การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ จากเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้อินทรีย์วัสดุเป็นตัวกลาง

นายโรมรัน ศรีสัมฤทธิ์

007421

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2525

ISBN 974-561-052-6

I 17142520

A PRILIMINARY STUDY IN BIO-GAS PRODUCTION FROM AN ORGANIC-MEDIA ANAEROBIC-FILTER

Mr. Romran Srisamrit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1982

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้อินทรีย์วัสดุเป็นตัวกลาง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย นายโรมรัน ศรีสัมฤทธิ์

ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วีรวรรณ ปัทมาภิรัต)

..... กรรมการ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพล สายพานิช)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องกรองไร้ออกซิเจน ที่ใช้อินทรีย์วัสดุเป็นตัวกลาง

ชื่อ นายโรมรัน ศรีสัมฤทธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

ปีการศึกษา 2524

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ผลการใช้ซังข้าวโพดแห้งเป็นวัสดุตัวกลางสำหรับเครื่องกรองไร้ออกซิเจน ในการกำจัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนและมีแร่ธาตุต่าง ๆ ครบถ้วนภายใต้ออร์แกนิคโหลดดิงที่ทำการศึกษา 7 ระดับ คือ 0.833, 1.667, 3.333, 6.667, 10, 15,และ 30 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ปรากฏว่า ซังข้าวโพดสามารถใช้เป็นวัสดุตัวกลางได้ดี เพราะใช้เป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรียได้ประกอบกับมีน้ำหนักเบาจึงสามารถประหยัดค่าฐานรากได้มาก ภายหลังจากผ่านการใช้งานแล้วประมาณ 8 เดือน ปรากฏว่า ส่วนใหญ่ของซังข้าวโพดยังสามารถคงสภาพอยู่ได้ดี นอกจากใส้ (หรือแกนใน) ของซังข้าวโพดที่ถูกย่อยสลายจนกลวง ลักษณะเช่นนี้เชื่อว่าเป็นผลดียิ่ง เพราะทำให้เครื่องกรองมีปริมาตรในการเก็บกักแบคทีเรียเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จากผลการทดลองปรากฏว่า ซังข้าวโพดที่ใช้เป็นตัวกลางไม่อยู่ในฐานะเป็นแหล่งคาร์บอนได้เพียงลำพัง เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์จำกัด

เครื่องกรองที่ใช้ในการวิจัยนี้ให้ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี สูงสุด 94 เปอร์เซนต์ที่ออร์แกนิคโหลดดิง 1.67 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน และสามารถกำจัด ซีโอดี ได้มากที่สุด 7,500 มก/ล. ที่ระดับ 10 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี ร้อยละ 54 เปอร์เซนต์

Thesis Tittle A Priliminary Study in Bio-Gas Production from An Organic Media Anaerobic-Filter.

Name Mr. Romran Srisamrit

Thesis Advisor Assistant Professor Munsin Tuntoolavest ,Ph.D.

Department Sanitary Engineering

Academic Year 1981

Abstract

Experimental results using a corncob - media anaerobic filter treating a synthetic waste made from canesugar and other necessary nutrients under 7 different organic loading , i.e., 0.833 , 1.667 , 3.333 , 6,667 , 10 , 15 and 30 kg.COD/m^3-day revealed that corncob was an effective media for the anaerobic filter since it might served as a support for bacterial growth and kept bacterial within the filter as well. Due to its light weight , the foundation and other construction cost would be minimized. After 8 months of experimentation , corncob media was found to be in good conditions except for the central core of the media which was biodegraded and became empty. However such charges was believed to improve the performance of the corncob media because the effective void volume was increased. This experimentation also showed that the corncob alone could not be sufficiently served as a carbon source for bacterial growth due to its limited organic content.

The corncob - media anaerobic filter gave a maximum % COD removal of 94 % at the organic loading of 1.67 kg COD/m^3 - day. This filter could remove COD up to 7500 mg/l at the organic loading of 10 kg COD/m^3 - day. However , the COD removal at this loading was only 54 % .

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทดลองขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บันสิน ตัณฑุลเวศม์ อาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัยเป็นอย่างสูง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางในการทดลองและความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ซึ่งทำให้การทดลองครั้งนี้สำเร็จออกมาได้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกในการทดลองเป็นอย่างดี

และเนื่องจากค่าใช้จ่ายส่วนหนึ่งของการทดลองในครั้งนี้มาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คุณค่าความดีของวิทยานิพนธ์ ขอมอบให้บุพการีซึ่งได้ส่งเสริมการศึกษาของผู้ทดลองมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญเรื่อง ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปประกอบ ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 คำนำ 1

1.2 ประวัติความเป็นมาของก๊าซชีวภาพ 3

1.3 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ 6

1.4 การนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ 9

1.5 เทคนิคและการออกแบบก๊าซชีวภาพ 10

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย 15

2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 15

2.2 ขอบเขตของการวิจัย 15

3. ทฤษฎีและแนวความคิด 17

3.1 ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของขบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน 17

3.1.1 ลักษณะโดยทั่วไปของระบบปฏิกริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจน .. 17

3.1.2 ขบวนการขั้นตอนที่ยังไม่มีการผลิตมีเทน..... 20

3.1.3 ขบวนการขั้นตอนที่ผลิตมีเทน 26

3.2 วิศวกรรมของขบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน 33

3.2.1 ความสำคัญของ HRT และ SRT 33

3.2.2 ความสำคัญของพีเอชสภาพความเป็นด่างและกรดโวลาไทล์ 35

หน้า

3.2.3 ความสำคัญของอุณหภูมิ 39
3.2.4 อิทธิพลของความรวดเร็วในการเปลี่ยนแปลง 40
3.2.5 ความสำคัญของสารอาหารที่จำเป็น 40
3.3 การใช้ระบบหมักแบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจน 44
3.3.1 ลักษณะทั่ว ๆ ไปและความเป็นมา 44
3.3.2 ประสิทธิภาพและการทำงานของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน 49
3.3.3 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน 52
4. การวางแผนการวิจัย 55
4.1 แผนการทดลอง 55
4.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ 56
4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 58
4.3.1 เครื่องกรองไร้ออกซิเจน 58
4.3.2 ตัวกลาง 61
4.3.3 ถังเก็บก๊าซ 62
4.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำทิ้งและก๊าซ 62
4.4.1 การวัดและวิเคราะห์ก๊าซ 62
4.4.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำทิ้ง ... 63
4.4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวกลาง 65
5. ผลของการทดลอง 66
5.1 ผลการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก . 68
5.1.1 พี เอช, กรดไวลาไทล์และสภาพความเป็นด่าง 69
5.1.2 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส 75
5.1.3 ตะกอนแขวนลอย 75

หน้า

5.1.4 อัตราการละลายซีโอดีออกจากซังข้าวโพด 77
5.1.5 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 78
5.1.6 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ระดับความสูงต่าง ๆ ในเครื่องกรอง . 79
5.2 ผลของการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ 81
5.2.1 พีเอช, กรดไวลาไทล์และสภาพความเป็นด่าง 82
5.2.2 ตะกอนแขวนลอย 87
5.2.3 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส 88
5.2.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 88
5.2.5 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ 92
5.2.6 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ระดับความสูงต่าง ๆ ในเครื่องกรอง 93
5.3 การเปลี่ยนแปลงของซังข้าวโพดที่เป็นตัวกลางภายหลังการใช้งาน 97
6. การวิจารณ์ผลการทดลอง 99
6.1 อิทธิพลของดีโอที่มีต่อการหมัก 99
6.2 อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงที่มีต่อการทำงานของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ซังข้าวโพดเป็นตัวกลาง 103
6.2.1 อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ 103
6.2.2 อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงต่อการกำจัดซีโอดี 107
6.3 อิทธิพลของความสูงที่มีต่อการหมักของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน 108
6.4 บทบาทของซังข้าวโพดในฐานะสับเสตรทในการผลิตก๊าซชีวภาพ 108
6.5 บทบาทของซังข้าวโพดในฐานะตัวกลางของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน 110
6.6 การเปลี่ยนแปลงของซังข้าวโพดภายหลังผ่านการใช้งาน 112

หน้า

6.7 การสร้างและสะสมตัวของเซลล์แบคทีเรียในเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ซังข้าวโพดเป็นตัวกลาง 113

6.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ซังข้าวโพดเป็นตัวกลาง 114

6.9 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ซังข้าวโพดเป็นตัวกลาง 115

7. ความสำคัญทางวิศวกรรม 117

8. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 118

8.1 สรุปผลการทดลอง 118

8.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยที่น่าจะทำต่อไป 119

เอกสารอ้างอิง 120

ภาคผนวก 126

ประวัติผู้เขียน 129

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงคุณสมบัติของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 7

1.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ต้องการสำหรับจุดประสงค์ต่าง ๆ 9

3.1 แสดง Non-Methanogenic bacteria ที่พบในถังหมักแบบไร้ออกซิเจน ... 21

3.2 แสดงชนิดของจุลินทรีย์และผลปฏิกริยาที่เกิดในการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนในตอน Non-Methanogenic phase 25

3.3 สารประกอบที่เชื่อกันในปี 1956 ว่าเป็นสับเสตรทของมีเทนแบคทีเรีย 27

3.4 ชนิดของมีเทนแบคทีเรียที่เป็น Pure Culture 28

3.5 อิทธิพลของเกลืออนินทรีย์หรือโลหะเบา 42

3.6 แสดงผลงานการวิจัยเกี่ยวกับเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ผ่านมา 46

4.1 การเปลี่ยนแปลงระดับออร์แกนิคโหลดดิงโดยการเปลี่ยนความเข้มข้น ซีโอดีในน้ำเสีย 55

4.2 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ 57

4.3 ขนาดและลักษณะทางกายภาพของเครื่องกรองทั้งสองตัวที่ใช้ในการทดลอง ... 61

4.4 แผนการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์น้ำทิ้ง 64

5.1 แสดง N,P และ COD:N:P ในเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก 75

5.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของพีเอช, กรดไวลาไทล์, สภาพความเป็นด่าง และตะกอนแขวนลอยที่ออร์แกนิคโหลดดิงต่าง ๆ ในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก 84

5.3 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ออร์แกนิคโหลดดิงต่าง ๆ ในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ 88

ตารางที่ หน้า

5.4 แสดงผลการทดลองของการกำจัดซีโอดีและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจาก
เครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ 91

5.5 คุณสมบัติของซังข้าวโพดที่ใช้เป็นตัวกลางในเครื่องกรองก่อนและหลังการหมัก .. 97

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ถังหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปในปัจจุบัน	2
1.2	ตัวอย่างระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบต่าง ๆ และข้อดี ข้อเสีย	11
1.3	ถังหมักก๊าซชีวภาพที่ออกแบบโดย Kreatidadphya	13
3.1	ลักษณะที่เป็นขั้นตอนของระบบปฏิบัติการชีวเคมีที่ไม่ใช้ออกซิเจน	17
3.2	สารประกอบที่เกิดจากการเฟอร์เมนเทชั่นที่ใช้กรดไพรูวิคเป็น Intermidiate Product	20
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง SRT ความเข้มข้นของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบและประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียของถังหมักที่สภาวะการทำงานคงที่	34
3.4	ผลของพีเอชที่มีต่อการทำงานของมีเทนแบคทีเรีย	35
3.5	ความสัมพันธ์ในทางทฤษฎีระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์, พีเอชและความเป็นด่างของถังหมักไร้ออกซิเจน	38
3.6	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิระยะเวลาการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์และประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน	39
3.7	กราฟแสดงอิทธิพลของความเข้มข้นของสับเสตรทต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของแบคทีเรีย	41
3.8	ลักษณะของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน	44
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง SRT และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี	50
3.10	ผลของ HRT ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน ...	51
4.1	เครื่องกรองไร้ออกซิเจนและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	58
4.2	รูปแสดงรายละเอียดของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนทั้งสองตัวที่ใช้ในการทดลอง ...	59
4.3	ถังเก็บก๊าซ	62
5.1	ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ในน้ำทิ้งจากเครื่องกรองทั้งสองตัวเมื่อได้รับการป้อนแต่น้ำประปา	67

รูปที่ หน้า

5.2 พีเอชและกรดไวลาไทล์ในเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก 70

5.3 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดในเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนภายนอก 73

5.4 สภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตในน้ำทิ้งของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก 74

5.5 การเปลี่ยนแปลงตะกอนแขวนลอย, ซีโอดีและอัตราการผลิตก๊าซของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก 76

5.6 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ระดับความสูงของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก 80

5.7 ผลการเปลี่ยนแปลงของพีเอช, กรดไวลาไทล์ที่ระยะต่าง ๆ ในเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ 83

5.8 สภาพความเป็นด่างทั้งหมดที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ 86

5.9 กราฟปริมาณตะกอนแขวนลอยในเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ 87

5.10 การเปลี่ยนแปลงและประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ 89

5.11 อัตราการผลิตก๊าซ เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนที่ระยะต่าง ๆ ในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ 92

5.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ในการทดลองที่ 1, 2 และ 3 94

5.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ในการทดลองที่ 4, 5, 6 และ 7 95

5.14 เปรียบลักษณะของชั้งข้าวโพดก่อนและหลังการหมัก 98

รูปที่ หน้า

6.1 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ ซีโอดี, ปริมาณก๊าซและพีเอช เมื่อมีดีโอเข้าสู่เครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ 100

6.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกรดโวลาไทล์ สภาพความเป็นด่าง อัตราส่วนของกรดโวลาไทล์ต่อความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตเมื่อมีดีโอเข้าสู่เครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ 101

6.3 ซีโอดี ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองในวันก่อนและหลังที่จะมีดีโอเข้าสู่เครื่องกรอง 102

6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างออร์แกนิคโหลดดิงกับซีโอดี อัตราการผลิตก๊าซและตะกอนแขวนลอยในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ 109

6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างออร์แกนิคโหลดดิงกับปริมาณความเป็นด่าง, กรดโวลาไทล์ กรดโวลาไทล์ต่อความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตและพีเอชในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ 105

6.6 สมดุลย์ของน้ำหนักซังข้าวโพดในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน 111

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย