การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยสาหร่าย Chlorella sp. ในระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อขดภายใต้แสงแอลอีดี

Biogas Quality Improvement with *Chlorella sp.* in a Helical Tubular Photobioreactor in LED Light

ธัญวัฒน์ กลั่นคูวัฒน์[1], ชวโรจน์ ใจสิน[2*], จุฑาภรณ์ ชนะถาวร[2], ปุณยสิริ บุญเป็ง[3], รจพรรณ นิรัญศิลป์[2]
Tanyawat Klancoowat[1], Chawaroj Jaisin[2*], Jutaporn Chanathaworn[2], Poonyasiri Boonpeng[3], Rotjapun Nirunsin[2]
Received: 24 May 2019 ; Revised: 16 September ; Accepted: 29 October 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยสาหร่าย *Chlorella sp.* 200 L ในระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อขดภายใต้แสงแอลอีดี 2 สี ได้แก่ สีแดง และสีน้ำเงิน ทำการเปิด 24 hr ที่อัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 20 L/min และอัตราการจ่ายก๊าซชีวภาพเข้าระบบที่ 0.1 L/min เป็นเวลา 12 hr สลับการเติมอากาศ 6 L/min เป็นเวลา 12 hr ตลอดระยะเวลา 7 วัน พบว่าแสงที่มีความเหมาะกับการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพด้วยสาหร่าย *Chlorella sp.* ในระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อขดภายใต้แสงแอลอีดี คือ แสงสีแดง ซึ่งให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 1.841 day^{-1} ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 19.02 % และประสิทธิภาพของการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดเท่ากับ 58.27%

คำสำคัญ: การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ คลอเรลล่า เอสพี ระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อขด แสงแอลอีดี

Abstract

The aim of the research is to improve the biogas quality with Chlorella sp. 200 L cultivated in a helical tubular photobioreactor under the two LED light types (red and blue colors) throughout 24 hours. A water flow rate of 20 L/min and the biogas rate of 0.1 L/min, provided 12 hours and alternated 12 hours with filling air of 6 L/min, were determined as the experimental conditions. The experimental results during a 7 day experimental procedure showed that the red LED light used for Chlorella sp. cultivation is appropriate for biogas quality improvement leading to the highest specific growth rate of 1.841 day^{-1}. Moreover, the results revealed the efficiency of increased methane content at 19.02 % and the efficiency of removed carbon dioxide at 58.27%.

Keywords: biogas quality improvement, *chlorella sp.*, helical tubular photobioreactor, LED light

[1] *นิสิตปริญญาโท, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้*
[2] *อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้*
[3] *อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*
[1] *Graduate students, School of Renewable Energy, Maejo University*
[2] *Lecturer School of Renewable Energy, Maejo University*
[3] *Lecturer Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna*
* *Corresponding author: Chawaroj Jaisin, School of Renewable Energy, Maejo University. Email: chawaroj@mju.ac.th*

บทนำ

ก๊าซชีวภาพจัดเป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic digestion, AD) ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) ร้อยละ 50-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 30-50 และก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไอน้ำ[1] การที่จะนำก๊าซชีวภาพมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทนก๊าซธรรมชาติสำหรับยานพาหนะนั้น ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพให้มีคุณสมบัติเทียบเท่าก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์เครื่องยนต์ธรรมดาตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2561 ก๊าซมีเทนไม่ต่ำกว่า 65% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 15% เพื่อทำให้ก๊าซชีวภาพมีสัดส่วนก๊าซมีเทนสูงขึ้น จึงต้องมีการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออก เนื่องจากเป็นก๊าซที่เผาไหม้ไม่ได้ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานในการเผาไหม้ลดลง โดยเทคโนโลยีการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพจะออกแบบเป็น 2 เทคโนโลยี คือ 1.เทคโนโลยีทางกายภาพเคมี 2.เทคโนโลยีทางชีวภาพ เทคโนโลยีการปรับปรุงก๊าซชีวภาพทางชีวภาพ เป็นเทคโนโลยีที่ว่าด้วยคาร์บอนไดออกไซด์สามารถจะเปลี่ยนเป็นพลังงานหรือผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น ในสภาวะการทำงานที่ไม่รุนแรง เช่น ทำงานที่ความดันบรรยากาศ ระดับอุณหภูมิปานกลาง ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยสาหร่ายขนาดเล็กมีความสามารถในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และออกซิเจนจากกระบวนการสังเคราะห์แสง[3] โดยสาหร่ายขนาดเล็กมีหลากหลายสายพันธุ์ แต่สายพันธุ์ที่มีความน่าสนใจในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ สาหร่าย Chlorella sp.

สาหร่าย *Chlorella sp.* เป็นสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียวมีความสามารถสูงในการบำบัดน้ำเสียพบได้ตามแหล่งน้ำจืดและน้ำเค็มทั่วไป[4] สามารถเติบโตได้ภายใต้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 40% จากงานวิจัยของ Yan และ Zheng[5] สามารถเพิ่มสัดส่วนของ CH_4 หลังการปรับปรุงด้วยสาหร่าย *Chlorella sp.* คือ 92% มีประสิทธิภาพในการลดคาร์บอนไดออกไซด์ 86% และ Posadas Esther และคณะ[6] สามารถเพิ่มสัดส่วนของ มีเทน ได้ถึง 94% มีประสิทธิภาพการลดคาร์บอนไดออกไซด์ 95% เป็นต้น

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสามารถเลี้ยงได้ทั้งระบบเปิด (Open pond) และระบบปิดระบบบ่อปิดโฟโตไบโอรีแอกเตอร์ (Closed photobioreactor) แต่ระบบจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป เช่น ระบบเปิดแบบบ่อร่องน้ำ (Raceway pond) เป็นระบบที่ใช้พลังงานต่ำ ทำความสะอาดและซ่อมบำรุงง่าย แต่ให้ผลผลิตที่ต่ำต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ปนเปื้อนได้ง่าย ระบบปิดโฟโตไบโอรีแอกเตอร์จะเป็นระบบที่ให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่สูง ไม่มีการปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมให้แสงได้ทั่งถึง ระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์ จะแบ่งได้หลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างและรูปทรงของระบบที่ทำขึ้น เช่น แบบแผ่น แบบทรงกระบอก และแบบท่อ[7] รูปแบบของระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อขด (Helical tubular photobioreactor) เป็นระบบที่ความน่าสนใจในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพราะเป็นระบบที่มีท่อที่ยาว จึงกระจายอากาศหรือคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับสาหร่ายขนาดเล็กในระบบอย่างมีประสิทธิภาพ มีพื้นที่รับแสงมากให้ปริมาณชีวมวลที่ดี[8] การเพาะเลี้ยงในระบบปิดยังสามารถประยุกต์ใช้แสงเทียมจากหลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดไดโอดเปล่งแสง (Light emitting diode; LED) การใช้หลอดไดโอดเปล่งแสงสามารถปรับช่วงแสงและความเข้มแสงที่สาหร่ายขนาดเล็กต้องการได้ดีกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์[9]

จากข้อมูลข้างต้นงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของก๊าซชีวภาพโดยใช้สาหร่าย *Chlorella sp.* เลี้ยงในระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อขดภายใต้แสงจากหลอด LED เพื่อหาความสามารถของระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อขดในการเพิ่มสัดส่วนก๊าซมีเทน การลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของก๊าซชีวภาพ รวมถึงการเจริญเติบโต โดยการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella sp.* ภายใต้แสงจากหลอด LED ที่ความเข้มและช่วงคลื่นแสงสีแดงและน้ำเงิน

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการเตรียมสาหร่าย *Chlorella sp.*

1. นำสาหร่าย Chlorella sp. จากสาขาวิชาการประมง คณะมหาวิทยาลัยแม่โจ้ – ชุมพร มาเพาะเลี้ยงในขวดปริมาตร 5 L จำนวน 20 ขวด โดยให้สารอาหาร ดังนี้ ยูเรีย (46-0-0) 0.2 g/L ปุ๋ยนา (16-20-0) 0.1 g/L รำ 0.33 g/L ปูนขาว 0.06 g/L เติมอากาศ 24 hr ใช้แสงอาทิตย์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง จนสาหร่ายมีความเข้มข้นที่ $14\text{-}15\times10^6$ cell/mL

2. นำสาหร่ายจากข้อที่ 1 ปริมาณ 100 L ใส่ในระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อขด จากนั้นเติมน้ำสะอาดเพิ่มอีก 100 L และสารอาหารดังข้อที่ 1 ซึ่งจะทำให้มีจำนวนเซลล์สาหร่าย *Chlorella sp*. ที่ใช้ในการทดลองเริ่มต้นที่ระดับความเข้มข้น $7\text{-}7.5\times10^6$ cell/mL

ขั้นตอนขั้นตอนการเตรียมก๊าซชีวภาพ

ได้ทำการเติมเศษอาหารขยะอินทรีย์ให้ ระบบหมักแบบต่อเนื่อง ยี่ห้อ COWTEC รุ่น CT 30 ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพในการทดลอง ดัง Figure 1 การเติมเศษอาหารใช้ ข้าวสวยที่เหลือจากการบริโภค 4 kg/day ตลอดการทดลอง 7 วัน ทำการกวนระบบวันละ 2 ครั้ง เช้าเย็น ครั้งละ 10 นาที

Figure 1 Biogas systems

ขั้นตอนการออกแบบและติดตั้ง

ทำการออกแบบและสร้างระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อขดในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้สาหร่าย *Chlorella sp.* มีรูปแบบการทำงานของระบบดัง Figure 2 โดยมีรายละเอียดของระบบดังนี้

1. ระบบการหมุนวนน้ำและก๊าซชีวภาพ ใช้ปั๊มน้ำปั๊ม 3 เฟส ยี่ห้อ VENZ รุ่น VM 100 ขนาด 1 HP 0.75 kW ใช้อินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ NFLiXin รุ่น 9000-1T-00040GB ขนาด 4 kW ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำ และมีระบบป้อนก๊าซชีวภาพเข้าระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยใช้ระบบเติมก๊าซแบบเวนจูรี่ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของแรงดันภายในท่อขณะปั๊มน้ำทำงานฉีดน้ำผ่านหัวพ่นเวนจูรี่ที่มีรูปร่างเป็นคอคอดเพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำจนกระทั่งเกิดแรงดูดอากาศลงมาผสมกับน้ำทำให้เกิดการถ่ายเทก๊าซชีวภาพลงไปในระบบเลี้ยงสาหร่ายผ่านทางท่อเวนจูรี่ขนาด 1 นิ้ว ยี่ห้อ Superproduct โดยทำการเติมก๊าซชีวภาพที่อัตราการไหลก๊าซที่ต่ำที่สุดที่ระบบจะทำได้ คือ 0.1 L/min เป็นเวลา 12 hr (8.00 น.- 20.00 น.) ที่อัตราการไหลของน้ำสาหร่าย 20 L/ min สลับการเติมอากาศ 6 L/min เวลา 12 hr (20.00 น.- 8.00 น.) ตลอด 7 วัน

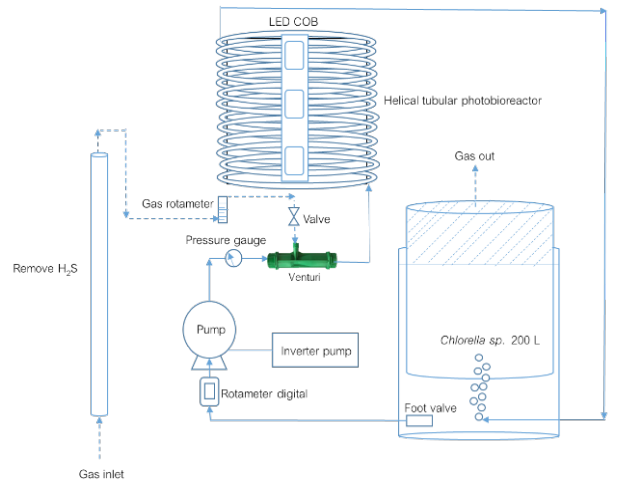

Figure 2 Helical tubular photobioreactor

2. ระบบให้แสงสว่าง เป็นการใช้แสงเทียมแสงอาทิตย์โดยใช้ LED COB สีน้ำเงิน สีแดง ขนาด 50 W อย่างละ 12 ดวง ติดบนท่ออะลูมิเนียมสูง 0.8 m เพื่อให้สามารถกระจายแสงให้กับท่อ PVC ใส่ขนาด 1.5 นิ้ว ยาว 36 m ซึ่งภายในบรรจุน้ำสาหร่าย พันรอบโครงสร้างเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 m จำนวน 20 รอบ ดัง Figure 3 และจะให้แสงสว่าง 24 hr ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง 7 วัน

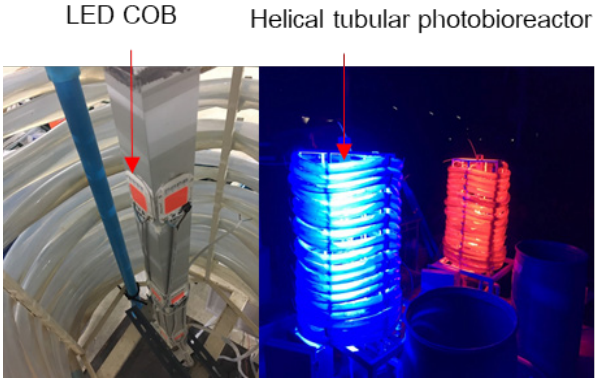

Figure 3 Light LED COB rad and blue

3. ระบบถังเก็บก๊าซชีวภาพและสาหร่าย เป็นถังที่ใช้ในการกักเก็บก๊าซชีวภาพที่ต้องปรับปรุงคุณภาพและใช้เก็บสาหร่ายที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงในระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อขด ลักษณะของถังจะเป็นถังพลาสติกทึบแสงขนาด 200 L บรรจุน้ำสาหร่าย และมีถังพลาสติกทึบแสงขนาด 120 L สำหรับใช้เป็นถังเก็บก๊าซชีวภาพและสาหร่ายโดยจะคว่ำลงบนปากถังขนาด 200 L เพื่อใช้ในการเก็บก๊าซชีวภาพดัง Figure 4

4. ระบบกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพก่อนเข้าระบบเลี้ยงสาหร่ายให้มีปริมาณไม่เกิน 50 ppm (v/v)[10] โดยใช้ฝอยเหล็กสนิมที่อยู่ในท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ความยาว 1 เมตร ดัง Figure 4

ขั้นตอนการวิเคราะห์

การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของสาหร่าย

นำตัวอย่างสาหร่าย *Chlorella sp* 10 ml จากถังพักน้ำสาหร่าย โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Nuvotech E306 และแผ่นนับเซลล์ Hemocytometer ยี่ห้อ HBG ในการนับจำนวนเซลล์สาหร่าย จากการศึกษางานวิจัยของ Madiha และคณะ[11] เพื่อคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (m, day^{-1}) จากสมการที่ 1 โดยที่ N_2 และ N_1 เป็นความเข้มข้นของเซลล์สาหร่าย ($\times 10^6$ cell/mL) ที่เวลา t_2 และ t_1 (day) ตลอด 7 วัน

$$\mu = \ln (N_2 - N_1) / t_2 - t_1 \quad (1)$$

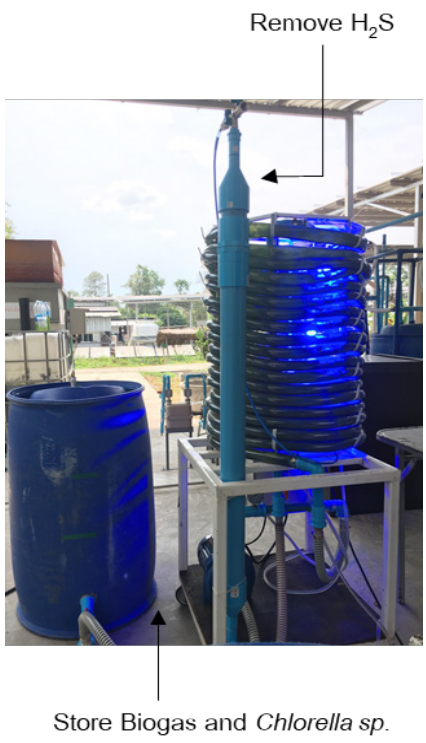

Figure 4 Remove H_2S and store biogas

การวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ

การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ เพื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซโดยใช้ถุงเก็บก๊าซ ขนาด 500 mL ยี่ห้อ RESTEK โดยทำการเก็บก๊าซชีวภาพที่ตำแหน่ง Gas inlet และ Gas out ดัง Figure 1 จากนั้นนำถุงตัวอย่างก๊าซเข้าเครื่องวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ ยี่ห้อ Geotech Biogas 5000 และนำค่าที่ทำการคำนวณหาประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทน (R_{CH4}, %) ดังสมการที่ 2 โดยที่ $CH_{4,\ out}$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนหลังออกระบบ (% v/v) และ $CH_{4,\ in}$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนก่อนเข้าระบบ (% v/v)

$$R_{CH4} = \left[1 - \left(\frac{CH_{4,In}}{CH_{4,Out}}\right)\right] \times 100 \quad (2)$$

การหาประสิทธิภาพของการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (R_{CO2}, %) ได้จากสมการที่ 3 โดยที่ $CO_{2,\ out}$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลังออกระบบ (% v/v) และ $CO_{2,\ in}$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนเข้าระบบ (% v/v) (Yan และZheng, 2014)

$$R_{CO2} = \left[1 - \left(\frac{CO_{2,Out}}{CO_{2,In}}\right)\right] \times 100 \quad (3)$$

Table 1 The growth of algae and biogas after the system helical tubular photobioreactor

Measured data	Time (day)						
	1	2	3	4	5	6	7
LED light red							
Cell number ($\times 10^6$ cell/mL)	7.6	8.475	9.325	15.675	23.825	26.45	31.4
CH_4 inflow (%, v/v)	63.6	60.7	59.4	55.7	55.4	56.4	55.2
CH_4 outflow (%, v/v)	67.7	67.1	68.9	65.3	63.7	66.7	68.2
R_{CH4} (%)	6.53	10.54	15.99	17.23	18.05	18.26	19.02
CO_2 inflow (%, v/v)	31.65	38.00	39.70	39.30	40.10	38.90	40.90
CO_2 outflow (%, v/v)	20.1	19.0	17.0	16.4	20.0	18.9	20.1
R_{CO2} (%)	36.49	50	57.18	58.27	50.12	51.41	50.86
LED light Blue							
Cell number ($\times 10^6$ cell/mL)	7.6	8.15	8.7	9.3	13.7	17.1	21.18
CH_4 inflow (%, v/v)	63.6	60.7	59.4	55.7	55.4	56.4	55.2
CH_4 outflow (%, v/v)	66.4	66.8	65.9	64.2	63.7	64.8	63.7
R_{CH4} (%)	4.48	10.05	10.94	15.26	14.98	14.89	15.40
CO_2 inflow (%, v/v)	31.7	38.0	39.7	39.3	40.1	38.9	40.9
CO_2 outflow (%, v/v)	22	21.4	20.6	19.3	20.7	20.0	21.8
R_{CO2} (%)	30.49	43.68	48.11	50.89	48.38	48.59	46.70

Table 2 Maximum Cell number,m , R_{CH4} and R_{CO2}

LED light	Cell number max ($\times 10^6$ cell/mL)	μ_{max} (day^{-1})	$R_{CH4, max}$ (%)	$R_{CO2, max}$ (%)
Red (646 nm)	31.4	1.841	19.02	58.27
Blue (451 nm)	21.18	0.822	15.40	50.89

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella sp* และก๊าซชีวภาพหลังผ่านระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อขด ระหว่างแสงสีแดงและน้ำเงิน ดัง Table 1 จะเห็นได้ว่าระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อขดแสงสีแดง ให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายวันที่ 7 ที่ความเข้มข้น 31.4 $\times 10^6$ cell/mL มากว่าสีน้ำเงินที่ได้ความเข้มข้น 21.18 $\times 10^6$ cell/mL ซึ่งเป็นดังรายงานการวิจัยของ Yongjun Zhao[12] พบว่า สาหร่าย *Chlorella sp.* มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับความยาวคลื่นแสงสีแดงผ่านคลอโรฟิลระหว่างการสังเคราะห์ด้วยแสงในขณะที่ความยาวคลื่นแสงอื่น ๆ สามารถดูดซับได้เพียงบางส่วนเท่านั้น สำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงส่งผลให้สาหร่าย *Chlorella sp.* เจริญเติบโตได้ดีกว่าแสงสีน้ำเงิน เป็นผลทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงทำให้ในก๊าซชีวภาพมีสัดส่วนก๊าซมีเทนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งประสิทธิภาพของการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด จะเพิ่มไปตามการเจริญโตของสาหร่ายดัง Table 2 แสงสีแดงจะให้ประสิทธิภาพของการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 58.27 %ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด 19.02 % ในส่วนของสีน้ำเงินจะให้ประสิทธิภาพของการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 50.89 % ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด 15.40%

สรุปผล

จากการออกแบบและสร้างระบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์แบบท่อขดในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพ โดยใช้ระบบเติมก๊าซด้วยท่อเวนจูรี่และระบบให้แสงสว่าง LED COB ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella sp.* พบว่าภายใต้การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella sp.* แสงแอลอีดีสีแดงมีความเหมาะสมกับการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพ ให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 1.841 day^{-1} ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดเท่ากับ 19.02 % และประสิทธิภาพของการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดเท่ากับ 58.27 % ดีกว่าแสงแอลอีดีสีน้ำเงิน ที่ให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 0.822 day^{-1} ประสิทธิภาพของการ กำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 50.89 % ประสิทธิภาพการเพิ่มปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด 15.40 %

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาภายใต้โครงการ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” ขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนจากศูนย์วิจัยนวัตกรรมเกษตรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการการพัฒนาพลังงานทดแทนและการประยุกต์ใช้ ในชุมชนสีเขียว ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการชุมชนต้นแบบเลี้ยงปลาอัจฉริยะสีเขียวเพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล กรณีศึกษาชุมชนบ้านทุ่งยาว อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงาน

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน (พลังงานก๊าซชีวภาพ). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dede.go.th/ article_attach/h_biogas.pdf (1 มิถุนายน 2561).
2. Angelidaki Irini., Treu, Laura., Tsapekos, Panagiotis., Luo, Gang., Campanaro, Stefano., Wenzel, Henrik. and Kougias, Panagiotis G. 2018. Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. Biotechnology Advances,36(2), 452-466.
3. Jing Shi., Björn Podola. and Michael Melkonian. 2007. Removal of nitrogen and phosphorus from wastewater using microalgae immobilized on twin layers: an experimental study. Journal of Applied Phycology, 19(5), 417-423.
4. Sakai N., Sakamoto Y., Kishimoto N., Chihara M. and Karube I. 1995. Chlorella strains from hot springs tolerant to high temperature and high CO2.Energy Conversion and Management, 36(6), 693-696.
5. Yan Cheng. and Zheng Zheng. 2013. Performance of photoperiod and light intensity on biogas upgrade and biogas effluent nutrient reduction by the microalgae Chlorella sp. Bioresource Technology,139 (292-299).
6. Posadas Esther., Marín David., Blanco Saúl., Lebrero Raquel. And Muñoz Raúl. 2017. Simultaneous biogas upgrading and centrate treatment in an outdoors pilot scale high rate algal pond. Bioresource Technology, 232(133-141).
7. ชิษณุพงศ์ ประทุม. 2558. ความเป็นไปได้ในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพจากโรงงานอุตสาหกรรม. วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม, 11(2), 108-133.
8. Briassoulis D., Panagakis P., Chionidis M., Tzenos D., Lalos A., Tsinos C., Berberidis K. and Jacobsen A. 2010. An experimental helical-tubular photobioreactor for continuous production of Nannochloropsis sp. Bioresource Technology, 101(17), 6768-6777.
9. Pawar Sanjay. 2016. Effectiveness mapping of open raceway pond and tubular photobiore actors for sustainable production of microalgae biofuel. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62(640-653).
10. Yan Cheng. and Zheng Zheng. 2014. Performance of mixed LED light wavelengths on biogas upgrade and biogas fluid removal by microalga Chlorella sp. Applied Energy,(113) 1008-1014.

11. Madiha Atta., Ani Idris., Ataullah Bukhari. and Suzana, Wahidin. 2013. Intensity of blue LED light: A potential stimulus for biomass and lipidcontent in fresh water microalgae *Chlorella vulgaris*.Bioresource Technology 148(373-378).
12. Yongjun Z., Juan W., Hui Z., Cheng Y. and Yuejin Z. (2013). Effects of various LED light wavelengths and intensities on microalgae-based simultaneous biogas upgrading and digestate nutrient reduction process. Bioresource Technology 136(461–468).