

การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน โดยกระบวนการฟลูอิด ไคซ์เบต

นาย วิบลัย พันธุ์ศักดิ์ศรี



วิทยานี้เป็นหนึ่งในส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-952-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018491

117162786

AEROBIC BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT BY FLUIDIZED BED PROCESS

MR. VIBOON PANSAKSIRI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

GRADUATE SCHOOL

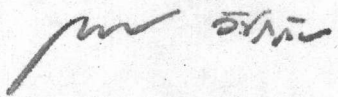
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1992

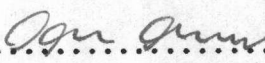
ISBN 974-581-952-2


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนโดยกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
โดย นายวิบูลย์ พันธุ์ศักดิ์ศิริ
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์

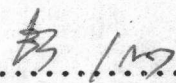
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้มหาวิทยาลัยบัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

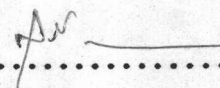

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรราษฎร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุรี ชาวเขียร)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

วิบูลย์ พันธุ์ศักดิ์ศิริ : การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนโดยกระบวนการ
ฟลูอิดไคซ์เบด (AEROBIC BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT BY
FLUIDIZED BED PROCESS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์
สุจริตตานนท์ , 166 หน้า ISBN 974-581-952-2



กระบวนการฟลูอิดไคซ์เบดที่ใช้บำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนในการทดลองนี้ ใช้ท่อ-
อะคริลิคขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.62 ซม. ความสูง 3.00 เมตร เป็นถังปฏิกรณ์ และทรายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง-
กลาง 0.48 - 0.60 มม. เป็นอนุภาคตัวกลางบรรจุอยู่ในถังปฏิกรณ์มีความสูงของเบดนิ่งเท่ากับ 100 ซม.

การทดลองครั้งนี้แบ่งเป็น 6 การทดลอง โดยแปรเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ
ประมาณ 300 และ 500 มก.ต่อลิตรและความเร็วไหลขึ้นของน้ำเท่ากับ 20 , 25 และ 30 เมตรต่อชั่วโมง
แล้วพิจารณาการทำงานของระบบด้วยประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีและปริมาณ-
ออกซิเจนละลายน้ำในถังปฏิกรณ์ ซึ่งกระบวนการนี้จะเป็นการรวมตะกอนจุลินทรีย์ทั้ง ชนิดแขวนลอยและชนิดยึด
เกาะติดผิวอนุภาคทรายในการย่อยสลายสารอินทรีย์

จากการทดลองพบว่า กระบวนการฟลูอิดไคซ์เบดมีความสามารถในการกำจัดซีโอดีได้เป็นอย่างดี
กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของกระบวนการมีค่าเท่ากับร้อยละ 78.66 - 86.30 และ 93.36 -
96.92 สำหรับซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายตามลำดับ ที่ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำในระบบค่า
ประมาณ 6.70 - 7.50 มก.ต่อลิตร และระยะเวลาการกักเก็บน้ำที่ค่าเท่ากับ 5.70 - 8.55 นาที นอกจากนี้
นั้นยังพบว่าน้ำที่ออกจากระบบจะให้ค่าเฉลี่ยซีโอดีละลายเท่ากับ 13 - 23 มก.ต่อลิตร และค่าเฉลี่ยตะกอน-
แขวนลอยเท่ากับ 19 - 41 มก.ต่อลิตร เมื่อพิจารณาจากการทดลองจะเห็นว่าประสิทธิภาพของระบบจะขึ้น
อยู่กับ ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ให้ระบบ และระยะเวลาการกัก-
เก็บน้ำที่มีผลมากจากความเร็วไหลขึ้นของน้ำ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลงตามการเพิ่มความเร็วไหล
ขึ้นของน้ำ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา 2535

ลายมือชื่อนิสิต วิบูลย์ พันธุ์ศักดิ์ศิริ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมเพียงแผ่นเดียว

C216466 : MAJOR SANITARY ENGINEERING

KEY WORD : WASTEWATER / AEROBIC TREATMENT / FLUIDIZED BED

VIBOON PANSAKSIRI : AEROBIC BIOLOGICAL WASTEWATER
TREATMENT BY FLUIDIZED BED PROCESS. THESIS ADISOR :
ASST.PROF.SUTHIRAK SUJARITTANONTHA Ph.D.,166 PP.
ISBN 974-581-952-2

Aerobic biological wastewater treatment by fluidized bed process in this experiment used acrylic column 7.62 cm. in diameter, 3.00 m.height for reactor tank and graded sand of 0.48 - 0.60 mm. in diameter that was initially packed to 100 cm. fixed bed height in reactor tank.

This study was divided into 6 sub-experiments by changing the influent COD concentration of 300 and 500 mg/l and upflow rate of 20, 25 and 30 m/hr. And its capacity was considered as in organic removal efficiency as COD and dissolved oxygen maintained in the reactor. The uniqueness of this process is the combined activity of suspended and attached growth microorganisms in organic removal.

From the result, it was found that the fluidized bed process had a good capability in COD removal with the efficiencies of 78.66 - 86.30 % and 93.36 - 96.92 % for total COD and soluble COD, respectively at low influent dissolved oxygen concentration of 6.70 - 7.50 mg/l and low hydraulic retention time of 5.70 - 8.55 minutes. Moreover, the effluent had the average soluble COD of 13 - 23 mg/l and the average suspended solids of 19 - 41 mg/l. It is deduced from the study, that the removal efficiency is dependent upon the influent wastewater concentration, the influent dissolved oxygen and the hydraulic retention time that resulted from the upflow velocity whereas the removal efficiency is decreased with the increased upflow velocity.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา 2535

ลายมือชื่อนิสิต วิบูลย์ นันทศักดิ์ศรี
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา N.V
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สฤทธิรักษ์ สัจจิตตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน และคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณพี่ - น้องทุกท่าน ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และเนื่องจากทบทวนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทบทวนผลการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มา ณ. ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอมอบความดีและประโยชน์ทั้งปวงของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แด่บิดา-มารดาที่ล่วงลับ ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุด

สารบัญ

หน้า

| | |
|---|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูป..... | ฎ |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| 2. ทบทวนเอกสาร..... | 4 |
| 2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน..... | 4 |
| 2.1.1 กระบวนการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน..... | 4 |
| 2.1.2 ระบบบำบัดน้ำเสียประเภทที่แบคทีเรียอยู่ ในลักษณะแขวนลอย..... | 9 |
| 2.1.3 ระบบบำบัดน้ำเสียประเภทที่แบคทีเรียอยู่ ในลักษณะยึดเกาะกับตัวกลาง..... | 10 |
| 2.2 ฟลูอิดไดเซชัน..... | 11 |
| 2.2.1 นิยาม..... | 11 |
| 2.2.2 ประเภทของฟลูอิดไดเซชัน..... | 12 |
| 2.2.3 องค์ประกอบที่มีผลต่อการทำงานของฟลูอิดไดเซชัน..... | 13 |
| 2.3 การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน โดย กระบวนการฟลูอิดไดซ์เบด..... | 20 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 2.3.1 การพัฒนาของกระบวนการ..... | 20 |
| 2.3.2 ตัวกลางที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาโดย กระบวนการผลิต ไคซ์เบต..... | 21 |
| 2.3.3 จุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน โดยกระบวนการผลิต ไคซ์เบต..... | 25 |
| 2.3.4 หลักการทำงาน..... | 27 |
| 2.4 ข้อดีและข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน โดยกระบวนการผลิต ไคซ์เบต..... | 32 |
| 2.4.1 ข้อดีของกระบวนการ..... | 32 |
| 2.4.2 ข้อเสียของกระบวนการ..... | 32 |
| 2.5 การศึกษาที่เกี่ยวข้อง..... | 33 |
| 3. วิธีดำเนินการศึกษา..... | 39 |
| 3.1 การดำเนินการ..... | 39 |
| 3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง..... | 40 |
| 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... | 41 |
| 3.4 ตัวกลางทราย..... | 46 |
| 3.5 การหาค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดผลิต ไคซ์เบต..... | 47 |
| 3.6 ขั้นตอนการทดลอง..... | 48 |
| 3.7 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ..... | 49 |
| 4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล..... | 52 |
| 4.1 การทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดผลิต ไคซ์เบต..... | 52 |
| 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดี (COD) กับบีโอดี (BOD ₅) ของน้ำเสียสังเคราะห์..... | 54 |
| 4.3 ผลการบำบัดน้ำเสียและวิจารณ์..... | 54 |
| 4.3.1 พีเอช (pH)..... | 55 |
| 4.3.2 สภาพความเป็นด่างรวม (Total Alkalinity)..... | 57 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.3.3 ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)..... | 61 |
| 4.3.4 ปริมาณตะกอนแขวนลอย (TSS)..... | 70 |
| 4.3.5 ปริมาณตะกอนแขวนลอยระเหย (VSS) และความสูง ของเบตที่ขยายตัว..... | 78 |
| 4.3.6 ซีไอต์และประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอต์..... | 83 |
| 4.3.7 ลักษณะของจุลินทรีย์ที่พบในการทดลอง..... | 105 |
| 5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... | 108 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 108 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม..... | 109 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 110 |
| ภาคผนวก..... | 113 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 166 |

