

## สารบัญ

หน้า

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| กิตติกรรมประกาศ                                | ก  |
| บทคัดย่อภาษาไทย                                | ง  |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                             | ฉ  |
| สารบัญตาราง                                    | ญ  |
| สารบัญรูป                                      | ณ  |
| อักษรย่อและสัญลักษณ์                           | ต  |
| บทที่ 1 บทนำ                                   | 1  |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ                          | 1  |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา                    | 3  |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา                          | 3  |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี                        | 5  |
| 2.1 สารอินทรีย์ธรรมชาติ                        | 5  |
| 2.2 ลักษณะของสารอินทรีย์ธรรมชาติ               | 6  |
| 2.2.1 คัดจำตัวแทนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ        | 6  |
| 2.2.2 กระบวนการแยกชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำ      | 9  |
| 2.3 ผลกระทบของสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำ         | 10 |
| 2.3.1 ผลผลิตพลอยได้ที่เกิดจากการใช้สารฆ่าเชื้อ | 10 |
| 2.3.2 ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ                      | 17 |
| 2.3.3 ผลกระทบต่อการบำบัดและการจัดจำหน่าย       | 17 |
| 2.3.4 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม                   | 17 |

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4 การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติออกจากน้ำ                                                 | 17 |
| 2.4.1 กระบวนการโคแอกกูเลชัน                                                              | 18 |
| 2.4.2 กระบวนการเติมโอโซนและกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง                                    | 18 |
| 2.4.3 กระบวนการดูดซับ                                                                    | 18 |
| 2.4.4 กระบวนการเมมเบรน                                                                   | 19 |
| 2.4.5 กระบวนการโฟโตคะตะไลติก                                                             | 19 |
| 2.5 กระบวนการดูดซับ                                                                      | 19 |
| 2.5.1 กลไกการดูดซับ                                                                      | 20 |
| 2.5.2 ขั้นตอนการดูดซับ                                                                   | 21 |
| 2.5.3 ไอโซเทอมของการดูดซับ                                                               | 22 |
| 2.5.4 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)                                                    | 24 |
| 2.5.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์                                           | 26 |
| 2.6 กระบวนการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน                                                      | 27 |
| 2.6.1 หลักการของเมมเบรน                                                                  | 27 |
| 2.6.2 ค่าที่แสดงสมรรถนะในกระบวนการเมมเบรน                                                | 29 |
| 2.6.3 กระบวนการเมมเบรนระดับไมโครฟิลเตรชัน                                                | 31 |
| 2.6.4 เซรามิกเมมเบรน                                                                     | 31 |
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                                                                | 33 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย                                                            | 37 |
| 3.1 แหล่งน้ำดิบที่ใช้ในงานวิจัย                                                          | 37 |
| 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ                                                                  | 39 |
| 3.2.1 ขั้นตอนการสำรวจและวิเคราะห์คุณภาพของน้ำใต้ดินบริเวณใกล้เคียงพื้นที่เทกอง/ฝังกลบขยะ | 40 |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                                                           | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.2.2 ขั้นตอนการหาเวลาและปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมสำหรับ<br>กระบวนการดูดซับด้วยกัมมันต์                                | 40   |
| 3.2.3 ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำใต้ดินปนเปื้อนและโอกาส<br>การก่อตัวของผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดจากการใช้สารฆ่าเชื้อ | 41   |
| 3.3 การแยกสารอินทรีย์ธรรมชาติละลายน้ำ                                                                                     | 43   |
| 3.4 กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์                                                                                       | 45   |
| 3.5 กระบวนการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน                                                                                       | 47   |
| 3.6 กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์และกระบวนการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน                                                     | 49   |
| 3.7 วิเคราะห์และเครื่องมือ                                                                                                | 50   |
| 3.7.1 ขั้นตอนการวัดค่าความเข้มแสงฟลูออเรสเซน (FEEM)                                                                       | 52   |
| 3.7.2 ขั้นตอนการศึกษาความสามารถในการก่อตัวของผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิด<br>จากการใช้คลอรีน                                   | 53   |
| บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา                                                                                    | 56   |
| 4.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำดิบ                                                                                       | 56   |
| 4.1.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำใต้ดินจากบ่อน้ำตื้นบริเวณใกล้เคียง<br>พื้นที่เทกอง/ฝังกลบขยะ                            | 56   |
| 4.1.2 ลักษณะของสารอินทรีย์ละลายน้ำในน้ำใต้ดินที่ใช้บำบัด                                                                  | 59   |
| 4.2 ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ใช้                                                                                           | 68   |
| 4.2.1 การศึกษาเวลาและปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม                                                                         | 68   |
| 4.2.2 ไอโซเทอมและจลนศาสตร์ของการดูดซับ                                                                                    | 69   |
| 4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ                                                                        | 70   |
| 4.3.1 กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบผง                                                                                | 70   |
| 4.3.2 กระบวนการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน                                                                                     | 74   |
| 4.3.3 กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์และการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน                                                         | 78   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                                   | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.4 การก่อตัวของผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่เกิดจากการใช้คลอรีน                                             | 85   |
| 4.4.1 การศึกษาโอกาสการก่อตัวของในกลุ่มไตรฮาโลมีเทน                                                | 85   |
| 4.4.2 การศึกษาโอกาสการก่อตัวของในกลุ่มฮาโลอะซีโตนไทรล์                                            | 91   |
| 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนกับดัชนีตัวแทน<br>สารอินทรีย์ละลายน้ำต่างๆ | 92   |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ                                                               | 96   |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง                                                                                | 96   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ                                                                                    | 97   |
| เอกสารอ้างอิง                                                                                     | 98   |
| ภาคผนวก                                                                                           | 106  |
| ภาคผนวก ก ข้อมูลจากการทดลอง                                                                       | 107  |
| ภาคผนวก ข Calibration curve                                                                       | 117  |
| ภาคผนวก ค การคำนวณ                                                                                | 122  |
| ประวัติผู้เขียน                                                                                   | 123  |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

## สารบัญตาราง

หน้า

|               |                                                                      |    |
|---------------|----------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่ 2.1  | เปอร์เซ็นต์การลดค่าคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน    | 7  |
| ตารางที่ 2.2  | ความเป็นไปได้ในการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันในการลดสารอินทรีย์         | 8  |
| ตารางที่ 2.3  | การแบ่งลักษณะกลุ่มทางเคมีของสารอินทรีย์หลังผ่านกระบวนการแยก          | 10 |
| ตารางที่ 2.4  | ชื่อ สูตรโมเลกุลและ โครงสร้างของสารประกอบไตรฮาโลมีเทน                | 12 |
| ตารางที่ 2.5  | ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสารไตรฮาโลมีเทน                               | 12 |
| ตารางที่ 2.6  | ความเป็นพิษของสารไตรฮาโลมีเทน                                        | 13 |
| ตารางที่ 2.7  | ชื่อ สูตรโมเลกุลและ โครงสร้างของสารฮาโลอะซิโตนไทรล์                  | 14 |
| ตารางที่ 2.8  | ปริมาณ LD <sub>50</sub> ของสารฮาโลอะซิโตนไทรล์                       | 15 |
| ตารางที่ 2.9  | มาตรฐานค่าความเข้มข้นสูงสุดของ DBPs ในน้ำประปา                       | 16 |
| ตารางที่ 2.10 | การใช้งานหลัก ข้อดีและข้อเสียของถ่านกัมมันต์ชนิดผงและชนิดเกล็ด       | 25 |
| ตารางที่ 2.11 | ข้อดีและข้อจำกัดของเซรามิกเมมเบรน                                    | 33 |
| ตารางที่ 3.1  | ลักษณะทางกายภาพของบ่อน้ำตื้นที่ใช้ในการวิจัย                         | 38 |
| ตารางที่ 3.2  | วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ                                        | 51 |
| ตารางที่ 4.1  | ลักษณะของน้ำใต้ดินจากบ่อน้ำตื้นบริเวณใกล้เคียงพื้นที่เทกอง/ฝังกลบขยะ | 56 |
| ตารางที่ 4.2  | ดัชนีตัวแทนสารอินทรีย์ธรรมชาติของน้ำดิบ                              | 59 |
| ตารางที่ 4.3  | สมคุณมวลของ DOC                                                      | 60 |
| ตารางที่ 4.4  | สัดส่วนของการก่อตัวสารประกอบไตรฮาโลมีเทนที่ตรวจพบ                    | 63 |
| ตารางที่ 4.5  | การก่อตัวของสารฮาโลอะซิโตนไทรล์ของน้ำดิบ                             | 64 |
| ตารางที่ 4.6  | สัดส่วนของกลุ่มสารอินทรีย์ในน้ำชะขยะ                                 | 67 |
| ตารางที่ 4.7  | ปริมาณ DOC และ DON ก่อนและหลังกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบผง   | 71 |
| ตารางที่ 4.8  | ค่า UV-254 ก่อนและหลังกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบผง           | 71 |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

|                                                                                                                                                   | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 4.9 โอกาสการก่อตัวของผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ที่เกิดจากการใช้คลอรีนก่อนและหลัง<br>กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบผง                         | 73   |
| ตารางที่ 4.10 ปริมาณ DOC และ DON ก่อนและหลังกระบวนการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน                                                                       | 74   |
| ตารางที่ 4.11 ค่า UV-254 ก่อนและหลังกระบวนการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน                                                                               | 75   |
| ตารางที่ 4.12 โอกาสการก่อตัวของผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ที่เกิดจากการใช้คลอรีนก่อนและหลัง<br>กระบวนการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน                             | 77   |
| ตารางที่ 4.13 ปริมาณ DOC และ DON ก่อนและหลังกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์และ<br>การกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน                                       | 78   |
| ตารางที่ 4.14 ค่า UV-254 ก่อนและหลังกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์และการกรองด้วย<br>เซรามิกเมมเบรน                                               | 81   |
| ตารางที่ 4.15 โอกาสการก่อตัวของผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ที่เกิดจากการใช้คลอรีนก่อนและหลัง<br>กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์และการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน | 84   |
| ตาราง ก-1 พารามิเตอร์น้ำใต้ดินบ่อที่ 1                                                                                                            | 107  |
| ตาราง ก-2 พารามิเตอร์น้ำใต้ดินบ่อที่ 2                                                                                                            | 108  |
| ตาราง ก-3 พารามิเตอร์น้ำใต้ดินบ่อที่ 3                                                                                                            | 109  |
| ตาราง ก-4 พารามิเตอร์น้ำใต้ดินบ่อที่ 2 ขั้นตอนที่ 2                                                                                               | 110  |
| ตาราง ก-5 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำที่เหลือตามระยะเวลาต่างๆ                                                                                   | 111  |
| ตาราง ก-6 พารามิเตอร์น้ำใต้ดินบ่อที่ 2 ขั้นตอนที่ 3                                                                                               | 113  |
| ตาราง ก-7 ตารางแสดงการกระจายมวลคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำชนิดชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ<br>และเปอร์เซ็นต์การลดลงของคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ                   | 114  |
| ตาราง ก-8 ปริมาณความเข้มข้นของสารไตรฮาโลมีเทนในหน่วยไมโครกรัมต่อลิตร                                                                              | 115  |
| ตาราง ก-9 ปริมาณความเข้มข้นของสารฮาโลอะซิโตรัลในหน่วยไมโครกรัมต่อลิตร                                                                             | 116  |

## สารบัญรูป

หน้า

|            |                                                                                                  |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 2.1 | ช่วงค่าต่างๆ ของ TOC ในแหล่งน้ำธรรมชาติ                                                          | 6  |
| รูปที่ 2.2 | ขั้นตอนการดูดซับ                                                                                 | 22 |
| รูปที่ 2.3 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $X/m$ และ $C_e$ โดยอาศัยสมการการดูดซับของแลงเมียร์                   | 23 |
| รูปที่ 2.4 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \frac{X}{m}$ กับ $\log C_e$ โดยอาศัยสมการการดูดซับของฟลอยด์ลีช | 24 |
| รูปที่ 2.5 | หลักการของกระบวนการเมมเบรน                                                                       | 28 |
| รูปที่ 2.6 | แสดงลักษณะโครงสร้างของชั้นผิวเมมเบรน                                                             | 32 |
| รูปที่ 2.7 | โครงสร้างของเซรามิกเมมเบรน                                                                       | 32 |
| รูปที่ 3.1 | ตำแหน่งของบ่อน้ำดื่มที่ใช้ในการศึกษา                                                             | 38 |
| รูปที่ 3.2 | ลักษณะทางกายภาพบ่อน้ำทั้ง 3 บ่อ                                                                  | 39 |
| รูปที่ 3.3 | แผนผังแสดงกระบวนการบำบัดทั้งหมด                                                                  | 42 |
| รูปที่ 3.4 | ชุดอุปกรณ์ซอกท์เลต                                                                               | 43 |
| รูปที่ 3.5 | แผนผังกระบวนการแยกสารอินทรีย์ธรรมชาติละลายน้ำ                                                    | 44 |
| รูปที่ 3.6 | ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนไมโครสโคปแบบส่องกราด (SEM)                                   | 46 |
| รูปที่ 3.7 | เซรามิกเมมเบรน                                                                                   | 47 |
| รูปที่ 3.8 | แผนผังกระบวนการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน                                                            | 48 |
| รูปที่ 3.9 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์น้ำสะอาดกับปริมาตรของน้ำสะอาด                                       | 49 |
| รูปที่ 4.1 | สัดส่วนของสารอินทรีย์ชนิดชอบน้ำและชนิดไม่ชอบน้ำ                                                  | 61 |
| รูปที่ 4.2 | ปริมาณการก่อดัวของสารไตรฮาโลมีเทนในน้ำดิบ                                                        | 62 |
| รูปที่ 4.3 | สัดส่วนของการก่อดัวสารประกอบไตรฮาโลมีเทนที่ตรวจพบ                                                | 63 |
| รูปที่ 4.4 | ผลการวิเคราะห์ความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำดิบ                                                  | 66 |
| รูปที่ 4.5 | ประสิทธิภาพการกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ                                                    | 68 |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

|                                                                                                                            | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 4.6 ไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรอยด์ลิช                                                                                   | 69   |
| รูปที่ 4.7 ปฏิริยาอันดับสองของการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบผง                                                               | 70   |
| รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์แบบผง                         | 72   |
| รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำที่ผ่านกระบวนการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน                              | 76   |
| รูปที่ 4.10 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำก่อนและหลังผ่านกระบวนการบำบัด                                                     | 79   |
| รูปที่ 4.11 ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ละลายน้ำก่อนและหลังผ่านกระบวนการบำบัด                                                    | 80   |
| รูปที่ 4.12 ค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรก่อนและหลังผ่านกระบวนการบำบัด                         | 82   |
| รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความเข้มแสงฟลูออเรสเซนซ์ของน้ำที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์และการกรองด้วยเซรามิกเมมเบรน | 83   |
| รูปที่ 4.14 ปริมาณโอกาสการก่อตัวของคลอโรฟอร์มในน้ำประเภทต่างๆ                                                              | 85   |
| รูปที่ 4.15 ปริมาณโอกาสการก่อตัวของโบรโมไดคลอโรมีเทนในน้ำประเภทต่างๆ                                                       | 87   |
| รูปที่ 4.16 ปริมาณโอกาสการก่อตัวของไดโบรโมคลอโรมีเทนในน้ำประเภทต่างๆ                                                       | 88   |
| รูปที่ 4.17 ปริมาณโอกาสการก่อตัวของโบรโมฟอร์มในน้ำประเภทต่างๆ                                                              | 90   |
| รูปที่ 4.18 ปริมาณโอกาสการก่อตัวของสารไดคลอโรอะซิไดโนไตรล์ในน้ำประเภทต่างๆ                                                 | 91   |
| รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนกับคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ                                  | 93   |
| รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนกับค่าการดูดกลืนแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร         | 94   |
| รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสการก่อตัวของสารไตรฮาโลมีเทนกับค่า SUVA                                                 | 94   |

## อักษรย่อและสัญลักษณ์

COM Colloidal Organic Matter

DBPs Disinfection by- Products

DOC Dissolved Organic Carbon

DOM Dissolved Organic Matter

FEEM Fluorescence excitation-emission matrices

HANs Haloacetonitriles

HPI Hydrophilic

HPO Hydrophobic

NOM Natural Organic Matter

PAC Powdered Activated Carbon

SUVA Specific Ultraviolet Absorption

THMs Trihalomethanes

TOC Total Organic Carbon

UF            Ultrafiltration Membrane

UV-254        Ultraviolet absorbance at Wavelength 254 nm



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved