

การประยุกต์ใช้ออโซนเพื่อบำบัดน้ำเสียทิ้งจากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

The Application of Ozone for Wastewater Treatment from Biogas Process

วิสุทธิ ต้นตุงเรือง¹ และอานนท์ พ่วงชิงงาม¹

Received: August, 2015; Accepted: February, 2016

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาผลของก๊าซโอโซนต่อการบำบัดน้ำเสียทิ้งจากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซโอโซนได้มาจากการแตกตัวของโมเลกุลก๊าซในอากาศที่มีก๊าซออกซิเจนเป็นองค์ประกอบภายใต้สนามไฟฟ้าความเครียดสูง ซึ่งในการทดลองทำการสร้างอิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกันสามสำหรับผลิตก๊าซโอโซน จำนวน 2 แท่ง มีความยาว 7.5 cm (E1) และ 15 cm (E2) โดยทั้ง 2 แท่ง มีรัศมี $r_1 = 1$ cm และ $r_2 = 1.25$ cm เท่ากัน ทำการทดลองเพื่อหาอัตราการเกิดก๊าซโอโซนและผลของก๊าซโอโซนต่อการบำบัดน้ำเสียทิ้งจากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยทำการวัดค่า VFA (Volatile Fatty Acid), ALK (Alkalinity) COD (Chemical Oxygen Demand) ผลที่ได้คืออิเล็กโทรดที่มีความยาวมากกว่าให้อัตราการเกิดก๊าซโอโซนที่สูงกว่าและได้ผลของการบำบัดน้ำเสียทิ้งดีกว่าที่เวลาเท่ากัน

คำสำคัญ : โอโซน; อิเล็กโทรด; ก๊าซชีวภาพ

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ สุพรรณบุรี
E-mail: rookies_rit@hotmail.com

Abstract

This paper presents the result of ozone gases with the wastewater treatment from biogas production. The ozone gases were produced by ionization reaction of oxygen molecule in air under high stress electric field. Two co-axial cylindrical electrodes were made. The length of the first electrode was 7.5 cm and the second electrode was 15 cm. The radius of the inner and outer electrodes were 1 cm and 1.25 cm. The ozone production rate and the treatment performance were studied in term of VFA (Volatile Fatty Acid), Alk (Alkalinity) and COD (Chemical Oxygen Demand). The result showed that ozone gases production rate and performance of wastewater treatment were better with the longer electrode under a given test period.

Keywords: Ozone; Electrode; Biogas

บทนำ

ในปัจจุบันโรงงานจำพวกโรงงานผลิตเอทานอล โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม ฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ นิยมบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตด้วยวิธีไร้อากาศ นอกจากเป็นการลดค่าอินทรีย์สาร (COD) ในน้ำทิ้งแล้วยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มาในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งชนิดนี้อีกด้วย (Bureau of Energy Research, 2009; Nopharatana, A. et al., 1998; Phonphunthin, T. et al., 2014) ซึ่งก๊าซชีวภาพนี้สามารถนำกลับมาเป็นพลังงานทดแทนได้หลากหลายรูปแบบ อาทิเช่น พลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า ฯลฯ (Sawangpol, K. et al., 2013; Kittiyarangsit, K., 2011; Tonkaya, N. and Wongwattanasatien, T., 2011) แต่หากคำนึงถึงประสิทธิภาพในการกำจัดค่าความเสีย วิธีนี้ก็ยังกำจัดได้ไม่มากนักทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากกระบวนการบำบัดด้วยวิธีไร้อากาศนี้ยังคงมีค่าความเสียหลงเหลืออยู่มาก ซึ่งถ้าหากค่าความเสียนี้ไม่ผ่านมาตรฐานตามกฎหมายกระทรวงอุตสาหกรรมจะไม่สามารถระบายออกนอกโรงงานได้ (Petroleum Institute of Thailand, 1996) ทำให้เกิดการสะสมของน้ำทิ้งเพิ่มมากขึ้นจนนำมาสู่กระบวนการบำบัดโดยใช้ก๊าซตามมาเพื่อทำให้ค่าความเสียในน้ำทิ้งลดลงมากกว่าเดิม โดยวิธีการบำบัดรูปแบบนี้จำเป็นต้องใช้พื้นที่มากและใช้เวลาในการบำบัดนานจนเกิดปัญหาตามมา ซึ่งถ้าหากจะลดพื้นที่และเวลาให้น้อยลงสามารถทำได้โดยใช้วิธีเติมอากาศลงไป (Sombatsompop, K., 2008; Chamnoi, B., 2009;) แต่วิธีนี้ก็จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน งานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะศึกษาการใช้ก๊าซไอโซน (Khunteegul, O. and Petiraksakul, A., 2007; Sugai, T. and Minamitani, Y., 2013) ซึ่งมีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยากับอินทรีย์สารต่าง ๆ ได้ง่ายและสามารถเปลี่ยนรูปกลับมาเป็นก๊าซออกซิเจนได้ เพื่อบำบัดน้ำทิ้งที่เหลือจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยทำการศึกษาผลของค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมด (Alk) และค่าความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายอินทรีย์ (COD) หลังจากทำปฏิกิริยากับไอโซนแล้วมีแนวโน้มไปทางด้านใด

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

1. การออกแบบชุดอิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม

ทำการออกแบบชุดอิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนแกนร่วมเพื่อใช้ในการผลิตโอโซนจำนวน 2 ชุด ซึ่งมีขนาดความยาว 7.5 cm (E1) และ 15 cm (E2) โดยทั้ง 2 ชุดมีรัศมี $r_1 = 10$ mm และ $r_2 = 12.5$ mm เท่ากันดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งค่าความเครียดสนามไฟฟ้ามีค่ามากหรือค่าน้อยนั้นขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างรัศมี r_1 กับ r_2 ถ้าค่าน้อยทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูงปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) ที่ไหลผ่านเข้าไปยังช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดจะเกิดโอโซนในเซชันจนเกิดการแตกตัวจนกลายเป็นก๊าซโอโซน (O_3) ซึ่งค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดสามารถหาได้จากสมการ

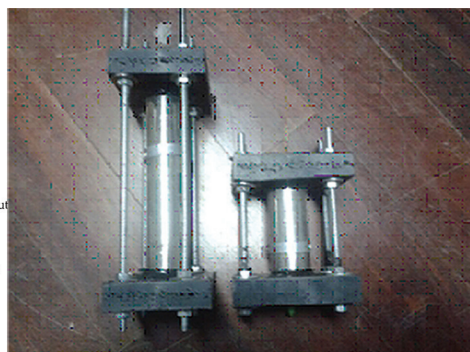
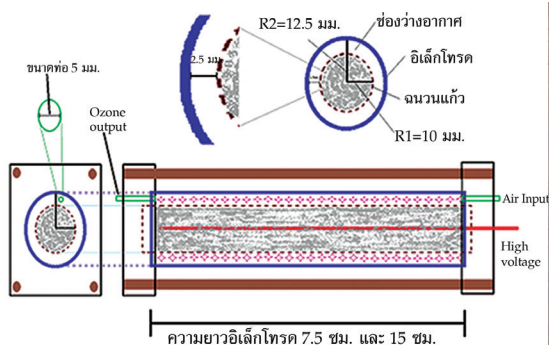
$$E_{\max} = \frac{V}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (1)$$

$E_{\max}$ คือ ความเครียดสนามไฟฟ้า (V/m)

V คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับชุดอิเล็กโทรด (V)

r_1 คือ รัศมีของทรงกระบอกใน (m)

r_2 คือ รัศมีทรงกระบอกนอก (m)

