การพัฒนาแบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์ชีวเคมีแบบไร้อากาศ สำหรับผลิตแก๊สชีวมวลจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

นางสาวสิรีพร คชพันธุ์สุนทร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์ นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-687-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

24 มี.ค. 2544
I19709709

DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL FOR THE ANAEROBIC BIOCHEMICAL-REACTOR FOR PRODUCING BIOGAS FROM WASTE WATER OF PALM OIL EXTRACTION PLANTS

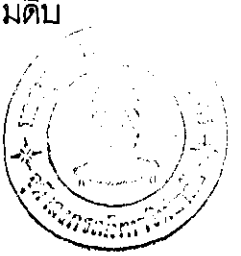
Miss Sireeporn Khotchapunsoontorn

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998

ISBN 974-331-687-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์ชีวเคมีแบบไร้อากาศสำหรับผลิตแก๊สชีวมวลจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ
โดย	นางสาวสิรีพร คชพันธุ์สุนทร
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล
ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.สมมาต อิชโรจน์



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล)

.....ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร.สมมาต อิชโรจน์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สีรุ้ง ปรีชานนท์)

สิริพร คชพันธุ์สุนทร : การพัฒนาแบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์ชีวเคมีแบบไร้อากาศสำหรับผลิตแก๊สชีวมวลจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL FOR THE ANAEROBIC BIOCHEMICAL-REACTOR FOR PRODUCING BIOGAS FROM WASTE WATER OF PALM OIL EXTRACTION PLANTS) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.สมมาต อิชโรจน์, 120 หน้า. ISBN 974-331-687-6

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องปฏิกรณ์ชีวเคมีแบบไร้อากาศสำหรับใช้ทำนายพฤติกรรมของเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าว พฤติกรรมที่สนใจคือผลกระทบของการปรับอัตราการไหลของน้ำเสียต่อความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ ความเข้มข้นของสารอาหาร และปริมาณแก๊สชีวมวลของระบบโดยรวม

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พัฒนาบนพื้นฐานของระบบเครื่องปฏิกรณ์ถังเดี่ยว ทำงานแบบต่อเนื่องและมีการกวนที่ทำให้เกิดการผสมอย่างทั่วถึง การพัฒนาแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนตามการปฏิบัติจริง คือ ขั้นตอนการเริ่มดำเนินการ หรือ การเลี้ยงเชื้อ และ ขั้นตอนการดำเนินการปกติ โดยแต่ละขั้นตอนทำนายพฤติกรรมตามปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้น คือ การผลิตกรดโวเลไทล์ และเปลี่ยนเป็นแก๊สมีเทน ตามลำดับ ในงานนี้อาศัยการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม ISIM Simulation จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองมาปรับเทียบค่าเพื่อให้ได้สมการแบบจำลอง ที่สามารถอธิบายผลการทดลองจริงได้

จากผลการทดสอบแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นพบว่า สำหรับขั้นตอนการเริ่มดำเนินการสามารถอธิบายผลการทดลองจริงได้ ในส่วนขั้นตอนการดำเนินการปกติปรากฏว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้อธิบายผลการทดลองจริงได้เป็นบางส่วน กล่าวคือเหมาะสมสำหรับการทำนายค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์และความเข้มข้นของสารอาหารเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C817651 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: : ANAEROBIC REACTOR / BIOGAS

SIREEPORN KHOTCHAPUNSOONTORN : DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL FOR THE ANAEROBIC BIOCHEMICAL-REACTOR FOR PRODUCING BIOGAS FROM WASTE WATER OF PALM OIL EXTRACTION PLANTS. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. DR.THAWATCHAI CHARINPANICHKUL, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : DR.SOMMAT ISROJ. Ph.D. 120 pp. ISBN 974-331-687-6.

The mathematical model was developed for simulation of a single anaerobic biochemical reactor operated at steady state with agitation , which provided uniform mixing. The developed model was separated into two parts , namely , start-up a culturing step and steadily operated step. Production of Volatile fatty acid and methane in each step was taken into account for predicting the reactor behavior. ISIM Simulation program was employed as tools to find out the solution of the mathematical model equations developed. Then the calculation results were compared with the actual data taken from the actually operating plant to find out the appropriate values of parameters of the model.

