*	.02703	.000	8.8222	9.0645
	7.00	6.72000*	.02703	.000	6.5989	6.8411
	9.00	-5.35667*	.02703	.000	-5.4778	-5.2355
	10.00	-8.74000*	.02703	.000	-8.8611	-8.6189
9.00	2.00	15.58667*	.02703	.000	15.4655	15.7078
	3.00	15.54000*	.02703	.000	15.4189	15.6611
	4.00	15.50000*	.02703	.000	15.3789	15.6211
	5.00	15.19333*	.02703	.000	15.0722	15.3145
	6.00	14.30000*	.02703	.000	14.1789	14.4211
	7.00	12.07667*	.02703	.000	11.9555	12.1978
	8.00	5.35667*	.02703	.000	5.2355	5.4778
	10.00	-3.38333*	.02703	.000	-3.5045	-3.2622
10.00	2.00	18.97000*	.02703	.000	18.8489	19.0911
	3.00	18.92333*	.02703	.000	18.8022	19.0445
	4.00	18.88333*	.02703	.000	18.7622	19.0045
	5.00	18.57667*	.02703	.000	18.4555	18.6978
	6.00	17.68333*	.02703	.000	17.5622	17.8045
	7.00	15.46000*	.02703	.000	15.3389	15.5811
	8.00	8.74000*	.02703	.000	8.6189	8.8611
	9.00	3.38333*	.02703	.000	3.2622	3.5045

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

### ค.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเวลาสัมพัทธ์ที่มีต่อการดูดซับไนเตรท

Oneway

#### ANOVA

%Adsorption\_nitrate

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.946	5	.189	1418.442	.000
Within Groups	.002	12	.000		
Total	.947	17			

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: %Adsorption\_nitrate

Scheffe

(I) Time(hour)	(J) Time(hour)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
3.00	6.00	.14333*	.00943	.000	.1062	.1805
	9.00	.48000*	.00943	.000	.4428	.5172
	12.00	.52000*	.00943	.000	.4828	.5572
	24.00	.58667*	.00943	.000	.5495	.6238
	36.00	.58667*	.00943	.000	.5495	.6238
6.00	3.00	-.14333*	.00943	.000	-.1805	-.1062
	9.00	.33667*	.00943	.000	.2995	.3738
	12.00	.37667*	.00943	.000	.3395	.4138
	24.00	.44333*	.00943	.000	.4062	.4805
	36.00	.44333*	.00943	.000	.4062	.4805
9.00	3.00	-.48000*	.00943	.000	-.5172	-.4428
	6.00	-.33667*	.00943	.000	-.3738	-.2995
	12.00	.04000*	.00943	.032	.0028	.0772
	24.00	.10667*	.00943	.000	.0695	.1438
	36.00	.10667*	.00943	.000	.0695	.1438
12.00	3.00	-.52000*	.00943	.000	-.5572	-.4828
	6.00	-.37667*	.00943	.000	-.4138	-.3395
	9.00	-.04000*	.00943	.032	-.0772	-.0028
	24.00	.06667*	.00943	.001	.0295	.1038
	36.00	.06667*	.00943	.001	.0295	.1038
24.00	3.00	-.58667*	.00943	.000	-.6238	-.5495
	6.00	-.44333*	.00943	.000	-.4805	-.4062
	9.00	-.10667*	.00943	.000	-.1438	-.0695
	12.00	-.06667*	.00943	.001	-.1038	-.0295
	36.00	.00000	.00943	1.000	-.0372	.0372
36.00	3.00	-.58667*	.00943	.000	-.6238	-.5495
	6.00	-.44333*	.00943	.000	-.4805	-.4062
	9.00	-.10667*	.00943	.000	-.1438	-.0695
	12.00	-.06667*	.00943	.001	-.1038	-.0295
	24.00	.00000	.00943	1.000	-.0372	.0372

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

### ก.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณดินเบาเผาที่มีต่อการดูดซับไนเตรท

#### Oneway

#### ANOVA

%Adsorption_nitrate					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.000	5	1.000	109.096	.000
Within Groups	.110	12	.009		
Total	5.110	17			

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: %Adsorption\_nitrate

Scheffe

(I) Amount(g)	(J) Amount(g)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.50	1.00	.67333*	.07817	.000	.3653	.9814
	1.50	1.29000*	.07817	.000	.9819	1.5981
	2.00	1.38333*	.07817	.000	1.0753	1.6914
	2.50	1.38900*	.07817	.000	1.0809	1.6971
	3.00	1.42667*	.07817	.000	1.1186	1.7347
1.00	.50	-.67333*	.07817	.000	-.9814	-.3653
	1.50	.61667*	.07817	.000	.3086	.9247
	2.00	.71000*	.07817	.000	.4019	1.0181
	2.50	.71567*	.07817	.000	.4076	1.0237
	3.00	.75333*	.07817	.000	.4453	1.0614
1.50	.50	-1.29000*	.07817	.000	-1.5981	-.9819
	1.00	-.61667*	.07817	.000	-.9247	-.3086
	2.00	.09333	.07817	.912	-.2147	.4014
	2.50	.09900	.07817	.891	-.2091	.4071
	3.00	.13667	.07817	.694	-.1714	.4447
2.00	.50	-1.38333*	.07817	.000	-1.6914	-1.0753
	1.00	-.71000*	.07817	.000	-1.0181	-.4019
	1.50	-.09333	.07817	.912	-.4014	.2147
	2.50	.00567	.07817	1.000	-.3024	.3137
	3.00	.04333	.07817	.997	-.2647	.3514
2.50	.50	-1.38900*	.07817	.000	-1.6971	-1.0809
	1.00	-.71567*	.07817	.000	-1.0237	-.4076
	1.50	-.09900	.07817	.891	-.4071	.2091
	2.00	-.00567	.07817	1.000	-.3137	.3024
	3.00	.03767	.07817	.998	-.2704	.3457
3.00	.50	-1.42667*	.07817	.000	-1.7347	-1.1186
	1.00	-.75333*	.07817	.000	-1.0614	-.4453
	1.50	-.13667	.07817	.694	-.4447	.1714
	2.00	-.04333	.07817	.997	-.3514	.2647
	2.50	-.03767	.07817	.998	-.3457	.2704

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกิตติยา น้อยม่วง เกิดเมื่อวันที่ 5 มิถุนายน พ.ศ. 2524 จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2546 และ เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ. 2546



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย