การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดย กระบวนการไร้ออกซิเจนอิสระแบบสองขั้นตอน

นายชาคา นัครชานี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2531

ISBN 974 - 568 - 623 - 9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014387

TREATMENT OF TAPIOCA WASTEWATERS BY A TWO-STAGE ANAEROBIC PROCESS

Mr.TADA CHATTANEE

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1988

ISBN 974 - 568 - 623 - 9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดย กระบวนการไร้ออกซิเจนอิสระแบบสองขั้นตอน
โดย	นายชาคา ฉัตรชานี
ภาควิชา	วิศวกรรมสุขาภิบาล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สุเมธ ชวเดช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์วีรวรรณ ปัทมาภิรัต)

.....กรรมการ อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์)

.....กรรมการ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.สุเมธ ชวเดช)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตคานนท์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทวี จิตไมตรี)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธาดา ฉัตรธานี : การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดย กระบวนการไร้ออกซิเจนอิสระแบบสองขั้นตอน (TREATMENT OF TAPIOCA WASTEWATERS BY A TWO-STAGE ANAEROBIC PROCESS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์ อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.สุเมธ ชวเดช, 152 หน้า.

ในการศึกษาการทดลองงานวิจัยนี้ ใช้ระบบหมักแบบ Anaerobic Activated Sludge เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบหมักแบบสองขั้นตอน เปรียบเทียบกับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว น้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ที่ใช้ทดลองป้อนเข้าสู่ระบบ ถูกควบคุมปริมาณสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีคงที่ประมาณ 20,000 มก./ล.

จากผลการทดลองระบบหมักแบบสองขั้นตอน พบว่าขั้นตอนของการหมักกรดอินทรีย์มีสภาวะเหมาะสมที่เวลากำจัด 1 วัน ซึ่งตรงกับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 21-22 กก.ซีโอดี/ม.^{3}-วัน ส่วนขั้นตอนของการหมักมีเทน มีสภาวะเหมาะสมที่เวลากำจัด 5 วัน ซึ่งตรงกับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.06 กก.ซีโอดี/ม.^{3}-วัน คิดเป็นเวลากำจัดรวมทั้งระบบ 6 วัน ซึ่งตรงกับภาระบรรทุกสารอินทรีย์รวมทั้งระบบ 3.63 กก.ซีโอดี/ม.^{3}-วัน โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่คิดจากซีโอดีรวมในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (total effluent COD) เป็น 92.1% และที่คิดจากซีโอดีน้ำทิ้งส่วนที่ใส (centrifuged effluent COD) เป็น 97.1% โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงถึง 1.325 ม.^{3}/ม.^{3}-วัน และมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทนสูงสุด คิดเป็น 0.199 ม.^{3}/กก.ของซีโอดีที่ถูกกำจัด สำหรับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียวที่มีสภาวะที่เหมาะสมและมีเสถียรภาพต่อการหมัก จะต้องใช้เวลากำจัดสูงถึง 13 วัน หรือคิดเป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.64 กก.ซีโอดี/ม.^{3}-วัน นอกจากนี้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังหมักมีเทนในขั้นตอนที่สองยังมีเปอร์เซนต์มีเทนในก๊าซชีวภาพสูงถึง 61.7% ในขณะที่เปอร์เซนต์มีเทนในก๊าซชีวภาพที่เกิดจากถังหมักในระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว มีค่าสูงสุดเพียง 46.8% เท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่อนิสิต ธาดา ฉัตรธานี

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

TADA CHATTANEE : TREATMENT OF TAPIOCA WASTEWATERS BY A TWO-STAGE ANAEROBIC PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF.THONGCHAI PANSWAD,Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : SUMAETH CHAVADEJ,Ph.D. 152 PP.

In these experimental studies, anaerobic activated sludge systems were used to study the process efficiency between the two-stage and the single stage anaerobic process. Tapioca wastewater was used to feed into the studied fermenters. The COD value of the wastewater was kept constant about 20,000 mg/l.

From experimental results of the two-stage anaerobic process, the optimum hydraulic retention time (HRT) for the acidogenic stage was 1 day corresponding to the organic loading between 21-22 kg COD/m^3.d. and for methanogenic stage was 5 days corresponding to the organic loading of 3.06 kg COD/m^3.d. Hence the optimum HRT for the overall process was 6 days corresponding to the organic loading of 3.63 kg COD/m^3.d. Under these optimum conditions, the process had COD removal efficiency which calculated from total effluent COD was 92.1% and calculated from centrifuged effluent COD was 97.1%. These conditions gave the bio-gas production rate of 1.325 m^3/m^3.d and had the highest methane yield value of 0.199 m^3/kg COD removed. Under the same optimum conditions, the single stage process must be 13 days of HRT corresponding to the organic loading of 1.64 kg COD/m^3.d. The percentage of methane in the bio-gas generated from methane fermenter in the second stage was 61.7% while the single stage fermenter gave the highest percentage of methane in bio-gas only 46.8%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์ และ ดร.สุเมธ ชวเดช อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ตลอดจนอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัย ตลอดจนให้กำลังใจและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างมากแก่ผู้วิจัย

ค่าใช้จ่ายในการวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ จึงขอแสดงความขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของ สว.สิ่งแวดล้อมและทรัพยากร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ได้อำนวยความสะดวกในการทดลองต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ ความดีหรือประโยชน์ทั้งหลายของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขออุทิศแด่บุพการี ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำย่อ

Amn - N	Ammonium - Nitrogen
COD	Chemical Oxygen Demand
Cen Eff	Centrifuged Effluent
Eff	Effluent
GPR	Gas Production Rate
Inf	Influent
MISS	Mixed Liquor Suspended Solids
MLVSS	Mixed Liquor Volatile Suspened Solids
Org - N	Organic - Nitrogen
SS	Suspened Solids
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
VFA	Volatile Fatty Acids
VSS	Volatile Suspened Solids

คำศัพท์

กรดอินทรีย์	Volatile Fatty Acids
แบกทีเรียพวกสร้างกรด	Acid Formers
แบกทีเรียพวกสร้างมีเทน	Methane Formers
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์	Organic Loading
เวลาในการกำจัด	Hydraulic Retention Time

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ..... ค

คำย่อ คำศัพท์..... ฆ

สารบัญเรื่อง..... ง

สารบัญตาราง..... ฉ

สารบัญรูป..... ญ

บทที่

1. บทนำ..... 1

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย..... 3

3. ทฤษฎีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนอิสระ..... 4

3.1 กล่าวนำ..... 4

3.2 ทฤษฎีพื้นฐานระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนอิสระ..... 4

3.2.1 ปฏิกิริยาชีวเคมีในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนอิสระ..... 4

3.2.2 ปฏิกิริยาชีวเคมีการย่อยทำลายซัลเฟต..... 9

3.2.3 ปฏิกิริยาชีวเคมีการย่อยสลายไนเตรท..... 10

3.3 สภาวะแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการหมัก..... 10

3.3.1 อุณหภูมิ..... 10

3.3.2 พีเอช..... 12

3.3.3 ความเป็นด่าง..... 12

หน้า

3.3.4 กรดอินทรีย์..... 13
3.3.5 ธาตุอาหารเสริมสร้าง..... 14
3.3.6 สารพิษ..... 14
3.3.7 การเติม..... 15
3.3.8 การกวนผสม..... 16
3.4 รูปแบบระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนอิสระ..... 16
3.4.1 ระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนอิสระแบบดั่งเดิม..... 16
3.4.2 ระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนอิสระแบบประสิทธิภาพสูง..... 19
3.5 ลักษณะการทำงานของระบบหมักแบบสองขั้นตอน..... 26
3.6 การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้ทำมาแล้ว..... 29
4. การวางแผนการทดลองและวิจัย..... 32
4.1 แผนการทดลอง..... 32
4.1.1 การทดลองขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์..... 32
4.1.2 การทดลองขั้นตอนการหมักมีเทน..... 32
4.1.3 การทดลองการหมักแบบขั้นตอนเดียว..... 36
4.2 วิธีเริ่มการทดลอง..... 36
4.2.1 การทดลองขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์..... 36
4.2.2 การทดลองขั้นตอนการหมักมีเทน..... 37
4.2.3 การทดลองการหมักแบบขั้นตอนเดียว..... 37
4.3 น้ำเสียที่ใช้ทดลอง..... 37

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 38
4.4.1 ถังหมัก..... 38
4.4.2 ถังพักน้ำเสียแป้งมันสำปะหลัง..... 38
4.4.3 ถังตกตะกอน..... 38
4.4.4 เครื่องสูบป้อนสารอาหารและเครื่องสูบตะกอนกลับ..... 41
4.4.5 เครื่องตั้งเวลา..... 41
4.4.6 เครื่องวัดปริมาตรก๊าซ..... 41
4.4.7 เครื่องควบคุมพีเอช..... 41
4.4.8 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ..... 41
4.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์..... 42
5. ผลการทดลองและวิจารณ์..... 44
5.1 ระยะเวลาในการทดลอง..... 44
5.2 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง..... 44
5.3 ผลการทดลอง..... 45
5.3.1 ผลการทดลองการหมักกรดอินทรีย์..... 46
5.3.1.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์..... 47
5.3.1.2 อัตราการผลิตกรดอินทรีย์..... 51
5.3.1.3 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นกรดอินทรีย์ 52
5.3.1.4 การเกิดก๊าซมีเทน..... 53
5.3.1.5 สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์.. 55
5.3.1.6 ของแข็งแขวนลอยในระบบ..... 55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

5.3.1.7 การเปลี่ยนแปลงสารอาหารเสริมในถังหมักกรดอินทรีย์..... 57

5.3.1.8 อิทธิพลพีเอชต่อการหมักกรดอินทรีย์..... 59

5.3.1.9 เสถียรภาพการทำงานและปัญหา..... 61

5.3.2 ผลการทดลองการหมักมีเทน..... 62

5.3.2.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์..... 62

5.3.2.2 การผลิตก๊าซชีวภาพ..... 67

5.3.2.3 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน. 67

5.3.2.4 ประสิทธิภาพการลดกรดอินทรีย์..... 69

5.3.2.5 ของแข็งแขวนลอยในระบบ..... 71

5.3.2.6 ของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งของระบบ..... 72

5.3.2.7 ค่าพีเอช..... 73

5.3.2.8 สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการหมักมีเทน..... 75

5.3.2.9 การเปลี่ยนแปลงสารอาหารเสริมในถังหมักมีเทน. 75

5.3.2.10 เสถียรภาพการทำงาน..... 77

5.3.3 ลักษณะสมบัติของแบกทีเรีย..... 77

5.3.3.1 แบกทีเรียพวกสร้างกรด..... 80

5.3.3.2 แบกทีเรียพวกสร้างมีเทน..... 81

5.3.4 ผลการทดลองระบบหมักแบบสองขั้นตอน..... 82

5.3.5 ผลการทดลองระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว..... 82

5.3.5.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์..... 87

หน้า

5.3.5.2 กรดอินทรีย์..... 90
5.3.5.3 การเกิดก๊าซชีวภาพ..... 92
5.3.5.4 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน. 92
5.3.5.5 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบ..... 94
5.3.5.6 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว 96
5.3.5.7 การเปลี่ยนแปลงสารอาหารเสริม..... 97
5.3.5.8 เสถียรภาพการทำงาน..... 97
5.4 เปรียบเทียบระบบหมักแบบสองขั้นตอนกับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว.... 100
5.5 แนวทางประยุกต์ใช้หลักการหมักแบบสองขั้นตอน..... 103
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 105
6.1 สรุปผลการทดลอง..... 105
6.1.1 การทดลองขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์..... 105
6.1.2 การทดลองขั้นตอนการหมักมีเทน..... 106
6.1.3 การทดลองการหมักแบบขั้นตอนเดียว..... 106
6.1.4 เปรียบเทียบระบบหมักแบบสองขั้นตอนกับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว..... 107
6.2 ข้อเสนอแนะ..... 107
เอกสารอ้างอิง..... 109
ภาคผนวก..... 113
ประวัติผู้วิจัย..... 152

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ระดับความเข้มข้นสารต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายต่อแบกทีเรียในระบบหมักแบบไร้ออกซิเจนอิสระ..... 15

ตารางที่ 3.2 ประสิทธิภาพการบำบัดของบ่อหมักสำหรับน้ำเสียประเภทต่าง ๆ... 18

ตารางที่ 3.3 ประสิทธิภาพระบบ Anaerobic Filter ขั้นห้องปฏิบัติการ..... 21

ตารางที่ 3.4 ประสิทธิภาพระบบ Anaerobic Contact Process..... 22

ตารางที่ 3.5 ประสิทธิภาพระบบ UASB สำหรับน้ำเสียประเภทต่าง ๆ..... 24

ตารางที่ 3.6 ประสิทธิภาพระบบ Anaerobic Fluidized Bed สำหรับน้ำเสียต่าง ๆ 25

ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว กับระบบหมักแบบสองขั้นตอน จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ..... 29

ตารางที่ 4.1 แผนการทดลองขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์..... 34

ตารางที่ 4.2 แผนการทดลองขั้นตอนการหมักมีเทน..... 34

ตารางที่ 4.3 แผนการทดลองการหมักแบบขั้นตอนเดียว..... 36

ตารางที่ 4.4 ค่าดรรชนีที่ทำการวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์..... 43

ตารางที่ 5.1 ลักษณะของน้ำเสียรวมจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิดสลัดแห้ง (เกรดหนึ่ง)..... 45

ตารางที่ 5.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียแป้งมันสำปะหลังที่เก็บมาจากเครื่องแยก.. 46

ตารางที่ 5.3 ค่าเฉลี่ยตัวแปรที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ ในการทดลองการหมักกรดอินทรีย์ โดยควบคุมพีเอชให้เป็นกลาง..... 48

หน้า

ตารางที่ 5.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ อัตราการผลิตกรดอินทรีย์ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นกรดอินทรีย์ เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในการทดลองการหมักกรดอินทรีย์ ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 49

ตารางที่ 5.5 การเปลี่ยนแปลงและการใช้สารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 58

ตารางที่ 5.6 ประสิทธิภาพการผลิตกรดอินทรีย์ ที่เวลาในการกำจัด 1 วัน ระหว่างระบบที่มีการควบคุมพีเอช และระบบที่ไม่มีการควบคุมพีเอช..... 60

ตารางที่ 5.7 ค่าเฉลี่ยตัวแปรที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ ในการทดลองการหมักมีเทน..... 63

ตารางที่ 5.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ การผลิตก๊าซชีวภาพ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน และประสิทธิภาพการลดกรดอินทรีย์ ในการทดลองการหมักมีเทนที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 66

ตารางที่ 5.9 การเปลี่ยนแปลงสารอาหารเสริมในการหมักมีเทน ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ 76

ตารางที่ 5.10 ผลการทดลองประสิทธิภาพระบบหมักแบบสองขั้นตอน ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ 83

ตารางที่ 5.11 ผลการทดลองประสิทธิภาพระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 85

ตารางที่ 5.12 ผลการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ กรดอินทรีย์ การเกิดก๊าซชีวภาพ และประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน ในระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว..... 88

หน้า

ตารางที่ 5.13 การเปลี่ยนแปลงสารอาหารเสริมในระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 98

ตารางที่ 5.14 ผลการทดลองและประสิทธิภาพการทำงาน ระบบหมักแบบสองขั้นตอน ที่เวลาในการกำจัด 6 วัน..... 101

ตารางที่ 5.15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบหมักแบบสองขั้นตอนกับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว..... 102

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนขั้นตอน Hydrolysis และ Acidogenesis	6
3.2	การเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์โดยแบกทีเรียภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนอิสระ.....	8
3.3	อิทธิพลอุณหภูมิต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนอิสระ.....	11
3.4	ระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนอิสระแบบดั้งเดิม.....	17
3.5	ระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนอิสระแบบประสิทธิภาพสูง.....	20
3.6	ระบบ UASB แบบสองขั้นตอนสำหรับน้ำกากส่าโรงงานสุรากรมสรรพสามิต	27
3.7	ระบบหมักแบบสองขั้นตอน	28
4.1	ระบบถังหมักแบบ Anaerobic Activated Sludge	33
4.2	ผังการติดตั้งของระบบในขั้นตอนการหมักมีเทน (การหมักแบบสองขั้นตอน)	35
4.3	ขนาดและรูปร่างถังหมักที่ใช้ในการทดลอง.....	39
4.4	ขนาดและรูปร่างถังตกตะกอนที่ทำด้วยกระบอกแก้ว.....	40
4.5	ขนาดและรูปร่างถังตกตะกอนที่ทำด้วยแผ่นอาร์คิลิคใส.....	40
5.1	ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	50
5.2	อัตราการผลิตกรดอินทรีย์ของขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	51
5.3	ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นกรดอินทรีย์ของขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์ ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	52

รูปที่ หน้า

5.4 องค์ประกอบของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ของขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์ ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 54

5.5 แสดงช่วงสภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์ โดยพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ อัตราการผลิตกรดอินทรีย์ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นกรดอินทรีย์และการเกิดก๊าซมีเทน..... 56

5.6 ของแข็งแขวนลอยในระบบของขั้นตอนการหมักกรดอินทรีย์ ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 57

5.7 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของขั้นตอนการหมักมีเทน ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 65

5.8 การผลิตก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ของขั้นตอนการหมักมีเทน ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 68

5.9 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทนของขั้นตอนการหมัก ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 69

5.10 ประสิทธิภาพการลดกรดอินทรีย์ ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่เข้าถังหมักและความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่ออกจากถังตกตะกอน ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 70

5.11 ของแข็งแขวนลอยในระบบของขั้นตอนการหมักมีเทน ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 71

5.12 ของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งที่เข้าถังหมักและของแข็งแขวนลอยที่หลุดออกไปกับน้ำทิ้งของระบบซึ่งผ่านถังตกตะกอนแล้วของขั้นตอนการหมักมีเทน ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ..... 72

5.13 ค่าพีเอชในถังหมัก พีเอชในน้ำทิ้งที่ป้อนเข้าสู่ถังหมักและพีเอชในน้ำทิ้งที่ออกจากถังตกตะกอนของขั้นตอนการหมักมีเทน ที่เวลาในการกำจัดต่างๆ 74

รูปที่		หน้า
5.14	ความสามารถในการตกตะกอนของแบกทีเรียพวกสร้างกรด.....	78
5.15	ความสามารถในการตกตะกอนของแบกทีเรียพวกสร้างมีเทน.....	79
5.16	ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของขั้นตอนการหมักแบบขั้นตอนเดียว ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	89
5.17	ปริมาณกรดอินทรีย์ในระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	91
5.18	การผลิตก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบของก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	93
5.19	ประสิทธิภาพการเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทนในระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	94
5.20	ของแข็งแขวนลอยในระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว ที่เวลาในการกำจัดต่าง ๆ.....	95

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย