

โฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนในอากาศด้วยสาหร่ายคลอเรลล่า

กนกกานต์ มีแก้ว และนพรัตน์ วันแก้ว*

โรงเรียนหัวหิน ตำบลหัวหิน อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

* Corresponding author: kanokkanmeekeaw123@gmail.com

บทคัดย่อ

เนื่องจากสภาวะโลกร้อนส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพอากาศของโลก โดยเฉพาะปรากฏการณ์เรือนกระจกที่มีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องทำให้ผู้วิจัยออกแบบและพัฒนาระบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนในอากาศด้วยสาหร่ายคลอเรลล่า โดยระบบประกอบด้วยสี่ส่วน ดังนี้ (1) โครงสร้างโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติที่ออกแบบด้วยโปรแกรมออกแบบ (CAD) สร้างด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer) (2) ชุดควบคุมอัตโนมัติ (Automation Control Set) ที่ประกอบด้วยบอร์ดควบคุมและเซนเซอร์ (3) ชุดติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วยกล้องตรวจจับ (Algae Growth Monitoring Set) และ (4) ระบบเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านแพลตฟอร์ม (IoT) ผลการทดสอบพบว่า โครงสร้างสามารถรองรับน้ำหนักและนำไปติดตั้งได้ถูกต้องคิดเป็นค่าเฉลี่ย 80.00% ชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์สามารถเชื่อมต่อและทำงานได้ถูกต้องคิดเป็นค่าเฉลี่ย 80.00% ชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตสามารถตรวจจับภาพของสาหร่ายคลอเรลล่าได้ถูกต้องคิดเป็นค่าเฉลี่ย 90.00% และประสิทธิภาพการดักจับ CO_2 ในอากาศระบบสามารถลดความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 จากค่าเฉลี่ย 587.53 ppm เหลือ 503.03 ppm ในระยะเวลาการทดสอบ 5 วัน คิดเป็นประสิทธิภาพการดักจับเฉลี่ย 14.06% โดยมีอัตราการดักจับสูงสุดเฉลี่ย 19.25% และต่ำสุดเฉลี่ย 8.29%

ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อนำไปใช้แก้ปัญหาสภาวะโลกร้อนจากการดักจับก๊าซ CO_2 โดยใช้สาหร่ายคลอเรลล่าที่ดูแลควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ จุดประสงค์เพื่อให้ระบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่สามารถนำไปใช้ดูแลสาหร่ายประเภทอื่นๆ และวิเคราะห์การดักจับก๊าซ CO_2 ในสิ่งแวดล้อมได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: โฟโตรีแอคเตอร์ / การดักจับคาร์บอน / สาหร่ายคลอเรลล่า / อัตโนมัติ / กล้องตรวจจับ

Automated Photobioreactor for Atmospheric Carbon Sequestration Using Chlorella Algae

Kanokkan Meekeaw, and Nopparat Wankaew*

Hua Hin School, Prachuap Khiri Khan, Thailand

* Corresponding author: kanokkanmeekeaw123@gmail.com

Abstract

Due to the direct impact of global warming on living organisms and the Earth's climate, particularly the greenhouse effect primarily caused by carbon dioxide, the researchers designed and developed an automated photobioreactor for atmospheric carbon sequestration using Chlorella algae. The system consists of four components: (1) a photobioreactor structure designed with CAD software and fabricated using a 3D printer, (2) an automation control set comprising control boards and sensors, (3) an algae growth monitoring set with detection cameras, and (4) a real-time data collection system via IoT platform. Testing results showed that the structure could support weight and be installed correctly with an average efficiency of 80.00%. The photobioreactor control set connected and functioned properly with an average efficiency of 80.00%. The growth monitoring camera system detected Chlorella algae correctly with an average efficiency of 90.00%. For CO₂ sequestration performance, the system reduced atmospheric CO₂ concentration from an average of 587.53 ppm to 503.03 ppm during the 5-day testing period, representing an average sequestration efficiency of 14.06%, with maximum and minimum average sequestration rates of 19.25% and 8.29%, respectively.

This developed system applies technology to address global warming through CO₂ sequestration using Chlorella algae maintained by an automated system. The purpose is to enable the system's application to larger structures, adaptation for other algae species, and accurate, efficient analysis of CO₂ sequestration in the environment.

Keywords: Photobioreactor / Carbon Sequestration / Chlorella Algae / Automation / Detection Camera

1. บทนำ

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) เป็นวิกฤตการณ์ระดับโลกที่ส่งผลกระทบรุนแรงต่อระบบนิเวศและการดำรงชีวิตของมนุษย์ สาเหตุหลักมาจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ จากรายงานของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) พบว่าความเข้มข้นของ CO₂ ในชั้นบรรยากาศได้เพิ่มขึ้นจาก 280 ppm ในยุคก่อนอุตสาหกรรมเป็นมากกว่า 410 ppm ในปัจจุบัน [1] ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การพัฒนาเทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บคาร์บอน (Carbon Capture and Storage, CCS) จึงเป็นหนึ่งในแนวทางสำคัญในการบรรเทาปัญหาดังกล่าว โดยเฉพาะการใช้วิธีทางชีวภาพ (Biological Carbon Capture) ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การใช้จุลสาหร่าย (Microalgae) ในการดักจับ CO₂ ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากจุลสาหร่ายมีประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนสูงกว่าพืชบกถึง 10-50 เท่า [2]

สาหร่ายคลอเรลลา (*Chlorella* sp.) เป็นจุลสาหร่ายสีเขียวที่มีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้สำหรับการดักจับ CO₂ ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ โดยมีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว สามารถเพิ่มจำนวนเซลล์ได้เป็น 2 เท่าภายใน 24 ชั่วโมง มีความสามารถในการทนต่อความเข้มข้นของ CO₂ สูงถึง 15-20% [3] มีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสูง สามารถเปลี่ยน CO₂ เป็นชีวมวลได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถเพาะเลี้ยงได้ในน้ำจืด น้ำเค็ม หรือน้ำกร่อย และชีวมวลที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการสูงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย การเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในระบบปิดแบบโฟโตไบโอเรแคเตอร์ (Photobioreactor) ที่มีประสิทธิภาพสูงยังคงมีความท้าทายหลายประการ ทั้งในด้านการควบคุมปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นแสง อุณหภูมิ pH และปริมาณ CO₂ การออกแบบระบบให้มีการกระจายแสงและการผสมที่มีประสิทธิภาพ การลดต้นทุนการผลิตและการใช้พลังงาน การป้องกันการปนเปื้อน รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับ CO₂ [4] จากเหตุผลข้างต้นทำให้ผู้พัฒนาต้องการออกแบบและพัฒนาระบบโฟโตไบโอเรแคเตอร์ที่ใช้การควบคุมอัตโนมัติที่มีชุดควบคุมร่วมกับระบบเซนเซอร์เพื่อตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญ ทั้งค่า PH, อุณหภูมิ, ความเข้มข้นแสงและความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ ส่งเป็นสัญญาณผ่านอินเทอร์เนตเพื่อสร้าง Real-time monitoring system ที่ใช้ในการดูแลระบบโฟโตไบโอเรแคเตอร์และการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลลา เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการดักจับคาร์บอนที่มีประสิทธิภาพ ลดต้นทุน นอกจากนี้ ยังสามารถต่อยอดองค์ความรู้ในการพัฒนาระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และการประยุกต์ใช้ในด้านอื่นๆ เช่น การผลิตชีวมวล การบำบัดน้ำเสีย และการผลิตผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงจากจุลสาหร่าย ซึ่งจะเป็นส่วนสำคัญในการช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและพัฒนาโครงสร้างโฟโตไบโอเรแคเตอร์อัตโนมัติสำหรับดักจับคาร์บอนในอากาศด้วยสาหร่ายคลอเรลลา
2. ศึกษาและพัฒนาชุดควบคุมโฟโตไบโอเรแคเตอร์สำหรับดักจับคาร์บอนในอากาศด้วยสาหร่ายคลอเรลลา
3. พัฒนาดันแบบโฟโตไบโอเรแคเตอร์อัตโนมัติสำหรับดักจับคาร์บอนในอากาศด้วยสาหร่ายคลอเรลลา