It was found that after adjusting value of necessary parameters, the model could provide the results , which agreed with actual measurement results, especially for the start-up step. However, for the steadily operation step , it was found that the model could predict only the concentration of Volatile Fatty acid and substrate which agree with actual measurement results.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต สิริพร คชโชติพงศ์

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมมาต อิชโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คุณธนารักษ์ พงษ์เภตรา กรรมการผู้จัดการ บริษัท ทักษิณปาล์ม (2521) จำกัด ที่ได้อนุญาตให้ศึกษาและนำข้อมูลโครงการการผลิตแก๊สชีวภาพของบริษัท มาใช้ในการวิจัย ตลอดจนความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์การทดลองและข้อคิดเห็นต่างๆ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุน ส่งเสริมและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมา ขอบคุณพี่สาว น้องชาย และเพื่อนทุกคนสำหรับกำลังใจ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ช

สารบัญภาพ..... ฌ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ..... 4

2 หลักการ

2.1 กลไกปฏิกิริยาการเกิดแก๊สชีวภาพ..... 6

2.2 เมตาบอริซึม (Metabolism)..... 10

2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของระบบ..... 12

2.4 การกวน (Mixing)..... 19

2.5 สาเหตุในการล้มเหลวของระบบ..... 19

2.6 องค์ประกอบและปริมาณแก๊สที่ได้..... 20

2.7 จลนพลศาสตร์ของระบบชีวเคมี..... 22

2.8 ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์..... 27

3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์..... 30

3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ขั้นตอนเริ่มดำเนินการ..... 35

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ขั้นตอนดำเนินการ..... 40

4 การทดลองและโปรแกรมที่ใช้ทดสอบแบบจำลอง

4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย..... 46

4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 48

หน้า

บทที่

4.3 วิธีการเก็บข้อมูล..... 52

4.4 โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง..... 55

5 การทดสอบแบบจำลองและการวิเคราะห์..... 56

6 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต..... 80

7 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 85

รายการอ้างอิง..... 87

ภาคผนวก ก ผลการทดลอง..... 89

ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์..... 105

ภาคผนวก ค รายการพิมพ์ออกของโปรแกรม..... 112

ประวัติผู้เขียน..... 119

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ (9).....	20
2.2	ค่าพลังงานความร้อนต่ำสุดของแก๊สชีวภาพและเชื้อเพลิงชนิดอื่น (9).....	21
2.3	ปริมาณแก๊สชีวภาพเทียบเท่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ โดยปริมาตร (9).....	21
2.4	ค่าพารามิเตอร์จลน์สำหรับจุลชีพผสม (10).....	27
2.5	ค่าพารามิเตอร์จลน์สำหรับการหมักแก๊สมีเทนโดยใช้ กรดไขมันเป็นอาหารของจุลชีพ (11).....	28
2.6	อัตราการเจริญเติบโตของ Enterobacter (Aerobacter) Aerogenes ภายใต้สภาวะมีอากาศและไร้อากาศ (Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook , Second Edition).....	29
3.1	Stoichemetry of Anaerobic Research	32
4.1	คุณสมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ.....	47
5.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์.....	57
5.2	เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์หลังจากปรับค่า Ks..	63
5.3	เปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลที่ได้จากการทดลอง ณ เวลากักเก็บน้ำเสีย 7 วัน.....	61 77
6.1	เงินลงทุน (Capital Cost) ของ การผลิตแก๊สชีวภาพ.....	81
6.2	ต้นทุนดำเนินการของการผลิตแก๊สชีวภาพ.....	82
6.3	ประมาณการงบการเคลื่อนไหวของโครงการผลิตแก๊สชีวภาพ.....	84
ก.1	ผลการทดลองในขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อหรือเริ่มดำเนินการ.....	89
ก.2	ผลการทดลอง ณ เวลาการกักเก็บน้ำเสีย 20 วัน เทียบเท่าอัตราการไหล 4.5 ลูกบาศก์เมตร/วัน.....	93
ก.3	ผลการทดลอง ณ เวลาการกักเก็บน้ำเสีย 15 วัน เทียบเท่าอัตราการไหล 6.5 ลูกบาศก์เมตร/วัน.....	95
ก.4	ผลการทดลอง ณ เวลาการกักเก็บน้ำเสีย 10 วัน เทียบเท่าอัตราการไหล 9.8 ลูกบาศก์เมตร/วัน.....	96
ก.5	ผลการทดลอง ณ เวลาการกักเก็บน้ำเสีย 7 วัน เทียบเท่าอัตราการไหล 14 ลูกบาศก์เมตร/วัน.....	98

ก.6 ผลการทดลอง ณ เวลาการกักเก็บน้ำเสีย 5 วัน เทียบเท่าอัตราการไหล 19.6 ลูกบาศก์เมตร/วัน..... 99
ก.7 สรุปข้อมูลช่วงการดำเนินงาน..... 100
ก.8 ผลวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ระดับความสูง 0.5 , 1.5และ 2.5 ของน้ำเสีย ภายในเครื่องปฏิกรณ์ที่เวลากักเก็บน้ำเสีย 20 วัน..... 103
ก.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ..... 104

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	3
1.2	เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบ(1).....	4
2.1	ลำดับขั้นตอนการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic fermentation) ของเซลลูโลส (2).....	7
2.2	ผลของอุณหภูมิต่อระยะเวลาการย่อยสลาย (7).....	16
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการจ่ายสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของของแข็งและระยะเวลาที่ของเหลวอยู่ในระบบ (7).....	18
4.1	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์.....	49
4.2	เครื่องปฏิกรณ์ (มองด้านข้าง).....	50
4.3	เครื่องปฏิกรณ์ (มองด้านข้าง).....	50
4.4	เครื่องอัดลม.....	51
4.5	ปั๊มสูบน้ำเสีย.....	51
4.6	ถังน้ำ (ป้องกันการลามของไฟเข้าเครื่องปฏิกรณ์).....	53
4.7	แก๊สมิเตอร์	53
5.1	แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทด์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 และที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการเลี้ยงเชื้อ พิจารณาอิทธิพลของตัวยับยั้งการเจริญเติบโตจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน.....	59
5.2	แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทด์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 และค่าที่วัดได้จากการทดลอง ในช่วงการเลี้ยงเชื้อ.....	60
5.3	แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทด์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 และที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการดำเนินการปกติ.....	61
5.4	แผนภูมิเปรียบเทียบค่าบีโอดี (BOD) ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 และที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการดำเนินการปกติ.....	61
5.5	แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณแก๊สรวมของกรดโวลาท์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 และที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการดำเนินการปกติ.....	62

รูปที่ หน้า

5.6 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทด์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 , 2 และที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการเลี้ยงเชื้อ พิจารณาอิทธิพลของตัวยับยั้งการเจริญเติบโตจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน..... 66

5.7 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทด์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1, 2 และค่าที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการเลี้ยงเชื้อ..... 67

5.8 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของกรดโวลาไทด์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1,2 และที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการดำเนินการปกติ..... 69

5.9 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าบีโอดี (BOD) ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 , 2 และที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการดำเนินการปกติ..... 69

5.10 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณแก๊สรวมที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง 1 , 2 และที่วัดได้จากการทดลองในช่วงการดำเนินการปกติ..... 70

5.11 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ของสารอาหาร (น้ำเสีย) , กรดโวลาไทล์ จุลชีพผลิตกรด และจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน ณ เวลาต่างๆ ในขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อ ซึ่งพิจารณาอิทธิพลของกรดโวลาไล์ที่มีต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน..... 72

5.12 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ของสารอาหาร (น้ำเสีย) , กรดโวลาไทล์ จุลชีพผลิตกรด และจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน ณ เวลาต่างๆ ในขั้นการเลี้ยงเชื้อ ไม่พิจารณาอิทธิพลของกรดโวลาไล์ที่มีต่อจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน..... 73

5.13 แสดงค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณค่าความเข้มข้นต่างๆ ของระบบดำเนินการปกติ 74

5.14 ความเข้มข้นของจุลชีพที่ใช้เป็นหัวเชื้อต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของจุลชีพผลิตกรด ณ เวลาต่างๆ..... 76

5.15 ความเข้มข้นของจุลชีพที่ใช้เป็นหัวเชื้อต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของจุลชีพผลิตแก๊สมีเทน ณ เวลาต่างๆ..... 76

5.16 ตำแหน่งเวลากักเก็บน้ำเสียที่เกิดการล้างออก (Washout)..... 78

5.17 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ ณ เวลากักเก็บน้ำเสียต่างๆ..... 79

6.1 แผนภูมิประมาณการงบประมาณ..... 83

ก.1 แผนภูมิแสดงค่า Volatile Fatty Acid (มก./ล.) ตามเวลา..... 92

ก.2 แผนภูมิแสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และอุณหภูมิ..... 92

ก.3 แผนภูมิแสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และอุณหภูมิ ณ เวลากักเก็บต่างๆ.. 101

รูปที่ หน้า

ก.4 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ (มก./ล.) และค่าอัลคาริ**นิ**ตี้ ณ เวลากักเก็บต่างๆ..... 101

ก.5 แผนภูมแสดงค่า COD และ BOD ณ เวลากักเก็บต่าง ๆ ณ เวลากักเก็บต่างๆ... 102

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

b_d	ตัวคงที่อัตราการสลายตัวจำเพาะเซลล์ที่ตาย , วัน$^{-1}$
b_v	ตัวคงที่อัตราการสลายตัวจำเพาะสำหรับเซลล์ที่มีชีวิต , วัน $^{-1}$
D	อัตราการเจือจาง (dilution rate) , วัน$^{-1}$
F	อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าเครื่องปฏิกรณ์ , ลูกบาศก์เมตร/วัน
H^+	ความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน , มิลลิโมล/ลิตร
HS	ความเข้มข้นของกรดที่ไม่แตกตัว , มิลลิโมล/ลิตร
K	อัตราการใช้สารจำเพาะ (specific rate of substrate removal) เท่ากับ μ/Y
K_a	ค่าคงที่ของการแตกตัว (Ionization constant)
K_i	Inhibition constant , มิลลิกรัมต่อลิตร
K_S	ค่าคงที่การอิ่มตัว (saturation constant) ซึ่งนิยามได้ว่าเป็นความเข้มข้นของสารอาหารที่ μ ทีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของ μ_m
r_{dXd}	อัตราการตายของแบคทีเรียที่ตายไปแล้ว , กรัม/ลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง
r_{dXv}	อัตราการตายของแบคทีเรียที่มีชีวิต , กรัม/ลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง
r_{GXv}	อัตราการผลิตแบคทีเรียที่มีชีวิต , กรัม/ลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง
$-r_S$	อัตราการหายไปของสารอาหาร ,กรัม/ลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง
S	ความเข้มข้นของสารอาหารจำกัดการเจริญเติบโต (Growth limiting substrate), กรัม/ลูกบาศก์เมตร
X	ความเข้มข้นของแบคทีเรีย , กรัม/ลูกบาศก์เมตร
Xd	ความเข้มข้นเซลล์ที่ตายไป , กรัม/ลูกบาศก์เมตร
Xv	ความเข้มข้นของแบคทีเรียที่มีชีวิต ,กรัม/ลูกบาศก์เมตร
V	ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์ , ลูกบาศก์เมตร
Y	ยิลด์ (Growth Yield) , กรัม เซลล์ที่เกิด/กรัมอาหารที่หายไป
$Y_{ac/x}$	ยิลด์ (Growth Yield) , กรัม กรดอะซิเตรทที่เกิด/กรัม เซลล์
$Y_{X/S}$	ยิลด์ (Growth Yield) , กรัม เซลล์ที่เกิด/กรัมอาหารที่หายไป

$Y_{CO2/X}$ ยิลด์ (Growth Yield) , กรัม คาร์บอนไดซ์ออกไซด์ที่เกิด/กรัม เซลล์

$Y_{CH4/X}$ ยิลด์ (Growth Yield) , กรัม มีเทนที่เกิด/ กรัม เซลล์

สัญลักษณ์กรีก

μ ตัวคงที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

μ (specific growth rate constant) , วัน

μm ตัวคงที่อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

(maximum specific growth rate) , วัน$^{-1}$

γ สัมประสิทธิ์อัตราการตายอันดับที่หนึ่ง , ชั่วโมง$^{-1}$

ตัวห้อย

i กระแสเข้า (influent)

e กระแสออก (effluent)

a ขั้นตอนสร้างกรด

me ขั้นตอนสร้างมีเทน

d ที่ตาย (dead)

m สูงสุด (maximun)

v ที่มีชีวิต (viable)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวย่อ

ALK	Alkalinity
BOD	Biochemical Oxygen Demand
COD	Chemical Oxygen Demand
CONS	Consumption
HRT	Hydraulic Retention Time
RT	Retention Time
PRO	Production
VFA	Volatile Fatty Acids
VOLR	Volumetric Loading Rate

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย