บทความวิจัย

การจัดการน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์มด้วยโอโซนบำบัดก่อนผลิตก๊าซชีวภาพ

EFFLUENT MANAGEMENT OF PALM OIL FACTORY WITH OZONE TREATMENT BEFORE BIOGAS PRODUCTION

สายพิณ ไชยนันทน์ อินจิรา นิยมธูร* วิมลศิริ พรทวีวัฒน์ นุชนภา สุกใส
และ สิทธิพันธุ์ ไชยนันทน์
คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม กรุงเทพมหานคร 10600

Saipin Chaiyanan, Injira Niyomtoon*, Wimolsiri Porntaveewat, Noochnapa Sooksai
and Sitthipan Chaiyanan
Faculty of Health Sciences, Siam Technology Collage, Bangkok 10600

*E-mail: injiran@siamtechno.ac.th

Received: 2021-04-20
Revised: 2021-11-12
Accepted: 2021-11-12

บทคัดย่อ

น้ำทิ้งส่วนใหญ่จากโรงงานน้ำมันปาล์มใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ แต่ปริมาณก๊าซที่ได้รับไม่สูงมากนักเนื่องจากมีกากตะกอนปาล์มในน้ำทิ้งอยู่ปริมาณสูง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้โอโซนบำบัดน้ำทิ้งโรงงานน้ำมันปาล์มก่อนนำไปผลิตก๊าซชีวภาพ น้ำทิ้งที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มซึ่งมีกากตะกอนปาล์มอยู่ 70-80% โอโซนจากเครื่องผลิตโอโซนที่ 1, 2, 3 และ 4 กรัม/ชั่วโมง ใช้ปรับสภาพกากตะกอนในน้ำทิ้งที่ระยะเวลา 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้นโอโซน 2 กรัม/ชั่วโมง นาน 30 นาที ที่สภาวะนี้สามารถเพิ่มค่า BOD จาก 49.98±0.90 เป็น 69.60±1.02 กรัม/ลิตร และน้ำตาลรีดิวซ์หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว จาก 4.41±0.09 เป็น 5.48±0.03 กรัม/ลิตร ค่า TS ลดลงจาก 74.20±1.96 เป็น 52.05±0.10 และ COD ลดลงจาก 90.40±0.80 เป็น 51.20±0.07 กรัม/ลิตร การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซนให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากกว่าน้ำทิ้งกากตะกอนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำทิ้งที่มีการปรับสภาพมีคุณภาพดีกว่าที่ไม่มีการปรับสภาพจากการที่มีก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

คำสำคัญ: น้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม กากตะกอนน้ำมันปาล์ม โอโซนปรับสภาพ ก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทน

ABSTRACT

Most of the effluent from palm oil factories is used to produce biogas, but the amount of gas obtained has not been very high, since there is a high content of palm sludge in the wastewater.

At the end of fermentation, the resulting wastewater and sediment may be released into the water sources, causing environmental problems. This research aims to use ozone to treat palm oil wastewater before they are used to produce biogas. Wastewater used in this study was from a Palm oil extraction plant and had 70-80 per cent of decanter sludge. Ozone producing machine generates ozone at 1 g/h, 2 g/h, 3 g/h and 4 g/h was used for pre-treatment the decanter sludge for 0, 10, 20, 30, 40, 50, and 60 minutes. When pre-treatments of the waste with different ozone concentrations and exposure times, it was found that the optimal condition was ozone 2 g/h for 30 min. This could increase BOD from 49.98±0.90 g/l to be 69.60±1.02 g/l and Reducing sugar from 4.41±0.09 g/l to be 5.48±0.03 g/l. The TS was decreased from 74.20±1.96 to 52.05±0.10 and COD from 90.40±0.80 g/l to be 51.20±0.07 g/l. Biogas production from ozone pretreated wastewater gave significantly higher amount of biogas than from untreated wastewater ($p<0.05$). The biogas from the pretreated waste had better quality than the untreated waste for having significantly more methane ($p<0.05$).
Keywords: wastewater from palm oil factory, palm oil decanter sludge, ozone pre-treatment, biogas, methane gas

บทนำ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากผลผลิตที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งด้านการอุปโภคและบริโภคจึงส่งผลให้การผลิตน้ำมันปาล์มเกิดขึ้นอย่างกว้างขว้างทั่วประเทศ น้ำมันปาล์มนอกจากใช้ในการปรุงอาหารแล้ว น้ำมันปาล์มดิบยังมีประโยชน์ด้านพลังงานอีกด้วย คือ ถูกนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ แต่เนื่องจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มก่อให้เกิดของเสียจำนวนมาก มีการประมาณการว่า ในการผลิตน้ำมันปาล์มจะเกิดน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต 0.65 ตันต่อปาล์มสดหนึ่งตัน เนื่องจากของเสียดังกล่าวมีความสกปรกสูง และมีกลิ่นเหม็นรบกวนชาวบ้านบริเวณโรงงาน ช่วงฤดูฝนหากฝนตกหนัก น้ำเสียจะเอ่อล้นออกจากบ่อเก็บของโรงงานไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติสร้างความเดือดร้อนต่อชาวบ้านเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นแต่ละโรงงานจึงต้องหาวิธีจัดการน้ำเสียที่ไม่ส่งผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม การนำน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมีปริมาณมากในแต่ละวัน จึงมีความเหมาะสมในการนำมาผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบของก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จะถูกนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าไว้ใช้ในโรงงานหรือเพื่อขายให้แก่การไฟฟ้าเพื่อเป็นรายได้ให้แก่โรงงานอีกทางหนึ่ง น้ำเสียวันละ 12,000 ลบ.ม. จากการผลิตน้ำมันปาล์มสามารถนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าขนาด 2 MWh ได้ (ERDI-CMU, 2021)

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตจะมีลักษณะสีน้ำตาลเข้มมีปริมาณของตะกอนซึ่งเป็นกากตะกอนของปาล์มปนอยู่ปริมาณสูง อาจถึง 70-80% จากการที่ตะกอนปาล์มส่วนใหญ่เป็นกากใยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพค่อนข้างต่ำ แต่ถ้าได้มีการบำบัดเบื้องต้น (pretreatment) ให้กากตะกอนเหล่านี้เปลี่ยนโครงสร้างให้ย่อยสลายได้ง่ายขึ้น เพื่อให้จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตก๊าซชีวภาพสามารถใช้ส่วนที่ย่อยสลายนี้ได้ด้วยจะเป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งได้

การปรับสภาพกากตะกอนน้ำทิ้งมีด้วยกันหลายวิธี ทั้งชีวภาพ เคมีและกายภาพ โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ก๊าซโอโซนในการปรับสภาพกากตะกอนปาล์ม โดยก๊าซโอโซนจะผลิตอนุมูลออกซิเจนอิสระซึ่งมีประสิทธิภาพเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง(Strong Oxidant) ได้แก่ Hydroxyl radical (^{0}OH), HO_3 , HO_4และ Super oxide (O_2) (Wisessombat, 2014) สามารถเปลี่ยนโครงสร้างของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่เป็นสารโมเลกุลใหญ่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนให้เป็นสารโมเลกุลขนาดเล็ก มีโครงสร้างที่ง่ายในการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ไซโลส เป็นต้น (Gupta et al., 2015) ซึ่งน้ำตาลรีดิวซ์หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเหล่านี้จะเป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป

ดังนั้น งานวิจัยจึงทำการศึกษาสภาวะและวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพน้ำเสียกากตะกอนปาล์มด้วยก๊าซโอโซนเพื่อเพิ่มปริมาณของก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำทิ้งและได้ก๊าซชีวภาพที่คุณภาพดีขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ต้องกำจัดก่อนปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

วิธีการ

1. วัตถุดิบ

กากตะกอนปาล์มที่ทำการศึกษาได้จากน้ำเสียเข้มข้นของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันพืช จำกัด ซึ่งมีกากตะกอนปาล์มอยู่ 70-80% มีความเข้มข้นของแข็งทั้งหมด (Total Solid) 74,200 กรัม/ลิตร ก่อนเข้าสู่ระบบถังหมักไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการ เจือจางให้มีความเข้มข้น 10% เพื่อให้เหมาะกับการทดลองแบบ batch experiment และเครื่องวัดก๊าซ OxiTop ® Control OC 110 ที่ใช้ในการทดลองติดตามการหมักก๊าซชีวภาพ

2. รูปแบบการวิจัย

งานศึกษาวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory scale) โดยออกแบบการทดลองเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกออกแบบการทดลองเป็น 4x7 factorial complete randomized design ซ้ำ เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมได้แก่ ความเข้มข้นของโอโซน และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพน้ำทิ้งกากตะกอนปาล์ม เพื่อนำไปใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพในขั้นตอนผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป ประกอบด้วยความเข้มข้นของโอโซน 4 ระดับคือ 1, 2, 3, และ 4 กรัม/ชั่วโมง และช่วงเวลาที่ใช้โอโซนในการปรับสภาพมี 7 ระดับ คือ 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที สำหรับตัวอย่างในแต่ละ treatment ทำการวิเคราะห์ตัวแปรตาม คือ pH, Reducing sugar, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Total Solid (TS), Chemical Oxygen Demand (COD) แต่ละ Treatment ทำ 3 ซ้ำ โดยวิธีการวิเคราะห์ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงวิธีวิเคราะห์และเอกสารอ้างอิง

Parameters	Analysis Method	Reference
pH	pH Meter	APHA, AWWA and WEF (2017)
Reducing Sugar	Dinitrosalicylic Colorimetric Method	Miller (1959)
Total Solid (TS)	Dried at 103 - 105 °C	APHA, AWWA and WEF (2017)
Chemical Oxygen Demand (COD)	Closed Reflux, Colorimetric Method	APHA, AWWA and WEF (2017)
Biological Oxygen Demand (BOD)	Azide Modification	APHA, AWWA and WEF (2017)
Total Kjeldahl Nitrogen (TN)	Macro Kjeldahl Method	APHA, AWWA and WEF (1998)

ส่วนที่สองเป็นการออกแบบการทดลองหมักก๊าซชีวภาพ ระหว่างน้ำทิ้งกากตะกอนปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซนในสภาวะที่คัดเลือก กับชุดควบคุมจากน้ำทิ้งกากตะกอนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งกากตะกอนปาล์ม เป็นการการหมักก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศโดยทดสอบใน OxiTop ® Control OC 110 Respirometer ขนาดขวดแก้วทดลอง 500 มิลลิลิตร โดยนำน้ำทิ้งกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซน และไม่ผ่านการปรับสภาพปริมาตร 225 มิลลิลิตร ใส่หัวเชื้อในขวดแก้วทดลองชุดละ 25 มิลลิลิตร โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบ CRD ทำ 3 ซ้ำ ตัวแปรตามหรือดัชนีคือ ปริมาณก๊าซชีวภาพ และของคุณภาพก๊าซชีวภาพ (สัดส่วนของมีเทนต่อคาร์บอนไดออกไซด์)

3. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

สถิติที่ใช้ในการวิจัยคือ descriptive statistics วิเคราะห์ค่า means, standard deviation และ standard error ในการหาความเข้มข้นและช่วงระยะเวลาเหมาะสมในการใช้โอโซนปรับสภาพ วิเคราะห์โดย Analysis of Variance (ANOVA) และการเปรียบเทียบค่า means ใช้วิธี Bonferroni

ในการเปรียบเทียบการหมักก๊าซชีวภาพ วิเคราะห์เปรียบเทียบค่า means ของ 2 treatments (ระหว่างชุดตัวอย่างและชุดควบคุม) โดยใช้ t-test

ผลการทดลองและวิจารณ์

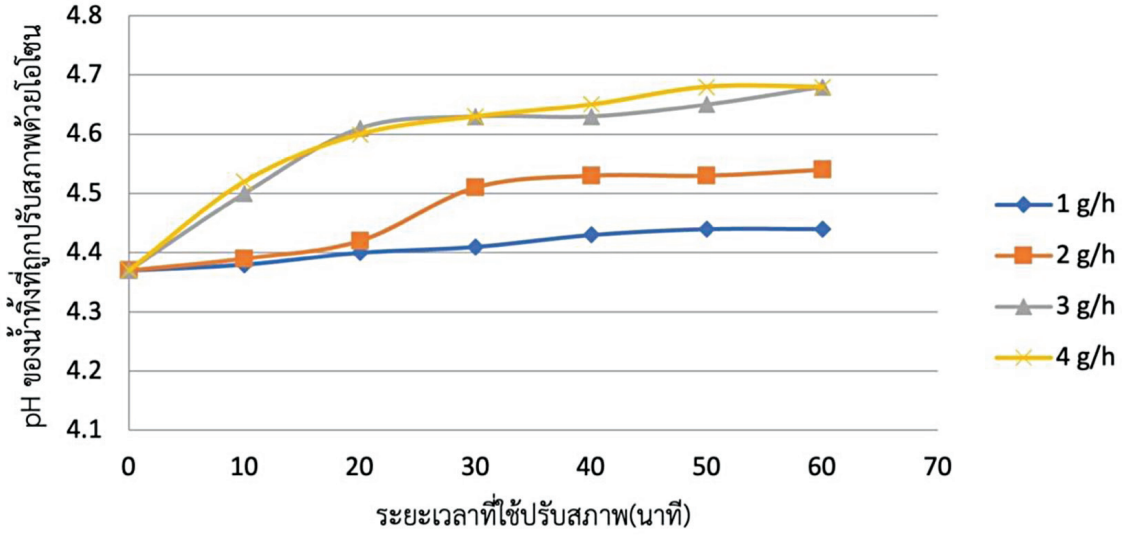
1. ผลการศึกษาการปรับสภาพน้ำทิ้งกากตะกอนด้วยก๊าซโอโซน

1.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช (pH) ของน้ำทิ้งกากตะกอน

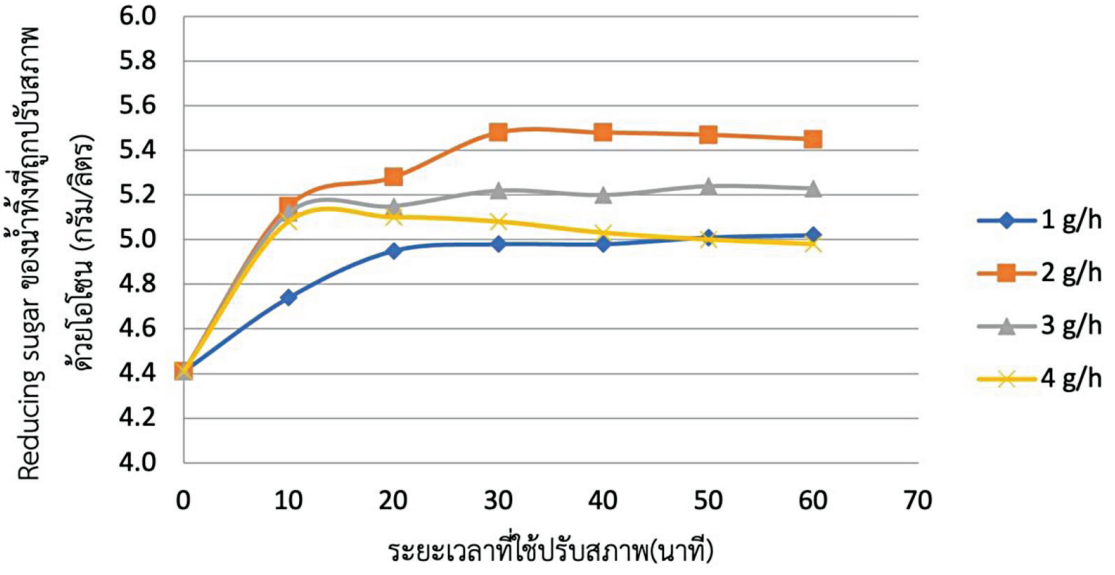
ความเข้มข้นของโอโซนและระยะเวลาที่น้ำทิ้งกากตะกอนสัมผัสโอโซนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของทั้ง 2 ปัจจัย ($p<0.05$) จากภาพที่ 1 ค่าพีเอชของน้ำทิ้งกากตะกอนตั้งต้นเริ่มที่ค่าเฉลี่ย 4.37 ±0.03 และ มีค่าสูงขึ้นเมื่อถูกออกซิไดซ์ด้วยโอโซนที่ความเข้มข้นของโอโซนสูงขึ้นและสัมผัสนานขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของ pH สูงสุดที่ 4.68 เมื่อใช้ความเข้มข้นของโอโซนที่ 4 กรัมต่อชั่วโมงนาน 60 นาที ค่าพีเอชเท่ากับ 4.68±0.02 เพราะโอโซน สามารถแตกตัวให้ออกซิเจนอิสระและไฮดรอกซี่แรดิเคิล (Hydroxyl radical -^{0}OH) เพิ่มความเป็นด่างในน้ำทิ้งจึงทำให้มีค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น

1.2 การเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Reducing sugar) ของน้ำทิ้งกากตะกอน

ความเข้มข้นของโอโซนและระยะเวลาที่น้ำทิ้งกากตะกอนสัมผัสโอโซนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำตาลรีดิวซ์หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของทั้ง 2 ปัจจัย ($p<0.05$) จากภาพที่ 2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำทิ้งกากตะกอนก่อนสัมผัสโอโซนมีค่าเฉลี่ย 4.41±0.09 กรัม/ลิตร และเมื่อน้ำทิ้งกากตะกอนสัมผัสโอโซนทั้ง 4 ความเข้มข้นที่เวลา 0 – 60 นาที พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาสัมผัส โดยสูงสุดที่ระยะเวลา 30 นาที ต่อจากนั้นระดับของน้ำตาลรีดิวซ์จะค่อนข้างคงที่ โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ในน้ำทิ้งกากตะกอนสูงสุดที่ 5.48±0.03 กรัม/ลิตร จากการใช้โอโซนเข้มข้น 2 กรัม/ชั่วโมง นาน 30 นาที จะเห็นว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะค่อนข้างคงที่หรือค่อย ๆ ลดลงเป็นลำดับเมื่อใช้เวลาเกิน 30 นาที และจากกราฟที่ 2 พบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาสัมผัสมากกว่า30 นาที ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะค่อย ๆ ลดลงเมื่อให้โอโซนสัมผัสกากตะกอนนานต่อไป โดยเฉพาะความเข้มข้นของโอโซนที่ 3 และ 4 กรัม/ชั่วโมง จะมีปริมาณน้ำตาลริดิวส์ลดลงมากกว่าความเข้มข้นของโอโซน 2 กรัม/ชั่วโมง อาจเนื่องมาจากการมีปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่มากเกินไปจนทำให้ออกซิไดซ์น้ำตาลริดิวส์หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวลงไปด้วย และเนื่องจากโอโซนเป็นสารที่ไม่เสถียร สามารถแตกตัวได้แรดดิคัลอิสระ (free radical) ซึ่งมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ต่าง ๆ นอกจากนั้นโอโซนสลายตัวกลับเป็นก๊าซออกซิเจนได้ง่าย โอโซนมีครึ่งชีวิต (half-life) 12 ชั่วโมง ในบรรยากาศ และเพียง 20-30 นาที หากละลายอยู่ในน้ำ (Lin & Yeh, 1993)



ภาพที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช (pH) ในน้ำทิ้งกากตะกอนที่ถูกปรับสภาพด้วยโอโซนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ



ภาพที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำทิ้งกากตะกอนที่ถูกปรับสภาพด้วยโอโซนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ

1.3 การเปลี่ยนแปลงของ Biochemical Oxygen Demand (BOD) ของน้ำทิ้งกากตะกอน

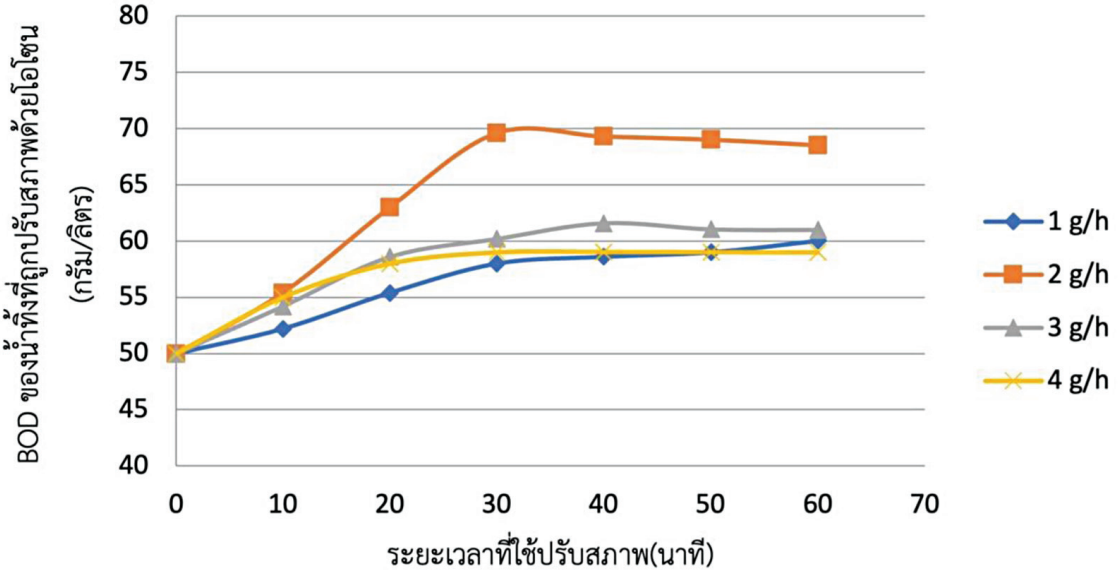
ความเข้มข้น และระยะเวลาที่น้ำทิ้งกากตะกอนสัมผัสโอโซน มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า BOD ($p<0.05$) รวมทั้งมีนัยสำคัญของปฏิสัมพันธ์ของทั้ง 2 ปัจจัย จากภาพที่ 3 ค่า BOD ของน้ำทิ้งกากตะกอนก่อนเติมโอโซนมีค่าเฉลี่ยที่ 49.98±1.89 กรัม/ลิตร และเมื่อเติมโอโซนที่ความเข้มข้นต่างกันพบว่า การเติมโอโซนเพิ่มค่า BOD ได้ในอัตราที่สูงใน 30 นาทีแรก โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นโอโซน 2 กรัม/ชั่วโมง มีค่า BOD เพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 30 นาที ที่ค่าเฉลี่ย 69.60±1.16 กรัม/ลิตร ต่อจากนั้นทุกความเข้มข้นของโอโซนมีค่า BOD ค่อนข้างคงที่

1.4 การเปลี่ยนแปลงของตะกอนของแข็ง (TS) ของน้ำทิ้งกากตะกอน

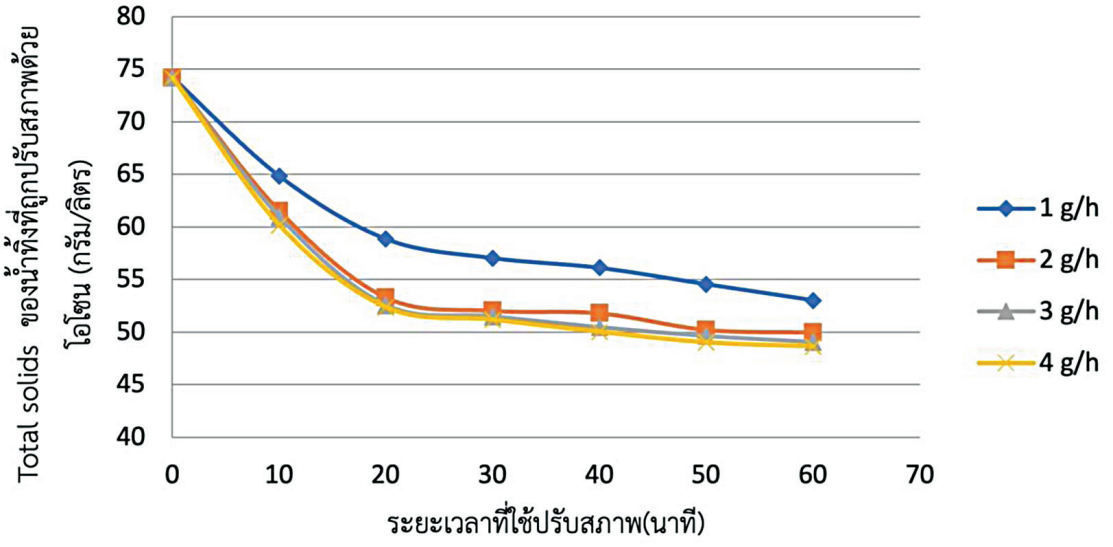
ความเข้มข้นของโอโซนและระยะเวลาที่น้ำทิ้งกากตะกอนสัมผัสโอโซนมีผลต่อการลดลงของค่า TS ($p<0.05$) โดยไม่มีนัยสำคัญทางสถิติของความสัมพันธ์ทั้งสองปัจจัย ($p>0.05$) จากภาพที่ 4 ค่า Total Solids ของน้ำทิ้งกากตะกอนตั้งต้นที่ค่าเฉลี่ย 74.20±1.98 กรัม/ลิตร และทุกความเข้มข้นของโอโซน TS ลดลงเมื่อเติมโอโซนนานขึ้น การสัมผัสโอโซนทำให้ TS ลดลงอย่างมากในช่วง 30 นาทีแรก ในทุก ๆ ความเข้มข้นของโอโซน ต่อจากนั้นการลดลงจะน้อยลงจนเกือบไม่เปลี่ยนแปลง ความเข้มข้นของโอโซนที่ 2, 3, 4 กรัม/ชั่วโมง ทำให้ TS เหลือที่ 60 นาที ไม่แตกต่างกันมาก

1.5 การเปลี่ยนแปลงของ Chemical Oxygen Demand (COD) ของน้ำทิ้งกากตะกอน

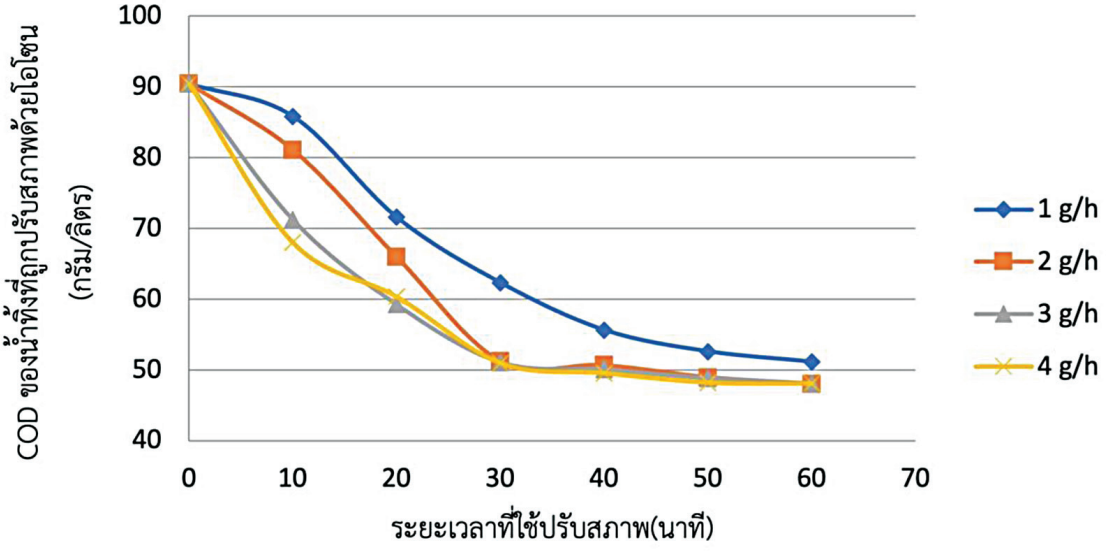
ระยะเวลาที่น้ำทิ้งกากตะกอนสัมผัสโอโซนและความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้มีผลต่อการลดลงของค่า COD ($p<0.05$) รวมทั้งมีปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ค่า COD ก่อนเติมโอโซนมีค่าเฉลี่ยที่ 90.40±0.80 กรัม/ลิตร จากภาพที่ 5 จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นของโอโซน 2, 3, และ 4 กรัม/ชั่วโมง ค่า COD ลดลงอย่างมากใน 30 นาทีแรก จนเหลือ 50.64±1.21 กรัม/ลิตร โดยต่อจากนั้นไม่แตกต่างกันมาก การเติมโอโซนในน้ำทิ้งกากตะกอนจะทำให้ตะกอนปาล์มส่วนใหญ่เป็นกากใยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ย่อยสลายลงได้ ดังนั้นสภาวะที่ลดค่า COD ที่เหมาะสมคือการใช้โอโซนที่ 2 กรัม/ชั่วโมง นาน 30 นาที



ภาพที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ BOD ของน้ำทิ้งกากตะกอนที่ถูกปรับสภาพด้วยโอโซนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ



ภาพที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Total Solids ของน้ำทิ้งกากตะกอนที่ถูกปรับสภาพด้วยโอโซนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ



ภาพที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ COD ของน้ำทิ้งกากตะกอนที่ถูกปรับสภาพด้วยโอโซนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ

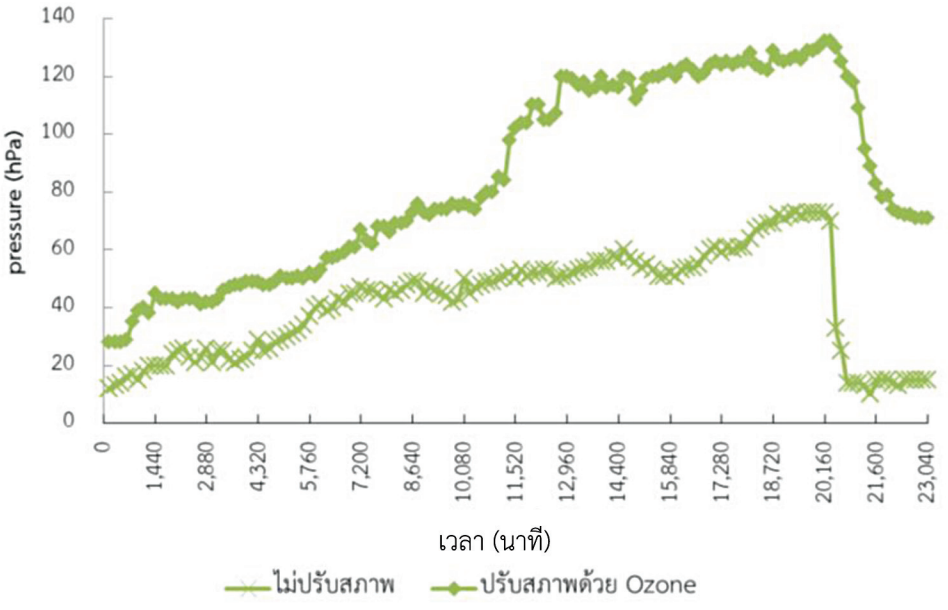
2. สภาวะที่เหมาะสมที่จะปรับสภาพน้ำทิ้งกากตะกอนด้วยโอโซน

การใช้โอโซนที่อัตราการผลิตที่ 1, 2, 3 และ 4 กรัม/ชั่วโมง ในการปรับสภาพน้ำทิ้งกากตะกอนที่เวลา 0, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที พบว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรีดิวซ์หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และ BOD จะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อใช้โอโซนที่ความเข้มข้น 2 กรัม/ชั่วโมง ในช่วง 30 นาทีแรก ของการให้น้ำทิ้งสัมผัสโอโซน ภาพที่ 2 และภาพที่ 3 และเพื่อลดค่าตะกอนในน้ำทิ้ง (TS) และลดค่า COD จะเห็นว่าการลดลงของทั้ง TS และ COD เกิดขึ้นได้ดีในช่วง 30 นาทีแรกของการออกซิไดซ์น้ำทิ้งด้วยโอโซน และเมื่อใช้เวลามากกว่า 30 นาที ขึ้นไป พบว่าอัตราคงที่หรือค่อย ๆ ลดลง ดังแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5 จึงสรุปได้ว่าการปรับสภาพน้ำทิ้งกากตะกอนด้วยโอโซนก่อนนำน้ำทิ้งกากตะกอนไปใช้ในการหมักภายใต้สภาพไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ควรจะใช้ความเข้มข้นของโอโซนที่ 2 กรัม/ชั่วโมง ระยะเวลา 30 นาที สามารถเพิ่มค่าน้ำตาลรีดิวซ์หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและ BOD ได้ถึง 24.54 และ 39.3% ตามลำดับ และสามารถลดค่า TS และ COD ได้ถึง 29.85 และ 43.36% ตามลำดับ ซึ่งทำให้เหมาะที่จะนำไปหมักก๊าซชีวภาพมากกว่าน้ำทิ้งที่ไม่ได้มีการปรับสภาพ

3. การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งกากตะกอนปาล์มที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซน

งานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำทิ้งเข้มข้นของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมด 74.20±1.98 กรัม/ลิตร ปรับให้มีความเข้มข้นของน้ำทิ้ง 10% แล้วนำมาปรับสภาพด้วยก๊าซโอโซนที่ความเข้มข้น 2 กรัม/ชั่วโมง เป็นระยะเวลานาน 30 นาที แล้วนำมาหมักก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับน้ำทิ้งที่ไม่ได้ผ่านการเติมโอโซน โดยทำ 3 ซ้ำ ทดลองใน OxiTop® Control OC 110 Respirometer ผลการทดลองพบว่าความดันก๊าซที่เกิดขึ้นตลอดช่วงระยะเวลาการหมักก๊าซชีวภาพมีความดันเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนครบ 14 วัน ของการหมักทั้งสองชุด แต่ชุดที่มีการปรับสภาพด้วยโอโซนมีความดันก๊าซมากกว่าชุดควบคุม และเมื่อทำการกำจัดก๊าซออกจากส่วนของของเหลวของขวดหมักด้วย Hydrochloric Acid และกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในส่วนของช่องว่างอากาศด้วย Potassium Hydroxide พบว่าน้ำทิ้งทั้งสองชุดทดลอง มีความดันก๊าซลดลงและมีค่าคงที่ต่อจากนั้น

ภาพที่ 6 การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งกากตะกอนทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซนทดลองใน OxiTop® Control OC 110 Respirometer



ภาพที่ 7 ความดันก๊าซที่ได้จากการหมักน้ำทิ้งกากตะกอนปาล์ม

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ที่เกิดขึ้นการหมักในสภาพไร้อากาศของน้ำทิ้งกากตะกอนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และน้ำทิ้งกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซน

ก๊าซ	ชุดทดสอบน้ำทิ้งกากตะกอนที่ไม่ปรับสภาพ	ชุดทดสอบน้ำทิ้งกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพ	p-value*
Total carbon (CH_4 + CO_2 : m mol)	2.137±0.10	3.844±0.13	p< 0.05
CO_2 (m mol)	1.717±0.17	1.483±0.045	p< 0.05
CH_4 (m mol)	0.420±0.17	2.361±0.07	p< 0.05
% CO_2 in Biogas	80.35	38.59	-
% CH_4 in Biogas	19.65	61.41	-
CO_2 : CH_4	80 : 20	39 : 61	

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย t-test

การเปลี่ยนแปลงของความดัน (hPa) ในขวดหมักของทั้งสองชุดทดสอบ (ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซน) แสดงในภาพที่ 7 เห็นได้ว่าความดันของก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักน้ำทิ้งกากตะกอนปาล์มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาจนถึงวันที่ 14 ซึ่งเป็นการสิ้นสุดการหมัก ชุดทดสอบที่หมักโดยใช้น้ำทิ้งกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซนมีความดันที่สูงกว่าชุดทดสอบที่ใช้น้ำทิ้งที่ไม่ผ่านการปรับสภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) วิเคราะห์ผลโดยใช้ t-test แสดงตารางที่ 2 และเมื่อคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นมิลลิโมล (m mol) หรือกรัม/ ลิตร เปรียบเทียบระหว่างน้ำทิ้งกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซนกับชุดทดสอบที่ใช้น้ำทิ้งที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพของชุดไม่ผ่านการปรับสภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมด 2.137±0.10 กรัม/ลิตร เทียบกับปริมาณก๊าซชีวภาพของชุดผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซนที่เกิดขึ้นทั้งหมด 3.844±0.13 กรัม/ลิตร ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 79.9% คงเนื่องจากการปรับสภาพด้วยโอโซนจะทำให้ทำให้โครงสร้างของสารอินทรีย์ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในน้ำทิ้งกากตะกอนที่เป็นสารโมเลกุลใหญ่มีโครงสร้างที่ซับซ้อน เปลี่ยนไปให้เหมาะกับการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ด้วยกระบวนการไฮโดรไลซีส (Hydrolysis) ทำให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและค่าบีโอดีในน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จะเป็นสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซมีเทนโดยจุลินทรีย์ในขั้นต่อไป ขณะเดียวกันโอโซนจะออกซิไดซ์สารอินทรีย์เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในกากตะกอนน้ำทิ้ง ลดค่าของแข็งในน้ำทิ้ง (TS) และลดค่าความต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการกำจัดสารเคมีในน้ำทิ้ง (COD) ก๊าซชีวภาพที่ได้จากน้ำทิ้งกากตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพเป็นก๊าซชีวภาพที่มีคุณภาพดีกว่า โดยจะเห็นว่าปริมาณก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซสำคัญในการติดไฟในก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จาก 0.420±0.17 กรัม/ลิตร เป็น 2.361±0.07กรัม/ลิตร เพิ่มขึ้นถึง 5.6 เท่า และเมื่อเทียบสัดส่วนของมีเทนกับคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพพบว่า ก๊าซชีวภาพที่ได้จากชุดทดสอบที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโอโซนมีสัดส่วนของ CO_2 : CH_4 เท่ากับ 39 : 61 คุณภาพการติดไฟดีกว่าชุดทดสอบที่ไม่ผ่านการปรับสภาพซึ่งมี CO_2 : CH_4 เท่ากับ 80 : 20 ซึ่งโดยทั่วไปองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพจะได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 60-70 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 28-38 % และก๊าซอื่น ๆ ประมาณ 2 % เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ เป็นต้น เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซที่คงตัวและไม่ติดไฟ ดังนั้น คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้จึงขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซมีเทน (Chulapedia, 2011)

สรุป

ผลการวิจัยการใช้โอโซนในการปรับสภาพน้ำทิ้งกากตะกอนน้ำมันปาล์มเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นวิธีการที่เหมาะสมและได้ผลดี จากการที่คุณสมบัติของก๊าซโอโซนไม่ก่อให้เกิดปัญหาการตกค้างของสารเคมี และเตรียมได้ง่าย สามารถเตรียมได้จากอากาศ ผลการศึกษาวิจัยสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพกากตะกอนปาล์มโดยใช้ก๊าซโอโซนในครั้งนี้ พบว่าโอโซนที่ความเข้มข้น 2 กรัม/ชั่วโมง ในระยะเวลา 30 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพน้ำทิ้งกากตะกอนปาล์ม ซึ่งช่วยทำให้กากตะกอนปาล์มที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่เป็นสารโมเลกุลใหญ่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนอยู่ในสภาวะที่พร้อมต่อการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ และเมื่อนำน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับสภาพไปหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ จะได้ก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นกว่าการใช้น้ำทิ้งที่ไม่ปรับสภาพถึง 79.9% และผลผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้มีคุณภาพดีมีปริมาณก๊าซมีเทนที่สูงขึ้นถึง 5.6 เท่า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย จากกองทุนวิจัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม เลขที่สัญญา วทส.609/2560

เอกสารอ้างอิง

APHA, AWWA., & WEF. (1998). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. (20th). Washington: APHA.

APHA, AWWA., & WEF. (2017). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. (23rd). Washington: APHA.

Chulapedia. (2011). **Biogas**. Retrieved from http://www.chulapedia.chula.ac.th/index.php?title=%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%B2%E0%B8%8B%E0%B8%8A%E0%B8%B5%E0%B8%A7%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E [2011, 27 Mar.]

ERDI-CMU. (2021). **Palm oil waste to generate electricity to reduce global warming.** Retrieved from https://erdi.cmu.ac.th/?p=1606 [2021, 1 Nov.]

Gupta, S., Sharma, A., Chadra, T.S., Malik, S., Waindeskar, V., & Mudliar, S. (2015). Effect of ozone pretreatment on biodegradability enhancement and biogas generation potential from biomethanated distillery effluent. **Ozone: Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association**, **37**(5), 411-419.

Lin, S.H., & Yeh, K.L. (1993). Looking to treat wastewater by ozone. **Chemical Engineering**, **100**(5), 112-116.

Miller, G.L. (1959). **Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar**. Retrieved from https://doi.org/10.1021/ac60147a030 [2011, 27 Mar.]

Wisessombat, S. (2014). **Ozone**. Retrieved from https://medtech.psu.ac.th/Files_Ariticle/20140721xU9evoENlycr.pdf [2020, 17 Jul.]