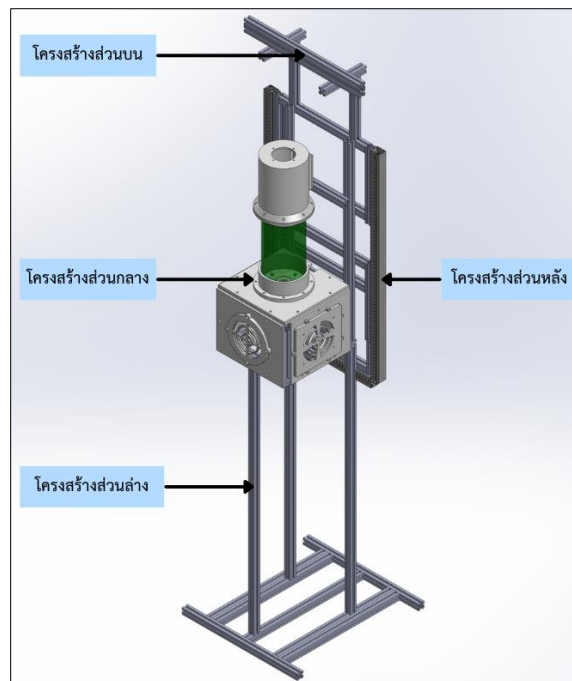
3. วิธีดำเนินการ

การออกแบบและพัฒนาระบบโฟโตไบโอเรแคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเรลลาแบ่งการออกแบบและพัฒนาเป็น 4 ส่วน ส่วนที่หนึ่งการออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบโฟโตไบโอเรแคเตอร์ ส่วนที่สองการออกแบบชุดควบคุมโฟโตไบโอเรแคเตอร์ ส่วนที่สามการออกแบบและพัฒนาดันแบบโฟโตไบโอเรแคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอน ส่วนที่สี่การทำงานและโปรแกรมควบคุม

3.1 การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบโฟโตไบโอเรแคเตอร์

การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของโฟโตไบโอเรแคเตอร์ออกแบบโดยใช้โปรแกรมการออกแบบทางคอมพิวเตอร์ (CAD) ช่วยในการออกแบบ โดยออกแบบโครงสร้างเป็น 4 ส่วน โครงสร้างส่วนที่หนึ่งเป็นโครงสร้างด้านบน ประกอบด้วยโมดูลแอลอีดี (LED Module) และแผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) ด้านล่างของโครงสร้างเป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

160 mm สูง 400 mm มีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor), เซนเซอร์วัดความชื้น (Humidity Sensor), เซนเซอร์วัดค่า pH (pH Sensor), เซนเซอร์วัดแสง (LDR Sensor), เซนเซอร์วัดความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ (CO₂ Sensor Module) และพัดลมสำหรับระบายอากาศ (DC Fan 12V) โครงสร้างส่วนที่สองเป็นโครงสร้างส่วนกลาง เป็นโครงสร้างที่บรรจุสาหร่ายคลอเรลล่า เป็นทรงกระบอกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 mm สูง 150 mm มีขนาดบรรจุ 2,000 mL มีชั้นส่วนรองรับด้านบนและด้านล่าง โครงสร้างส่วนที่สามเป็นโครงสร้างส่วนล่าง เป็นโครงสร้างที่เป็นฐานรองรับโครงสร้างส่วนบนและส่วนกลางเป็นโครงสร้างที่ประกอบขึ้นจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาด 20x20 mm เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 250 x 250 x 180 mm ภายในโครงสร้างส่วนล่างติดตั้งปั๊มอากาศ (Air Pump) สำหรับจ่ายอากาศให้กับสาหร่ายคลอเรลล่าและติดตั้งเซนเซอร์วัดความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ ด้านล่างเป็นขารองรับสูง 600 mm โครงสร้างส่วนที่สี่เป็นโครงสร้างด้านหลังเป็นโครงสร้างที่ประกอบจากอลูมิเนียมโปรไฟล์มีความกว้าง 250 mm และสูง 700 mm เป็นโครงสร้างที่รองรับชิ้นส่วนในการติดตั้งชุดควบคุมอัตโนมัติ (Automation Control Set), ชุดควบคุมกล้อง (Camera Control set), ชุดปั๊มจ่ายของเหลว (Peristaltic Pump), ชุดแหล่งจ่ายพลังงาน (Power Module) การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของโฟโตรีแอคเตอร์แสดงดังรูปที่ 1

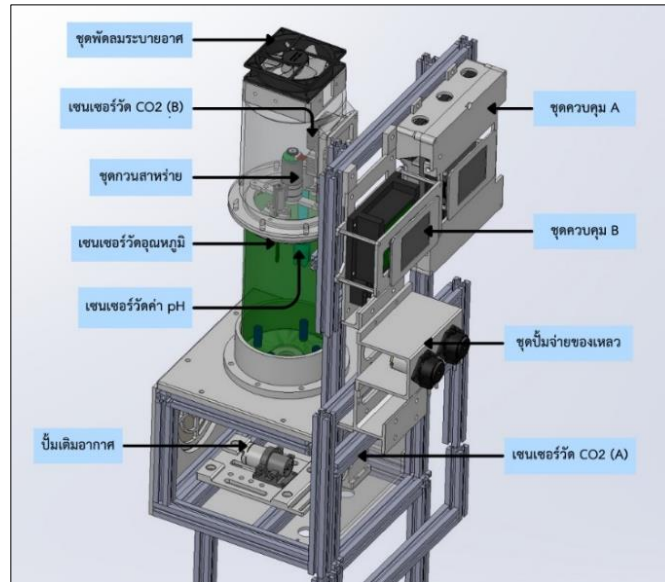


รูปที่ 1 แสดงการออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบโฟโตรีแอคเตอร์

3.2 การออกแบบชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์

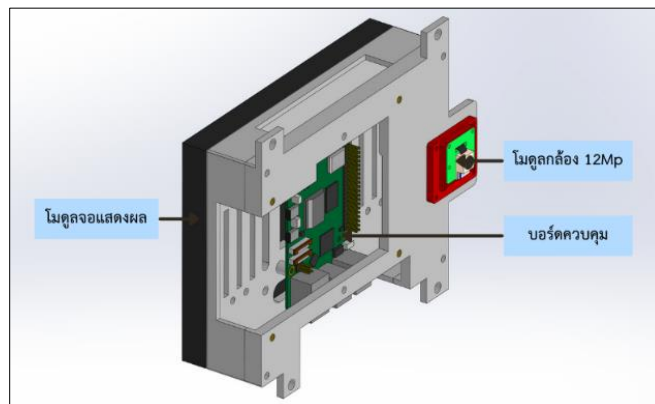
การออกแบบชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์ ประกอบด้วยชุดควบคุม 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการออกแบบชุดควบคุมของโฟโตรีแอคเตอร์ ส่วนที่สองเป็นการออกแบบชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลล่า การออกแบบชุดควบคุมของโฟโตรีแอคเตอร์มีบอร์ดควบคุมสองชุด ชุดที่หนึ่งเรียกว่าชุด A เป็นตัวควบคุมหลักของโฟโตรีแอคเตอร์ ส่วนอินพุต (Input) เป็นกลุ่มเซนเซอร์ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ, เซนเซอร์วัดความชื้น, เซนเซอร์วัดความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ (A) และเซนเซอร์วัดค่า pH ส่วนเอาท์พุต (Output) ประกอบด้วยปั๊มอากาศ, พัดลมระบายอากาศ และโมดูลจอ (LCD Module) ชุดที่สองเรียกว่าชุด B เป็นชุดควบคุมรองของโฟโตรีแอคเตอร์ ส่วนอินพุตประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ (B), เซนเซอร์

วัดแสง ส่วนแอร์พุท ประกอบด้วยโมดูลแอลอีดี, ชุดปั๊มจ่ายของเหลว, โมดูลโซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) และโมดูลจอ โดยมีชุดแหล่งจ่ายพลังงานขนาด 12V 320w การออกแบบชุดควบคุมของโฟโตรีแอคเตอร์แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการออกแบบชุดควบคุมของโฟโตรีแอคเตอร์

การออกแบบชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรล่าเป็นการตรวจสอบการเปลี่ยนสีของสาหร่ายเพื่อประเมินความหนาแน่นของเซลล์ ประกอบด้วยบอร์ดควบคุมกล้อง (Camera Control Module), โมดูลกล้อง (Camera Module) และโมดูลจอ การออกแบบชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายแสดงดังรูปที่ 3

