

## สารบัญ

### หน้า

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| สารบัญ                                                                                | (1) |
| สารบัญตาราง                                                                           | (3) |
| สารบัญภาพ                                                                             | (6) |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ                                                             | (9) |
| คำนำ                                                                                  | 1   |
| วัตถุประสงค์                                                                          | 2   |
| ขอบเขตงานวิจัย                                                                        | 3   |
| การตรวจเอกสาร                                                                         |     |
| ฟลูออไรด์                                                                             | 4   |
| แหล่งของฟลูออไรด์                                                                     | 4   |
| ผลกระทบของฟลูออไรด์                                                                   | 11  |
| เคมีของฟลูออไรด์ในน้ำ                                                                 | 12  |
| การวิเคราะห์ฟลูออไรด์                                                                 | 14  |
| กระบวนการบำบัดฟลูออไรด์                                                               | 17  |
| การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน                                                        | 22  |
| การสร้างสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคคอลลอยด์เพื่อให้เกิดฟล็อกกูเลชัน                         | 22  |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                                                                 | 25  |
| อุปกรณ์วิธีการ                                                                        |     |
| อุปกรณ์                                                                               | 29  |
| วิธีการ                                                                               | 30  |
| สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย                                                          | 43  |
| แหล่งทุนสนับสนุน                                                                      | 43  |
| ผลและวิจารณ์                                                                          |     |
| การหาความเร็วรอบกวนช้าและเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำเสียตัวอย่างสังเคราะห์ | 44  |
| การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์                     | 46  |

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

|                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| การหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำด้วยอย่าง<br>สังเคราะห์ และน้ำเสียจากโรงงานสกัดแทนทาลัม เมื่อใช้น้ำประปาเตรียม<br>น้ำปูนขาว | 48  |
| การหาความเข้มข้นฟลูออไรด์ในน้ำเสีย low fluoride ที่เหมาะสมในการนำมา<br>เตรียมน้ำปูนขาวเพื่อใช้บำบัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม    | 69  |
| การหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมที่เตรียมจากน้ำเสีย low fluoride เพื่อใช้<br>บำบัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม                       | 71  |
| การหาปริมาณของสารส้มที่เหมาะสมที่ใช้ในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสีย<br>โรงงานสกัดแร่แทนทาลัมหลังจากผ่านการบำบัดด้วยปูนขาวแล้ว                       | 74  |
| ค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม                                                                                      | 77  |
| สรุปและข้อเสนอแนะ                                                                                                                                 |     |
| สรุป                                                                                                                                              | 79  |
| ข้อเสนอแนะ                                                                                                                                        | 80  |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง                                                                                                                              | 81  |
| ภาคผนวก                                                                                                                                           |     |
| การวิเคราะห์หาปริมาณฟลูออไรด์ด้วยวิธี SPADNS                                                                                                      | 87  |
| การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)                                                                                                         | 91  |
| การคำนวณค่าใช้จ่าย                                                                                                                                | 92  |
| ประกาศ การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย                                                                                                             | 95  |
| ประวัติการศึกษาและการทำงาน                                                                                                                        | 109 |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                                                                                                                   | หน้า |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1        | แสดงผลการทดลองหารอบกวนช้าและเวลาที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ เมื่อในการกวนช้าและเวลาต่างกัน                                              | 44   |
| 2        | แสดงผลการทดลองหาพีเอชที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์เมื่อพีเอชมีค่าต่างๆ กัน                                                                | 46   |
| 3        | แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน            | 49   |
| 4        | แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน           | 51   |
| 5        | แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน           | 54   |
| 6        | แสดงปริมาณและความเข้มข้นของน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ฟลูออไรด์                                                                            | 56   |
| 7        | แสดงคุณลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม                                                                                                                   | 58   |
| 8        | แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมความเข้มข้น 1,010 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน  | 60   |
| 9        | แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมความเข้มข้น 5,229 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน  | 62   |
| 10       | แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมความเข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน | 65   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่         |                                                                                                                                                                                   | หน้า |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 11               | แสดงปริมาณและความเข้มข้นของน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม                                                                                           | 67   |
| 12               | แสดงผลการทดลองหาหาปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำเสีย low fluoride ที่เหมาะสมในการนำมาเตรียมน้ำปูนขาว เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์จากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมความเข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร | 69   |
| 13               | แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เตรียมจากน้ำเสีย low fluoride ที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม                                                      | 71   |
| 14               | แสดงผลการทดลองหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม ภายหลังจากผ่านการบำบัดด้วยปูนขาวแล้ว                                                  | 74   |
| 15               | แสดงผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม                                                                                                  | 77   |
| <br>ตารางผนวกที่ |                                                                                                                                                                                   |      |
| 1                | แสดงความเข้มข้นของฟลูออไรด์และค่าการดูดกลืนแสง                                                                                                                                    | 90   |
| 2                | แสดงผลการทดลองหาขอบในการกวนช้าและเวลาที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ เมื่อรอบกวนช้าและเวลาต่างกัน                                                           | 98   |
| 3                | แสดงผลการทดลองหาพีเอชที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์เมื่อพีเอชมีค่าต่างๆ กัน                                                                                | 99   |
| 4                | แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน                            | 100  |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางผนวกที่                                                                                                                                                                                        | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 5      แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัด<br>ฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร<br>โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน                                | 101  |
| 6      แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัด<br>ฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร<br>โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน                               | 102  |
| 7      แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัด<br>ฟลูออไรด์ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมความเข้มข้น 1,010<br>มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน                      | 103  |
| 8      แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัด<br>ฟลูออไรด์ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมความเข้มข้น 5,229<br>มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน                      | 104  |
| 9      แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัด<br>ฟลูออไรด์ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมความเข้มข้น 10,100<br>มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน                     | 105  |
| 10     แสดงผลการทดลองหาความเข้มข้นฟลูออไรด์ในน้ำเสีย low fluoride ที่<br>เหมาะสมในการนำมาเตรียมน้ำปูนขาว เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์<br>จากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมความเข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร | 106  |
| 11     แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เตรียมจากน้ำเสีย low<br>fluoride ที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่<br>แทนทาลัม                                                          | 107  |
| 12     แสดงผลการทดลองหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการบำบัด<br>ฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม ภายหลังจากผ่านการ<br>บำบัดด้วยปูนขาวแล้ว                                                        | 108  |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |                                                                                                                                                                      | หน้า |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1      | แสดงส่วนประกอบของอิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดฟลูออไรด์                                                                                                                    | 16   |
| 2      | แสดงเครื่องจาร์เทสต์ (Jar Test)                                                                                                                                      | 24   |
| 3      | แสดงภาพการหาความเร็วรอบและเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำเสียตัวอย่างสังเคราะห์                                                                               | 35   |
| 4      | แสดงภาพการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์                                                                                             | 36   |
| 5      | แสดงภาพการหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์เข้มข้น 1,000 มิลลิลิตร และน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมเข้มข้น 1,010 มิลลิลิตร/ลิตร   | 37   |
| 6      | แสดงภาพการหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์เข้มข้น 5,000 มิลลิลิตร และน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมเข้มข้น 5,229 มิลลิลิตร/ลิตร   | 38   |
| 7      | แสดงภาพการหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์เข้มข้น 10,000 มิลลิลิตร และน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมเข้มข้น 10,100 มิลลิลิตร/ลิตร | 39   |
| 8      | แสดงภาพการหาความเข้มข้นของน้ำเสีย low fluoride ที่เหมาะสมในการนำมาเตรียมน้ำปูนขาวเพื่อใช้บำบัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม                            | 40   |
| 9      | แสดงภาพการหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมที่เตรียมจากน้ำเสีย low fluoride เพื่อใช้บำบัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม                                       | 41   |
| 10     | แสดงภาพการหาปริมาณของสารส้มที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์หลังจากผ่านการบำบัดด้วยปูนขาวแล้ว                                                                            | 42   |
| 11     | แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือจากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์และประสิทธิภาพในการบำบัด เมื่อรอบกวนช้าและระยะเวลาในการกวนช้าต่างกัน                                              | 45   |

## สารบัญภาพ ( ต่อ)

| ภาพที่ |                                                                                                                                                                               | หน้า |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 12     | แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือจากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์และประสิทธิภาพ ในการบำบัดเมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ มีค่าต่างกัน                                           | 47   |
| 13     | แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือจากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์สังเคราะห์เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อปริมาณของน้ำปูนขาวที่เติมต่างกัน       | 50   |
| 14     | แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือจากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์สังเคราะห์เข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อปริมาณของน้ำปูนขาวที่เติมต่างกัน       | 52   |
| 15     | แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือจากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์สังเคราะห์เข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อปริมาณของน้ำปูนขาวที่เติมต่างกัน      | 55   |
| 16     | แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือจากน้ำเสียและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีฟลูออไรด์เข้มข้น 1,010 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อปริมาณของน้ำปูนขาวที่เติมต่างกัน  | 61   |
| 17     | แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือจากน้ำเสียและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีฟลูออไรด์เข้มข้น 5,229 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อปริมาณของน้ำปูนขาวที่เติมต่างกัน  | 63   |
| 18     | แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือจากน้ำเสียและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีฟลูออไรด์เข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อปริมาณของน้ำปูนขาวที่เติมต่างกัน | 66   |
| 19     | แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม เมื่อใช้น้ำเสีย low fluoride ซึ่งมีปริมาณฟลูออไรด์แตกต่างกันมาเตรียมน้ำปูนขาว                             | 70   |

### สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่     |                                                                                                                  | หน้า |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 20         | แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม เมื่อใช้น้ำเสีย low fluoride เตรียมน้ำปูนขาว   | 72   |
| 21         | แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมด้วยสารส้ม ภายหลังจากผ่านการบำบัดด้วยปูนขาวแล้ว | 75   |
| ภาพผนวกที่ |                                                                                                                  |      |
| 1          | แสดงกราฟมาตรฐานฟลูออไรด์                                                                                         | 90   |

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

|                       |   |                                                                                       |
|-----------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------|
| ก./ล.                 | = | กรัมต่อลิตร                                                                           |
| มก./ล.                | = | มิลลิกรัมต่อลิตร                                                                      |
| มล.                   | = | มิลลิลิตร                                                                             |
| มล./ล.น้ำเสีย         | = | มิลลิลิตรต่อลิตรน้ำเสีย                                                               |
| บาท/กก.               | = | บาทต่อกิโลกรัม                                                                        |
| บาท/ลบ.ม.             | = | บาทต่อลูกบาศก์เมตร                                                                    |
| ลบ.ม./วัน             | = | ลูกบาศก์เมตรต่อวัน                                                                    |
| $K_{sp}$              | = | ค่าคงที่การละลาย                                                                      |
| %                     | = | เปอร์เซ็นต์                                                                           |
| °C                    | = | องศาเซลเซียส                                                                          |
| น้ำเสีย low fluoride  | = | น้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีปริมาณฟลูออไรด์ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร     |
| น้ำเสีย high fluoride | = | น้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีปริมาณฟลูออไรด์เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไป |