การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ

นางสาว มาลี วิศวาจารย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531

ISBN 974-569-372-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014487

ก74ธ๕๒๑ก

UTILIZATION OF DISTILLERY SLOP ON BIOGAS PRODUCTION

Miss Malee Wissawacharn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Inter-Department Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

1988

ISBN 974-569-372-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ
โดย	นางสาวมาลี วิศวาจารย์
สหสาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนูญ โรจนะบุรานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วีรวรรณ ปัทมาภิรัต)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาลี วิศวาจารย์ : การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ (UTILIZATION OF DISTILLERY SLOP ON BIOGAS PRODUCTION) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.ธีระ เกรอต, 109 หน้า.

การศึกษาการใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ ทำโดยใช้ถังหมักรูปทรงกระบอกติดตั้งในแนวนอน ถังหมักทำด้วยเหล็กไร้สนิมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.33 เมตร ยาว 0.60 เมตร ลักษณะเป็นแบบกวนสมบูรณ์ น้ำกากส่าที่ใช้นำมาจากโรงงานสุรา จังหวัดอยุธยา พารามิเตอร์ควบคุมที่ศึกษา ได้แก่ อัตราการรับสารอินทรีย์ และระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อแปรอัตราการรับสารอินทรีย์ในช่วง 2.31 ถึง 7.41 กก. COD ต่อลบ.ม.-วัน และระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งในช่วง 6.67 ถึง 11.11 วัน อัตราการรับสารอินทรีย์ที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด คือ 5.52 กก.COD ต่อลบ.ม.-วัน ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 11.11 วัน โดยให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 0.31×10^{-3} ลบ.ม.ต่อ กก.COD ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ หรือ 0.58×10^{-2} ลบ.ม. ต่อ กก.COD ที่ถูกกำจัดก๊าซชีวภาพที่ได้มีก๊าซมีเทนร้อยละ 65.5 และมีประสิทธิภาพการกำจัด COD ร้อยละ 54 ปริมาณ COD ที่ถูกกำจัดเท่ากับ 2.98 กก.ต่อลบ.ม.-วัน และเมื่อแปรระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งในช่วง 6.67 ถึง 13.33 วัน ที่อัตราการรับสารอินทรีย์คงที่ 5.43 กก.COD ต่อ ลบ.ม.-วัน พบว่าการผลิตก๊าซ-ชีวภาพ และประสิทธิภาพการกำจัด COD มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดได้แก่ 13.33 วัน ซึ่งให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 0.37×10^{-2} ลบ.ม. ต่อ กก.COD ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ หรือ 0.55×10^{-2} ลบ.ม.ต่อ กก.COD ที่ถูกกำจัด ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีก๊าซมีเทนร้อยละ 67.5 และประสิทธิภาพการกำจัด COD ร้อยละ 68.0

ภาควิชา สหสาขา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

MALEE WISSAWACHARN : UTILIZATION OF DISTILLERY SLOP ON BIOGAS PRODUCTION. THESIS ADVISOR : PROF. SOMSAK DAMRONGLERD, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. THEERA KAROT, Ph.D., 109 PP.

The utilization of distillery slop on biogas production was studied by using the horizontal cylindrical digester. The digester was made of stainless-steel having a diameter of 0.33 m. and a length of 0.60 m. It was a completely mixed type. The slop from Ayuthaya Distillery was used as raw wastewater. The control parameters studied were organic loading and hydraulic retention time.

The experimental results showed that, when organic loading was varied in the range of 2.31 to 7.41 kg.COD/m^3-day and hydraulic retention time was varied in the range of 6.67 to 11.11 days, the organic loading of 5.52 kg.COD/m^3-day with hydraulic retention time 11.11 days could produce the heighest amount of biogas which was 0.31×10^{-2} $m.^3$/kg.COD applied or 0.58×10^{-2} $m.^3$/kg. COD removed. The biogas contained methane gas of 65.5 percent. The efficiency of COD removal was 54 percent. The amount of COD removed was 2.98 kg./m^3-day. And when hydraulic retention time was varied in the range of 6.67 to 13.33 days while keeping a constant organic loading of 5.43 kg.COD/m^3-day, it was found that the biogas production and COD removal efficiency were increased with the increase of hydraulic retention time. The hydraulic retention time which gave the heighest amount of biogas was 13.33 days. The amount of biogas produced was 0.37×10^{-2} $m.^3$/kg.COD applied or 0.55×10^{-2} $m.^3$/kg.COD removed. The biogas contained methane gas of 67.5 percent. And the efficiency of COD removal was 68.0 percent.

ภาควิชา สหสาขา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของท่านต่าง ๆ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณ ดังรายนามต่อไปนี้

1. ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ได้กรุณาให้คำแนะนำ และคำปรึกษาปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนช่วยจัดหาอุปกรณ์ในการวิจัยนี้ให้

2. รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยนี้

3. ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่องค์การสุรา กรมสรรพสามิต ซึ่งได้กรุณาจัดส่งน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา จังหวัดอยุธยามาให้ตลอดการวิจัยนี้

4. อาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความเอื้อเฟื้อ สถานที่ และอุปกรณ์การทดลองบางส่วนในการวิจัยนี้

5. คุณสังข์ ชมชื่น เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้ช่วยจัดสร้างและซ่อมแซมปรับปรุงอุปกรณ์การวิจัยนี้ ให้ด้วยดีตลอดมา

และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ส่วนใหญ่ได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายสุดประโยชน์หรือคุณค่าใด ๆ ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบให้มารดาและพี่สาว ซึ่งได้เป็นกำลังใจและส่งเสริมการศึกษาของผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฏ
สารบัญรูป ..... ฏ
คำย่อและนิยาม ..... ฒ

บทที่

1. บทนำ 1
   1.1 ความเป็นมา 1
   1.2 วัตถุประสงค์ 2
   1.3 ขอบเขตการวิจัย 2
   1.4 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย 3

2. ทฤษฎีและการศึกษาที่ผ่านมา 4
   2.1 กรรมวิธีการผลิตสุรา (Distilleries Processes) 4
      2.1.1 การหมักกากน้ำตาล (Fermentation) 4
      2.1.2 การกลั่นแอลกอฮอล์ (Distillation) 4
      2.1.3 การผลิตสุราขาว (Raw Alcohol Production) ... 6
      2.1.4 การผลิตสุราผสม (Blended Liquor Production) 6
   2.2 ประเภทน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา 6
      2.2.1 น้ำทิ้งประเภทเข้มข้น 6
      2.2.2 น้ำทิ้งประเภทเจือจาง 6

บทที่ หน้า

2.3 คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา 6
2.4 ปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน (Biochemistry of Anaerobic Digestion) 8
2.4.1 Hydrolysis 8
2.4.2 Acid Production 8
2.4.3 Methane Production 10
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการหมักแบบไร้ออกซิเจน (Factors Affecting Anaerobic Digestion) 14
2.5.1 ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental factors) 14
- พีเอช (pH) 14
- ความเป็นด่าง (Alkalinity) 16
- ความเข้มข้นของกรดระเหย (Volatile Acids Concentration)..... 18
- อุณหภูมิ (Temperature) 18
- อาหารเสริม (Nutrient Availability) 19
- สารพิษ (Toxic Materials) 20
ก) พิษของเกลืออนินทรีย์ (Inorganic Salt Toxicity) 20
ข) พิษของโลหะหนัก (Heavy Metal Toxicity) 22
ค) พิษของก๊าซบางชนิด 25
ง) พิษของสารอินทรีย์ (Organic Materials Toxicity) 26
2.5.2 ปัจจัยทางด้านการปฏิบัติงาน (Operational factors) 27
- ระยะเวลาในการหมัก (Retention Time) 27
- ความเข้มข้นของสารอาหาร (Substrate Concentration) 28

บทที่ หน้า

- อัตราการป้อนสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) 28
- การเจือจาง (Dilution) 29
- การกวน (Mixing) 29

2.6 องค์ประกอบและปริมาณก๊าซที่ได้ (Gas Composition and Gas Yield) 31

2.7 วิธีการทำงานของระบบ (Mode of Operations) 33

2.7.1 ทำงานแบบครั้งคราว (Batch Operation) 33

2.7.2 ทำงานแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous Process) 33

2.7.3 ทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) 35

2.8 การศึกษาที่ผ่านมา 36

3. แผนการวิจัยและวิธีการ 39

3.1 คุณลักษณะของน้ำกากส่าที่ใช้ทดลอง 39

3.2 แผนการวิจัย 39

3.3 การเก็บตัวอย่าง 42

3.3.1 น้ำทิ้งจากโรงงาน 42

3.3.2 น้ำทิ้งในการทดลอง 43

3.4 วิธีการวิเคราะห์ 43

3.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ 46

3.5.1 ถังหมัก (Digester) 46

3.5.2 เครื่องสูบน้ำกากส่าเข้าระบบ 46

3.5.3 เครื่องตั้งเวลา (Timer) 46

3.5.4 เครื่องวัดก๊าซ (Gas Meter) 49

3.5.5 ถังเตรียมน้ำกากส่าเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบ 49

3.5.6 ถังใส่น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ 49

3.6 การทดลองเริ่มต้น 51

3.7 การเก็บข้อมูล 51

บทที่ หน้า

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ 52
4.1 การผสมในถังหมัก 52
4.2 ผลของอัตราการรับสารอินทรีย์ 52
4.2.1 พีเอช ความเข้มข้นของกรดระเหยและค่าความเป็นด่าง.. 52
4.2.2 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหย 63
4.2.3 ประสิทธิภาพในการกำจัด COD 67
4.2.4 การผลิตก๊าซ 69
4.2.5 ความเป็นพิษของเกลืออนินทรีย์ 70
4.3 ผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 73
4.3.1 พีเอช ความเข้มข้นของกรดระเหย และค่าความเป็นด่าง. 73
4.3.2 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหย 76
4.3.3 ประสิทธิภาพการกำจัด COD 76
4.3.4 การผลิตก๊าซ 76
4.3.5 ความเป็นพิษของเกลืออนินทรีย์ 77
5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 82
5.1 สรุปผลการวิจัย 82
5.2 ข้อเสนอแนะ 83
เอกสารอ้างอิง 84
ภาคผนวก 90
ประวัติผู้เขียน 109

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณภาพของน้ำเสีย ประเภทต่าง ๆ ของโรงงานต้มกลั่นสุรา 32 แห่ง ทั่วราชอาณาจักร	7
2.2	ชนิดของจุลชีพที่สร้างกรด (Non-methanogenic Bacteria) ที่พบในถังหมักแบบไร้ออกซิเจน	11
2.3	ชนิดของจุลชีพที่สร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) ที่พบในถังหมักแบบไร้ออกซิเจน	13
2.4	ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของระบบการหมักแบบไร้ออกซิเจน	15
2.5	ปริมาณอิออนบวกของเกลืออนินทรีย์ที่มีอิทธิพลต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน	22
2.6	ปรากฏการณ์ Antagonism และ Synergism ของอิออนบวกในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน	23
2.7	ขีดความเป็นพิษของโลหะหนักในระบบการหมักแบบไร้ออกซิเจน	25
2.8	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของก๊าซมีเทน (Physical and Chemical Properties of Methane)	32
2.9	ผลงานวิจัยการหมักน้ำกากส่าที่นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาผ่านมา	38
3.1	ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำกากส่าจากโรงงานสุราขององค์การสุรากรมสรรพสามิต จังหวัดอยุธยา ตลอดระยะเวลาการทดลอง	40
3.2	ตัวแปรต่าง ๆ ในการวิจัย	41
3.3	แผนการทดลองและตัวแปรต่าง ๆ ในการวิจัย	42
3.4	ตัวแปรต่าง ๆ และความถี่ในการวิเคราะห์	44
4.1	ผลของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตาม	58
4.2	ผลของอัตราการรับสารอินทรีย์ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 6.67 วัน, อัตราน้ำทิ้งไหลเข้าสู่ระบบ 6.0×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	59
4.3	ผลของอัตราการรับสารอินทรีย์ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 11.11 วัน, อัตราน้ำทิ้งไหลเข้าสู่ระบบ 3.6×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวัน	60
4.4	ผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งที่อัตราการรับสารอินทรีย์คงที่เฉลี่ย 5.43 กก.COD ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน	74

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตสุราและจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา	5
2.2	การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนของของเสียอินทรีย์ (Anaerobic Digestion of Organic Wastes)	9
2.3	การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์โดยปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน	12
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชและความเข้มข้นของไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 30 °C	17
2.5	ผลของอุณหภูมิต่อการผลิตก๊าซ	19
2.6	ผลของเกลือหรือสารอื่น ๆ ต่อปฏิกิริยาการทำงานในระบบไร้ออกซิเจน ..	21
2.7	การควบคุมความเป็นพิษของโลหะหนักโดยการตกตะกอนด้วยซัลไฟด์	24
2.8	ความสัมพันธ์ของอัตราการรับสารอินทรีย์, ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ และ HRT ในถังหมัก	30
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง F, M, F/M กับเวลาของระบบแบบครั้งคราว (Batch Process)	34
2.10	ความสัมพันธ์ระหว่าง F, M, F/M กับเวลาของระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous Process)	34
2.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง F. M. F/m กับเวลาของระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Process)	35
3.1	A, B, C แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในถังหมักและที่ออกจากถังหมัก	45
3.2	ลักษณะของถังหมักแบบไร้ออกซิเจนที่ใช้ในการทดลอง	47
3.3	ขนาดของถังหมักและลักษณะของชุดกวนภายในถังหมัก	48
3.4	เครื่องวัดก๊าซ (Gas Meter)	50
4.1	สภาพของ pH, Alkalinity, Volatile Acids ณ จุดต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง (HRT) 6.67 วัน, อัตราการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading) 2.77 กก.COD ต่อลบ.ม.-วัน	54

รูปที่ หน้า

4.2 สภาพของ pH, Alkalinity, Volatile Acids ณ จุดต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง (HRT) 11.11 วัน, อัตราการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading) 3.17 กก.COD ต่อลบ.ม. 55

4.3 การเปลี่ยนแปลงของ Volatile Acids, Alkalinity, pH, Volatile Acids/Alkalinity Ratio ของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบตลอดการทดลอง. 56

4.4 การเปลี่ยนแปลงของของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid, SS) และของแข็งแขวนลอยระเหย (Volatile Suspended Solid, VSS) ของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบตลอดการทดลอง 57

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Volatile Acids, Alkalinity, pH, Volatile Acids/Alkalinity Ratio และอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 6.67 วัน 61

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Volatile Acids, Alkalinity, pH, Volitile Acids/Alkalinity Ratio และอัตราการรับสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 11.11 วัน 62

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid, SS), ของแข็งแขวนลอยระเหย (Volatile Suspended Solid, VSS) และอัตราการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading) ต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง (HRT) 6.67 วัน 64

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid, SS), ของแข็งแขวนลอยระเหย (Volatile Suspended Solid, VSS) และอัตราการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading) ต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง (HRT) 11.11 วัน 65

4.9 เปรียบเทียบของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid, SS) และของแข็งแขวนลอยระเหย (Volatile Suspended Solid, VSS) ของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบที่อัตราการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading) ต่าง ๆ ของระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง (HRT) 6.67 วัน และ 11.11 วัน 66

รูปที่ หน้า

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด COD (Efficiency of COD Removal) และอัตราการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading) ต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง (HRT) 6.67 วัน และ 11.11 วัน 68

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซ (Gas Production) และอัตราการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading) ต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 6.67 วัน และ 11.11 วัน 71

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซมีเทน (Methane Production) และอัตราการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading) ต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 6.67 วัน และ 11.11 วัน 72

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Volatile Acids, Alkalinity, pH, Volatile Acids/Alkalinity Ratio และระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งต่าง ๆ ที่อัตราการรับสารอินทรีย์คงที่เฉลี่ย 5.43 กก.COD ต่อลบ.ม.-วัน 75

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid, SS), ของแข็งแขวนลอยระเหย (Volatile Suspended Solid, VSS) และระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง (HRT) ต่าง ๆ ที่อัตราการรับสารอินทรีย์คงที่เฉลี่ย 5.43 กก.COD ต่อลบ.ม.-วัน 78

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัด COD (Efficiency of COD Removal) และระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง (HRT) ต่าง ๆ, อัตราการรับสารอินทรีย์คงที่เฉลี่ย 5.43 กก.COD ต่อลบ.ม.-วัน 79

4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซ (Gas Production) และระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง (HRT) ต่าง ๆ, อัตราการรับสารอินทรีย์คงที่เฉลี่ย 5.43 กก.COD ต่อลบ.ม.-วัน 80

4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตก๊าซมีเทน (Methane Production) และระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง (HRT) ต่าง ๆ, อัตราการรับสารอินทรีย์คงที่เฉลี่ย 5.43 กก.COD ต่อลบ.ม.-วัน 81

คำย่อและนิยาม

1. pH (Positive Potential of the Hydrogen Ions) = พีเอช เป็นค่าแสดงปริมาณความเข้มข้นของโปรตอน $[H^+]$ ในน้ำทิ้ง ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$pH = - \log [H^+]$$

ถ้า pH = 7 แสดงว่าน้ำทิ้งมีสภาพเป็นกลาง

pH > 7 แสดงว่าน้ำทิ้งมีสภาพเป็นด่าง

pH < 7 แสดงว่าน้ำทิ้งมีสภาพเป็นกรด

2. Alk. (Alkalinity) = สภาพความเป็นด่าง หมายถึงความสามารถของน้ำทิ้งในการรับโปรตอน สภาพความเป็นด่างส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากองค์ประกอบของสารละลายไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) คาร์บอเนต ($CO_3^=$) และไฮดรอกไซด์ (OH^-)

3. VA (Volatile Acids) = กรดระเหย หมายถึงกรดอินทรีย์ที่ละลายในน้ำได้ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีจำนวนอะตอมของคาร์บอนไม่เกิน 6 อะตอม เช่น กรดอะเซติก (acetic acid) กรดบิวไทริค (butyric aicd) เป็นต้น

4. TS (Total Solid) = ของแข็งทั้งหมด หมายถึง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เหลืออยู่ภายหลังการระเหยน้ำออกหมดแล้ว และอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

5. TVS หรือ VS (Total Volatile Solid) = ของแข็งระเหยทั้งหมด หมายถึง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่สลายเป็นไอไปได้ เมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 °C เป็นเวลา 15-20 นาที ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์

6. SS (Suspended Solid) = ของแข็งแขวนลอย หมายถึง ส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ หรือของแข็งที่สามารถกรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C) แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

7. VSS (Volatile Suspended Solid) = ของแข็งแขวนลอยระเหย หมายถึง SS ส่วนที่สลายเป็นไอไปได้ เมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 °C เป็นเวลา 15-20 นาที

8. TDS (Total Dissolved solid) = ของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ ซึ่งหาได้จาก TS - TSS หรือนำน้ำที่ได้จากการกรองหา TSS มาระเหยน้ำออกจนหมด แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C

9. COD (Chemical Oxygen Demand) = ซีโอดี หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการย่อย-สลายสารอินทรีย์โดยกระบวนการทางเคมี

10. BOD (Biological Oxygen Demand) = บีโอดี หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกระบวนการทางชีววิทยา ปกตินิยมค่าที่ 5 วัน (BOD_5) และอุณหภูมิ 20 °C

11. Total-N (Total Nitrogen) = ไนโตรเจนทั้งหมด หมายถึง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง ซึ่งมักอยู่ในรูปสารอินทรีย์รวมกับไนโตรเจนแอมโมเนีย

12. NH_3-N (Ammonia Nitrogen) = ไนโตรเจนแอมโมเนีย หมายถึง ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารประกอบแอมโมเนียมหรือในรูปก๊าซแอมโมเนีย

13. Organic-N (Organic Nitrogen) = ไนโตรเจนอินทรีย์ หมายถึง ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์

14. Total-P (Total Phosphorus) = ฟอสฟอรัสทั้งหมด หมายถึง ฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง

15. HRT (Hydraulic Retention Time) = ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง หมายถึง ระยะเวลาโดยทฤษฎีที่ของเหลวอยู่ในระบบมีค่าเท่ากับปริมาตรของถังหมักที่ใช้งานหารด้วยปริมาณของสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบในแต่ละวัน

16. SRT (Solid Retention Time) = ระยะเวลาเก็บกักตะกอน หมายถึง ระยะเวลาโดยทฤษฎีที่เซลล์ของจุลชีพอยู่ในระบบ มีค่าเท่ากับมวลของจุลชีพทั้งหมดภายในถังหมักหารด้วยมวลของจุลชีพที่ออกจากถังหมักในแต่ละวัน

17. OL (Organic Loading) = อัตราการป้อนสารอินทรีย์ หมายถึง ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบในแต่ละวัน โดยวัดออกมาในรูป TVS, BOD หรือ COD ต่อปริมาตรของถังหมักที่ใช้งานต่อวัน

18. VA/Alkalinity Ratio = อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของกรดระเหยและค่าความเป็นด่าง