สารบัญตาราง

| | | |
|--------------|---|-----|
| ตารางที่ 2.1 | แสดงการเปรียบเทียบ Surface area ของระบบต่างๆ..... | 23 |
| ตารางที่ 2.2 | แสดงการเปรียบเทียบ MLVSS ของระบบต่างๆ..... | 24 |
| ตารางที่ 3.1 | แผนการศึกษา..... | 39 |
| ตารางที่ 3.2 | ส่วนประกอบต่างๆ ของน้ำเสียสังเคราะห์..... | 41 |
| ตารางที่ 3.3 | แสดงการเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ..... | 50 |
| ตารางที่ 4.1 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วไหลชั้นของน้ำกับ ความดันลดที่เกิดขึ้น..... | 53 |
| ตารางที่ 4.2 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีกับซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์..... | 54 |
| ตารางที่ 4.3 | แสดงค่าเฉลี่ยของพีเอชน้ำเสียเข้า น้ำในถังหมน เวียนน้ำกลับ และน้ำที่ออกจากระบบ..... | 56 |
| ตารางที่ 4.4 | แสดงค่าเฉลี่ยสภาพความเป็นด่างรวมของน้ำเสียเข้า น้ำในถัง หมน เวียนน้ำกลับ และน้ำที่ออกจากระบบ..... | 61 |
| ตารางที่ 4.5 | แสดงค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายน้ำ ในช่วงสภาวะคงตัวของน้ำ ในถังหมน เวียนน้ำกลับ น้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์และน้ำส่วนบนของถังปฏิกรณ์..... | 69 |
| ตารางที่ 4.6 | แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณตะกอนแขวนลอยของน้ำในถังหมน เวียนน้ำกลับ และน้ำที่ออกจากระบบ ปริมาณตะกอนแขวนลอยระเหยในถังปฏิกรณ์ ฟลูอิด ไตซ์เบด และความสูงของเบดที่ขยายตัว ในช่วงสภาวะคงตัว..... | 78 |
| ตารางที่ 4.7 | แสดงค่าเฉลี่ยของซีโอดีน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบ และน้ำที่ออกจากระบบ และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ในช่วงสภาวะคงตัว..... | 104 |

