การบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการหมักจิบเบอเรลลินโดยระบบยูเอเอสบี

นางสาวอมรรัตน์ สีสุกอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ
หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-482-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TREATMENT OF WASTEWATER FROM GIBBERELLIN FERMENTATION BY UASB PROCESS

Miss Amornrat Srisukong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Biotechnology
Programme of Biotechnology
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998

ISBN 974-332-482-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการหมักจิบเบอเรลลินโดยระบบยูเอเอสบี
โดย นางสาวอมรรัตน์ สีสุกอง
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์วาสนา โตเลี้ยง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิเชียร ริมพณิชยกิจ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์วาสนา โตเลี้ยง)

.....กรรมการ
(รองศาสตร์ตราจารย์ ดร. สุเมธ ชวเดช)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เท่านั้น

อมรรัตน์ สีสุกอง : การบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการหมักจิบเบอเรลลินโดยระบบยูเอเอสบี (TREATMENT OF WASTEWATER FROM GIBBERELLIN FERMENTATION BY UASB PROCESS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตฤศาสน์, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : อาจารย์ วาสนา โตเลี้ยง , 178 หน้า. ISBN 974-332-482-8.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย ที่เกิดจากการผลิตและแยกจิบเบอริลลินออกจากน้ำหมักโดยใช้ระบบยูเอเอสบี ระบบยูเอเอสบีที่ใช้มีปริมาตร 9.97 ลิตร ถูกควบคุมที่อุณหภูมิคงที่ 37 องศาเซลเซียส การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาโดยใช้น้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการแยกจิบเบอเรลลินออกจากน้ำหมัก น้ำเสียนี้มีค่าซีโอดีสูงประมาณ 70,000 - 80,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าระบบสามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ได้สูงสุดที่ 12.98 กิโลกรัมซีโอดี/ต่อลูกบาศก์เมตร-วัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย คือที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 9.55 กิโลกรัมซีโอดี/ต่อลูกบาศก์เมตร-วัน โดยที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 9.55 กิโลกรัมซีโอดี/ต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 95.71% ให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 24.50 ลิตร / วัน ประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนเท่ากับ 0.230 ลูกบาศก์เมตรมีเทน/กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด และการทดลองในส่วนที่ 2 ใช้น้ำเสียที่ผ่านการแยกจิบเบอเรลลิน ออกจากน้ำหมัก ซึ่งน้ำเสียมีค่าซีโอดีสูง ประมาณ 80,000 - 95,000 และมีเอทิลแอซีเตตปนอยู่ในน้ำเสีย พบว่าระบบสามารถรับอัตราการป้อนสารอินทรีย์ได้สูงสุดที่ 5.66 กิโลกรัมซีโอดี/ต่อลูกบาศก์เมตร-วัน และอัตราการป้อนสารอินทรีย์ที่เหมาะสมคือที่ 3.77 กิโลกรัมซีโอดี/ต่อลูกบาศก์เมตร-วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 91.52% ให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 16.00 ลิตร/วัน ประสิทธิภาพในการผลิตมีเทนเท่ากับ 0.358 ลูกบาศก์เมตรมีเทน / กิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด และระบบมีเสถียรภาพที่ดี

ภาควิชา .....
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ
ปีการศึกษา 2541

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

C827003 : MAJOR BIOTECHNOLOGY
KEY WORD:
UASB / WASTEWATER / GIBBERELLIN

AMORNRAT SRISUKONG : TREATMENT OF WASTEWATER FROM GIBBERELLIN FERMENTATION BY UASB PROCESS. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. SURAPONG NAVANKASATTUSAS, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : MS. VASSANA TOLIENG, M.Sc.

178 pp. ISBN 974-332-482-8.

The purpose of this experimental study was to find the optimal condition to treat the wastewater from fermentation and seperation of gibberellin by using UASB system. The UASB system with 9.97 l holding volume was operated at constant temperature of 37°C. The experiments consisted of 2 parts.The first part was to study on treatment of the fermentation broth without gibbereliin seperation. This wastewater contained high COD of 70,000-80,000 mg/l. It was found that the system could take an organic loading up to 12.98 kgCOD/m^3d. The optimal organic loading was 9.55 kgCOD/m^3d. The organic loading of 9.55 kgCOD/m^3d had COD reduction 95.71%, biogas production of 24.50 l/d, methane yield of 0.230 m^3/kgCODremoved. The second part of the experiment was carried out using wastewater which gibberellin was seperated from the fermentation broth. This wastewater contained high COD of 80,000-95,000 mg/l with ethyl acetate as an additional component. It was found that the system could take an organic loading up to 5.66 kgCOD/m^3d. The optimal organic loading was 3.77 kgCOD/m^3d which had COD reduction 91.52% , biogas production of 16.00 l/d, methane yield of 0.358 m^3/kgCODremoved. The system had good stability.

ภาควิชา - ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางชีวภาพ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ โดยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์ ที่ได้กรุณารับเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำ และ ให้ความดูแลช่วยเหลืออย่างดียิ่งตลอดการทำวิจัย รวมทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จสมบูรณ์ ศิษย์ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์วาสนา โตเลี้ยง ที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือ ในด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องการหมักจิบเบอเรลลินในระดับ 300 ลิตร รวมทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิเชียร ริมพณิชยกิจ ที่ได้กรุณาเป็นประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ชวเดช ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำปรึกษา คำแนะนำต่างๆอันมีค่ายิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณ คณะผู้บริหารสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมี ตลอดจนสิ่งอำนวยความสะดวกในการทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณสันติ เหมศรี และคุณปรีดา ไชยฤทธิ์ ที่ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งในเรื่องการหมัก จิบเบอเรลลินในระดับ 300 ลิตร

ขอขอบพระคุณ นักวิจัย ช่างเทคนิค ที่ให้ความช่วยเหลือ และซ่อมเครื่องมือให้โดยตลอด ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของสถาบันฯทุกท่าน และน้องๆ เพื่อนๆ พี่ๆที่คอยช่วยเหลือให้กำลังใจในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่และน้อง ที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนอย่างดียิ่ง ทั้งกำลังกาย กำลังใจและกำลังทรัพย์ ในระหว่างการศึกษาตลอดมา

ความดีของการศึกษา และคุณค่าของวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าขออุทิศแด่บูรพาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูป..... ฏ

คำย่อและนิยาม..... ด

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 จุลชีววิทยา และชีวเคมีของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 1

1.2 ตัวอย่างวิถีชีวเคมีที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหย..... 10

1.3 บทบาทของไฮโดรเจนที่มีต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 12

1.4 ปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 15

1.5 สาเหตุในการล้มเหลวของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 29

1.6 องค์ประกอบและปริมาณก๊าซที่ได้..... 29

1.7 ระบบยูเอเอสบี..... 30

1.8 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้ระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสีย..... 35

1.9 มูลเหตุจูงใจในการทำวิจัย..... 36

1.10 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 36

1.11 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 37

2. วิธีการทดลอง..... 38

2.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง..... 38

2.2 ตะกอนแบคทีเรียที่ใช้เริ่มต้น..... 38

2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง..... 38

2.4 เงื่อนไขและภาวะที่ใช้ในการทดลอง..... 39

2.5 การเก็บตัวอย่าง..... 45

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.6 การวิเคราะห์	46
	2.7 การประเมินประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบ	46
3.	ผลการทดลอง	47
	3.1 องค์ประกอบและลักษณะจำเพาะต่างๆ ของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการหมักจิบเบอเรลลิน	47
	3.2 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียส่วนที่ 1 (น้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการแยกสกัดจิบเบอเรลลินออกจากน้ำหมัก)	47
	3.2.1 อัตราการป้อนสารอินทรีย์และระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสีย	49
	3.2.2 ระยะเวลาที่ระบบเข้าสู่ภาวะคงตัว	49
	3.2.3 ค่าพีเอชในระบบ	52
	3.2.4 ปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบ	53
	3.2.5 สภาพความเป็นด่างรวมของระบบ	55
	3.2.6 อัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่าง (VFA/ALK)	57
	3.2.7 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบ	58
	3.2.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี	59
	3.2.9 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ	61
	3.2.10 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้	62
	3.2.11 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ	63
	3.2.12 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน	65
	3.3 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียส่วนที่ 2 (น้ำเสียที่ผ่านการแยกสกัดจิบเบอเรลลินออกจากน้ำหมัก)	68
	3.3.1 การติดตามการทำงานของระบบตลอดช่วงการทดลอง (วันที่ 1-118).	71
	3.3.2 ผลค่าเฉลี่ยของดรรชนีต่างๆที่อยู่ในภาวะคงตัว ที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ (วันที่ 59-118)	72
	3.3.2.1 ค่าพีเอชในระบบ	72

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.3.2.2 ปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบ	73
	3.3.2.3 ค่าสภาพความเป็นด่างรวม	74
	3.3.2.4 อัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่าง	75
	3.3.2.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี	76
	3.3.2.6 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ	77
	3.3.2.7 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้	77
	3.3.2.8 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ	79
	3.3.2.9 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทน	82
	3.4 เสถียรภาพของระบบ	85
	3.5 ภาวะที่เหมาะสมของระบบ	87
4.	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	88
	4.1 สรุปผลการทดลอง	88
	4.2 ข้อเสนอแนะ	89
รายการอ้างอิง		90
ภาคผนวก		96
ก.	วิธีการวิเคราะห์ค่าดรรชนีต่างๆของน้ำเสียในงานวิจัย	96
ข.	การคำนวณ	102
ค.	ข้อมูลการทดลองของการทดลองส่วนที่ 1	105
ง.	ข้อมูลการทดลองของการทดลองส่วนที่ 2	146
ประวัติผู้เขียน		178

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ตัวอย่างแบคทีเรียสร้างมีเทนและสารอาหารที่ใช้.....	9
1.2	ปริมาณธาตุอาหารรองที่มีความจำเป็นต่อการเจริญของแบคทีเรีย.....	22
1.3	ระดับความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียในระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	23
1.4	ปริมาณ cations ที่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจน.....	24
1.5	ผลของแอมโมเนียไนโตรเจน ต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	27
1.6	ค่า ΔG° ในการรีดิวซ์ซัลเฟต และ สร้างมีเทน.....	27
2.1	ภาวะของระบบหมักที่ใช้ในการทดลองส่วนที่ 1 (น้ำเสียทียังไม่ผ่านการสกัดแยกจิบเบอเรลลินออกจากน้ำหมัก).....	44
2.2	ภาวะของระบบหมักที่ใช้ในการทดลองส่วนที่ 2 (น้ำเสียที่ผ่านการสกัดแยกจิบเบอเรลลินออกจากน้ำหมัก).....	44
2.3	ดรรชนีต่างๆและกำหนดเวลาในการตรวจวิเคราะห์.....	45
3.1	องค์ประกอบและสมบัติจำเพาะต่างๆของน้ำเสีย.....	48
3.2	ค่าเฉลี่ยดรรชนีต่างๆ ของระบบหมัก ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆภายใต้ภาวะคงตัว ของการทดลองส่วนที่ 1(น้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการแยกสกัดจิบเบอเรลลินออกจากน้ำหมัก.....	50
3.3	ประสิทธิภาพของระบบหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ ภายใต้ภาวะคงตัวของการทดลองส่วนที่1.....	51
3.4	ค่าเฉลี่ยดรรชนีต่างๆ ของระบบหมัก ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆภายใต้ภาวะคงตัว ของการทดลองส่วนที่ 2(น้ำเสียที่ผ่านการแยกสกัดจิบเบอเรลลินออกจากน้ำหมัก.....	69
3.5	ประสิทธิภาพของระบบหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ ภายใต้ภาวะคงตัวของการทดลองส่วนที่2.....	70
ค.1	ข้อมูลการทดลองแสดงค่าดรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบในแต่ละวันที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.37 กิ โลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	106

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค. 2	ข้อมูลการทดลองแสดงค่าดรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบในแต่ละวันที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1.11 กิ โลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	108
ค. 3	ข้อมูลการทดลองแสดงค่าดรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบในแต่ละวันที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 2.45 กิ โลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	114
ค. 4	ข้อมูลการทดลองแสดงค่าดรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบในแต่ละวันที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 4.20 กิ โลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	122
ค. 5	ข้อมูลการทดลองแสดงค่าดรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบในแต่ละวันที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 6.11 กิ โลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	128
ค. 6	ข้อมูลการทดลองแสดงค่าดรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบในแต่ละวันที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 9.55 กิ โลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	134
ค. 7	ข้อมูลการทดลองแสดงค่าดรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบในแต่ละวันที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 12.98 กิ โลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	140
ง. 1	ข้อมูลการทดลองแสดงค่าดรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบในแต่ละวันที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.80 กิ โลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	147
ง.2	ข้อมูลการทดลองแสดงค่าดรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบในแต่ละวันที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1.98 กิ โลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	150
ง.3	ข้อมูลการทดลองแสดงค่าดรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบในแต่ละวันที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 3.75 กิ โลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	152
ง. 4	ข้อมูลการทดลองแสดงค่าดรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบในแต่ละวันที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.85 กิ โลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	154
ง. 5	ข้อมูลการทดลองแสดงค่าดรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบในแต่ละวันที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 2.23 กิ โลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	160
ง. 6	ข้อมูลการทดลองแสดงค่าดรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบในแต่ละวันที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 3.77 กิ โลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	166
ง. 7	ข้อมูลการทดลองแสดงค่าดรรชนีต่างๆและประสิทธิภาพของระบบในแต่ละวันที่ อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.66 กิ โลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	172

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ปฏิกริยารีด็อกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย.....	2
1.2	ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้ออกซิเจน.....	4
1.3	รายละเอียดการย่อยของสารอาหารขนาดโมเลกุลใหญ่.....	5
1.4	การย่อยสลายของแป้งภายใต้สภาวะความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำและสูง.....	6
1.5	ปฏิกริยาย่อยสลายกลูโคสภายใต้ภาวะความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำโดยวิถีทาง EMP.....	14
1.6	ปฏิกริยาย่อยสลายกลูโคสภายใต้ภาวะความดันพาร์เซียลของไฮโดรเจนมีค่าสูงโดยวิถีทาง EMP.....	14
1.7	ผลของอุณหภูมิต่อช่วงระยะเวลาการย่อยสลาย.....	16
1.8	ความสัมพันธ์ในทางทฤษฎีระหว่าง CO_2,pH และความเป็นด่างของถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	18
1.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอช และความเข้มข้นของไบคาร์บอเนต และคาร์บอนไดออกไซด์.....	21
1.10	ปฏิกริยาการทำลายสารพิษของโลหะหนัก โดยซัลไฟด์ในภาวะไร้ออกซิเจน.....	26
1.11	ลักษณะทั่วไปของถังปฏิกริยายูเอเอสบี.....	33
2.1	ขนาดและสัดส่วนของถังหมักมีเทนแบบยูเอเอสบี.....	40
2.2	รายละเอียดของถังหมักมีเทนแบบยูเอเอสบี.....	41
2.3	กรวยแยกตะกอน.....	42
2.4	แบบเครื่องวัดปริมาณก๊าซ.....	43
3.1	ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	53
3.2	ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	54
3.3	ค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.4	อัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	58
3.5	ค่า COD ของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	60
3.6	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	60
3.7	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ....	62
3.8	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ	62
3.9	ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ	63
3.10	ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	64
3.11	ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาตรของถังหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	65
3.12	ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	66
3.13	ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	67
3.14	ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาตรของถังหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	68
3.15	ค่าพีเอชของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	73
3.16	ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	74
3.17	ค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.18	อัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	75
3.19	ค่า COD ของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ....	76
3.20	ประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูป COD ที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	77
3.21	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ....	78
3.22	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ	78
3.23	ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	80
3.24	ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	81
3.25	ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซชีวภาพกับปริมาตรของถังหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	82
3.26	ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	83
3.27	ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	84
3.28	ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยพิจารณาเทียบปริมาตรผลผลิตก๊าซมีเทนกับปริมาตรของถังหมักที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่างๆ.....	85

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค.1.1-ค.1.4	ค่าดรรชนีต่างๆ และประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.37 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน	107
ค.2.1-ค.2.14	ค่าดรรชนีต่างๆ และประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1.11 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน	110
ค.3.1-ค.3.14	ค่าดรรชนีต่างๆ และประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 2.45 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน	118
ค.4.1-ค.4.14	ค่าดรรชนีต่างๆ และประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 4.20 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน	124
ค.5.1-ค.5.14	ค่าดรรชนีต่างๆ และประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 6.11 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน	130
ค.6.1-ค.6.14	ค่าดรรชนีต่างๆ และประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 9.55 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน	136
ค.7.1-ค.7.14	ค่าดรรชนีต่างๆ และประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 12.98 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน	142
ง.1.1-ง.1.4	ค่าดรรชนีต่างๆ และประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.80 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน	149
ง.2.1-ง.2.4	ค่าดรรชนีต่างๆ และประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 1.98 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน	151
ง.3.1-ง.3.4	ค่าดรรชนีต่างๆ และประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 3.25 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน	153
ง.4.1-ง.4.14	ค่าดรรชนีต่างๆ และประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 0.85 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน	156
ง.5.1-ง.5.14	ค่าดรรชนีต่างๆ และประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 2.23 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน	162
ง.6.1-ง.6.14	ค่าดรรชนีต่างๆ และประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 3.77 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน	168

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ง.7.1-ง.7.14	ค่าดรรชนีต่างๆ และประสิทธิภาพของระบบที่อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 5.66 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน.....	174

คำย่อและนิยาม

1. ALK — Alkalinity

ค่าสภาพความเป็นด่าง หมายถึง ความสามารถของสารละลายในการรับโปรตอน ซึ่ง เกิดจากองค์ประกอบของสารละลายไบคาร์บอเนต คาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์ ค่าสภาพความเป็นด่างของระบบเปรียบเสมือนตัวรักษาสมดุลความเป็นกรด-ด่าง ในระบบ

2. VFA — Volatile Fatty Acid

กรดไขมันระเหย

3. BOD — Biochemical Oxygen Demand

เป็นดรรชนีในการวัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย

4. COD — Chemical Oxygen Demand

เป็นดรรชนีในการวัดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยใช้สารเคมีที่มีอำนาจในการออกซิไดซ์สูงในสารละลายที่เป็นกรด

5. Eff. — Effluent

ในที่นี้หมายถึง น้ำเสียที่ออกจากถังหมัก

6. Feed — ในที่นี้หมายถึง น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

7. HRT — Hydraulic Retention Time

หมายถึง ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียในระบบ

8. Inf. Influent
ในที่นี้หมายถึง น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ถังหมัก

9. MR Methane Reactor
ถังหมักมีเทน

10. pH เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคโปรตอน [H^+] ในน้ำ ซึ่งในทางปฏิบัติ ค่าพีเอชแสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำเสีย

11. SS Suspended Solids
หมายถึง ปริมาณของแข็งแขวนลอย