การบำบัดน้ำเสียจากกองขยะโดยกระบวนการตกผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต

นายสุภัทร วาณิชย์กุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2536

ISBN 974-582-244-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019417

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำเสียจากกองขยะโดยกระบวนการตกผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต
โดย	นายสุภัทร วาณิชย์กุล
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... กรรมการ
(ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..... กรรมการ
(ดร.แสงสันต์ พานิช)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุภัทร วาณิชย์กุล : การบำบัดน้ำเสียจากกองขยะโดยกระบวนการตกผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต (LEACHATE TREATMENT USING CALCIUM CARBONATE PRECIPITATION) อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช, 146 หน้า. ISBN 974-582-244-2

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการตกผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต สำหรับการวิจัยส่วนที่สองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี สีและของแข็งแขวนลอย โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการวิจัยส่วนแรก ซึ่งสรุปสภาวะที่เหมาะสมได้ว่าเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของถังกวนเร็วมีค่าเท่ากับ 5 นาที เวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของถังกวนช้ามีค่าเท่ากับ 10 นาที และค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการตกผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าเท่ากับ 12.5 นอกจากนั้นในการวิจัยส่วนที่สองได้กำหนดตัวแปรเพิ่มขึ้นดังนี้ คือ อัตราการสูบน้ำเสียจากกองขยะเท่ากับ 150 มล./นาที, อัตราการสูบจ่ายสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 25 มล./นาที, ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 2.5, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60 และ 80 กรัม-แคลเซียมไฮดรอกไซด์ต่อลิตรน้ำเสีย, ค่าพีเอชเท่ากับ 12.5, อัตราการสูบตะกอนเวียนกลับเท่ากับ 0 และ 30 มล./นาที, ค่าซีโอดีเข้าระบบเท่ากับ 2101 มก./ล., สีเข้าระบบเท่ากับ 3750 พลาตินัม-โคบอลท์, ของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 250 มก./ล.

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ากระบวนการตกผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตมีความสามารถในการกำจัดซีโอดีได้ในช่วงร้อยละ 29 ถึง 75, มีความสามารถในการกำจัดสีได้ในช่วงร้อยละ 73 ถึง 98 และมีความสามารถในการกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ในช่วงร้อยละ 38 ถึง 66 โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_1 = 66.11 \log [Ca(OH)_2 / CODinf] + 24.5 \; ; \; 2.5g/l \leq Ca(OH)_2 \leq 10g/l$$

$$E_2 = 36.87 \log [Ca()H)_2 / COLORinf] + 81 \; ; \; 2.5g/l \leq Ca(OH)_2 \leq 10g/l$$

$$E_3 = 24.96 \log [Ca(OH)_2 / SSinf] + 20 \; ; \; 2.5g/l \leq Ca(OH)_2 \leq 10g/l$$

โดยที่ E_1 หมายถึงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี, E_2 หมายถึงประสิทธิภาพในการกำจัดสี, E_3 หมายถึงประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย สมการนี้จะใช้ได้ต่อเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่จ่ายเข้าระบบอยู่ในช่วง 2.5 - 10 กรัมต่อลิตรของน้ำเสีย นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของตะกอนที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ในช่วง 205 - 270 กรัมต่อลิตร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

##C116743 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: LEACHATE/TREATMENT / CALCIUM CARBONATE/PRECIPITATION

SUPAT WANICHKUL : LEACHATE TREATMENT USING CALCIUM CARBONATE PRECIPITATION. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR SURAPOL SAIPANICH Dr.Ing. 146 pp. ISBN 974-582-244-2

The research consisted of two parts. The objective of the first part was to investigate the suitable operating conditions of calcium carbonate precipitation process. The objective of the second part was to determine the removal efficiency of COD, SS, and color under the optimum condition concluded from the first part which were as follows : The optimum reaction time of rapid mixing tank was five minutes, the optimum reaction time of slow mixing tank was ten minutes, the optimum pH to form calcium carbonate precipitation was 12.5 . Then, the second part of the research was performed as the results from first part and other parameters were appended as follows, leachate flow rate at 150 ml/min., calcium hydroxide solution flow rate at 25 ml/min.,concentration of calcium hydroxide solution at 2.5,5,8,10,15,20,25,30,40,60,and 80 grams calcium hydroxide per litres of leachate, pH at 12.5, return sludge flow at 0, 30 ml/min., Initial COD concentration is 2101 mg/l., initial color is 3750 Pt-Co, initial suspended solids concentration is 250 mg/l.