สารบัญรูป

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดสภาวะเหมือนของไหล..... | 12 |
| รูปที่ 2.2 แสดงการหาค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิด ไตซ์เบด จากการทดลอง..... | 16 |
| รูปที่ 2.3 แสดงตัวกระจายและชั้นส่วนที่ทำให้ของไหลมีความเร็วสม่ำเสมอ..... | 18 |
| รูปที่ 2.4 แสดงการเกิด Channeling..... | 19 |
| รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของ Completely-mixed biological fluidized bed..... | 21 |
| รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของ Biomass Support Particles..... | 22 |
| รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างภายในเบดกับความเร็วไหลขึ้น..... | 25 |
| รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของอนุภาคตัวกลางที่มีฟิล์มจุลินทรีย์เกาะยึด ในถังปฏิกรณ์ฟลูอิด ไตซ์เบด..... | 26 |
| รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของชั้นมวลจุลินทรีย์..... | 27 |
| รูปที่ 2.10 แผนผังแสดงการทำงานของกระบวนการฟลูอิด ไตซ์เบด..... | 28 |
| รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของ Pilot fluidized - reactor..... | 29 |
| รูปที่ 2.12 แสดง Diagram of anoxic fluidized bed arrangement..... | 30 |
| รูปที่ 2.13 แสดง Scale drawing of fluidized - bed aerobic system..... | 30 |
| รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะของ Oxygenic reactor arrangement..... | 31 |
| รูปที่ 2.15 แสดง Cost comparision of plants for complete carbonaceous oxidation..... | 36 |
| รูปที่ 3.1 แสดง Schematic diagram of experimental apparatus..... | 43 |
| รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการติดตั้งเครื่องมือของแบบจำลอง ของระบบฟลูอิด ไตซ์เบด..... | 44 |
| รูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของถังปฏิกรณ์ฟลูอิด ไตซ์เบด..... | 45 |
| รูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วไหลขึ้นของน้ำและความดันตกลด..... | 55 |
| รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซี โอดีและบี โอดีของน้ำเสียสังเคราะห์..... | 55 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-------------|--|----|
| รูปที่ 4.3 | แสดงค่าพีเอชของน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบ ถังหมนเวียนน้ำกลับ และน้ำที่ ออกจากระบบ ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 20 เมตร/ชม..... | 58 |
| รูปที่ 4.4 | แสดงค่าพีเอชของน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบ ถังหมนเวียนน้ำกลับ และน้ำที่ ออกจากระบบ ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 25 เมตร/ชม..... | 59 |
| รูปที่ 4.5 | แสดงค่าพีเอชของน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบ ถังหมนเวียนน้ำกลับ และน้ำที่ ออกจากระบบ ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 30 เมตร/ชม..... | 60 |
| รูปที่ 4.6 | แสดงค่าสภาพความเป็นด่างรวมของน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบ ถังหมนเวียนน้ำกลับ และน้ำที่ออกจากระบบที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 20 เมตร/ชม..... | 62 |
| รูปที่ 4.7 | แสดงค่าสภาพความเป็นด่างรวมของน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบ ถังหมนเวียนน้ำกลับ และน้ำที่ออกจากระบบที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 25 เมตร/ชม..... | 63 |
| รูปที่ 4.8 | แสดงค่าสภาพความเป็นด่างรวมของน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบ ถังหมนเวียนน้ำกลับ และน้ำที่ออกจากระบบที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 30 เมตร/ชม..... | 64 |
| รูปที่ 4.9 | แสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำในถังหมนเวียนน้ำกลับ น้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ และน้ำส่วนบนของถังปฏิกรณ์ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 20 เมตร/ชม..... | 66 |
| รูปที่ 4.10 | แสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำในถังหมนเวียนน้ำกลับ น้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ และน้ำส่วนบนของถังปฏิกรณ์ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 25 เมตร/ชม..... | 67 |
| รูปที่ 4.11 | แสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำในถังหมนเวียนน้ำกลับ น้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ และน้ำส่วนบนของถังปฏิกรณ์ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 30 เมตร/ชม..... | 68 |
| รูปที่ 4.12 | แสดงค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายน้ำที่ระดับความสูงต่างๆ ในถังปฏิกรณ์ ฟลูอิดไดซ์เบด เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 20 เมตร/ชม..... | 71 |
| รูปที่ 4.13 | แสดงค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายน้ำที่ระดับความสูงต่างๆ ในถังปฏิกรณ์ ฟลูอิดไดซ์เบด เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 25 เมตร/ชม..... | 72 |
| รูปที่ 4.14 | แสดงค่าเฉลี่ยออกซิเจนละลายน้ำที่ระดับความสูงต่างๆ ในถังปฏิกรณ์ ฟลูอิดไดซ์เบด เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 30 เมตร/ชม..... | 73 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | | |
|-------------|---|----|
| รูปที่ 4.15 | แสดงปริมาณตะกอนแขวนลอยในถังหมุนเวียนน้ำกลับ และน้ำทิ้งออกจากระบบ ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 20 เมตร/ชม..... | 75 |
| รูปที่ 4.16 | แสดงปริมาณตะกอนแขวนลอยในถังหมุนเวียนน้ำกลับ และน้ำทิ้งออกจากระบบ ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 25 เมตร/ชม..... | 76 |
| รูปที่ 4.17 | แสดงปริมาณตะกอนแขวนลอยในถังหมุนเวียนน้ำกลับ และน้ำทิ้งออกจากระบบ ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 30 เมตร/ชม..... | 77 |
| รูปที่ 4.18 | แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ผลูติด ไคซ์เบด ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 20 เมตร/ชม..... | 80 |
| รูปที่ 4.19 | แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ผลูติด ไคซ์เบด ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 25 เมตร/ชม..... | 81 |
| รูปที่ 4.20 | แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ผลูติด ไคซ์เบด ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 30 เมตร/ชม..... | 82 |
| รูปที่ 4.21 | แสดงการเปลี่ยนแปลงความสูงของเบดขยายตัวตามระยะเวลา ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 20 เมตร/ชม..... | 84 |
| รูปที่ 4.22 | แสดงการเปลี่ยนแปลงความสูงของเบดขยายตัวตามระยะเวลา ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 25 เมตร/ชม..... | 85 |
| รูปที่ 4.23 | แสดงการเปลี่ยนแปลงความสูงของเบดขยายตัวตามระยะเวลา ที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 30 เมตร/ชม..... | 86 |
| รูปที่ 4.24 | แสดงปริมาณซีโอไซด์ของน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบ ถังหมุนเวียนน้ำกลับ และน้ำทิ้ง ออกจากระบบที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 20 เมตร/ชม..... | 89 |
| รูปที่ 4.25 | แสดงปริมาณซีโอไซด์ของน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบ ถังหมุนเวียนน้ำกลับ และน้ำทิ้ง ออกจากระบบที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 25 เมตร/ชม..... | 90 |
| รูปที่ 4.26 | แสดงปริมาณซีโอไซด์ของน้ำเสียป้อนเข้าสู่ระบบ ถังหมุนเวียนน้ำกลับ และน้ำทิ้ง ออกจากระบบที่ระดับความเร็วไหลชั้นของน้ำ 30 เมตร/ชม..... | 91 |
| รูปที่ 4.27 | แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอไซด์ของถังปฏิกรณ์ผลูติด ไคซ์เบด ที่ระดับ ความเร็วไหลชั้นของน้ำ 20 เมตร/ชม..... | 92 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | | |
|--------------------|--|-----|
| รูปที่ 4.28 | แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์ผลิตไคซ์เบด ที่ระดับ ความเร็วไหลชั้นของน้ำ 25 เมตร/ชม..... | 93 |
| รูปที่ 4.29 | แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของถังปฏิกรณ์ผลิตไคซ์เบด ที่ระดับ ความเร็วไหลชั้นของน้ำ 30 เมตร/ชม..... | 94 |
| รูปที่ 4.30 | แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณซีโอดีที่ระดับความสูงต่างๆ ในถังปฏิกรณ์ ผลิตไคซ์เบด เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่ความเร็วไหลชั้นของน้ำ 20 เมตร/ชม..... | 97 |
| รูปที่ 4.31 | แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณซีโอดีที่ระดับความสูงต่างๆ ในถังปฏิกรณ์ ผลิตไคซ์เบด เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่ความเร็วไหลชั้นของน้ำ 25 เมตร/ชม..... | 98 |
| รูปที่ 4.32 | แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณซีโอดีที่ระดับความสูงต่างๆ ในถังปฏิกรณ์ ผลิตไคซ์เบด เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่ความเร็วไหลชั้นของน้ำ 30 เมตร/ชม..... | 99 |
| รูปที่ 4.33 | แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ระดับความสูงต่างๆ ในถังปฏิกรณ์ ผลิตไคซ์เบด เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่ความเร็วไหลชั้นของน้ำ 20 เมตร/ชม..... | 100 |
| รูปที่ 4.34 | แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ระดับความสูงต่างๆ ในถังปฏิกรณ์ ผลิตไคซ์เบด เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่ความเร็วไหลชั้นของน้ำ 25 เมตร/ชม..... | 101 |
| รูปที่ 4.35 | แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ระดับความสูงต่างๆ ในถังปฏิกรณ์ ผลิตไคซ์เบด เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่ความเร็วไหลชั้นของน้ำ 30 เมตร/ชม..... | 102 |
| รูปที่ 4.36 | แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และความเร็วไหลชั้นของน้ำ..... | 104 |
| รูปที่ 4.37 - 4.40 | แสดงจลนทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ผลิตไคซ์เบด..... | 106 |