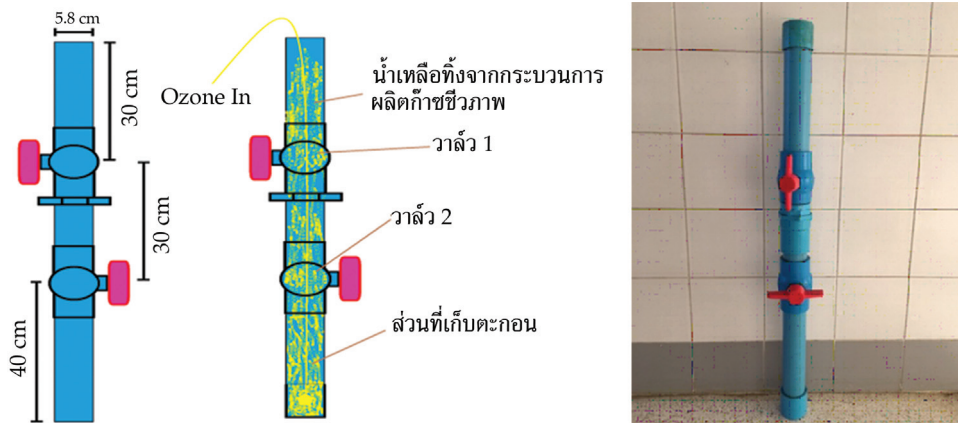


รูปที่ 1 อิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม

2. ชุดบำบัดน้ำเสียทิ้งจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

การออกแบบกระบอบำบัดน้ำเสียทิ้งจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพออกแบบให้สามารถถอดแยกเป็นสองส่วนได้ โดยจะใช้ท่อ PVC ปลายปิดหนึ่งด้านขนาด 2 นิ้ว อีกด้านเป็นข้อต่อเกลียวนอกมีวาล์วตรงกลางมีลักษณะคล้ายแก้วน้ำ ส่วนที่ 2 จะเป็นท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ปลายเปิดสองด้าน ด้านหนึ่งติดกับวาล์วโดยวาล์วต่อเข้ากับข้อต่อเกลียวในเมื่อนำส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 มาประกอบเข้าด้วยกัน ก็จะสามารถใช้เป็นท่อสำหรับเก็บน้ำเสียทิ้งจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อไว้ใช้ในการทดลองได้ โดยลักษณะกระบอบำบัดน้ำเสียทิ้งจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพดังแสดงในรูปที่ 2

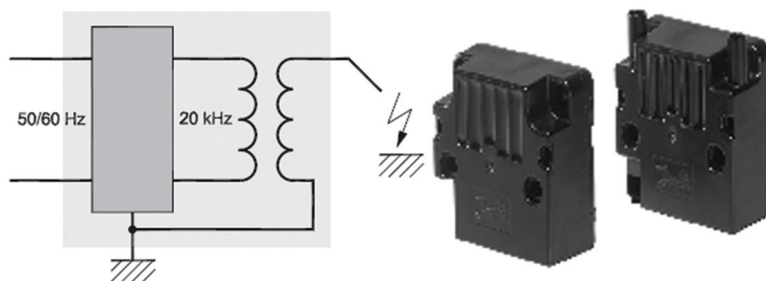
ในการใช้งานชุดบำบัดน้ำเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเริ่มแรกให้เปิดวาล์วทั้งสองตัว จากนั้นเทน้ำเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ (Wastewater) ลงในชุดบำบัดเพื่อทำการทดลอง เมื่อทดลองเสร็จแล้วต้องการแยกตัวอย่างน้ำเหลือทิ้งระหว่างตอนบน (Upper) กับน้ำเหลือทิ้งตอนล่าง (Lower) ซึ่งอาจมีตะกอนปะปนอยู่เพื่อไม่ให้ค่าของน้ำเหลือทิ้งที่ทำการบำบัดแล้วเกิดการผสมกันใหม่ให้ปิดวาล์วตัวที่ 1 แล้วนำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองไปวัดค่าจะได้ผลการทดลองน้ำตอนบน จากนั้นให้เปิดวาล์วตัวที่ 1 แล้วนำตัวอย่างน้ำเหลือทิ้งด้านในไปวัดค่าจะได้ผลการทดลองน้ำตอนล่าง



รูปที่ 2 ชุดบำบัดน้ำเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

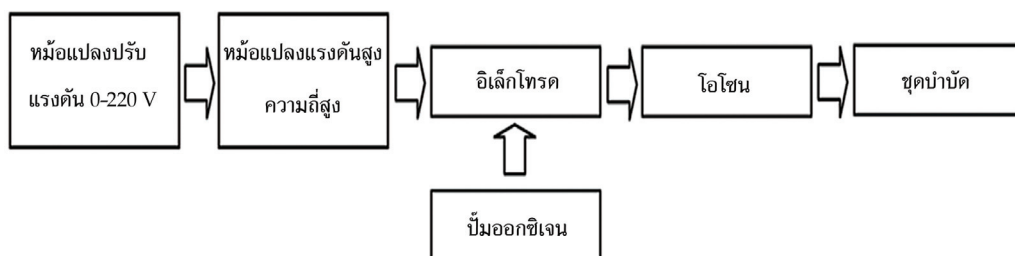
3. หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง

หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูงเป็นหม้อแปลงอิเล็กทรอนิกส์ที่นำเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาประกอบเป็นวงจรเพื่อสร้างเป็นวงจรเพิ่มแรงดันและวงจรความถี่สูง ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V พิกัดกระแส 0.25 A ความถี่ 50 - 60 Hz สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้านออกได้สูงสุดถึง 12 kV พิกัดกระแส 48 mA และสามารถสร้างความถี่ทางด้านออกได้สูงสุดที่ 20 kHz หม้อแปลงเริ่มทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพที่แรงดันไฟฟ้าขาเข้า 187 - 255 V มีขั้วต่อออกจากหม้อแปลง 1 ขั้ว ในการใช้งานให้ต่อเทียบกับกราวด์



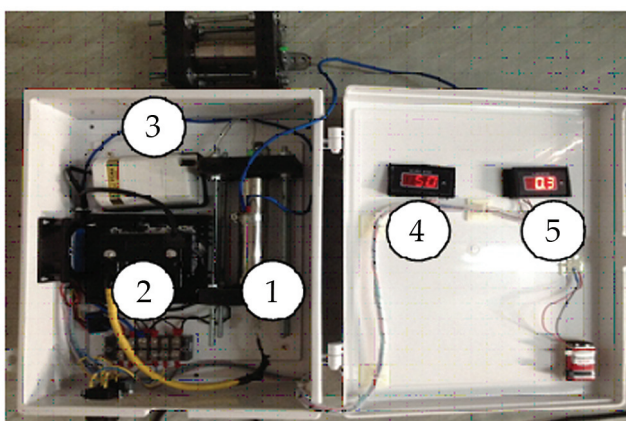
รูปที่ 3 หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง

วิธีดำเนินการวิจัย



รูปที่ 4 ไดอะแกรมหลักการทำงานการใช้โอโซนเพื่อบำบัดน้ำเสียทิ้ง

จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V/ 50 Hz ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้พิกัดแรงดัน 0 - 220 V ความถี่ 50 Hz โดยปรับแรงดันไฟฟ้าด้านออกของหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับแบบปรับค่าได้ให้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านออก 50 V/ 50 Hz ไปเข้าชุดหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง ในอัตราส่วน 1 V ต่อ 54.5 V (แรงดันไฟฟ้าด้านเข้า 1 V ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออก 54.5 V) ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง 2.6 kV ความถี่ 7 kHz จ่ายให้กับชุดอินเวอร์เตอร์ พร้อมทั้งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V/50 Hz ให้กับปั๊มลมเพื่อทำการปั๊มก๊าซออกซิเจน (O_2) เข้าไปในชุดอินเวอร์เตอร์ทำให้ออกซิเจนแตกตัวกลายเป็นโอโซน (O_3) เพื่อนำไปใช้ในงานบำบัดน้ำเสียทิ้งจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 5 วงจรชุดกำเนิดก๊าซโอโซน

หมายเลข 1 คือ อินเวอร์เตอร์ทรงกระบอกซ้อนกันสามตัว

หมายเลข 2 คือ หม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง

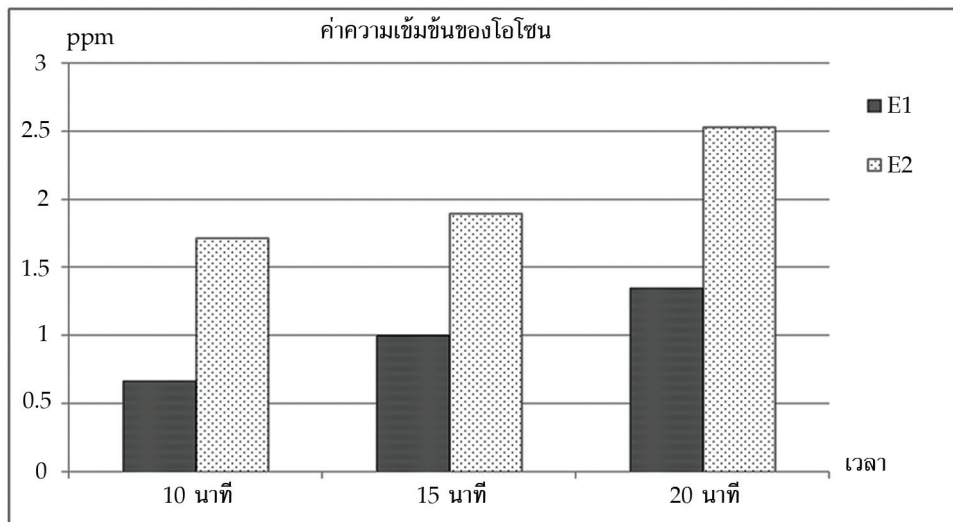
หมายเลข 3 คือ ถังออกซิเจน

หมายเลข 4 คือ มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า

หมายเลข 5 คือ มิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าด้านเข้า

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

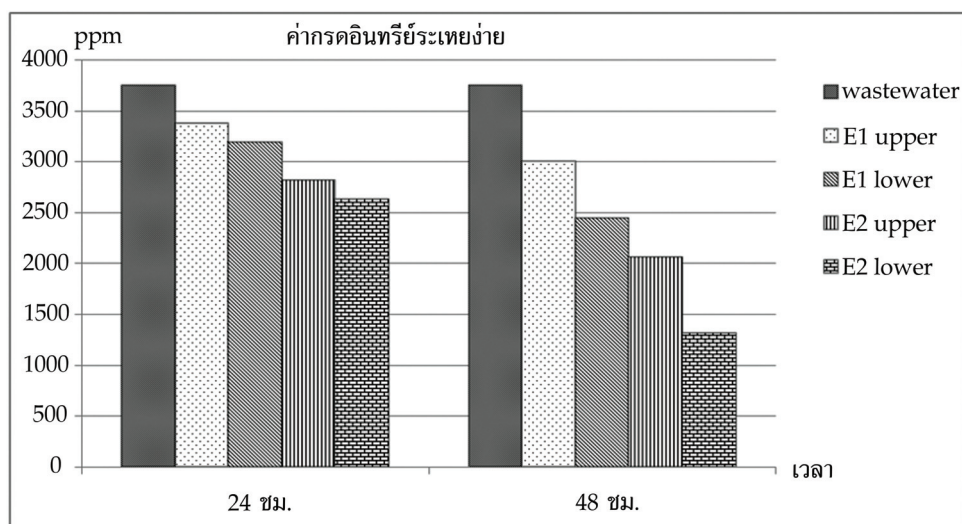
1. การทดลองหาค่าความเข้มข้นของโอโซน



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นโอโซน

การทดลองหาค่าความเข้มข้นของโอโซนในการทดลองนี้ทำการวัดด้วยวิธีไดเทรทแบบวิธีไอโอโดเมตริกโดยใช้โปแตสเซียมไอโอไดด์ทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซน ศึกษาความเข้มข้นของโอโซนที่ความยาวของอิเล็กโทรดแตกต่างกัน โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 2.6 kV ความถี่ 7 kHz ทำการทดลองที่เวลา 10 15 นาที และ 20 นาที เท่ากัน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าอิเล็กโทรดขนาดความยาว 7.5 cm ได้ความเข้มข้นโอโซนเท่ากับ 0.667 ppm 1 ppm และ 1.3167 ppm ตามลำดับ ความเข้มข้นของโอโซนที่ได้จากการทดลองในเวลาที่แตกต่างกันสามารถหาค่าเฉลี่ยในการผลิตความเข้มข้นโอโซนของอิเล็กโทรดขนาดความยาว 7.5 cm ได้เท่ากับ 0.0664 ppm/นาที และในการทดลองหาความเข้มข้นโอโซนจากอิเล็กโทรดขนาดความยาว 15 cm ได้ค่าความเข้มข้นโอโซนเท่ากับ 1.72 ppm 1.9 ppm และ 2.533 ppm ตามลำดับ สามารถหาค่าเฉลี่ยในการผลิตความเข้มข้นโอโซนจากอิเล็กโทรด 15 cm ได้เท่ากับ 0.1418 ppm/นาที ซึ่งจากผลการทดลองนี้ทำให้ทราบว่าอิเล็กโทรดที่มีความยาวมากกว่าสามารถผลิตความเข้มข้นโอโซนได้มากในเวลาเท่ากัน เนื่องจากระยะทางในการเคลื่อนที่ของก๊าซออกซิเจนภายใต้สนามไฟฟ้าความถี่สูงในอิเล็กโทรดที่ยาวมีมากกว่า

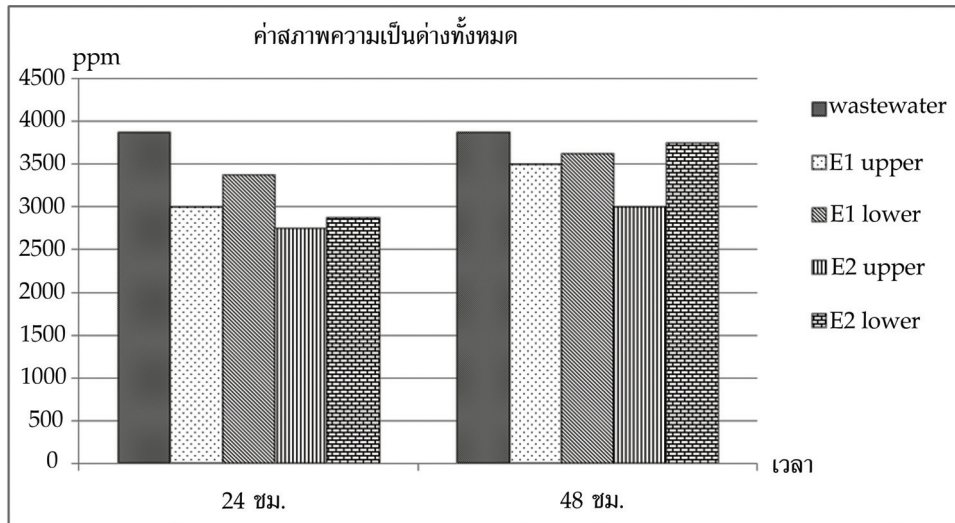
2. การทดลองหาค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)



รูปที่ 7 เปรียบเทียบค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่าย

ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายคือกลุ่มของกรดอินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก หากสารเหล่านี้มีปริมาณมากจะทำให้ค่าพีเอชของน้ำต่ำ ซึ่งน้ำเสียที่มาจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพก่อนผ่านกระบวนการบำบัดด้วยโอโซนมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย 3750 ppm หลังผ่านกระบวนการบำบัดด้วยโอโซนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบการทดลองผลของน้ำเสียที่บำบัดด้วยโอโซนจากอิเล็กโทรดความยาว 7.5 cm และ 15 cm ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายน้ำตอนบนลดลงเหลือ 3375 ppm และ 2813 ppm ในส่วนน้ำตอนล่างปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายลดลงเหลือ 3188 ppm และ 2625 ppm เมื่อนำน้ำเสียที่บำบัดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ผลของน้ำตอนบนปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายลดลงเหลือ 3000 ppm และ 2063 ppm ในส่วนน้ำตอนล่างปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายลดลงเหลือ 2438 ppm และ 1313 ppm ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีแนวโน้มลดลงหลังผ่านการบำบัดด้วยโอโซนที่ได้มาจากอิเล็กโทรดทั้ง 2 แบบ โดยอิเล็กโทรดที่ยาวมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายได้ดีกว่าเนื่องจากสามารถผลิตโอโซนความเข้มข้นได้สูงกว่าและพบว่าเวลาในการบำบัดที่นานกว่ามีผลทำให้ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายลดลงได้มากขึ้น

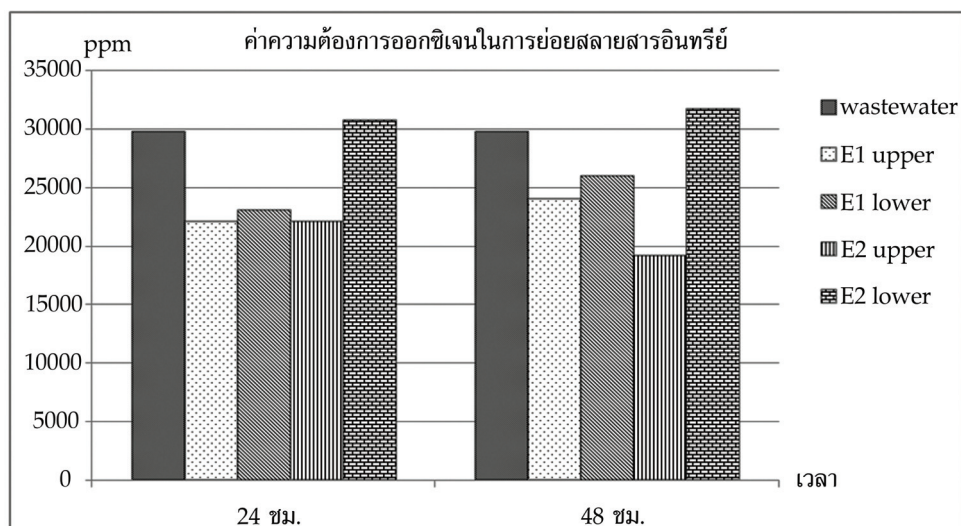
3. การทดลองหาค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมด (Alk)



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมด

ค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมดคือค่าที่บอกถึงความสามารถของน้ำที่ทำให้กรดเป็นกลาง โดยทั่วไป น้ำที่มีค่าสภาพความเป็นด่างสูงจะมีความสามารถในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำไม่ให้เปลี่ยนแปลงได้ดี ซึ่งน้ำเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพก่อนผ่านกระบวนการบำบัดด้วยโอโซน มีสภาพความเป็นด่างทั้งหมด 3875 ppm แต่เมื่อนำมาบำบัดด้วยกระบวนการของโอโซนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเปรียบเทียบผลของน้ำเหลือทิ้งบำบัดด้วยอิเล็กโทรดความยาว 7.5 cm และ 15 cm สภาพความเป็นด่างทั้งหมดของน้ำตอนบนลดลงเหลือ 3000 ppm และ 2750 ppm ในส่วนน้ำตอนล่าง สภาพความเป็นด่างทั้งหมดลดลงเหลือ 3375 ppm และ 2875 ppm จากนั้นทำการบำบัดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ผลของน้ำตอนบนเหลือค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมด 3500 ppm และ 2600 ppm ในส่วนน้ำตอนล่าง สภาพความเป็นด่างทั้งหมดได้ 3625 ppm และ 3750 ppm จากการทดลองพบว่าโอโซนทำให้ค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำโดยรวมลดลงจากเดิม ซึ่งเป็นผลให้การรักษาระดับความเป็นกลางของน้ำมีแนวโน้มในการทำให้ระดับพีเอชลดลง เมื่อบำบัดเป็นเวลานานขึ้นโอโซนไม่ทำปฏิกิริยากับสภาพความเป็นด่าง ทำให้สภาพความเป็นด่างของน้ำเริ่มสูงขึ้นจนระดับการรักษาค่าพีเอชของน้ำเข้าสู่ความเป็นกลาง

4. การทดลองหาค่า Chemical Oxygen Demand (COD)



รูปที่ 9 เปรียบเทียบค่าความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์

ค่า COD เป็นค่าความต้องการออกซิเจนของน้ำที่ทำได้ โดยวิธีการทางเคมีหรือเป็นค่าที่แสดง ความสกปรกของน้ำเสีย ซึ่งน้ำเสียทิ้งจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพก่อนผ่านการบำบัดด้วยโอโซน มีค่า 29760 ppm แต่เมื่อนำมาบำบัดด้วยกระบวนการของโอโซนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการเปรียบเทียบ การทดลองผลของน้ำเสียทิ้งบำบัดด้วยอิเล็กโทรดความยาว 7.5 cm และ 15 cm ค่า COD ของน้ำคอนบน ลดลงเหลือ 22080 ppm และ 22080 ppm ในส่วนน้ำตอนล่างหาค่า COD ได้ 23040 ppm และ 30720 ppm จากนั้นทำการบำบัดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ผลของน้ำคอนบนค่า COD ลดลงเหลือ 24000 ppm และ 19200 ppm ในส่วนน้ำตอนล่างหาค่า COD ได้ 25920 ppm และ 31680 ppm เมื่อพิจารณาค่า COD จากการบำบัดด้วยโอโซนพบว่าระยะเวลาในการบำบัดไม่มีผลต่อค่าอินทรีย์สารในน้ำเสีย แต่ค่าความเข้มข้นของโอโซนมีผลทำให้สารแขวนลอยในน้ำเสียนั้นตกลงสู่ตอนล่างทำให้มีค่า COD ของน้ำตอนล่างเพิ่มสูงขึ้น มากกว่าก่อนผ่านการบำบัดและน้ำคอนบนมีค่า COD ลดลงหรืออาจกล่าวได้ว่าโอโซนช่วยแบ่งชั้นตะกอนได้

บทสรุป

จากการศึกษาและทดลองการหาค่าความเข้มข้นของโอโซนที่อิเล็กโทรดความยาวแตกต่างกันโดยทำการ ทดลองที่ระยะเวลาและระดับแรงดันไฟฟ้าเท่ากัน อิเล็กโทรดที่มีขนาดความยาวมากกว่าให้ความเข้มข้น ของโอโซนสูงกว่า เมื่อนำมาบำบัดน้ำเสียทิ้งจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมงเท่ากัน พบว่าความเข้มข้นโอโซนจากอิเล็กโทรดขนาดความยาว 15 cm มีผลต่อการลดปริมาณ กรดอินทรีย์ระเหยง่ายและค่าความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี แต่ค่าสภาพความเป็น ด่างทั้งหมดเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายธนวัฒน์ พงษ์สุวรรณ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านวิชาการทำให้งานออกมาสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

References

- Bureau of Energy Research. (2009). Biogas Production from Manure and Industrial Wastewater. Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy
- Chamnoi, B. (2009). Feasibility Study of Huachiew Chalermprakeit University Wastewater Treatment System. HCU journal. Vol. 12. No. 24. pp. 53-71
- Kittiyarangsit, K. (2011). Investment and Return Analysis of Biogas Power Plants. Master of Degree in Environmental Engineering. Suranaree University of Technology
- Khunteegul, O. and Petiraksakul, A. (2007). Optimization of Ink Wastewater Treatment by Ozonation. KCU Engineering Journal. Vol. 34. Issue. 2. pp. 177-188
- Nopharatana, A., Clarke, W., Pullammanappallil, P., Silvey, P. and Chynoweth, D.P. (1998). Evaluation of Methanogenic Activities During Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste. Bioresources Technology. Vol. 64. Issue. 3. pp.163-174
- Petroleum Institute of Thailand. (1996). The ONLY and MOST Comprehensive Legal Database for Petroleum and Petrochemical Industries. (In Thai)
- Phonphunthin, T., Uttamaprakrom, W. and Reubroycharoen, P. (2014). A Study of Biogas Production Potential from Industrial Wastewater. Energy Research Institute. Vol. 11. No. 1. pp. 50-62
- Sawangpol, K., Tia, W. and Chaiprasert, P. (2013). A Feasibility Study of Power Generation using Biogas from Cellulosic Materials. KMUTT Research and Development Journal. Vol. 36. No. 4. pp. 477-492
- Sombatsompop, K. (2008). Wastewater Treatment by Sequencing Batch Reactor System. Journal of KMUTNB. Vol. 18. No. 3. pp. 96-103
- Sugai, T. and Minamitani, Y. (2013). Influence of Rise Rate of Applied Voltage for Water Treatment by Pulsed Streamer Discharge in Air-Sprayed Droplets. IEEE Transaction on Plasma Science. Vol. 41. Issue. 8. pp. 2327-2334
- Tonkaya, N. and Wongwattanasatien, T. (2011). Design and Testing of Fertilizer Pelletizing Machine using Biogas Dual Fuelled with Diesel Fuel.