Results revealed that calcium carbonate precipitation could be applied for COD removal with the efficiency of 29 to 75 percents, color removal with the efficiency of 73 to 98 percents, suspended solids removal with the efficiency of 38 to 66 percents. The general equation of this research could be written as follows :

$$E_1 = 66.11 \log [Ca(OH)_2/CODinf] + 24.5 \quad ; \quad 2.5g/l \leqslant Ca(OH)_2 \leqslant 10g/l$$

$$E_2 = 36.87 \log [Ca(OH)_2/COLORinf] + 81 \quad ; \quad 2.5g/l \leqslant Ca(OH)_2 \leqslant 10g/l$$

$$E_3 = 24.96 \log [Ca(OH)_2/SSinf] + 20 \quad ; \quad 2.5g/l \leqslant Ca(OH)_2 \leqslant 10g/l$$

Where : E_1 is COD removal efficiency, E_2 is color removal efficiency, E_3 is suspended solids removal efficiency. All of these equations can be applied when the concentration of calcium hydroxide solution which was fed to the system is in the range of 2.5 to 10 grams per litre of leachate. Results also disclosed that the concentraion of sediment sludge was in the range of 205 to 270 grams per litres.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำชี้แนะ และอบรมสั่งสอนต่าง ๆ ให้ผู้วิจัยเกิดแนวความคิดในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตามหลักวิชาการ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในทุก ๆ ด้านแก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และเพื่อนทุกท่านที่ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการถ่ายรูปด้วย SCANNING ELECTRON MICROSCOPE และสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือดังกล่าว

อนึ่ง งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อันเป็นปัจจัยอันสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นรูปเล่มออกมาได้ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

คุณความดีหรือประโยชน์ทั้งหลายของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญเรื่อง ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ 1
   1.1 คำนำ 1
   1.2 การบำบัดน้ำเสียจากกองขยะ 2
   1.3 การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการตกผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต 2
   1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
   1.5 ขอบเขตของการวิจัย 3

2. ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
   2.1 ทฤษฎีและหลักการทำงานของกระบวนการตกผลึก (Precipitation) 4
   2.2 ทฤษฎีของการตกผลึกด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต 5
   2.3 ทฤษฎีสมดุลระหว่างของแข็งและการละลายของของแข็ง 6
   2.4 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการละลายของแคลเซียมคาร์บอเนต 8
   2.5 ผลกระทบเนื่องจาก Ionic Strength 8
   2.6 ความอิ่มตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต 9
   2.7 ส่วนประกอบของกระบวนการตกผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต 9
      2.7.1 ถังกวนเร็ว (Rapid Mixing Tank) 9
      2.7.2 ถังกวนช้า (Slow Mixing Tank) 9
      2.7.3 ถังตกตะกอนแบบโซลิดคอนแทคท์ 10

หน้า

2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10
2.8.1 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา 10
2.8.2 กระบวนการบำบัดโดยการออกซิเดชั่นทางเคมี 14
2.8.3 กระบวนการบำบัดทางฟิสิกส์ 14
2.8.4 กระบวนการบำบัดทางเคมี 15
2.9 สรุปกระบวนการกำจัดน้ำเสียจากกองขยะโดยวิธีต่าง ๆ ตามเป้าหมายการกำจัดที่ต้องการ 17

3. แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย 21
3.1 แผนการทดลอง วิธีการทดลอง วิธีเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ผลการทดลองของการศึกษาเบื้องต้น 21
3.1.1 การทดลองชุดที่ 1 22
3.1.1.1 วิธีการทดลอง 22
3.1.1.2 วิธีเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลการทดลอง 23
3.1.2 การทดลองชุดที่ 2 24
3.1.2.1 วิธีการทดลอง 24
3.1.2.2 วิธีเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลการทดลอง 25
3.1.3 การทดลองชุดที่ 3 26
3.1.3.1 วิธีการทดลอง 27
3.1.3.2 วิธีเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลการทดลอง 27
3.2 แผนการทดลองแบบอัตราการไหลต่อเนื่อง 27
3.3 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 29
3.4 การติดตั้งแบบจำลองและเครื่องมือ 31
3.5 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลการทดลอง 33
3.5.1 การเก็บตัวอย่าง 33
3.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 34

4. ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล 35
4.1 ผลการทดลองของการทดลองขั้นต้น 35

หน้า

4.1.1 การทดลองชุดที่ 1 ศึกษาหาค่าเวลาสัมผัสน้ำที่เหมาะสมของถังกวนเร็ว 35
4.1.2 การทดลองชุดที่ 2 ศึกษาหาค่าเวลาสัมผัสน้ำที่เหมาะสมของถังกวนช้า 35
4.1.3 การทดลองชุดที่ 3 ศึกษาหาค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการตกผลึก 35
4.1.4 การนำผลที่ได้จากการทดลองขั้นต้นไปจัดทำแบบจำลองการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง 36
4.2 ผลการทดลองของการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง 55
4.2.1 การทดลองชุดที่ 4 ช่วงแรก 55
4.2.2 การทดลองชุดที่ 4 ช่วงที่สอง 55
4.3 ผลการวิจัยของการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง 55
4.3.1 ซีโอดีรวมและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีรวม 55
4.3.2 สีและประสิทธิภาพในการกำจัดสี 62
4.3.3 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย ... 68
4.3.4 ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องใช้ในการก่อผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต 74
4.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีต่ออัตราการป้อนสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 78
4.3.6 อัตราส่วนระหว่างซีโอดีและบีโอดี$_5$และประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี 80
4.3.7 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี สี และของแข็งแขวนลอยระหว่างถังกวนช้าและถังตกตะกอน 80
4.3.8 ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น 80
4.3.9 ความเข้มข้นของตะกอน 80
4.3.10 ผลของการสูบตะกอนเวียนกลับเข้าระบบ 83
4.3.11 ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องใช้ในการลดพีเอชลงเท่ากับ 8.3 86
4.3.12 ปริมาณของกรดซัลฟุริคที่ต้องใช้ในการลดพีเอชลงเท่ากับ 8.3 86
4.3.13 รูปร่างและลักษณะของตะกอน 86

หน้า

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 89
5.1 สรุปผลการวิจัย 89
5.2 ความสำคัญทางด้านวิศวกรรม 91
5.3 ข้อดีและข้อด้อยของกระบวนการ 91
5.3.1 ข้อดีของกระบวนการ 91
5.3.2 ข้อด้อยของกระบวนการ 92
5.4 ข้อเสนอแนะการวิจัยที่ควรศึกษาต่อไป 92

บรรณานุกรม 93

ภาคผนวก 97
ภาคผนวก ก. 98
ภาคผนวก ข. 114
ภาคผนวก ค. 117

ประวัติผู้วิจัย 132

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตารางแสดงค่าการละลายน้ำของแคลเซียมในรูปต่าง ๆ 6
2.2 กระบวนการกำจัดน้ำเสียจากขยะโดยวิธีต่าง ๆ
ตามเป้าหมายการกำจัดที่ต้องการ 18
3.1 คุณลักษณะน้ำเสียจากกองขยะที่ใช้ในการทดลอง 21
3.2 ความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยของการทดลองชุดที่ 1 22
3.3 ความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยของการทดลองชุดที่ 2 24
3.4 ความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยของการทดลองชุดที่ 3 26
3.5 ความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยของการทดลองชุดที่ 4 28
3.6 การเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ 33
4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ในการทดลองชุดที่ 1
และแสดงค่าประสิทธิภาพในการกำจัด 37
4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ในการทดลองชุดที่ 2
และแสดงค่าประสิทธิภาพในการกำจัด 43
4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ในการทดลองชุดที่ 3
และแสดงค่าประสิทธิภาพในการกำจัด 49
4.4 แสดงค่าซีโอดีรวมที่วัดได้ในการทดลองชุดที่ 4 และแสดงค่า
ประสิทธิภาพในการกำจัด 56
4.5 แสดงค่าซีโอดีละลายที่วัดได้ในการทดลองชุดที่ 4 ช่วงแรก
และแสดงค่าประสิทธิภาพในการกำจัด 57
4.6 แสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงระหว่าง log [$Ca(OH)_2$/CODinf]
และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 60
4.7 แสดงค่าสีที่วัดได้ในการทดลองชุดที่ 4 ช่วงแรก และแสดงค่า
ประสิทธิภาพในการกำจัด 63
4.8 แสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงระหว่าง log [$Ca(OH)_2$/COLORinf]
และประสิทธิภาพในการกำจัดสี 66

ตารางที่ หน้า

4.9 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยที่วัดได้ในการทดลองชุดที่ 4 ช่วงแรก และแสดงค่าประสิทธิภาพในการกำจัด 69
4.10 แสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงระหว่าง log [$Ca(OH)_2$/SSinf] และประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอย 72
4.11 แสดงค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการก่อผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต 74
4.12 แสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงระหว่าง log [$Ca(OH)_2$/CODinf] และอัตราการจ่ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 76
4.13 แสดงค่าบีโอดี$_5$, ซีโอดีที่ถังกวนช้า, ซีโอดีที่ถังตกตะกอน, ของแข็งแขวนลอยที่ถังกวนช้า, ของแข็งแขวนลอยที่ถังตกตะกอนที่วัดได้ในการทดลองชุดที่ 4 ช่วงแรก และแสดงค่าประสิทธิภาพในการกำจัด 81
4.14 แสดงค่าสีที่ถังกวนช้า, สีที่ถังตกตะกอน, ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้, ปริมาตรตะกอน และความเข้มข้นตะกอนที่วัดได้ในการทดลองชุดที่ 4 ช่วงแรก และแสดงค่าประสิทธิภาพในการกำจัด 82
4.15 แสดงค่าซีโอดีรวม, ซีโอดีละลายที่วัดได้ในการทดลองชุดที่ 4 ช่วงที่สอง และ แสดงค่าประสิทธิภาพในการกำจัด 84
4.16 แสดงค่าของแข็งแขวนลอย, สี ที่วัดได้ในการทดลองชุดที่ 4 ช่วงที่สอง และ แสดงค่าประสิทธิภาพในการกำจัด 85

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	แบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง	32
4.1	แสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของซีโอดี ที่ค่าเวลาสัมผัสน้ำต่าง ๆ ในถังกวนเร็ว	39
4.2	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ค่าเวลาสัมผัสน้ำต่าง ๆ ในถังกวนเร็ว	40
4.3	แสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสี ที่ค่าเวลาสัมผัสน้ำต่าง ๆ ในถังกวนเร็ว	41
4.4	ประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ค่าเวลาสัมผัสน้ำต่าง ๆ ในถังกวนเร็ว	42
4.5	แสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของซีโอดี ที่ค่าเวลาสัมผัสน้ำต่าง ๆ ในถังกวนช้า	45
4.6	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ค่าเวลาสัมผัสน้ำต่าง ๆ ในถังกวนช้า	46
4.7	แสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสี ที่ค่าเวลาสัมผัสน้ำต่าง ๆ ในถังกวนช้า	47
4.8	ประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ค่าเวลาสัมผัสน้ำต่าง ๆ ในถังกวนช้า	48
4.9	แสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของซีโอดีที่พีเอชต่าง ๆ	51
4.10	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่พีเอชต่าง ๆ	52
4.11	แสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสีที่พีเอชต่าง ๆ	53
4.12	ประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่พีเอชต่าง ๆ	54
4.13	แสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของซีโอดีออกจากระบบที่ อัตราการป้อนสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ค่าต่าง ๆ	58
4.14	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่อัตราการป้อนสารละลาย แคลเซียมไฮดรอกไซด์ค่าต่าง ๆ	59
4.15	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีกับ log [$Ca(OH)_2$/CODinf]	61
4.16	แสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสีออกจากระบบ ที่อัตราการป้อนสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ค่าต่าง ๆ	64

รูปที่ หน้า

4.17 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่อัตราการป้อนสารละลาย
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ค่าต่าง ๆ 65
4.18 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีกับ log [$Ca(OH)_2$/COLORinf] 67
4.19 แสดงลักษณะความเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอย
ออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ค่าต่าง ๆ 70
4.20 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่อัตราการป้อนสารละลาย
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ค่าต่าง ๆ 71
4.21 ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยกับ log [$Ca(OH)_2$/SSinf] 73
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการจ่ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราการจ่าย
สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 75
4.23 อัตราการจ่ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับ
log [$Ca(OH)_2$/CODinf] 77
4.24 รูปร่างและลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้นที่อัตราการป้อนสารละลาย
แคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าระบบ 10 กรัมต่อลิตร [x1500] 87
4.25 รูปร่างและลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้นที่อัตราการป้อนสารละลาย
แคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าระบบ 10 กรัมต่อลิตร [x2000] 87
4.26 รูปร่างและลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้นที่อัตราการป้อนสารละลาย
แคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าระบบ 40 กรัมต่อลิตร [x1500] 88
4.27 รูปร่างและลักษณะตะกอนที่เกิดขึ้นที่อัตราการป้อนสารละลาย
แคลเซียมไฮดรอกไซด์เข้าระบบ 40 กรัมต่อลิตร [x2000] 88