การทดสอบความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์จากระบบ ยูเอเอสบีขนาดใหญ่ ช่วงเริ่มต้นเดินระบบ

นาย จีรพงษ์ อินทร์จอหอ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ
พ.ศ. 2537

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ISBN 974-584-329-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17160181

ACTIVITY TESTS OF FULL SCALE UASB SLUDGES DURING START - UP

MR. JERAPONG INJORHOR

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of The Requirements

for The Degree of Master of Science

Program of Biotechnology

Graduate School

Chulalongkorn University

1994

ISBN 974-584-329-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดสอบความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์จากระบบยูเอเอสบี ขนาดใหญ่ ช่วงเริ่มต้นเดินระบบ
โดย	นาย จีรพงษ์ อินทร์จอหอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. สุเมธ ชวเดช
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทัศดร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สุเมธ ชวเดช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. เพียรพรรค ทัศดร)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุวิมล กีรติพิบูล)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จีรพงษ์ อินทร์จอหอ : การทดสอบความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์จากระบบยูเอเอสบีขนาดใหญ่ ช่วงเริ่มต้นเดินระบบ (ACTIVITY TESTS OF FULL SCALE UASB SLUDGES DURING START - UP) อาจารย์ที่ปรึกษา : อ.ดร. สุเมธ ชวเดช, อ.ดร. เพียรพรรค ทัศดร, 132 หน้า. ISBN 974-584-329-6

การทดสอบความสามารถ ของตะกอนจุลินทรีย์ จากระบบหมักยูเอเอสบีขนาดใหญ่ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ ได้ดำเนินการที่โรงงานสุรา จังหวัดอุตรดิตถ์ ทำการทดสอบโดยนำตะกอนจากระดับความสูงต่าง ๆ ของถังหมักยูเอเอสบี ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ โดยพบว่าอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพและประสิทธิภาพการผลิตแก๊สได้สูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ โดยตะกอนจุลินทรีย์ในถังหมัก มีประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุด 0.43 $ม^3$/กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์สูงสุด 4.0 กก.ซีโอดี/$ม^3$.วัน บริมาณตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดในถังหมักได้ลดต่ำลง เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ ตะกอนแบคทีเรียขนาดใหญ่กว่า 0.5 มม. มีสัดส่วนเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.64 % ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2.0 กก.ซีโอดี/$ม^3$.วัน เป็น 1.97% ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 4.0 กก.ซีโอดี/$ม^3$.วัน ความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์ (sludge activity) เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์สูงขึ้นโดยตะกอนจุลินทรีย์ที่ระดับความสูง ต่ำกว่า 1.0 ม. มีค่าความสามารถตะกอนสูงกว่าตะกอนที่อยู่ในชั้นสูงกว่า 1.0 ม.

ภาควิชา .....
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ
ปีการศึกษา ๒๕๓๖

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

: MAJOR BIOTECHNOLOGY
KEY WORD: UASB / ANAEROBIC / SLUDGE ACTIVITY
JERAPONG INJORHOR : ACTIVITY TESTS OF FULL - SCALE UASB SLUDGES DURING START-UP. THESIS ADVISOR : DR. SUMETH CHAVADEJ, PH.D, DR. PIENPAK TASAKORN, PH.D. 138 pp. ISBN 974-584-329-6

The activity tests of full-scale UASB sludges during start-up was carried out at the distillery plant in Uttaradit province. The sludges taken from various heights of the UASB reactor which was operated under different COD loadings were determined for the sludge activity tests. It was found that both biogas production rate and biogas yield increased when the organic loading increased the system had the maximum value of biogas yield of 0.43 m^3/kgCODremoval at the organic loading of 4.0 kgCOD/m^3d. The quantity of bacterial mass in the UASB reactor decreased when the organic loading increased. The fraction of bacterial sludge greater than 0.5mm. significantly increased from 0.64 % at the organic loading of 2.0 kgCOD/m^3d to 1.97 % at the organic loading of 4.0 kgCOD/m^3d. The sludge activity improved substantially when the organic loading increased. The activity of the sludge taken from below 1 m. height was significantly higher than the value of the sludge taken from above 1 m. height.

ภาควิชา..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา ๒๕๓๖ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ดร. สุเมธ ชวเดช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. เพียรพรรค ทัศดร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะแนวทาง พร้อมทั้งดูแลงานวิจัยมาด้วยดีตลอด จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ ประธานกรรมการ, ดร. สุวิมล กีรติพิบูล ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณกลุ่มโรงงานสุราทิพย์ ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องสถานที่และอุปกรณ์ในการทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

และสุดท้าย ขอกราบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฑ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. เอกสารปริทรรศน์	3
2.1 ทฤษฎีระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน	3
2.1.1 การแตกสลายรีพลิเมอร์	3
2.1.2 ขั้นตอนการสร้างกรด	7
2.1.3 ขบวนการสร้างมีเทน	9
2.2 แก๊สชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน	17
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน	17
2.3.1 อุณหภูมิ	17
2.3.2 พีเอช	22
2.3.3 ความเป็นด่าง	27
2.3.4 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย	30
2.3.5 สารอาหารที่จำเป็น	31
2.3.6 สารพิษ	33

บทที่	หน้า
3. ระบบยูเอเอสบี (UASB)	42
3.1 ประวัติความเป็นมาของระบบยูเอเอสบี	42
3.2 หลักการทำงานของระบบยูเอเอสบี	42
3.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน ของระบบยูเอเอสบี	45
3.3.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบ	45
3.3.2 ปัจจัยทางสภาวะแวดล้อม	46
3.3.3 ปัจจัยที่เกี่ยวกับชนิดตะกอนจุลินทรีย์	46
3.3.4 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเริ่มต้นเดินระบบ	46
3.4 การออกแบบระบบยูเอเอสบี	48
3.4.1 ระบบพ่นกระจายน้ำเสีย	48
3.4.2 อัตราส่วนระหว่างความสูงต่อพื้นที่ของถังหมัก	50
3.4.3 อุปกรณ์แยกตะกอนแบคทีเรีย	50
3.5 ข้อกำหนดและวิธี start up ระบบยูเอเอสบี	50
3.5.1 ปริมาณ seed sludge ที่ใช้	51
3.5.2 ค่าของ sludge load ขณะ start up	51
3.5.3 การเพิ่มค่า sludge load	51
3.5.4 การ wash out	51
3.5.5 การรักษาตะกอนแบคทีเรีย	51
3.5.6 ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ใช้	52
3.5.7 สภาวะแวดล้อมของระบบยูเอเอสบี	52
3.6 ช่วงระยะเวลาของการ start up	52
3.6.1 the stage of wash out	52
3.6.2 the stage of appearance of granular bacteria	52
3.6.3 the stage of progressive formation of granular bacteria	53
3.7 ปัญหาของระบบยูเอเอสบี	53

บทที่	หน้า
3.8 งานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบหมักยูเอเอสบี	54
4. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	61
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	61
4.1.1 ระบบไบรอเทน	61
4.1.2 เครื่องมือทดสอบความสามารถของตะกอน	62
4.1.3 เครื่องมือวิเคราะห์ขนาดตะกอน	62
4.2 แผนการทดลอง	66
4.2.1 การติดตามประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีขนาดใหญ่	66
4.2.2 การศึกษาลักษณะสมบัติตะกอนในถังหมักยูเอเอสบี	68
4.2.3 การทดสอบความสามารถของตะกอน	68
4.3 วิธีตรวจวิเคราะห์ผล	69
5. ผลการทดลองและวิจารณ์	70
5.1 ลักษณะสมบัติตะกอนในระบบหมักยูเอเอสบี	71
5.1.1 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์รวมในระบบยูเอเอสบี	71
5.1.2 ปริมาณตะกอนในถังหมักยูเอเอสบี	74
5.2 ประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบี	97
5.2.1 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี	97
5.2.2 การผลิตแก๊สชีวภาพ	99
5.2.3 การเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์	101
5.3 ความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์	102
6. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	106
6.1 สรุปผลการทดลอง	106
6.2 ข้อเสนอแนะ	107
รายการอ้างอิง	108
ภาคผนวก	112
ประวัติผู้เขียน	138

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	อัตราการย่อย (hydrolysis) เซลลูโลสภายใต้การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน	6
2.2	ชนิดของจุลินทรีย์ที่สร้างกรด	10
2.3	สารประกอบที่เชื่อกันในปี 1956 ว่าเป็นซับเสตรทของมีเทนแบคทีเรีย	11
2.4	มีเทนแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ	15
2.5	คุณสมบัติของแก๊สมีเทน	18
2.6	ผลการทดลองต่าง ๆ เกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ต่อการเกิดแก๊ส	21
2.7	ปริมาณสารอาหารรองที่จำเป็น	32
2.8	อิทธิพลของเกลืออนินทรีย์หรือโลหะเบา	36
2.9	ผลของ amonia-nitrogen ต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน	39
2.10	สารพิษและสารยับยั้งของระบบที่ใช้แบคทีเรียที่มีขบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน	40
3.1	Rough guidelines for the number of inlet nozzles required in a UASB reactor	49
3.2	แนวทางในการกำหนดปริมาณจุดป้อนสารอินทรีย์	58
3.3	แนวทางในการออกแบบตัวแยกตะกอน (settler) สำหรับถังปฏิกริยาแบบยูเอเอสบี	59
4.1	การติดตามค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบ	66
4.2	ดรรชนีที่กำหนดในการตรวจวัดสำหรับระบบยูเอเอสบี	67
5.1	คุณสมบัติของน้ำกากส่าที่ใช้ในระบบบำบัด	70

ตารางที่ หน้า

5.2 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์รวมของระบบที่
อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ 72

5.3 ปริมาณความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์จำแนก
ตามขนาด กับระดับความสูงของถังปฏิกริยา
ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 74

5.4 ปริมาณความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์จำแนก
ตามขนาด กับระดับความสูงของถังปฏิกริยา
ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2.5 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 75

5.5 ปริมาณความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์จำแนก
ตามขนาด กับระดับความสูงของถังปฏิกริยา
ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 3 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 75

5.6 ปริมาณความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์จำแนก
ตามขนาด กับระดับความสูงของถังปฏิกริยา
ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 3.5 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 76

5.7 ปริมาณความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์จำแนก
ตามขนาด กับระดับความสูงของถังปฏิกริยา
ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 4 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 76

5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราป้อนสารอินทรีย์
กับปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ขนาดต่าง ๆ
ในถังหมัก 87

5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนเม็ด,
ตะกอนเบากับการเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ 87

5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนเม็ด,
ตะกอนเบาทั้งหมดในถังหมัก (%) กับ
การเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ 88

5.11 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่อัตรา
ป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ 97

ตารางที่ หน้า

5.12 อัตราและประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ ของระบบหมักยูเอเอสบี 99

5.13 ค่าความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ในถังปฏิกริยา ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ 103

ข.1 ข้อมูลเดินระบบยูเอเอสบี 120

ข.2 ข้อมูลตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2.0 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 121

ข.3 ข้อมูลตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2.5 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 122

ข.4 ข้อมูลตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 3.0 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 123

ข.5 ข้อมูลตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 3.5 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 124

ข.6 ข้อมูลตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 4.0 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 125

ข.7 อัตราการผลิตแก๊สมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์ที่ความสูง 0.25 เมตร 129

ข.8 อัตราการผลิตแก๊สมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์ที่ความสูง 0.50 เมตร 130

ข.9 อัตราการผลิตแก๊สมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์ที่ความสูง 0.75 เมตร 131

ข.10 อัตราการผลิตแก๊สมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์ที่ความสูง 1.0 เมตร 132

ตารางที่ หน้า

ข.11 อัตราการผลิตแก๊สมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์
ที่ความสูง 2.0 เมตร 133

ข.12 อัตราการผลิตแก๊สมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์
ที่ความสูง 3.0 เมตร 134

ข.13 อัตราการผลิตแก๊สมีเทนของตะกอนจุลินทรีย์
ที่ความสูง 4.0 เมตร 135

ค.1 ตารางแสดงค่า CF (conversion factor) 136

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งภายใต้ภาวะไม่ใช้ออกซิเจน	4
2.2	การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนของขั้นตอนไฮโดรไลซิส	5
2.3	การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนในขั้นตอนการสร้างกรด	7
2.4	การย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียพวกสร้างกรด	9
2.5	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ, ระยะเวลาการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์และประสิทธิภาพการกำจัด	20
2.6	ผลของ pH ที่มีต่อการทำงานของมีเทนแบคทีเรีย	24
2.7	ความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ pH และความเป็นด่างของถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน	26
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง pH และความเข้มข้นไบคาร์บอร์เนต	29
2.9	ปฏิกริยาการทำลายพิษของโลหะหนักโดยซัลไฟด์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน	34
2.10	ความสัมพันธ์ของ cation 2 ชนิด คือ A และ B ซึ่งเมื่ออยู่ด้วยกันแล้วจะเกิด antagonism หรือ synergism ได้	37
3.1	รูปแบบของระบบยูเอเอสบี ที่ใช้งานจริง	60
4.1	ระบบไบโอเทน ณ โรงงานสุราทิพย์ จังหวัดอุตรดิตถ์	63

รูปที่ หน้า

4.2 องค์ประกอบทั่วไปของระบบยูเอเอสบีที่ใช้งานจริง 64

4.3 ชุดทดสอบความสามารถของตะกอนจุลินทรีย์ 65

5.1 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์โดยรวมของระบบที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ 73

5.2 ปริมาณตะกอนแบคทีเรียขนาดต่าง ๆ ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2.0 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 79

5.3 ปริมาณตะกอนแบคทีเรียขนาดต่าง ๆ ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 2.5 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 80

5.4 ปริมาณตะกอนแบคทีเรียขนาดต่าง ๆ ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 3.0 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 83

5.5 ปริมาณตะกอนแบคทีเรียขนาดต่าง ๆ ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 3.5 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 84

5.6 ปริมาณตะกอนแบคทีเรียขนาดต่าง ๆ ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 4.0 กก.ซีโอดี/ม^{3}วัน 86

5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ขนาดต่าง ๆ (sludge mass) ในถังหมักกับการเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ 90

5.8 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ขนาดต่าง ๆ โดยรวมกับอัตราป้อนสารอินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงไป 91

5.9 ปริมาณตะกอนเม็ด. ตะกอนเบา กับอัตราป้อนสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น 92

รูปที่ หน้า

5.10 ปริมาณตะกอนเม็ด และตะกอนเบาทั้งหมด
ในถังหมัก เมื่อเพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์ 93

5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น
ของตะกอนจุลินทรีย์ขนาดใหญ่กว่า 1 มม.
ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์และระดับความสูงต่าง ๆ 94

5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น
ของตะกอนจุลินทรีย์ขนาด 0.5-1.0 มม.
ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์และระดับความสูงต่าง ๆ 95

5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น
ของตะกอนจุลินทรีย์ขนาดเล็กกว่า 0.5 มม.
ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์และระดับความสูงต่างๆ 96

5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการลดซีโอดี กับ
อัตราป้อนสารอินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงไป 98

5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพ
กับอัตราป้อนสารอินทรีย์และปริมาณตะกอนเม็ด
ที่เปลี่ยนแปลงไป 100

5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของตะกอน
จุลินทรีย์ที่ระดับความสูงต่าง ๆ กับการเพิ่ม
อัตราป้อนสารอินทรีย์ 104

5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของ
ตะกอนจุลินทรีย์ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ 105

ข.1 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (กก.) ของตะกอน
ที่มีขนาดใหญ่กว่า 1.0 มม. ที่ความสูง และ
อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ 126

ข.2 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (กก.) ของตะกอน
ที่มีขนาด 0.5 - 1.0 มม. ที่ความสูง และ
อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ 127

รูปที่ หน้า

ข.3 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ (กก.) ของตะกอน
ที่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 มม. ที่ความสูง และ
อัตราป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ 128