สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ค

บทคัดย่อภาษาไทย จ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ฉ

สารบัญตาราง ฌ

สารบัญรูป ฎ

อักษรย่อและสัญลักษณ์ ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 4

2.1 ฟลูออไรด์ 4

2.1.1 ผลกระทบฟลูออไรด์ต่อสุขภาพ 6

1) โรคฟันตกกระ 6

2) โรคความผิดปกติของกระดูก 7

2.1.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำของหน่ายงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับฟลูออไรด์ 8

2.2 การกำจัดฟลูออไรด์ 9

2.2.1 การตกตะกอน 9

2.2.2 เมมเบรน 9

2.2.3 อิเล็กโทรไดอะไลซิส 10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.4 การดูดซับ 10

2.3 กระบวนการดูดซับ 19

2.3.1 แบบจำลองทางจลนพลศาสตร์ของการดูดซับ 19

1) ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งทางจลนพลศาสตร์ 19

2) ปฏิกิริยาอันดับสองทางจลนพลศาสตร์ 20

3) ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียมทางจลนพลศาสตร์ 21

4) ปฏิกิริยาอันดับสองเทียมจลนพลศาสตร์ 21

2.3.2 ไอโซเทอมของการดูดซับ 22

1) ลิเนียร์ไอโซเทอม 23

2) แลงเมียร์ไอโซเทอม 23

3) ฟรุนดิชไอโซเทอม 24

2.3.3 ตัวดูดซับสำหรับการกำจัดฟลูออไรด์ 24

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ 28

1) จุดที่ทำให้ประเป็นศูนย์และพีเอชสารละลาย 28

2) ปริมาณการดูดซับและความเข้มข้นของฟลูออไรด์เริ่มต้น 28

3) การทำให้มีคุณสมบัติดูดติดแม่เหล็ก 29

4) ระยะเวลาสัมผัส 29

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย 30

3.1 น้ำที่ใช้ในงานวิจัย 30

3.1.1 น้ำเสียสังเคราะห์ 30

3.1.2 น้ำใต้ดิน 31

3.2 ขั้นตอนการศึกษา 31

3.2.1 การสังเคราะห์ถ่านกระดูก 32

3.2.2 การศึกษากระบวนการดูดซับ 38

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

1) พีเอชที่ทำให้ประจุรวมเป็นศูนย์ 38
2) การศึกษาเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์การดูดซับ 39
3) การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ 39
3.2.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำใต้ดิน 39
3.3 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ 41

บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา 42

4.1 ลักษณะสมบัติของถ่านกระดูก 42
4.1.1 โครงร่างผลึก 42
4.1.2 ชนิดและปริมาณธาตุ 44
4.1.3 การกระจายอนุภาค 45
4.1.4 ลักษณะพื้นผิวของถ่านกระดูกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 46
4.1.5 พื้นผิวและการกระจายของรูพรุน 47
4.2 การศึกษาสมดุลการดูดซับ 49
4.2.1 ประจุที่ทำให้พื้นผิวมีค่าเป็นศูนย์ 49
4.2.2 จลนพลศาสตร์ของการดูดซับ 50
4.2.3 อินทราพาทิเคิล 56
4.2.4 ไอโซเทอมของการดูดซับ 60
4.3 การกำจัดฟลูออไรด์ในน้ำใต้ดิน 62

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 65

5.1 สรุปผลการทดลอง 65
5.2 ข้อเสนอแนะ 66

เอกสารอ้างอิง 67

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก		76
ภาคผนวก ก	ข้อมูลจากการทดลอง	77
ภาคผนวก ข	Calibration curve	85
ภาคผนวก ค	การคำนวณ	93

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำของหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับฟลูออไรด์ 8
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างของตัวดูดซับ 13
ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ 41
ตารางที่ 4.1 ตารางการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยใช้ X-ray fluorescence spectrometer (XRF) 44
ตารางที่ 4.2 วิเคราะห์หาพื้นผิวและการกระจายของรูพรุน 49
ตารางที่ 4.3 รูปแบบของฟลูออไรด์ที่พีเอชต่างๆ 54
ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ของจลน์พลศาสตร์การดูดซับฟลูออไรด์ 56
ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ของการกระจายภายในรูพรุนสำหรับการดูดซับฟลูออไรด์ 60
ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ของไอโซเทอมการดูดซับฟลูออไรด์ 61
ตารางที่ 4.7 วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำใต้ดินก่อนและหลังการดูดซับ 62
ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำใต้ดิน 63
ตารางที่ ก-1 การดูดซับฟลูออไรด์ที่พีเอชเท่ากับ 6 และค่าความแรงประจุ 0.025 โมลาร์ 77
ตารางที่ ก-2 การดูดซับฟลูออไรด์ที่พีเอชเท่ากับ 6 และค่าความแรงประจุ 0.05 โมลาร์ 78
ตารางที่ ก-3 การดูดซับฟลูออไรด์ที่พีเอชเท่ากับ 6 และค่าความแรงประจุ 0.1 โมลาร์ 79
ตารางที่ ก-4 การดูดซับฟลูออไรด์ที่พีเอชเท่ากับ 4 และค่าความแรงประจุ 0.025 โมลาร์ 80
ตารางที่ ก-5 การดูดซับฟลูออไรด์ที่พีเอชเท่ากับ 7 และค่าความแรงประจุ 0.025 โมลาร์ 81
ตารางที่ ก-6 การดูดซับฟลูออไรด์ที่พีเอชเท่ากับ 8 และค่าความแรงประจุ 0.025 โมลาร์ 82
ตารางที่ ก-7 การดูดซับฟลูออไรด์ที่พีเอชเท่ากับ 10 และค่าความแรงประจุ 0.025 โมลาร์ 83
ตารางที่ ก-8 การดูดซับฟลูออไรด์ที่ความเข้มข้นฟลูออไรด์ต่างๆ 84
ตารางที่ ค-1 อัตราส่วนการผสมสาร A และ B 94

