สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ....ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ...ค
กิตติกรรมประกาศ ....จ
สารบัญ ....ฉ
สารบัญตาราง ....ญ
สารบัญภาพ ....ฎ

บทที่ 1 บทนำ...1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย...2
1.3 ขอบเขตการวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..4
2.1 น้ำบาดาล...4
2.2 วัสดุบำบัดน้ำ..7
2.2.1 ถ่านไม้ไผ่ 7
2.2.2 ถ่านกัมมันต์...8
2.2.3 การดูดซับ..9
2.3 โลหะหนัก 13
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการดูดซับโลหะด้วยถ่านกัมมันต์...16
2.5 เปลือกไข่...19
2.6 กระบวนการและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการสังเคราะห์สารอนินทรีย์ 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.1 วิธีการโซโนเคมี (Sonochemistry) 22

2.6.2 วิธีการสังเคราะห์แบบเผาไหม้ (Combustion Synthesis) 23

2.6.3 พลังงานแสง 25

2.6.4 ตัวคะตะลิสต์ในปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส 25

2.7 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide) 28

2.8 การวิเคราะห์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction, XRD) 28

2.8.1 หลักการเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ 28

2.8.2 ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน 29

2.9 การวิเคราะห์โดยเทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) 30

2.10 การวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, EDS) 32

2.11 การวิเคราะห์ด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared Spectroscopy, IR) 33

2.12 การวิเคราะห์โดยใช้ UV-Visible spectrophotometer 34

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 35

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย 37

3.1 การเตรียมถ่าน 37

3.1.1 การเผาถ่าน 37

3.1.2 การปรับสภาพพื้นผิวถ่าน 37

3.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของถ่าน 37

3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะในตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิค ICP-OES 38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การสังเคราะห์สารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์เจือถ่านไม้ไผ่ ($Ca(OH)_2$/Charcoal) 39

3.5 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์เจือถ่านไม้ไผ่ ($Ca(OH)_2$/Charcoal)....................42

3.5.1 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย Escherichia coli และ staphylococcus aureus....................42

3.5.2 เตรียมสารละลายของสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์เจือถ่านไม้ไผ่ ($Ca(OH)_2$/Charcoal) เพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย 42

3.5.3 วิธีการทดสอบแบคทีเรีย 42

3.6 การตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง 43

3.6.1 วิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำ ด้วยวิธีการตรวจหาค่า MPN ระบบ 3 หลอด....................44

3.6.2 วิธีการตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง....................44

3.6.3 วิธีการตรวจสอบชนิดของจุลินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง....................44

3.7 การออกแบบระบบบำบัดน้ำบาดาล....................45

บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย 47

4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของวัสดุดูดซับ....................47

4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับโลหะของถ่าน....................50

4.2.1 ผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับ....................51

4.2.2 ผลของอุณหภูมิในการดูดซับ 57

4.3 การหาลักษณะเฉพาะสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์เจือถ่านไม้ไผ่ ($Ca(OH)_2$/Charcoal) 63

4.3.1 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction (XRD)....................63

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.2 การวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy; SEM)....65

4.3.3 ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)....68

4.3.4 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier transform Infrared (FTIR) Spectroscopy)....75

4.3.5 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (UV-Vis spectroscopy)....77

4.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์เจือถ่านไม้ไผ่ ($Ca(OH)_2$/Charcoal)....77

4.5 ระบบบำบัดน้ำ....78

4.6 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะในน้ำตัวอย่าง....86

4.7 การวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง....87

4.7.1 การวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ในน้ำบาดาลก่อนการบำบัด....87

4.7.2 การวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ในน้ำตัวอย่างในระบบบำบัดน้ำ....89

บทที่ 5 การสรุปผล อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....93

5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย....93

5.2 ข้อเสนอแนะ....95

เอกสารอ้างอิง....96

ประวัติผู้วิจัย....101

CHIANG MAI RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค 6
2.2 สมบัติของการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ 11
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ 20
4.1 ผลของเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะของถ่านชนิดต่างๆ 52
4.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะของถ่านชนิดต่างๆ 59
4.3 ตารางแสดงปริมาณธาตุในสารสังเคราะห์ ถ่านไม้ไผ่เจือ $Ca(OH)_2$ จากเปลือกไข่ 69
4.4 ผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยเทคนิค FT-IR 76
4.5 แสดงผลการยับยั้งแบคทีเรีย ชนิด Escherichia coli และ Staphylococcus aureus ของ 0%, 0.3%, 0.6%, 0.9%, 1.2% Ca(OH)2/Charcoal และ pure Ca(OH)2 78
4.6 ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำตัวอย่างที่เก็บ 3 ครั้ง ใน 5 จุดเก็บน้ำของระบบบำบัด 86
4.7 มาตรฐานน้ำบริโภคตามเกณฑ์สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.322) 88
4.8 ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยวิธีการตรวจหาค่า MPN ระบบ 3 หลอดและการนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 88
4.9 ค่าการวิเคราะห์ด้วยวิธี MPN ต่อ ml เมื่อใช้ตัวอย่างน้ำ 10, 1, 0.1 ml ปริมาตรละ 3 หลอด (ระบบ 3 หลอด) 90
4.10 ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำ ด้วยวิธีการตรวจหาค่า MPN ระบบ 3 หลอด จากตัวอย่างน้ำ 5 ตัวอย่าง และทำการเก็บ 3 ครั้ง 91

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 รูปแสดงโครงสร้างของถ่านกัมมันต์ 9

2.2 ไดอะแกรมกระบวนการอะคูสติกคาวิเทชั่น (Acoustic cavition)ในสารละลาย 22

2.3 เจ็ทสตรีม (Jet stream) ที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของฟองแก๊สในของเหลว 23

2.4 แผนภาพแสดงการเกิดตัวออกซิไดซ์แบบต่างๆ ระหว่างกระบวนการ Photocatalysis . 26

2.5 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จากระนาบผลึก 29

2.6 ส่วนประกอบของเครื่อง X-Ray diffractometer 30

2.7 การเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับวัสดุตัวอย่าง 32

2.8 การเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับวัสดุตัวอย่างที่ระดับความลึกต่างๆ ... 32

2.9 ระดับพลังงานเมื่ออิเลคตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลถูกกระตุ้นเมื่อได้รับพลังงาน
คลื่นแสงในช่วง UV-Visible 34

2.10 เครื่อง UV-VIS spectrophotometer 35

3.1ภาพการย่อยตัวอย่างน้ำก่อนการนำไปวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ 38

3.2 ภาพการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะโดยด้วยเครื่อง ICP-OES 39

3.3 ภาพการเตรียมเปลือกไข่และการสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)2) 41

3.4 สรุปการตรวจวิเคราะห์ปริมาณ Coliform bacteria ในตัวอย่างน้ำ โดยวิธี MPN 45

4.1 แสดงลักษณะของ (ก) เศษไม้ไผ่ (ข) เตาเผาชีวมวล (ค) ถ่านไม้ไผ่ 47

4.2 ลักษณะพื้นผิวจากภาพถ่าย SEM ของถ่านไม้ไผ่ (ก) ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 100 เท่า (ข)
ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 500 เท่า และ(ค) ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 1000 เท่า 48

4.3 ลักษณะพื้นผิวจากภาพถ่าย SEM ของถ่านไม้ไผ่ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวทางเคมี
ด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (ก) ภาพถ่ายทางยาวที่กำลังขยาย
500 เท่า (ข) ภาพถ่ายภาคตัดขวางที่กำลังขยาย 500 เท่า 48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.4 สเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุบนพื้นผิวของถ่านไม้ไผ่ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Energy dispersive Spectroscopy (EDS) 49

4.5 สเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุบนพื้นผิวของถ่านไม้ไผ่ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวทางเคมีที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Energy dispersive Spectroscopy (EDS) 50

4.6 ผลของเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ Cd ของถ่าน BB BBK Com และ ComK 54

4.7 ผลของเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ Cr ของถ่าน BB BBK Com และ ComK 54

4.8 ผลของเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ Cu ของถ่าน BB BBK Com และ ComK 55

4.9 ผลของเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ Pb ของถ่าน BB BBK Com และ ComK 55

4.10 ผลของเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ Zn ของถ่าน BB BBK Com และ ComK 56

4.11 ผลของเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ Fe ของถ่าน BB BBK Com และ ComK 56

4.12 ผลของเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ Mn ของถ่าน BB BBK Com และ ComK 57

4.13 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ Cd ของถ่าน 6 ชนิด 60

4.14 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ Cr ของถ่าน 6 ชนิด 60

4.15 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ Cu ของถ่าน 6 ชนิด 61

4.16 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ Pb ของถ่าน 6 ชนิด 61

4.17 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ Zn ของถ่าน 6 ชนิด 62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.18 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ Fe ของถ่าน 6 ชนิด....................62
4.19 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะ Mn ของถ่าน 6 ชนิด 63
4.20 XRD Pattern ของสารประกอบ $Ca(OH)_2$ จากเปลือกไข่ 64
4.22 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของถ่านไม้ไผ่...66
4.23 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของ $Ca(OH)_2$จากเปลือกไข่ 66
4.24 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของถ่านไม้ไผ่เจือ $Ca(OH)_2$จากเปลือกไข่ 0.3%w....................67
4.25ภาพถ่ายแสดงลักษณะของถ่านไม้ไผ่เจือ $Ca(OH)_2$จากเปลือกไข่ 0.6%w.....................67
4.26 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของถ่านไม้ไผ่เจือ $Ca(OH)_2$ จากเปลือกไข่ 0.9%w 68
4.27 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของถ่านไม้ไผ่เจือ $Ca(OH)_2$ จากเปลือกไข่ 1.2%w 68
4.28 ภาพการกระจายของธาตุและกราฟแสดงปริมาณธาตุของถ่านไม้ไผ่ 69
4.29 ภาพการกระจายของธาตุและกราฟแสดงปริมาณธาตุของ $Ca(OH)_2$ จาก
เปลือกไข่..70
4.30 ภาพการกระจายของธาตุและกราฟแสดงปริมาณธาตุของถ่านไม้ไผ่ เจือ
$Ca(OH)_2$ จากเปลือกไข่ 0.3%w...71
4.31 ภาพการกระจายของธาตุและกราฟแสดงปริมาณธาตุของถ่านไม้ไผ่ เจือ
$Ca(OH)_2$ จากเปลือกไข่ 0.6%w...72
4.32 ภาพการกระจายของธาตุและกราฟแสดงปริมาณธาตุของถ่านไม้ไผ่ เจือ
$Ca(OH)_2$ จากเปลือกไข่ 0.9%w...73
4.33 ภาพการกระจายของธาตุและกราฟแสดงปริมาณธาตุของถ่านไม้ไผ่ เจือ
$Ca(OH)_2$ จากเปลือกไข่ 1.2%w...74
4.34 FT-IR spectra ของ $Ca(OH)_2$, Charcoal และ$Ca(OH)_2$/Charcoal...........................76
4.35 UV-visible spectra ของ$Ca(OH)_2$, Charcoal และ$Ca(OH)_2$/Charcoal 77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.36 ถังกรองสำหรับบรรจุถ่านไม้ไผ่ 79
4.37 ถังกรองสำหรับบรรจุสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากเปลือกไข่ที่ผสมกับถ่านไม้ไผ่ 81
4.38 แบบต้นแบบระบบบำบัดน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค 83
4.38 (ต่อ) แบบต้นแบบระบบบำบัดน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค 84
4.39 ต้นแบบระบบบำบัดน้ำบาดาลเพื่อการบริโภค 85
4.40 แสดงการลดลงของค่าความกระด้างของน้ำ เมื่อน้ำผ่านไปยังจุดต่างๆของระบบ 87
4.41 โคโลนีของเชื้อแบคทีเรียจากการตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำตัวอย่างบนอาหารเลี้ยงเชื้อ NA 89
4.42 การตรวจสอบชนิดของจุลินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง จากอาหารเลี้ยงเชื้อ TSI และ MIL medium 89
4.43 การตรวจสอบจุลินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง เป็นการทดสอบ 3 ซ้ำ (triplicate) ในแต่ละตัวอย่างน้ำด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl sulfate tryptose (LST) broth 91
4.44 ตัวอย่างการอ่านผลการวิเคราะห์ในขั้นแรกด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl sulfate tryptose (LST) broth ของน้ำตัวอย่างกรณีให้ผลหลอดใส คือไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และไม่พบฟองก๊าซในหลอดดักก๊าซ (durham tube) 92