

การบำบัดน้ำเสียด้วยฟลูอิดไอซ์เบดสามเฟส

นายไพศาล ปั่นสง่า

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-637-364-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# WASTEWATER TREATMENT BY THREE PHASE FLUIDIZED BED

Mr.Paisan Pansngar

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

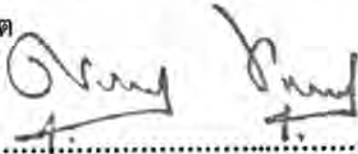
Academic Year 1998

ISBN 974-637-364-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การบำบัดน้ำเสียด้วยฟลูอิดซ์เบดสามเฟส  
โดย                              นายไพศาล ปั่นสง่า  
ภาควิชา                        เคมีเทคนิค  
อาจารย์ที่ปรึกษา        ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ

---

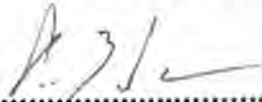
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

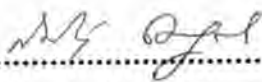
  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
( ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรณ ประศาสน์สารกิจ )

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ )

  
.....กรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์ )

  
.....กรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ )

ไพศาล ปั่นสง่า : การบำบัดน้ำเสียด้วยฟลูอิดไรซ์เบดสามเฟส (WASTE WATER TREATMENT BY THREE PHASE FLUIDIZED BED) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ, 116 หน้า. ISBN 974-637-364-1

ในการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพโดยกระบวนการฟลูอิดไรซ์เบดแบบจุลินทรีย์ใช้ออกซิเจน ในการทดลองนี้ใช้อากาศที่มากเกินพอเติมลงในน้ำเสีย เครื่องสร้างด้วยเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) เป็นรูปกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 28 เซนติเมตร สูง 3 เมตร ตัวกลางที่ใช้ในการศึกษามีสองชนิด คือ อิฐ และ อิฐผสม เส้นผ่านศูนย์กลางทั้งสองตัวกลางมีขนาดเฉลี่ย 0.42 มิลลิเมตร บรรจุเม็ดตัวกลางภายในเครื่องและมีอนุภาคเรียงกันสูง 40 เซนติเมตร และ 38 เซนติเมตรตามลำดับ การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง โดยทำการศึกษาเปลี่ยนชนิดตัวกลาง และเปลี่ยนอัตราไหลของน้ำเสียเป็น 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45 และ 0.6 ลูกบาศก์เมตร ต่อชั่วโมง แล้วพิจารณาการทำงานของระบบด้วยประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของค่าบีโอดี ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการรวมตะกอนจุลินทรีย์ทั้งชนิดแขวนลอยและชนิดยึดติดกับตัวกลางในการย่อยสลายสารอินทรีย์

จากผลการทดลองพบว่าระบบนี้สามารถนำไปใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียขั้นสูงได้เนื่องจากมีตะกอนจุลินทรีย์ในเครื่องปฏิกรณ์เป็นจำนวนมาก พบว่าจุลินทรีย์ที่เกาะบนตัวกลางชนิดที่เป็น อิฐ และ อิฐผสม มีค่าเฉลี่ยตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) 10584.19 และ 10788.97 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) ของทั้งสองตัวกลาง 40.8 นาทีให้ประสิทธิภาพการลดลงของค่าบีโอดี 93.37 และ 91.77 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาตรบรรจุทุก 15.26 และ 15.04 กิโลกรัมบีโอดี ต่อลูกบาศก์เมตร ต่อวัน ตามลำดับ ในการศึกษาการเกาะของจุลินทรีย์บนเม็ดตัวกลาง โดยใช้เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโคป พบว่าจุลินทรีย์ผสมกันระหว่างกลุ่มที่เป็นจุลินทรีย์ลักษณะเส้นใย และกิ่งก้านสั้น จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดบีโอดีขึ้นกับ ระยะเวลาพักเก็บ โดยประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาพักเก็บลดลง และลักษณะเดียวกันประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเพิ่มขึ้น เมื่อ ความพรุนของตัวกลางสูงขึ้น

ภาควิชา ..... เคมีเทคนิค  
 สาขาวิชา ..... เคมีเทคนิค  
 ปีการศึกษา ..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต .....  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

# # C825761 : MAJOR  
KEY WORD:

CHEMICAL TECHNOLOGY

WASTEWATER / AEROBIC TREATMENT / FLUIDIZED BED

PAISAN PANSNGAR: WASTEWATER TREATMENT BY THREE PHASE  
FLUIDIZED BED.

THESIS ADVISOR: PROF. SOMSAK DAMRONGLEARD, Ph.D. 116 pp.

ISBN 974-637-364-1


The aerobic biological wastewater treatment by fluidization technique was performed with excess air supplied. The fluidized bed reactor was fabricated by stainless steel in cylindrical form with diameter 28 cm. and height 300 cm.. Two types of media, brick and mixed-brick, having average diameter of 0.42 mm. were fluidized in the column by wastewater and air. Flow rate of wastewater was varied from 0.25 m<sup>3</sup>/h to 0.6 m<sup>3</sup>/h. In this process, the suspended and immobilized microorganism would digest organic substance in wastewater along the length of column. The efficiency of performance was measured in the form of reduction of BOD<sub>5</sub>.

From the experiment, it was found that it was possible to operate as a high rate process with a large biomass hold up. Biomass concentration in the bed was measures as total attached solid (MLSS), their average values were 10,584.19 and 10,788.97 mg/l for brick and mixed-brick respectively. At hydraulic retention time (HRT) 40.8 min., the efficiencies of BOD<sub>5</sub> removal were 93.37% and 91.77% at loading of 15.04 kg BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>-d for brick and mixed-brick respectively. But the efficiencies of BOD<sub>5</sub> removal was proportional inversely with the hydraulic retention time (HRT). Scanning electron microscope confirmed biomass measured consisted of mixture of filamentous and short rods bacterias.

ภาควิชา..... เคมีเทคนิค.....

สาขาวิชา..... เคมีเทคนิค.....

ปีการศึกษา..... 2541.....

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำตักเตือน และช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ให้ลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน และคณาจารย์ ภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความวิชาความรู้และแนะนำข้อคิดเห็นต่าง ๆ ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ บุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ และช่างประจำที่โรงแรมริเวอร์ไซด์ ช่วยซ่อมแซมอุปกรณ์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้จนสามารถดำเนินการวิจัยได้ลุล่วง

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนวิจัย ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ ทุนในงานวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัยจึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ มารดา และ พี่ ที่เป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลืออย่างมากมาย และให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	๗

บทที่

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน .....	4
2.1.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย ทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน .....	4
2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน.....	5
2.1.3 ระบบบำบัดน้ำเสียประเภทที่แบคทีเรียอยู่ในลักษณะแขวนลอย .....	8
2.1.4 ระบบบำบัดน้ำเสียประเภทที่แบคทีเรียอยู่ในลักษณะยึดเกาะกับตัวกลาง. ....	10
2.2 ฟลูอิไดเซชัน(Fluidization) .....	11
2.2.1 นิยาม .....	11
2.2.2 ประเภทของฟลูอิไดเซชัน.....	11
2.2.3 องค์ประกอบที่มีผลต่อการทำงานของฟลูอิไดเซชัน.....	12
2.2.4 ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดซ์เบดสามเฟส.....	18
2.3 การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนโดยกระบวนการฟลูอิไดซ์เบด.....	18
2.3.1 การพัฒนาของกระบวนการ .....	18

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.2	ตัวกลางที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โดยกระบวนการฟลูอิดไคซ์เบด .....	21
2.3.3	จุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน โดยกระบวนการฟลูอิดไคซ์เบด .....	27
2.3.4	การกระจายตัวของแก๊สในระบบบำบัดน้ำเสียฟลูอิดไคซ์เบด.....	28
2.3.5	รูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ของระบบบำบัด น้ำเสียทางชีวภาพแบบฟลูอิดไคซ์เบด.....	32
2.3.6	แบบจำลองของระบบบำบัดน้ำเสียฟลูอิดไคซ์เบดในส่วนของเม็ค ของแข็ง (Model of biological fluidized-bed treatment) .....	34
2.4	หลักการการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียฟลูอิดไคซ์เบด.....	37
2.4.1	ข้อดีและข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบ ใช้ออกซิเจนโดยกระบวนการฟลูอิดไคซ์เบด.....	41
2.5	การศึกษาที่เกี่ยวข้อง.....	42
3.	วิธีดำเนินการศึกษา.....	53
3.1	ลักษณะเฉพาะของน้ำเสีย.....	53
3.2	การหาค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไคซ์เบด .....	54
3.3	ตัวแปรที่ศึกษา.....	55
3.4	ศึกษาปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์.....	55
3.5	การดำเนินการ.....	56
3.6	น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	57
3.7	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	58
3.8	ตัวกลาง.....	62
3.9	อากาศ .....	62
3.10	ค่าการวิเคราะห์.....	62
3.11	ขั้นตอนการทดลอง.....	63
3.12	การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	63



## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	66
4.1 หาคความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำเสียกับอัตราการไหลของอากาศ....	66
4.2 การหาค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิโดซ์เบด.....	68
4.3 ผลการบำบัดน้ำเสียและวิเคราะห์ผล.....	72
4.3.1 ขั้นตอนการเริ่มเดินระบบครั้งแรก.....	72
4.3.2 ปริมาณอาหารเสริม(Nutrients).....	74
4.3.3 ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) .....	75
4.3.4 ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนที่อยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิโดซ์เบด.....	77
4.3.5 อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food to Microbe Ratio , F/M ratio) .....	79
4.3.6 ระยะเวลาที่กักเก็บ (Hydraulic Retention time) .....	86
4.3.7 ปริมาตรบรรจุทุก (Volumetric loading rate) .....	88
4.4 การศึกษาพื้นที่ผิวของตัวกลาง.....	90
4.4.1 การศึกษาพื้นที่ผิวหน้าของตัวกลางชนิดที่เป็น อิฐผสม และ อิฐ.....	90
4.4.2 การเติบโตของชั้นฟิล์มจุลินทรีย์.....	93
4.5 การเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียอื่น ๆ.....	95
4.5.1 ระบบบำบัดน้ำเสียฟลูอิโดซ์เบดของงานวิจัยในอดีต.....	95
4.5.2 ระบบเลี้ยงตะกอนเร่ง (Activated Sludge) .....	96
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	99
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	99
5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม.....	101
รายการอ้างอิง.....	103
ภาคผนวก.....	106
ภาคผนวก ก.....	106
ภาคผนวก ข.....	114
ประวัติผู้เขียน.....	116

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบ Surface Area ของระบบต่าง ๆ .....	22
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบ MLSS ของระบบต่าง ๆ.....	25
ตารางที่ 3.1 สมบัติน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดฟลูอิดไคซ์เบค.....	53
ตารางที่ 3.2 แผนการศึกษาสำหรับหาอัตราการไหลของน้ำเสียที่เหมาะสมใน การบำบัดบีโอดีและตัวกลางที่เหมาะสม.....	56
ตารางที่ 3.3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	64
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับอัตราการไหล ของน้ำเสียที่ให้ค่าบีโอดีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย.....	66
ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของน้ำกับความดันตกที่เกิดขึ้น ชนิดของตัวกลางอิฐขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.42 มม. ....	69
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของน้ำกับความดันตกที่เกิดขึ้น ของตัวกลางที่เป็นอิฐผสมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.42 มม.....	69
ตารางที่ 4.4 ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไคซ์ เปรียบเทียบระหว่าง หากจากการทดลอง ความดันตก ( $\Delta P$ ) กับ หากจากสมการ.....	71
ตารางที่ 4.5 ปริมาณสารอาหารเสริม ในโตรเจน ฟอสฟอรัสเปรียบเทียบกับ ค่าบีโอดีที่มีอยู่ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด.....	74
ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบระบบบำบัดเสียฟลูอิดไคซ์เบค.....	96
ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบระบบเลี้ยงตะกอนเร่ง (สุเมธ, 2535) กับระบบฟลูอิดไคซ์เบค (Forster,C.F.,1986) .....	97

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ตัวกระจายและชิ้นส่วนที่ทำให้ของไหลมีความเร็วสม่ำเสมอ(สมศักดิ์ , 2528) .....	12
รูปที่ 2.2 การเกิด Channeling (สมศักดิ์ , 2528) .....	13
รูปที่ 2.3 การหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิโดซ์จาก การทดลองของ (Davidson, J.F. และ Harrison, D.,1963) .....	16
รูปที่ 2.4 ลักษณะเครื่องฟลูอิโดซ์แบบผสมอย่างสมบูรณ์ .....	20
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะความเร็วต่ำสุดของของไหลในการเกิดฟลูอิโดซ์ เมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศ.....	21
รูปที่ 2.6 ขนาดของตัวกลางที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบ.....	22
รูปที่ 2.7 ลักษณะของตัวกลางแต่ละชนิดมีความพรุนแตกต่างกัน.....	23
รูปที่ 2.8 ลักษณะของมวลจุลินทรีย์ที่เกาะบนตัวกลาง.....	24
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างภายในเบคกับความเร็วไหลขึ้น.....	26
รูปที่ 2.10 ลักษณะของอนุภาคตัวกลางที่มีฟิล์มจุลินทรีย์เกาะยึดใน เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิโดซ์เบคดูจาก Scanning electron microscope (SEM) .....	27
รูปที่ 2.11 ลักษณะของชั้นมวลจุลินทรีย์.....	27
รูปที่ 2.12 ฟองแก๊สและอนุภาคที่สัมผัสกันใน ระบบฟลูอิโดซ์เบคสามเฟส.....	30
รูปที่ 2.13 ปริมาตรสัมประสิทธิ์ ( $k_L a$ ) ที่ตำแหน่งต่างกันของเบค ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของตัวกลาง 6 มม. ....	31
รูปที่ 2.14 สัมประสิทธิ์ ( $k_L$ ) ที่ตำแหน่งความสูงต่าง ๆ ในเบค.....	31
รูปที่ 2.15 แบบจำลองของอนุภาคที่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถทำงานได้.....	35
รูปที่ 2.16 เส้นความเข้มข้นระหว่างชั้นของขอบเขตและจุลินทรีย์.....	35
รูปที่ 2.17 แผนผังแสดงการทำงานของกระบวนการฟลูอิโดซ์เบค.....	37
รูปที่ 2.18 ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิโดซ์เบคขนาด Pilot .....	39
รูปที่ 2.19 ลักษณะแผนผังเครื่องฟลูอิโดซ์เบคแบบจุลินทรีย์ขาดออกซิเจน.....	39

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.20 ลักษณะขนาดแผนผังระบบบำบัดน้ำเสียฟลูอิดไคซ์เบคแบบจุลินทรีย์ใช้ ออกซิเจน.....	40
รูปที่ 2.21 ลักษณะของเครื่องบำบัดน้ำเสียฟลูอิดไคซ์เบคแบบเติมออกซิเจน.....	40
รูปที่ 2.22 การเปรียบเทียบราคาของสองระบบในส่วนการบำบัดสารประกอบอินทรีย์.....	45
รูปที่ 2.23 ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบค สำหรับบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน.....	49
รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์บำบัดน้ำเสียฟลูอิดไคซ์เบคสามเฟส.....	59
รูปที่ 3.2 รายละเอียดของถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบค.....	60
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและอัตราการไหลของอากาศ ที่ให้ค่าการบำบัดบีโอดีสูงสุด.....	68
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของน้ำและความดันสถณิคตัวกลางเป็น อิฐ.....	70
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของน้ำและความดันสถณิคตัวกลางเป็น อิฐผสม.....	71
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงบีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัด ในช่วงระยะเวลา เดินระบบครั้งแรกของตัวกลางที่เป็น อิฐ.....	72
รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงบีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัด ในช่วงระยะเวลา เดินระบบครั้งแรกของตัวกลางที่เป็น อิฐผสม.....	73
รูปที่ 4.6 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย ด้านบนและด้านล่างของ เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบคที่มีตัวกลางเป็นอิฐขนาด 0.42 มม. ....	75
รูปที่ 4.7 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ก่อนเข้าเครื่องบำบัดน้ำเสีย ด้านบนและด้านล่างของ เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบคที่มีตัวกลางเป็นอิฐผสมขนาด 0.42 มม. ....	76
รูปที่ 4.8 ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย และตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในเครื่อง ปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบคตลอดการทดลอง ชนิดตัวกลางที่เป็น อิฐ.....	78
รูปที่ 4.9 ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย และตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในเครื่อง ปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบคตลอดการทดลอง ชนิดตัวกลางที่เป็น อิฐผสม.....	78
รูปที่ 4.10 ค่าปริมาณสารอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ (F/M ratio) ตลอดระยะเวลาที่ทำ การทดลองโดยชนิดตัวกลาง อิฐ 0.42 มม. ....	80

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.11 ค่าปริมาณสารอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ (F/M ratio) ตลอดระยะเวลาที่ทำ การทดลองโดยชนิดตัวกลาง อีฐผสม 0.42 มม. ....	80
รูปที่ 4.12 ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำเสียที่ เข้าระบบ เข้าเครื่อง และออกจากเครื่อง ปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบคและน้ำเสียน้ำเสียที่ออกจากระบบ ตัวกลาง อีฐ 0.42 มม. ....	82
รูปที่ 4.13 ค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำเสียที่ เข้าระบบ เข้าเครื่อง และออกจากเครื่องปฏิกรณ์ ฟลูอิดไคซ์เบคและน้ำเสียน้ำเสียที่ออกจากระบบ ตัวกลาง อีฐผสม 0.42 มม. ....	82
รูปที่ 4.14 ค่าบีโอดีในแต่ละวันของการทดลอง ชนิดตัวกลางที่เป็น อีฐ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.42 มม. ....	84
รูปที่ 4.15 ค่าบีโอดีในแต่ละวันของการทดลอง ชนิดตัวกลางที่เป็น อีฐผสม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.42 มม. ....	85
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากักเก็บกับเปอร์เซ็นต์การกำจัดบีโอดี และบีโอดีที่ออกจากระบบ ของตัวกลางที่เป็นอีฐ ....	86
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากักเก็บกับเปอร์เซ็นต์การกำจัดบีโอดี และบีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบ ของตัวกลางที่เป็น อีฐผสม ....	87
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรบรรทุกับบีโอดีที่ออกจากระบบบำบัด ตัวกลางชนิดที่เป็น อีฐ.....	89
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรบรรทุกับ บีโอดีที่ออกจากระบบบำบัด ตัวกลางชนิดอีฐผสม.....	89
รูปที่ 4.20 SEM 10 $\mu\text{m}$ . คู่มือหน้าของตัวกลางที่เป็น อีฐผสม 4.2 มม. ใช้ในฟลูอิดไคซ์เบคในการบำบัดน้ำเสีย.....	91
รูปที่ 4.21 SEM 10 $\mu\text{m}$ . คู่มือหน้าของตัวกลางที่เป็น อีฐ 4.2 มม. ใช้ในฟลูอิดไคซ์เบคในการบำบัดน้ำเสีย.....	92
รูปที่ 4.22 SEM คู่มือหลังจากทำการทดลอง 8 วัน ในเครื่องฟลูอิดไคซ์เบค ตัวกลางที่เป็นอีฐ.....	93
รูปที่ 4.23 SEM คู่มือหลังจากทำการทดลอง 17 วัน ในเครื่องฟลูอิดไคซ์เบค ตัวกลางที่เป็นอีฐ.....	94
รูปที่ 4.24 SEM คู่มือหลังจากทำการทดลอง 28 วัน ในเครื่องฟลูอิดไคซ์เบค ตัวกลางที่เป็นอีฐ.....	94
รูปที่ 4.25 ระบบเลี้ยงตะกอนเร่ง.....	96

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่ (เมตร <sup>2</sup> )
BC	=	หอฟองอากาศ
BOD <sub>5</sub>	=	ค่าความต้องการออกซิเจนโดยจุลินทรีย์เมื่อเวลาผ่านไป 5 วัน (มิลลิกรัม ต่อลิตร)
C <sub>d</sub>	=	ค่าคงที่ Drag Coefficient
D <sub>c</sub>	=	สัมประสิทธิ์การแพร่
d <sub>p</sub>	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแข็ง(เมตร)
DTFB	=	ชั้นตัวกลางลอยตัวสามเฟสแบบท่อคู่
E <sub>mf</sub>	=	ค่าสัดส่วนช่องว่างต่ำสุด
ETFB	=	ชั้นตัวกลางลอยตัวสามเฟสแบบหมุนเวียนภายนอก
FB	=	ชั้นตัวกลางลอยตัวแบบสองเฟส
F/M	=	อัตราส่วนระหว่างปริมาณสารอาหารต่อมวลสารจุลินทรีย์ (กก.บีโอดี ต่อ ลบ.ม. ต่อวัน)
ITFB	=	ชั้นตัวกลางลอยตัวสาม เฟสแบบวนกลับ
K <sub>d</sub>	=	สัมประสิทธิ์การย่อยสลาย
K <sub>c</sub>	=	แฟคเตอร์ของ Darcy ที่มีการขยายตัว ( 4.7-5.0)
K	=	อัตราสูงสุดของการใช้สารอาหารต่อหนึ่งหน่วยมวลของจุลินทรีย์
K <sub>s</sub>	=	ค่าคงที่ของครึ่งความเร็ว
L	=	ชั้นความหนาของฟิล์มจุลินทรีย์ ,r <sub>p</sub> -r <sub>s</sub>
L <sub>mf</sub>	=	ความสูงต่ำสุดของเบคเมื่อเริ่มเกิดฟลูอิดไลซ์เบค (เมตร)
MLSS	=	ค่าตะกอนแขวนลอยในเครื่องปฏิกรณ์ (มิลลิกรัม ต่อลิตร)
MLVSS	=	ค่าตะกอนจุลินทรีย์ในเครื่องปฏิกรณ์ (มิลลิกรัม ต่อลิตร)
Mo	=	Morton number (gμ <sup>4</sup> /ρσ <sup>3</sup> )
N	=	ตัวเลขของตัวกลางในเครื่องปฏิกรณ์
ΔP	=	ความดันตก (กิโลกรัม ต่อ เมตร <sup>2</sup> )
ρ <sub>s</sub>	=	ความหนาแน่นของอนุภาคตัวกลาง
ρ <sub>m</sub>	=	ความหนาแน่นของมวลจุลินทรีย์ (น้ำหนักเปียกต่อหน่วยปริมาตรของมวลจุลินทรีย์)
μ	=	ความหนืดของการไหล (กก. ต่อ ม.-ชม.)

$g$	=	ความหนืด kinematic (เมตร <sup>2</sup> ต่อ ชั่วโมง)
$\sigma$	=	แรงตึงผิว (Pa-s)
$\psi$	=	ความกลมของอนุภาค
$\Phi_s$	=	แฟคเตอร์รูปร่าง
$v$	=	ความเร็วที่ทำให้เกิดฟลูอิดไคซ์เบคหรือความเร็วไหลขึ้น (เมตรต่อชั่วโมง)
$\mu_m$	=	อัตราสูงสุดของการเจริญเติบโต
$v_t$	=	ความเร็วสุดท้ายของการเกิดฟลูอิดไคซ์เบค (เมตรต่อชั่วโมง)
$R_{cp}$	=	ค่าของ Reynolds คัดจากเม็ดของแข็ง
$r_p$	=	รัศมีรวมของอนุภาคตัวกลางกับฟิล์มจูลินทรีย์
$r_s$	=	รัศมีของอนุภาคตัวกลาง
$R_m$	=	รัศมีของตัวกลาง
$R_p$	=	รัศมีทั้งหมดรวมชั้นฟิล์ม
$S_b$	=	ความเข้มข้นของอัตราการเติบโตเป็นตัวกำหนดโดยสารอาหาร ( $M/L^3$ )
$S_{bo}$	=	ความเข้มข้นของสารอาหารที่เข้า
$S_f$	=	ความเข้มข้นสารอาหารในชั้นฟิล์ม
$t$	=	เวลา
TFB	=	ชั้นตัวกลางลอยตัวแบบสามเฟส
TTFB	=	ชั้นตัวกลางลอยตัวสามเฟสแบบห่อปฏิกิริยาเร็ว
$U_{mf}$	=	ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิดไคซ์เบค (ม. ต่อ ชม.)
$V_r$	=	ปริมาตรทั้งหมดของเครื่องปฏิกรณ์
$V_p$	=	ปริมาตรทั้งหมดของชั้นฟิล์มที่เกาะบนตัวกลาง
$X_b$	=	ความเข้มข้นของจูลินทรีย์ที่แขวนลอยในของเหลว
$W_r$	=	ความเร็วตกอิสระ (เซนติเมตรต่อวินาที)