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	ผลึกแร่ฟลูออรด์	4
รูปที่ 2.2	วัฏจักรฟลูออไรด์ในสิ่งแวดล้อม	5
รูปที่ 2.3	ลักษณะของอาการฟันตกระ	6
รูปที่ 2.4	ลักษณะอาการของโรคที่เกิดจากการสะสมฟลูออไรด์ในกระดูก	7
รูปที่ 2.5	การเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงคาร์บอนอะตอมตามอุณหภูมิการเผา	27
รูปที่ 3.1	โซเดียมฟลูออไรด์	30
รูปที่ 3.2	น้ำใต้ดิน	31
รูปที่ 3.3	แผนผังขั้นตอนการศึกษา	32
รูปที่ 3.4	การสังเคราะห์ถ่านกระดูก	33
รูปที่ 3.5	ถ่านกระดูก	34
รูปที่ 3.6	การดูดซับแก๊สไนโตรเจนบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุ	34
รูปที่ 3.7	การดูดซับโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนของวัสดุเป็นชั้น ๆ	35
รูปที่ 3.8	เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน	35
รูปที่ 3.9	เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction; XRD)	36
รูปที่ 3.10	เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์(X-ray fluorescence; XRF)	37
รูปที่ 3.11	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)	38
รูปที่ 3.12	การหาค่าพีเอชที่ทำให้ประจุเป็นศูนย์	39
รูปที่ 3.13	การหาจลนพลศาสตร์การดูดซับ	40
รูปที่ 4.1	แสดงตัวอย่างการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของของไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite ; HAP) ในถ่าน PBC และ FPBC โดยใช้ X-ray diffraction (XRD)	43
รูปที่ 4.2	ใช้แม่เหล็กแยก FPBC ออกจากน้ำ	45
รูปที่ 4.3	กราฟการกระจายขนาดอนุภาคของ PBC และ FPBC	45
รูปที่ 4.4	ลักษณะพื้นผิวของถ่านกระดูกจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (FE-SEM) ของ PBC พื้นผิวอนุภาคกำลังขยาย 500 และ100,000 เท่า	46

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5	ลักษณะพื้นผิวของถ่านกระดูกจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (FE-SEM) ของ FPBC พื้นผิวอนุภาค กำลังขยาย 500 และ 100,000 เท่า	46
รูปที่ 4.6	ไอโซเทอมของการดูดซับและคายซับก๊าซไนโตรเจนของ PBC	47
รูปที่ 4.7	ไอโซเทอมของการดูดซับและคายซับก๊าซไนโตรเจนของ FPBC	47
รูปที่ 4.8	ชนิดของไอโซเทอมของการดูดซับ	48
รูปที่ 4.9	พีเอชที่ทำให้ประจุมีค่าเป็นศูนย์	49
รูปที่ 4.10	ความหนาแน่นประจุ	50
รูปที่ 4.11	การดูดซับฟลูออไรด์ที่ระยะเวลาต่างๆ ที่พีเอช 6 Is=0.025 0.05 และ 0.1 โมลาร์	52
รูปที่ 4.12	การดูดซับฟลูออไรด์ที่ระยะเวลาต่างๆ ที่ Is= 0.025 pH = 4.0 6.0 7.0 8.0 และ 10.0	53
รูปที่ 4.13	รูปแบบของจลนพลศาสตร์การดูดซับแบบปฏิกิริยาอันดับสองเทียมของ	55
รูปที่ 4.15	การแพร่ภายในรูพรุน	58
รูปที่ 4.16	รูปแบบของแลงเมียร์ไอโซเทอมของการดูดซับที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	61

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

BET	Brunauer-Emmett-Teller
°C	Degree Celsius
cal	Calculation
F	Fluoride
FPBC	Magnetic pig bone char
g	gram
H	Hour
HAP	Hydroxyapatite
L	Liter
mg	Milligram
min	minute
mL	Milliliter
N	Normal unit
PBC	Pig bone char
PZC	Point of zero charge
s	Second
UV	Ultraviolet
XRD	X-ray diffraction
XRF	X-ray Fluorescence

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved