บทบาทของสภาพด่างต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน

นางสาวสินีนุช ศศิยศชาติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1257-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20556792

ROLE OF ALKALINITY ON ANAEROBIC TREATMENT SYSTEM

Miss Sineenuch Sasiyotchat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master Engineering in Environment Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1257-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	บทบาทของสภาพด่างต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน
โดย	นางสาวสินีนุช ศศิยศชาติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

สินีนุช ศศิยศชาติ : บทบาทของสภาพด่างต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน (ROLE OF ALKALINITY ON ANAEROBIC TREATMENT SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ , 266 หน้า. ISBN 974-03-1257-8

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ ศึกษาผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีต่อความต้องการด่างในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ และเปรียบเทียบความต้องการด่างระหว่างน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียโปรตีน โดยให้ความเข้มข้นซีโอดีคงที่เท่ากับ 2500 มก./ล. แต่แปรค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 4 , 8 , 12 และ 16 ก./ล.-วัน แต่ละภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะแปรค่าอัตราส่วนด่างต่อซีโอดีที่ใช้ โดยน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตจะใช้เท่ากับ 0.3:1, 0.9:1 และ 1.5:1 ส่วนน้ำเสียโปรตีนจะใช้เท่ากับ 0.3:1, 0.6:1 และ 0.9:1 ชนิดของด่างที่ใช้คือโซเดียมคาร์บอเนต

ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบมีค่าค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 80-98 เปอร์เซ็นต์ และการแปรค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไม่มีผลทำให้พีเอชของระบบเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรตที่ด่างต่อซีโอดี 0.3:1, 0.9:1 และ 1.5:1 จะให้ค่าพีเอชน้ำออกเท่ากับ 6.6, 7.1 และ 8.0 ตามลำดับ ในขณะที่น้ำเสียโปรตีนที่ใช้ด่างต่อซีโอดี 0.3:1, 0.6:1 และ 0.9:1 ให้ค่าพีเอชเท่ากับ 6.7, 7.1 และ 7.7 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงว่า การเปลี่ยนแปลงภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไม่มีผลทำให้ค่าพีเอชของระบบเปลี่ยนแปลง แต่พีเอชจะขึ้นกับปริมาณด่างที่เติม และจากการทดลองยังพบว่า น้ำเสียคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียโปรตีนจะต้องการด่างไม่เท่ากัน โดยน้ำเสียโปรตีนจะต้องการด่างน้อยกว่าน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากน้ำเสียโปรตีนจะผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อยกว่า และน้ำเสียโปรตีนสามารถผลิตสภาพด่างให้กับระบบได้ จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงความรู้พื้นฐานในเรื่องความต้องการด่างของระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศว่า ความต้องการด่างเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องมีในระบบ เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์หรือกรดคาร์บอนิกขึ้น ซึ่งส่งผลให้พีเอชของระบบมีค่าลดลง ถ้าระบบมีสภาพด่างไม่เพียงพอที่จะรักษาสมดุลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะทำให้พีเอชลดต่ำลงจนระบบล้มเหลวได้ ดังนั้นสภาพด่างในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศจะมีบทบาทในการสะเทินคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อควบคุมพีเอชของระบบให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียในระบบให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้พัฒนาโมเดลสำหรับคำนวณปริมาณด่างที่ต้องการ โดยด่าง 3 ชนิดที่ใช้ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต และโซเดียมไบคาร์บอเนต เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองและที่ได้จากโมเดลพบว่าค่าจะไม่แตกต่างกัน แสดงว่าโมเดลที่ได้สร้างขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์และช่วยในการออกแบบระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศได้

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต สินีนุช ศศิยศชาติ
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2544

4170585521 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD : BICARBONATE ALKALINITY / ANAEROBIC TREATMENT / UASB

SINEENUCH SASIYOTCHAT : ROLE OF ALKALINITY ON ANAEROBIC TREATMENT SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. MUNSIN TUNTOOLAVEST, Ph.D. 266 pp.

ISBN 974-03-1257-8

This research has two purposes. The first one is to study the effect of organic loading rate on the alkalinity of an anaerobic treatment system. The second one is to compare the alkalinity demand on both the carbohydrate wastewater and the protein wastewater. Each type of the wastewater has COD concentration of 2500 mg/l. The experiments were done by varying the organic loading rate to 4, 8 , 12 and 16 g/l-day. For each of the loading rates, the ranges of alkalinity to COD ratio of the carbohydrate wastewater were 0.3:1, 0.9:1 and 1.5:1 and the ranges for the protein wastewater were 0.3:1,0.6:1 and 0.9:1

From the experiments, it was found that the COD removal efficiency of the system was fairly high and ranged between 80-98%. Thus, any organic loading rate variations had no effect on pH of the system. The pH of the effluent were 6.6, 7.1 and 8.0 when alkalinity to COD ratio were 0.3:1, 0.9:1 and 1.5:1 for the carbohydrate wastewater. For the protein wastewater, the pH at the effluent were 6.7, 7.1 and 7.7 when alkalinity to COD ratio were 0.3:1, 0.6:1 and 0.9:1 respectively. This showed that there was no effect from the organic loading rate variations to the pH of the system. However, the variation of pH depended on the quantity of alkalinity added. The carbohydrate wastewater and the protein wastewater required different amounts of alkalinity. The experiments revealed that the protein wastewater required less demand of alkalinity than the carbohydrate one. It is because the protein wastewater generates less carbon dioxide than that of the carbohydrate wastewater does. Moreover, the protein wastewater also produced the alkalinity from the system. The experiments lead to the basic understanding of the necessity of alkalinity requirement in the anaerobic treatment system. It is because the carbon dioxide or the carbonic acid generated from the degradation of organic materials decreases the pH of the system. The system might fail if the pH of the system is too low. Therefore, the quantity of the alkalinity must be high enough to neutralize the generated carbon dioxide so that the optimal condition for effectively operating system is obtained.

In addition, a model was developed by the researcher for the calculation of alkalinity demand. There are 3 types of alkali chemicals used in the model: sodium hydroxide, sodium carbonate, and sodium bicarbonate. When comparison was made between the pH obtained from the experiments and the pH from the model, no significant different was found. This shows that the model is applicable and that it might help in designing of the anaerobic treatment system.

Department	Environmental Engineering	Student's signature	Sineenuch Sasiyotchat
Field of study	Environmental Engineering	Advisor's signature	
Academic Year	2001		

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้ใช้ความอดทนและความพยายามเป็นอย่างสูงในการให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และแนะแนวทางต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนให้การอบรมสั่งสอนศิษย์เพื่อให้เป็นวิศวกรที่ดีต่อไปในอนาคต

ขอขอบพระคุณ บริษัท แชน.อี.68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี เชื้อจุลินทรีย์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำ และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้ให้มีข้อผิดพลาดน้อยลง รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มูลนิธิชิน โสภณพนิช ทบวงมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนในการวิจัย และกองทุนบริหารวิชาการ กิจกรรมการเรียนการสอนของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ออกค่าใช้จ่ายเพื่อเผยแพร่ผลงานในงานประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 1 ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ พี่กุ้ง พี่เนี่ยว เพื่อนร่วมรุ่นปริญญาโท น้องเป๊ิล น้องติ๊ก รวมทั้งเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ และให้การช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่เป็นผู้ให้ทั้งกำลังใจและกำลังทรัพย์ ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาของโครงการ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตการวิจัย 2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร 3
2.1 การบำบัดแบบไร้ออกซิเจน 3
2.1.1 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการไร้ออกซิเจน 4
2.1.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับระบบไร้ออกซิเจน 12
2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบแบบไร้ออกซิเจน 13
2.1.4 ปัจจัยที่ใช้ควบคุมการทำงานของจุลินทรีย์ 18
2.2 ระบบยูเอเอสบี 19
2.2.1 ความเป็นมา 19
2.2.2 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี 20
2.3 บทบาทของสภาพด่างในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน 22
2.3.1 ความต้องการสภาพด่างในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน 23
2.3.2 การสร้างสภาพด่างในน้ำเสียโปรตีน 28
2.3.3 วิธีการลดการเติมด่างให้กับระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน 29
2.3.4 การเลือกสารเคมีที่ใช้ในการปรับสภาพด่างเพื่อควบคุมระดับพีเอช 34
2.4 การศึกษาที่ผ่านมา 38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การวางแผนการวิจัย 46
3.1 แผนการทดลอง 46
3.2 การเตรียมน้ำเสีย 49
3.2.1 ลักษณะน้ำเสียหลังเจือจางด้วยน้ำประปา 49
3.2.2 วิธีการเตรียมน้ำเสีย 49
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 50
3.3.1 ถังพักน้ำเสียและน้ำทิ้ง 50
3.3.2 ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี 50
3.3.3 ชุดกวน 53
3.3.4 เครื่องสูบน้ำเสีย 53
3.3.5 เครื่องวัดปริมาณกาซทั้งหมด 53
3.3.6 ชุดวัดเปอร์เซ็นต์กาซ 53
3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ 56
3.4.1 การเก็บตัวอย่าง 56
3.4.2 การวิเคราะห์ 58
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ 59
4.1 การเดินระบบ 59
4.2 ผลการทดลองน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต 60
4.2.1 ผลการทดลองในช่วงเดินระบบ 60
4.2.2 วิจารณ์ผลการทดลองโดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 77
4.3 ผลการทดลองน้ำเสียประเภทโปรตีน 92
4.3.1 ผลการทดลองในช่วงเดินระบบ 92
4.3.2 วิจารณ์ผลการทดลองโดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 109
4.4 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียโปรตีน .123
4.5 การเปรียบเทียบค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองกับค่าพีเอชที่ได้จาก
ความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่างความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์
พีเอช และสภาพด่างไบคาร์บอเนต 129

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6 โมเดลที่ใช้คำนวณหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจาก
การย่อยสลายสารอินทรีย์ 134
4.6.1 โมเดลที่ใช้คำนวณหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจาก
การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 136
4.6.2 โมเดลที่ใช้คำนวณหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจาก
การย่อยสลายน้ำเสียผสมที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบ..... 139
4.7 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณด่าง 3 ชนิด เพื่อสะเทินคาร์บอนไดออกไซด์
ที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต..... 143
4.7.1 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 143
4.7.2 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณโซเดียมคาร์บอเนต 146
4.7.3 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 151
4.8 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณด่าง 3 ชนิด เพื่อสะเทินคาร์บอนไดออกไซด์
ที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของน้ำเสียโปรตีน 156
4.8.1 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต 156
4.8.2 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณโซเดียมคาร์บอเนต 158
4.8.3 โมเดลที่ใช้ประเมินปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 164
4.9 การเปรียบเทียบพีเอชที่ได้จากการทดลองกับพีเอชที่ได้จากโมเดล
ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด อัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนต
ต่อซีโอดี และพีเอช โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 169
4.10 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองเทียบกับโมเดลความสัมพันธ์
ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด อัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอดี และพีเอช
โดยใช้น้ำเสียโปรตีน 172
4.11 ปัญหาการลอยตัวของแบคทีเรียเนื่องจากการใช้น้ำเสียโปรตีน 175
4.11.1 สาเหตุการลอยตัวของตะกอนสลัดจ์ 176
4.11.2 แนวทางแก้ไข 178
บทที่ 5 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย 179

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 181
6.1 สรุปผลการทดลอง 181
6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม 182
รายการอ้างอิง 183
ภาคผนวก 188
ภาคผนวก ก น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต 189
ภาคผนวก ข น้ำเสียประเภทโปรตีน 231
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 266

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตัวอย่างแบคทีเรียที่สร้างมีเทนและสารอาหารที่ใช้ เสนอโดย Balch,1979..... 14

2.2 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน 17

2.3 สภาพด่างที่ต้องการในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ
จากงานวิจัยของ Li และ Sutton,1983 31

2.4 ผลการรีไซเคิลน้ำออกของการทดลองการบำบัดด้วยระบบยูเอเอสบี
ที่ใช้น้ำแอปเปิ้ลเป็นสารอาหาร (Sam-Soon,1991) 33

2.5 สารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอช 35

2.6 การเปรียบเทียบราคาสารเคมีที่เพื่อเพิ่มสภาพด่าง 36

2.7 สรุปผลการทดลองการผลิตกาซชีวภาพจากกากถั่วเหลือง (ณรงค์ ,2529) 42

2.8 สรุปผลการทดลองชุดที่ไม่มีถังสร้างกรด (พีระพงษ์ , 2530) 43

2.9 สรุปผลการทดลองชุดที่มีถังสร้างกรด (พีระพงษ์ , 2530) 43

2.10 สรุปผลการทดลองระบบแยกกาซ-ตะกอนแขวนลอยฯ (สมคะเน,2538) 44

3.1 แผนการทดลอง 48

3.2 ลักษณะน้ำเสียหลังเจือจางด้วยน้ำประปาก่อนเติมสารอาหารและด่าง 49

3.3 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ 50

3.4 ส่วนประกอบของน้ำเสียในแต่ละการทดลอง 51

3.5 แผนการเก็บตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์ 58

4.1 สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต
ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน 62

4.2 สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต
ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน 66

4.3 สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต
ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน 70

4.4 สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต
ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน 73

4.5 สรุปค่าเฉลี่ยของซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของ
การทดลองโดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.6 สรุปค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่าง ของการทดลองโดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 80
4.7 พีเอชและสภาพด่างเฉลี่ยของการทดลองโดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 83
4.8 สรุปค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์กาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของการทดลอง โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 87
4.9 สรุปค่าเฉลี่ยปริมาณกาซที่เกิดขึ้นของการทดลอง โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 88
4.10 สรุปค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตกาซจากการทดลองโดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 90
4.11 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีน ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน 93
4.12 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีน ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน 97
4.13 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีน ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน 101
4.14 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีน ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน 105
4.15 สรุปค่าเฉลี่ยของซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของการทดลอง โดยใช้น้ำเสียโปรตีน 109
4.16 สรุปค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่าง ของการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีน 112
4.17 พีเอชเฉลี่ยของการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีน 114
4.18 สภาพด่างที่เกิดขึ้นของการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีน 116
4.19 สรุปค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์กาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของการทดลอง โดยใช้น้ำเสียโปรตีน 118
4.20 สรุปค่าเฉลี่ยปริมาณกาซที่เกิดขึ้นของการทดลอง โดยใช้น้ำเสียโปรตีน 119
4.21 สรุปค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตกาซของการทดลองโดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน 121
4.22 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสีย 2 ประเภท 123
4.23 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ของน้ำเสีย 2 ประเภท 124
4.24 เปรียบเทียบปริมาณกาซและเปอร์เซ็นต์กาซของน้ำเสีย 2 ประเภท 125
4.25 เปรียบเทียบพีเอชน้ำออกของน้ำเสีย 2 ประเภท 127
4.26 เปรียบเทียบความต้องการด่างโซเดียมคาร์บอเนตระหว่างน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต และน้ำเสียโปรตีน 128

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.27 เปรียบเทียบค่าพีเอชจากการทดลองกับค่าพีเอชที่ควรจะเป็นจากโมเดล ของน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 131
4.28 เปรียบเทียบค่าพีเอชจากการทดลองกับค่าพีเอชที่ควรจะเป็นจากโมเดล ของน้ำเสียโปรตีน 133
4.29 ปริมาณกาซที่เกิดขึ้นจากการแปรค่าซีโอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 138
4.30 ปริมาณกาซที่เกิดขึ้นจากการแปรค่าซีโอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยใช้น้ำเสียโปรตีน 141
4.31 โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ โดยใช้น้ำเสีย คาร์โบไฮเดรต 144
4.32 ปริมาณกาซและพีเอชที่เกิดขึ้นที่ซีโอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต เมื่อเติมโซเดียมคาร์บอเนต 148
4.33 ปริมาณกาซและพีเอชที่เกิดขึ้นที่ซีโอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 153
4.34 โซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการในระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ โดยใช้น้ำเสีย ที่มีส่วนผสมของโปรตีน 156
4.35 ปริมาณกาซและพีเอชที่เกิดขึ้นที่ซีโอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยใช้น้ำเสียโปรตีน เมื่อเติมโซเดียมคาร์บอเนต 160
4.36 ปริมาณกาซและพีเอชที่เกิดขึ้นที่ซีโอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยใช้น้ำเสียโปรตีน เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 166
4.37 เปรียบเทียบพีเอชที่ได้จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรตและพีเอช ที่ได้จากโมเดลความสัมพันธ์ของซีโอดีที่ถูกกำจัด อัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนต ต่อซีโอดี และพีเอชที่สร้างขึ้น 171
4.38 เปรียบเทียบพีเอชที่ได้จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีนและพีเอช ที่ได้จากโมเดลความสัมพันธ์ของซีโอดีที่ถูกกำจัด อัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนต ต่อซีโอดี และพีเอชที่สร้างขึ้น 174

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ขั้นตอนของปฏิกิริยาไร้ออกซิเจน (Sam-Soon,1987)	4
2.2	ขั้นตอนการย่อยสลายแป้ง ที่สภาวะความดันพาร์เชียลของกาซไฮโดรเจนต่ำและสูง (Sam-Soon,1987)	7
2.3	การย่อยกลูโคสที่สภาวะความดันพาร์เชียลของกาซไฮโดรเจนต่ำและสูง	8
2.4	ความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่างความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์ พีเอช และสภาพด่างไบคาร์บอเนต (โสภา,2542)	27
3.1	แบบติดตั้งการทดลอง	47
3.2	ลักษณะและรายละเอียดของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง (อ้างถึงใน อุรชา,2542)	52
3.3	ลักษณะและรายละเอียดของแกนใบกวนและใบกวนภายในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี (อ้างถึงใน อุรชา , 2542)	54
3.4	การติดตั้งมอเตอร์กวนที่ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี	55
3.5	ชุดวัดเปอร์เซ็นต์กาซและลักษณะการทำงาน	57
3.6	ชุดดักกาซคาร์บอนไดออกไซด์	57
4.1	ผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน	63
4.2	ผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน	67
4.3	ผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน	71
4.4	ผลการทดลองน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน	75
4.5	ซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีโดยใช้น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต	79
4.6	กรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างของการทดลองโดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต	81
4.7	พีเอชและสภาพด่างรวมโดยใช้น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต	84
4.8	เปอร์เซ็นต์กาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง โดยใช้น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต	87
4.9	ปริมาณกาซที่เกิดขึ้นจากการทดลอง โดยใช้น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต	89
4.10	อัตราการผลิตกาซต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดของน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต	91

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.11 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีน ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 4 ก./ล.-วัน 94
4.12 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีน ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 ก./ล.-วัน 99
4.13 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีน ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 12 ก./ล.-วัน 103
4.14 ผลการทดลองน้ำเสียโปรตีน ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 16 ก./ล.-วัน 107
4.15 ซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีโดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน 110
4.16 กรดไขมันระเหยและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่าง ของการทดลอง
โดยใช้น้ำเสียโปรตีน 113
4.17 ค่าพีเอชที่ได้จากการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีน 115
4.18 สภาพด่างเฉลี่ยของการทดลองโดยใช้น้ำเสียโปรตีน 117
4.19 เปอร์เซ็นต์กาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง โดยใช้น้ำเสียโปรตีน 118
4.20 ปริมาณกาซที่เกิดขึ้นจากการทดลอง โดยใช้น้ำเสียโปรตีน 120
4.21 อัตราการผลิตกาซต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดโดยใช้น้ำเสียโปรตีน 122
4.22 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีระหว่างน้ำเสีย 2 ประเภท 124
4.23 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์กาซคาร์บอนไดออกไซด์ของน้ำเสีย 2 ประเภท 125
4.24 เปรียบเทียบปริมาณกาซระหว่างน้ำเสีย 2 ประเภท 126
4.25 เปรียบเทียบพีเอชในน้ำออกของน้ำเสีย 2 ประเภท 127
4.26 เปรียบเทียบค่าพีเอชในน้ำออกของน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตและน้ำเสียโปรตีน 128
4.27 การหาค่าพีเอชจากค่าความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์ และสภาพด่าง
ไบคาร์บอเนตจากการทดลองบำบัดน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 130
4.28 การหาค่าพีเอชจากค่าความดันพาร์เชียลของคาร์บอนไดออกไซด์ และสภาพด่าง
ไบคาร์บอเนตจากการทดลองบำบัดน้ำเสียโปรตีน 132
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณกาซที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำเสีย
คาร์โบไฮเดรต 139
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณกาซที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำเสีย
ที่มีส่วนผสมของโปรตีน 142
4.31 โมเดลที่ใช้ประมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการที่ซีโอดีที่ถูกกำจัด 0-40000
มก./ล. ที่พีเอชต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 145

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.32 โมเดลที่ใช้ประมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการที่ซีโอดีที่ถูกกำจัด 0-4000 มก./ล. ที่พีเอชต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 145
4.33 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด 0-40000 มก./ล. ที่พีเอชและอัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอดีต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 150
4.34 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด 0-4000 มก./ล. ที่พีเอชและอัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอดีต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 150
4.35 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด 0-40000 มก./ล. ที่พีเอชและอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ และพีเอช โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 155
4.36 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด 0-4000 มก./ล. ที่พีเอชและอัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ และพีเอช โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 155
4.37 โมเดลโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการที่ซีโอดีที่ถูกกำจัด 0-40000 มก./ล. ที่พีเอชต่างๆ โดยใช้น้ำเสียที่มีส่วนผสมของโปรตีน 157
4.38 โมเดลโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ต้องการที่ซีโอดีที่ถูกกำจัด 0-4000 มก./ล. ที่พีเอชต่างๆ โดยใช้น้ำเสียที่มีส่วนผสมของโปรตีน..... 157
4.39 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัดในช่วง 0-40000 มก./ล. อัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนต และพีเอช โดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน 163
4.40 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัดในช่วง 0-4000 มก./ล. อัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนต และพีเอช โดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน 163
4.41 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัดในช่วง 0-40000 มก./ล. อัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ และพีเอช โดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน 168
4.42 โมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัดในช่วง 0-4000 มก./ล. อัตราส่วนโซเดียมไฮดรอกไซด์ และพีเอช โดยใช้น้ำเสียประเภทโปรตีน 168
4.43 การหาพีเอชจากโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด พีเอช และอัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอดีต่างๆ โดยใช้น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต 170
4.44 การหาพีเอชจากโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด พีเอช และอัตราส่วนโซเดียมคาร์บอเนตต่อซีโอดีต่างๆ โดยใช้น้ำเสียโปรตีน 173
4.45 ลักษณะการลอยตัวของตะกอนสลัดจ์เนื่องจากการใช้น้ำเสียโปรตีน 175
4.46 การลอยตัวของตะกอนสลัดจ์ที่ผิวน้ำเนื่องจากการใช้น้ำเสียโปรตีน 176