

## การผลิตก๊าซชีวภาพจากสิ่งปฏิกูล

### Biogas Production from Excreta

ศุภานันท์ รัฐเมือง,<sup>1</sup> สุนันธา เลาววันยศิริ,<sup>2</sup> กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา<sup>3</sup>

Supanat Rathamuang,<sup>1</sup> Sunantha Laowansiri,<sup>2</sup> Kannika Chookietwattana<sup>3</sup>

Received: 8 May 2014 ; Accepted: 15 August 2014

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากสิ่งปฏิกูล โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 ศึกษาในสภาวะควบคุม โดยทดลองในขวดเซรัมขนาด 120 มิลลิลิตรใช้ตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ของโรงงานแปรงมันสำปะหลัง ที่ Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (MLVSS) เท่ากับ 2 กรัมต่อลิตร ใส่ลงไปในขวดเซรัม 30 มิลลิลิตร แล้วเติมสิ่งปฏิกูลลงไปในช่วงเซรัม 70 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นสิ่งปฏิกูลมีค่าซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตรทำการบ่มที่อุณหภูมิ  $37 \pm 1.0$  องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 วัน ระยะที่ 2 เป็นการเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองในระยะที่ 1 มาทดลองจริงในระบบ Covered Lagoon แบบไร้อากาศ ปริมาตร 8 ลูกบาศก์เมตร ที่ระยะเวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 45 วัน เติมสิ่งปฏิกูลทุกๆ วัน วันละ 88 ลิตรต่อวัน ที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการทดลองแบบกะ (Batch Test)

ผลการทดลองระยะที่ 1 ความเข้มข้นซีโอดีของสิ่งปฏิกูลเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 45 วัน สามารถลดซีโอดีได้สูงสุด 3,857.14 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ  $69.05 \pm 0.8$  ปริมาณก๊าซชีวภาพและร้อยละก๊าซมีเทนมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มข้นซีโอดีและระยะเวลาของการหมักที่เพิ่มขึ้นโดยตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิ ที่ระยะเวลา 5-30 วัน ซึ่งพยาธิและไข่พยาธิที่ตรวจพบคือ *Entamoeba coli* เป็นโปรโตซัวที่ทำให้เป็นโรคอุจจาระร่วง, *Opisthorchis viverrini* (พยาธิใบไม้ตับ), *Teaniaspp.* (พยาธิตัวตืด) และ *Ascaris lumbricoides* (พยาธิไส้เดือน) ส่วนที่ระยะเวลา 35-60 วัน ไม่มีการตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิโดยสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองระยะที่ 1 คือความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 45 วัน พบว่ามีการกำจัดซีโอดีสูงสุดและมีค่าการกำจัดซีโอดีต่อปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด โดยมีค่าการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 523.81 มิลลิกรัม และปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 8.0 มิลลิลิตร ซึ่งจะนำไปใช้ในระบบ Covered Lagoon ในระยะที่ 2 ต่อไปผลการทดลองระยะที่ 2 เลือกสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองในระยะที่ 1 มาทำการทดลองจริงในระบบ Covered Lagoon แบบไร้อากาศ พบว่าที่ระยะเวลา 45 วันประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีของสิ่งปฏิกูลสูงสุดเท่ากับร้อยละ  $53.17 \pm 0.70$  ระยะเวลาการติดไฟเท่ากับ 215 นาที ปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ  $2.15 \pm 1.10$  ลูกบาศก์เมตร (0.43 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) และร้อยละก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ  $67.17 \pm 1.3$  และ ส่วนปุ๋ย (ตะกอน) พบว่าปริมาณ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมของปุ๋ย (ตะกอน) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ  $1.71 \pm 0.03$ ,  $0.62 \pm 0.04$  และ  $0.65 \pm 0.02$  ตามลำดับที่ระยะเวลา 5-25 วัน ตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิคือ *Entamoeba coli* เป็นโปรโตซัวที่ทำให้เป็นโรคอุจจาระร่วง, *Opisthorchis viverrini* (พยาธิใบไม้ตับ), *Teaniaspp.* (พยาธิตัวตืด) และ *Ascaris lumbricoides* (พยาธิไส้เดือน) ในขณะที่ระยะเวลา 30-45 วัน ไม่มีการตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิ

**คำสำคัญ:** การผลิตก๊าซชีวภาพ สิ่งปฏิกูลชุมชน การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท, <sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>3</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>1</sup> Master degree student, <sup>2</sup> Assist. Prof., Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakhm 44150, Thailand.

<sup>3</sup> Assist. Prof., Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakhm 44150, Thailand.

\* Corresponding author: SupanatRathamuang, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakhm 44150, Thailand. E-mail: jija\_env@windowslive.com

## Abstract

The objective of this study is to assess production of biogas from human excreta through a two-phase experiment. The first phase is the study under controlled conditions, experimented in 120 ml serum bottles using the upflow anaerobic sludge blanket (UASB) from a cassava factory, having mixed liquor volatile suspended solids (MLVSS) of 2 g/l. The 30 ml sludge was poured into serum bottles and adjusted to have chemical oxygen demand (COD) of 1000, 2000, 4000 and 6000 mg/l. Excrete (70ml) was added. The mixtures were incubated at  $37\pm 1$  °C for 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 and 60 days. The second phase experimented using the optimum condition obtained from the first phase and applying it to a anaerobic covered lagoon system with a volume of 8 m<sup>3</sup> for 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 and 45 days and adding the excreta of 88 l/day every day to control COD concentration of 6000 mg/l. The experiment was batch test.

From the first phase, COD concentration of the excreta was reduced from 6000 mg/l to as low as 3,857.14 mg/l at 45 days, exhibiting the highest COD removal efficiency of  $69.05\pm 0.8\%$ . Biogas production and methane gas content were increasing with increasing COD and time. Parasites detected at 5-30 days were *Entamoeba coli*, *Opisthorchis viverrini* and *Teianiaspp.*, not detectable at 35-60 days. The optimum conditions for the first phase was COD concentration of 6000 mg/l at 45 days, exhibiting the highest COD removal efficiency, and COD removed per a unit of biogas production. Under the optimum conditions, the highest COD removal was 523.81 mg and biogas production was 8.0 ml, which were applied to the condition in the second phase. For the second phase, highest COD removal efficiency for the human excreta obtained from the anaerobic covered lagoon system at 45 days was  $53.17\pm 0.7\%$ , ignited time was 215 min, biogas production was  $2.15\pm 1.10$  m<sup>3</sup> ( $0.43$  m<sup>3</sup>/d) and methane content was  $67.17\pm 1.3\%$ . The fertilizer (sediment) contained nitrogen, phosphorus and potassium of  $1.71\pm 0.03\%$ ,  $0.62\pm 0.04\%$  and  $0.65\pm 0.02\%$ , respectively. On day 5<sup>th</sup> and 25<sup>th</sup> parasites detected were *Entamoeba coli*, *Opisthorchis viverrini*, *Teianiaspp.* and *Ascaris lumbricoides* and not be detectable at 30-45 days.

**Keywords:** Biogas, Excreta, Anaerobic wastewater treatment

## บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีจำนวนประชากรมากถึง 65.4 ล้านคน ซึ่งมีจำนวนมากเป็นอันดับที่ 4 ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้<sup>1</sup> เมื่อประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจึงมีความต้องการในการใช้ทรัพยากรสูงขึ้น และนอกจากนี้ยังมีปริมาณของสิ่งปฏิกูลเพิ่มมากขึ้นด้วย และเมื่อปี พ.ศ. 2553 สถานการณ์การกำจัดสิ่งปฏิกูลโดยกรมอนามัยพบว่า สิ่งปฏิกูลที่ไม่สามารถบำบัดได้มีมากถึงร้อยละ 79.5 ซึ่งหากปล่อยทิ้งไว้จะก่อให้เกิดมลพิษและสุขภาพเสื่อมโทรมในสภาวะไร้อากาศซึ่งจะได้ก๊าซมีเทนร้อยละ 50-80 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 5-20 และที่เหลือคือ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซออกซิเจน และก๊าซไซเนว โดยสิ่งปฏิกูลเป็นแหล่งกำเนิดของเชื้อโรคที่ติดต่อในระบบทางเดินอาหารและโรคหนองพยาธิที่สำคัญซึ่งมีอยู่หลายชนิด โดยเชื้อโรคต่างๆ เหล่านี้อาศัยอยู่ในทางเดินอาหารของคนและถูกขับถ่ายออกมาพร้อมอุจจาระ ปัสสาวะ ซึ่งอุจจาระมีจุลินทรีย์ที่สำคัญที่ทำให้เกิดโรค 3 ชนิด คือ ไวรัส แบคทีเรีย และโปรโตซัว โดยปกติจะติดต่อกันจากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่ง โดยการกินอาหารหรือดื่มที่

ปนเปื้อนด้วยอุจจาระเข้าไป ซึ่งถ้าไม่มีการบำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลอย่างถูกสุขลักษณะแล้ว เชื้อโรคเหล่านี้จะแพร่กระจายไปยังบุคคลอื่นๆ ส่งผลให้เกิดการแพร่ระบาดของโรคติดต่อขึ้นได้

จากปัญหาดังกล่าวนี้หากพิจารณาถึงองค์ประกอบของสิ่งปฏิกูล พบว่ามีอินทรีย์วัตถุประมาณร้อยละ 20 ไนโตรเจนประมาณร้อยละ 1 ฟอสฟอรัสประมาณร้อยละ 0.5 และโพแทสเซียมประมาณร้อยละ 0.37 ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การทำปุ๋ยหมัก และการผลิตก๊าซชีวภาพ

มีรายงานศึกษาการใช้วัสดุเหลือทิ้งมาผลิตก๊าซชีวภาพ เช่น ผลของการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม<sup>2</sup> การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียเทศบาลและการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาและหญ้าขี้ฉางที่ใช้บำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม<sup>3</sup>

ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาความเข้มข้นสิ่งปฏิกูลที่มีผลต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ และศึกษาคุณภาพ และ

ปริมาณก๊าซชีวภาพในระบบ Covered Lagoon และความเป็นไปได้ในการนำตะกอนจากการหมักสิ่งปฏิกูลไปใช้เป็นปุ๋ยหมัก นอกจากนี้ยังสามารถเป็นแนวทางในการจัดการสิ่งปฏิกูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

### การเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

สิ่งปฏิกูลที่มาทำการทดลองวิจัยในครั้งนี้นำมาจากรับบริการดูดส้วมทั่วไปในเขตอำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคามโดยนำสิ่งปฏิกูลมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น ให้มีความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

### ตะกอนจุลินทรีย์

ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นแบบไร้อากาศในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยนำมาใช้ในการทดลองระยะที่ 1 และ 2 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท เป็ดต้าฮวง ชลเจริญ จำกัด

### การปรับสภาพจุลินทรีย์

โดยนำตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศมาปรับสภาพซึ่งเป็นการทำให้จุลินทรีย์คุ้นเคยกับสิ่งปฏิกูลที่จะใช้ในการทดลองโดยนำตะกอนจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ มาเลี้ยงในถังขนาด 20 ลิตรใช้ตะกอนจุลินทรีย์ 1 ส่วนต่อน้ำ 2 ส่วนโดยในระยะเริ่มต้นจะค่อยๆ เติมสิ่งปฏิกูลลงไปจากที่ความเข้มข้นน้อยจนกระทั่งถึงความเข้มข้นสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง

### วิธีการทดลอง

ในการทดลองวิจัยครั้งนี้ใช้สิ่งปฏิกูลที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแต่ละความเข้มข้นจะทดลอง 3 ซ้ำ โดยจึงแบ่งเป็น 2 ระยะการทดลอง คือ

การทดลองระยะที่ 1 การศึกษาความเข้มข้นของสิ่งปฏิกูล โดยการศึกษาในระยะนี้ศึกษาในสภาวะควบคุม โดยทำในขวดเชอร์รี่ขนาด 120 มิลลิลิตรปริมาตรใช้งาน 100 มิลลิลิตร

ใส่จุลินทรีย์ไร้อากาศ 30 มิลลิลิตรเติมสิ่งปฏิกูล 70 มิลลิลิตร ใส่จุลินทรีย์แบบไร้อากาศ MLVSS 2 กรัมต่อลิตรโดยสิ่งปฏิกูลที่ใช้มีความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นพ่นก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์บริเวณช่องว่างด้านบนของปากขวดเชอร์รี่ เพื่อให้สภาพภายในขวดทดลองเป็นสภาพไร้อากาศแล้วปิดขวดด้วยจุกยาง และปิดทับจุกยางอีกที่ด้วยอะลูมิเนียมแล้วบ่มที่อุณหภูมิ  $37 \pm 1$  องศาเซลเซียส ทำการเก็บตัวอย่าง ทุกๆ 5 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน

การทดลองระยะที่ 2 เลือกสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองระยะที่ 1 มาทำการทดลองจริง โดยใช้ระบบ Covered Lagoon ปริมาตร 8 ลูกบาศก์เมตร

### วิธีวิเคราะห์

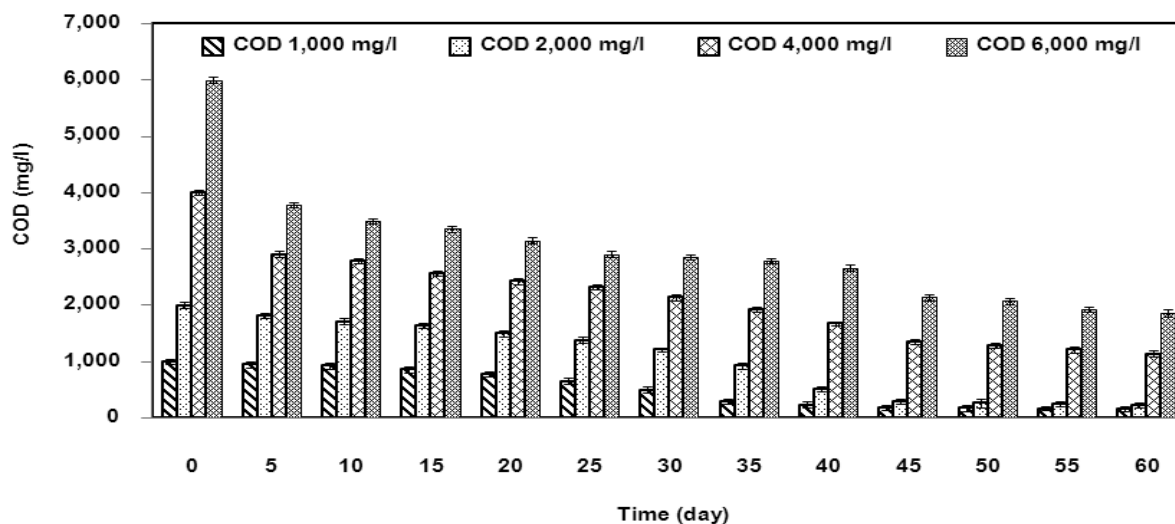
การวิเคราะห์ซีโอดี ตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater<sup>6</sup> ก๊าซชีวภาพใช้วิธีแทนทีในน้ำ ก๊าซมีเทนใช้เครื่อง Gas Chromatography ระยะเวลาดูดไฟใช้วิธีการจุดไฟการศึกษาธาตุอาหารของปุ๋ยจากตะกอนที่ผ่านการหมัก ได้แก่ ไนโตรเจน (Total N), ฟอสฟอรัส ( $P_2O_5$ ), โพแทสเซียม (Total  $K_2O$ ) ตามคู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้าพยาธิและไขพยาธิตามหนังสือปรัสดิวิทยาทางการแพทย์<sup>8</sup>

## ผลการศึกษา

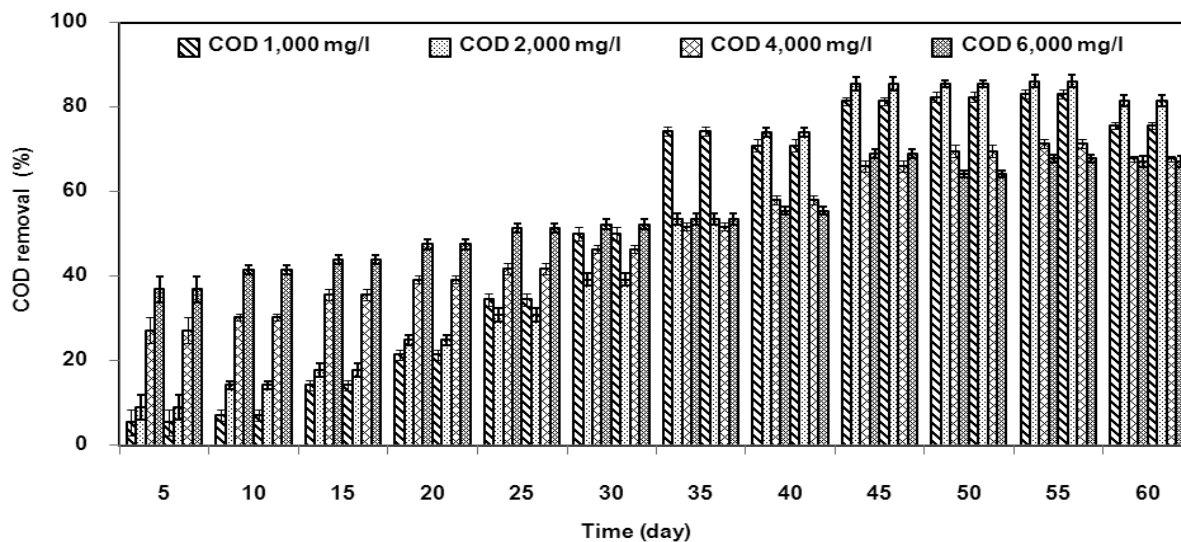
### 1. การทดลองระยะที่ 1

#### 1.1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

การกำจัดซีโอดีของสิ่งปฏิกูล (Figure 1) พบว่าการกำจัดซีโอดีที่ความเข้มข้นเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลา 45 วัน มีการกำจัดซีโอดีสูงสุด ซึ่งสามารถลดซีโอดีได้  $3,857.14$  มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ  $69.05 \pm 0.8$  (Figure 2)



**Figure 1** COD removal from excreta for varied COD concentrations of 1,000, 2,000, 4,000 and 6,000 mg/l for 60 days



**Figure 2** Efficiencies of COD removal from excreta for varied COD concentrations of 1,000, 2,000, 4,000 and 6,000 mg/l for 60 days

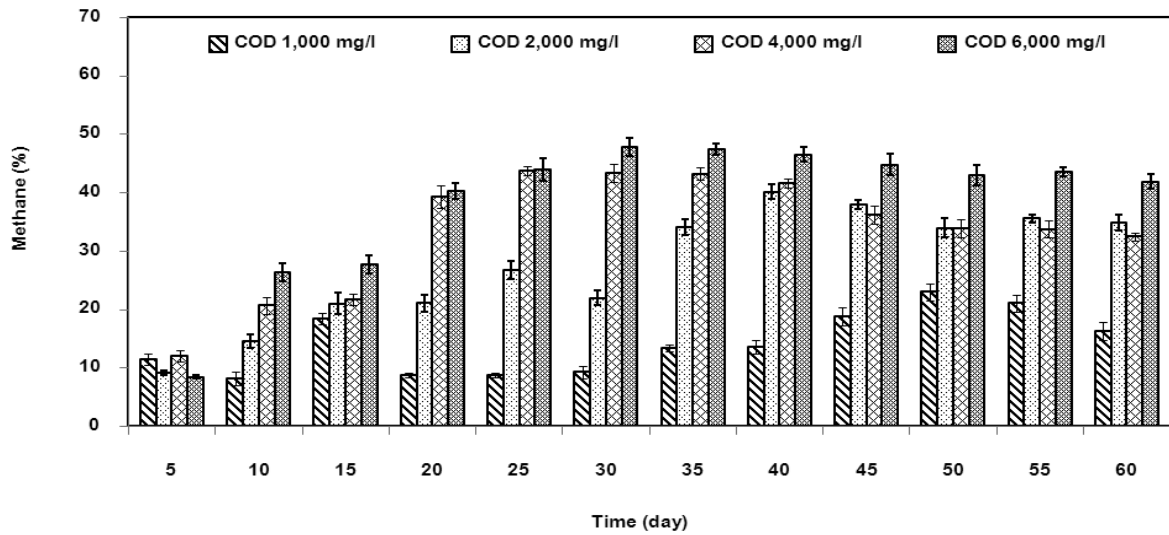
### 1.2 ร้อยละก๊าซมีเทน

ร้อยละก๊าซมีเทนของการบำบัดสิ่งปฏิกูล (Figure 3) พบว่าที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 30, 35, 40 และ 45 วันมีร้อยละก๊าซมีเทนใกล้เคียงกันคือ 47.88, 47.41, 46.53 และ 44.76 ตามลำดับ

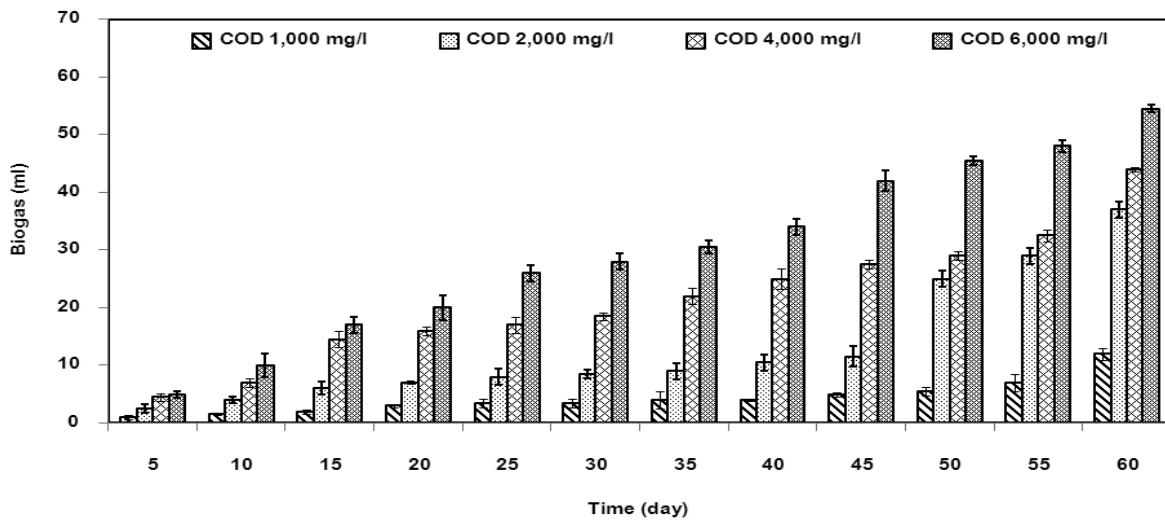
### 1.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพของการบำบัดสิ่งปฏิกูล (Figure 4) พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มข้นซีโอดีและระยะเวลาของการบำบัดที่เพิ่มขึ้น

ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลา 60 วัน มีค่าเท่ากับ  $12.0 \pm 1.0$ ,  $37.0 \pm 1.4$ ,  $44.0 \pm 0.3$  และ  $54.5 \pm 0.7$  มิลลิตร ที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในระยะที่ 1 คือที่ความเข้มข้นของสิ่งปฏิกูลเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 45 วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 8.0 มิลลิตรและมีค่าการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 523.81 มิลลิกรัม (ค่าได้จากวันที่ 40-45 วัน) ซึ่งจะนำไปใช้ใน ระบบ Covered Lagoon ในระยะที่ 2 ต่อไป



**Figure 3** Methane gas contents in biogas from excreta for varied COD concentrations of 1,000, 2,000, 4,000 and 6,000 mg/l for 60 days



**Figure 4** Biogas productions from excreta for varied COD concentrations of 1,000, 2,000, 4,000 and 6,000 mg/l for 60 days

1.4 พยาธิและไข่พยาธิ

การตรวจพยาธิและไข่พยาธิในสิ่งปฏิกูล พบว่าที่ระยะเวลา 5-30 วัน สามารถตรวจพบ *Entamoeba coli* คือโปรโตซัวทำให้เป็นโรคอุจจาระร่วง, *Opisthorchis viverrini* คือพยาธิใบไม้ตับ, *Teniasp* คือพยาธิตัวตืด และ *Ascaris lumbricoides* คือพยาธิไส้เดือน ส่วนที่ระยะเวลา 35-60 วัน ไม่มีการตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิ

2. การทดลองระยะที่ 2

2.1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการกำจัด

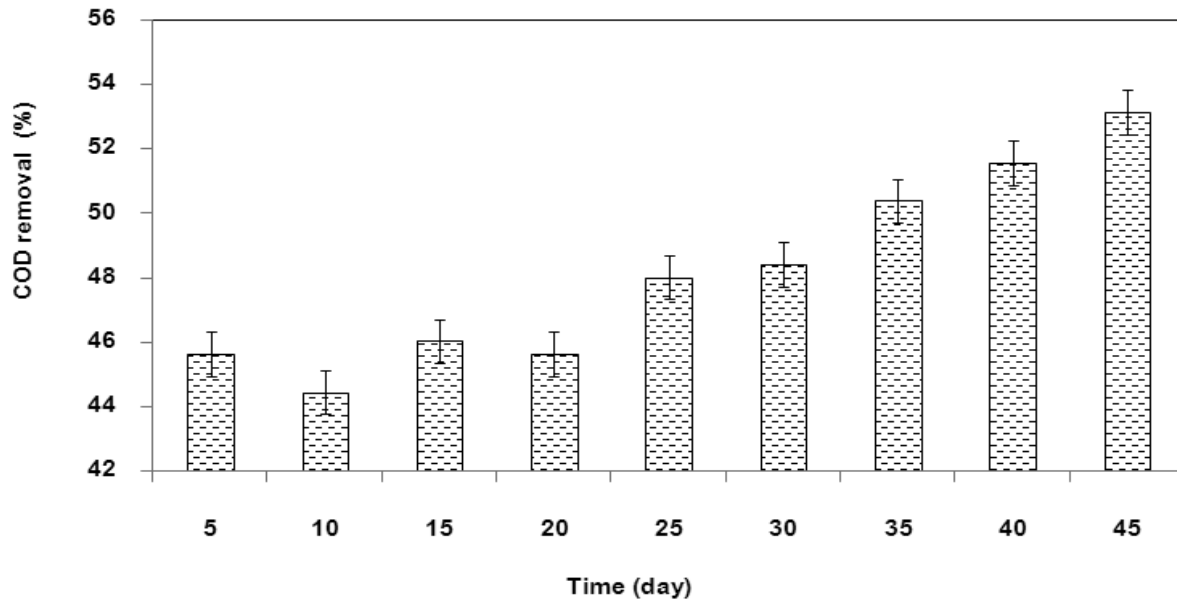
ซีโอดีสูงสุดเท่ากับร้อยละ  $53.17 \pm 0.7$  ที่ระยะเวลา 45 วัน (Figure5)

2.2 ร้อยละก๊าซมีเทน

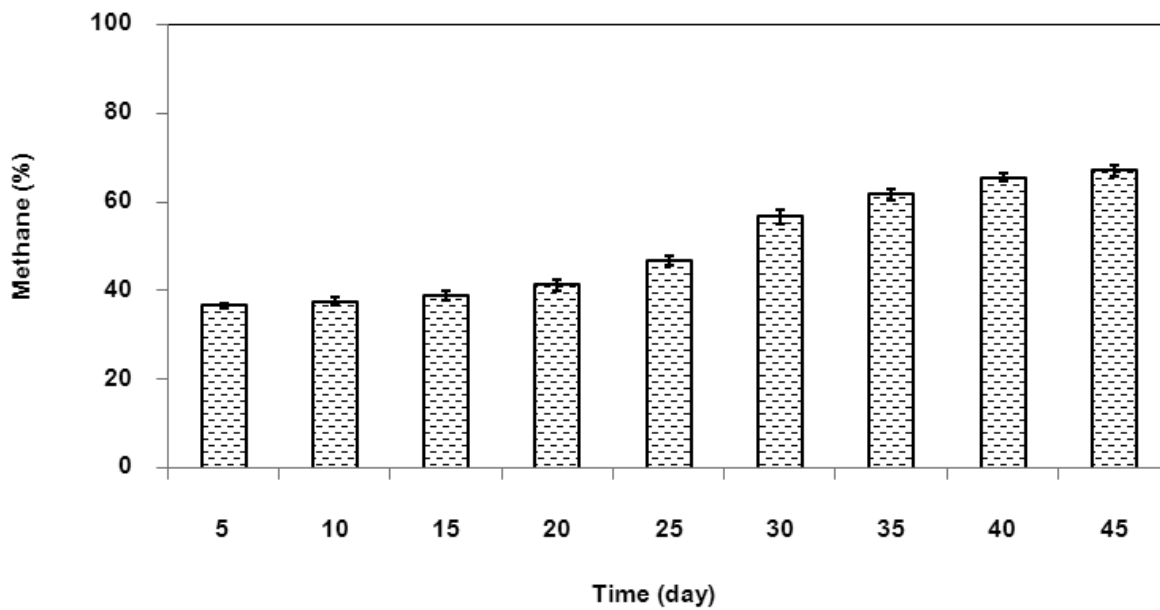
ร้อยละก๊าซมีเทน (Figure6) พบว่าช่วงแรกการผลิตก๊าซมีเทนค่อนข้างน้อย โดยก๊าซมีเทนเกิดขึ้นสูงสุดคือร้อยละ  $67.17 \pm 1.3$  ที่ระยะเวลา 45 วัน

2.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพ

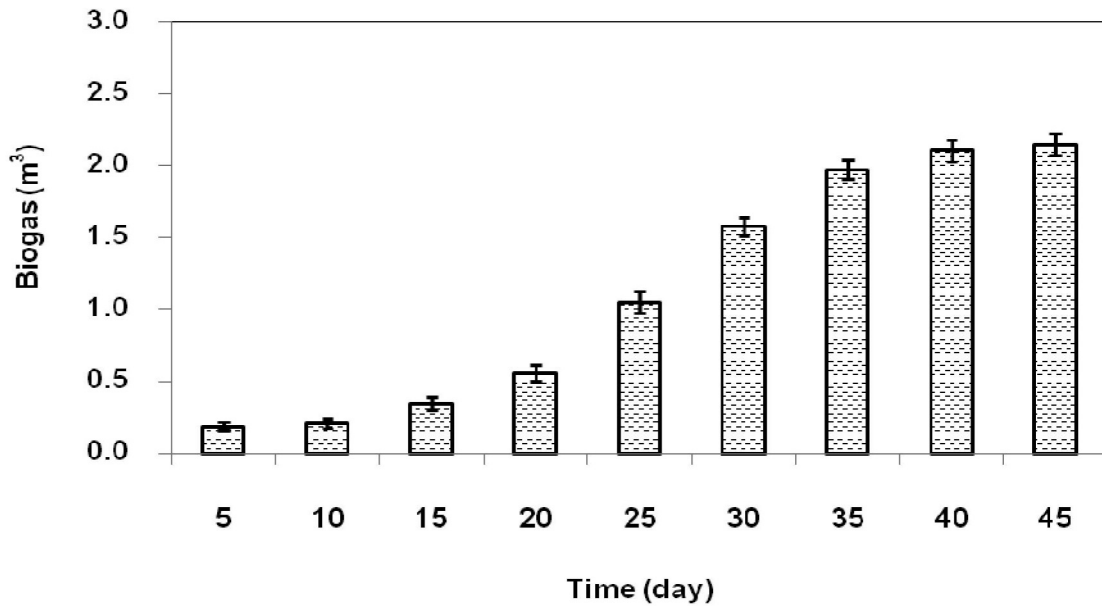
ปริมาณก๊าซชีวภาพ (Figure 7) พบว่ามีปริมาณสูงสุด  $2.15 \pm 0.10$  ลูกบาศก์เมตร (0.43 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ที่ระยะเวลา 45 วัน โดยปริมาณก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มมากขึ้น



**Figure 5** Efficiencies of COD removal from excreta for varied COD concentration of 6,000 mg/l for 45 days



**Figure 6** Methane gas contents in biogas from excreta for COD concentration of 6,000 mg/l for 45 days



**Figure 7** Biogas productions from excreta for COD concentration of 6,000 mg/l for 45 days

#### 2.4 ระยะเวลาติดไฟ

ระยะเวลาการติดไฟ พบว่าระยะเวลาการติดไฟที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาหมักที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีระยะเวลาการติดไฟนานที่สุดถึง 215 นาที ที่ระยะเวลา 45 วัน ซึ่งในช่วงแรกระยะเวลาการติดไฟมีไม่มากนัก และหลังจากนั้นที่ระยะเวลา 15-45 วัน ระยะเวลาการติดไฟเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

#### 2.5 ธาตุอาหารหลักของปุ๋ย (ตะกอน)

ปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ย ได้แก่ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (Figure8)

พบว่า ปริมาณไนโตรเจน (Total N), ฟอสฟอรัส ( $P_2O_5$ ) และโพแทสเซียม (Total  $K_2O$ ) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ  $1.71 \pm 0.03$ ,  $0.62 \pm 0.04$  และ  $0.65 \pm 0.02$

#### 2.6 พยาธิและไข่พยาธิ

การตรวจพยาธิและไข่พยาธิในสิ่งปฏิกูล พบว่า ที่ระยะเวลา 5-25 วัน สามารถตรวจพบ *Entamoeba coli* คือโปรโตซัวทำให้เป็นโรคอุจจาระร่วง, *Opisthorchis viverrini* คือพยาธิใบไม้ตับ, *Teaniaspp.* คือพยาธิตัวตืดและ *Ascaris lumbricoides* คือพยาธิไส้เดือน ส่วนที่ระยะเวลา 30-45 วัน ไม่มีการตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิ

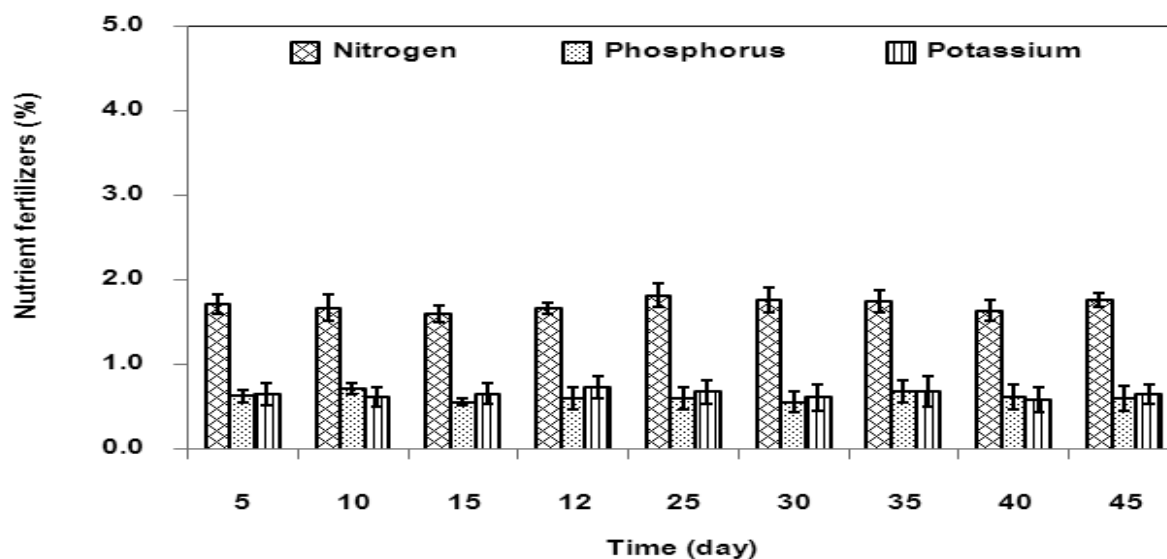


Figure 8 Nutrient fertilizers from excreta for varied COD concentration of 6,000 mg/l for 45 days

## วิจารณ์และสรุปผล

### การทดลองระยะที่ 1

1. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของสิ่งปฏิกูลที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าที่ความเข้มข้นเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 45 วัน สามารถลดซีโอดีได้ 3,857.14 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ  $69.05 \pm 0.8$  เนื่องจากในระยะแรกจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาในการปรับสภาพให้คุ้นเคยกับน้ำเสียและเริ่มสร้างเอนไซม์ที่จำเป็นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น<sup>9</sup>

2. ปริมาณก๊าซชีวภาพของการบำบัดสิ่งปฏิกูลที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลา 60 วัน มีค่าเท่ากับ  $12.0 \pm 1.0$ ,  $37.0 \pm 1.4$ ,  $44.0 \pm 0.3$  และ  $54.5 \pm 0.7$  มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นซีโอดี 1,000, 2,000, 4,000 และ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามความเข้มข้นซีโอดีและระยะเวลาของการบำบัดที่เพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลา 45-60 วัน ปริมาณก๊าซชีวภาพจะมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากจุลินทรีย์ไร้อากาศมีระยะเวลาเพียงพอในการย่อยสลายสิ่งปฏิกูลเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ

3. ร้อยละก๊าซมีเทนของการบำบัดสิ่งปฏิกูลที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000, 2000, 4000 และ 6,000 มิลลิกรัม

ต่อลิตร ที่ระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าช่วงแรกการผลิตก๊าซมีเทนค่อนข้างจะน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงเริ่มต้นของการทดลอง เพราะสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายเป็นกรดโดยจุลินทรีย์สร้างกรดและถูกย่อยต่อไปเป็นก๊าซมีเทนโดยจุลินทรีย์สร้างมีเทน ดังนั้นช่วงเริ่มต้นของการทดลองปริมาณก๊าซมีเทนจึงมีน้อย<sup>10</sup> และเมื่อระยะเวลา 30, 35, 40 และ 45 วัน ที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ามีร้อยละก๊าซมีเทนใกล้เคียงกันคือ 47.88, 47.41, 46.53 และ 44.76 ตามลำดับ

4. การกำจัดซีโอดีต่อปริมาณก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นซีโอดีและระยะเวลาของการบำบัดที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในระยะที่ 1 คือที่ความเข้มข้นของสิ่งปฏิกูลเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 45 วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดเท่ากับ 8.0 มิลลิลิตรและมีค่าการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 523.81 มิลลิกรัม (ค่าได้จากวันที่ 40-45 วัน) ซึ่งจะนำไปใช้ในระบบ Covered Lagoon ในระยะที่ 2 ต่อไป

5. พยาธิและไข่พยาธิ พบว่าที่ระยะเวลา 5-30 วัน สามารถตรวจพบ *Entamoeba coli* คือโปรโตซัวทำให้เป็นโรคอุจจาระร่วง, *Opisthorchis viverrini* คือพยาธิใบไม้ตับ, *Teania* spp. คือพยาธิตัวตืด และ *Ascaris lumbricoides* คือ พยาธิไส้เดือน ส่วนที่ระยะเวลา 35-60 วัน ไม่มีการตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิ ดังนั้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้นจะไม่พบพยาธิและไข่พยาธิ และสามารถนำตะกอนที่ได้จากระบบ Covered Lagoon นี้ไปใช้เป็นปุ๋ยหมักได้อย่างปลอดภัย



## การทดลองระยะที่ 2

1. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีของสิ่งปฏิกูลเท่ากับร้อยละ 53.17±0.7 ที่ระยะเวลา 45 วันเนื่องจากการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียแบบไร้อากาศ สารอินทรีย์จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายกลายเป็นกรดอินทรีย์และก๊าซมีเทน ตามลำดับ ทำให้ค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดลดลงจากซีโอดีเริ่มต้น<sup>11</sup> และประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น

2. ปริมาณก๊าซชีวภาพของการบำบัดสิ่งปฏิกูลที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพมีปริมาณสูงสุด 2.15 ±0.10 ลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับ 0.43 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ระยะเวลา 45 วัน เนื่องจากระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้แบคทีเรียมีระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์และเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนจึงทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพและร้อยละก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย<sup>12</sup>

3. ร้อยละก๊าซมีเทนของการบำบัดสิ่งปฏิกูลที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า ช่วงแรกการผลิตก๊าซมีเทนค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงเริ่มต้นของการทดลอง โดยเมื่อระยะเวลาการบำบัดสิ่งปฏิกูลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้จุลินทรีย์มีปริมาณมากขึ้นทำให้สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้นส่งผลให้ก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยก๊าซมีเทนเกิดขึ้นสูงสุดร้อยละ 67.17±1.3 ที่ระยะเวลา 45 วัน

4. ระยะเวลาการติดไฟเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะการหมักที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีระยะเวลาการติดไฟนานที่สุดถึง 215 นาที ที่ระยะเวลา 45 วัน ซึ่งที่ระยะเวลา 15-45 วัน ระยะเวลาการติดไฟเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

5. ธาตุอาหารหลักของปุ๋ย ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม พบว่า ปริมาณไนโตรเจน (Total N) ฟอสฟอรัส (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) และโพแทสเซียม (Total K<sub>2</sub>O) มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.71±0.03, 0.62±0.04 และ 0.65±0.02

6. พยาธิและไข่พยาธิ พบว่าที่ระยะเวลา 5-25 วัน สามารถตรวจพบ *Entamoeba coli* คือโปรโตซัวทำให้เป็นโรคอุจจาระร่วง, *Opisthorchis viverrini* คือพยาธิใบไม้ตับ, *Teania* spp. คือพยาธิตัวตืดและ *Ascaris lumbricoides* คือพยาธิไส้เดือน ส่วนที่ระยะเวลา 30-45 วัน ไม่มีการตรวจพบพยาธิและไข่พยาธิ ดังนั้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มมากขึ้น จะไม่พบพยาธิและไข่พยาธิและสามารถนำตะกอนที่ได้จากระบบ Covered Lagoon นี้ไปใช้เป็นปุ๋ยหมักได้อย่างปลอดภัย

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในระบบบำบัดจริง คือ ใช้สิ่งปฏิกูลที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 6000 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระยะเวลา 45 วัน หากต้องการนำไปใช้ได้อย่างปลอดภัยควรเพิ่มระยะเวลาของการหมักให้มากกว่าหรือเท่ากับ 45 วัน โดยในงานวิจัยต่อไปอาจจะเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีของสิ่งปฏิกูลให้มากกว่า 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำการวิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท เปี้ยต้าฮวง ชลเจริญ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

## เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. รายงานผลเบื้องต้นสำมะโนประชากรและเคหะ. ได้จาก URL: <http://www.popcensus.nso.go.th/file/popcensus-08-08-55-T.pdf>. 2553.
2. สำนักสารนิเทศ สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข กรมอนามัย. ได้จาก URL: [http://.moph.go.th/ops/lprg/include/admin\\_hotnew/show\\_hotnew.php?idHotnew=30971](http://.moph.go.th/ops/lprg/include/admin_hotnew/show_hotnew.php?idHotnew=30971). 2551.
3. กฤษณัท ศรีบุญเรือง. ผลของการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2553.
4. Baskaralingam P, Elango D, Pulikesi M, Ramamurthi V, Sivanesan S. Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage, Hazardous Materials 2003; 141 (1): 301–304.
5. Singhal V, Rai JPN. Biogas production from water hyacinth and channel grass used for phytoremediation of industrial effluents, Bioresource Technology 2003; 86 (3): 221–225.
6. APHA. AWWA and WPC. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 18<sup>th</sup> ed. Washington, DC: American Public Health Association. 1998.
7. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดินกรมพัฒนาที่ดิน. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พีช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ: ดับบลิว เจ หรือฟเฟออดี; 2547.

8. วิฑูรย์ ไวยนันท์, พีรพรรณ ตันอารีย์. ปรสดีวิทยาทางการแพทย์. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล; 2537.
9. ชุตินา ฉันท์พลากร. ผลของการป้องกันเชื้อโรคต่อประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียกากสาโดยระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2551.
10. สุนันทา เลาวัดณ์ศิริ. การบำบัดสารอินทรีย์และสีจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยระบบถังกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2544.
11. สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. ระบบบำบัดน้ำเสีย การเลือกใช้การออกแบบ การควบคุม และแก้ไขปัญหา. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ท็อป; 2546.
12. จิรวัดณ์ ชาลีวรรณ. ผลของระยะเวลาเก็บกักต่อการเกิดก๊าซชีวภาพในการหมักแบบไร้ออกซิเจนอัตราการย่อยสูงของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2546.