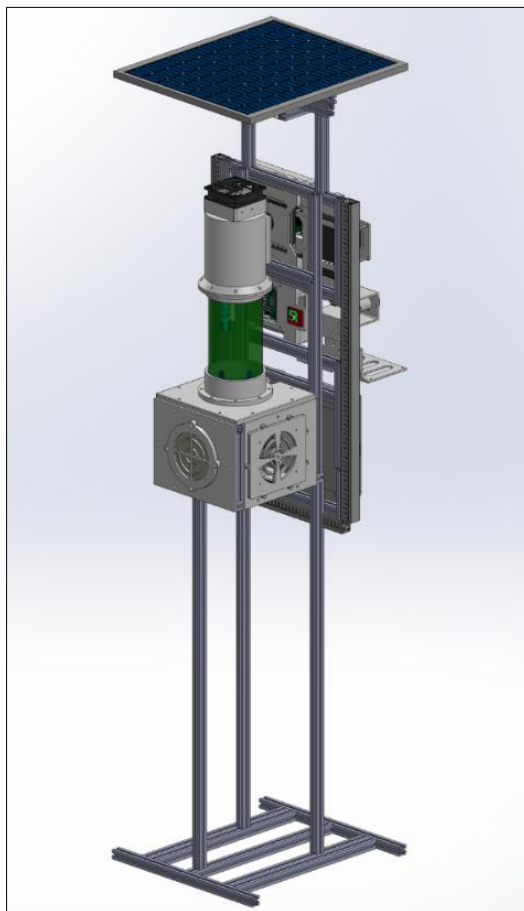


รูปที่ 3 แสดงการออกแบบชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรล่า

3.3 การออกแบบและพัฒนาโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเรล่า

การออกแบบและพัฒนาโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเรล่ามีส่วนประกอบ 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการออกแบบระบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเรล่า ส่วนที่สองเป็นการ

พัฒนาต้นแบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเรลล่า จากการออกแบบโครงสร้างส่วนประกอบของโฟโตรีแอคเตอร์และชุดควบคุมอัตโนมัติ ทำให้สามารถวางแผนการประกอบและติดตั้งชิ้นส่วนโครงสร้างและชุดควบคุมร่วมกับอุปกรณ์ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด ทำให้ได้การออกแบบโครงสร้างและชิ้นส่วนทั้งหมดของระบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงการออกแบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเรลล่า

การพัฒนาต้นแบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าเป็นการนำการออกแบบที่ได้มาสร้างชิ้นส่วนด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยการตั้งค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรมเครื่องพิมพ์ จากนั้นนำชิ้นส่วนและโครงสร้างที่สร้างจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติมาประกอบเข้าด้วยกันตามแบบที่กำหนด โดยติดตั้งด้วยสกรูขนาด M5 และ M3 มาประกอบเข้ากับชิ้นส่วนโครงสร้างของอลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาด 20x20 mm ที่ยึดด้วยตัวยึด (Bracket) ขนาด 20 mm นำชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์และชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลล่าติดตั้งตามแบบที่กำหนด การพัฒนาต้นแบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงต้นแบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเรลล่า

3.4 การทำงานและโปรแกรมควบคุม

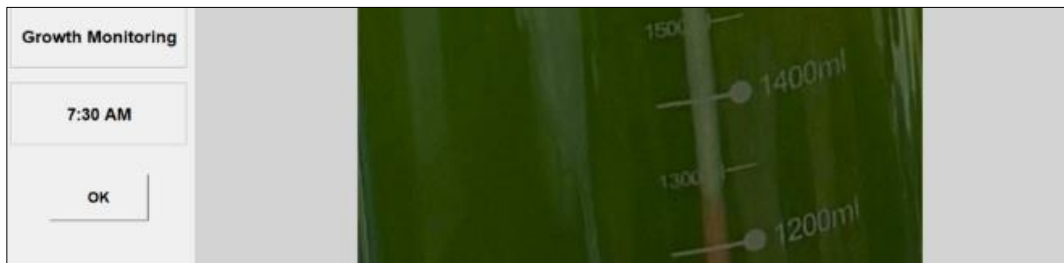
การทำงานและโปรแกรมควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการทำงานและโปรแกรมควบคุมของชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์ ส่วนที่สองเป็นการทำงานและโปรแกรมควบคุมชุดควบคุมกล้อง ส่วนชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์มีหน้าที่การควบคุมการเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่าเพื่อใช้กักเก็บก๊าซ CO_2 การทำงานของชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์เป็นการรับค่าเซนเซอร์ในชุดควบคุม (A) และชุดควบคุม (B) เพื่อส่งค่าไปให้บอร์ดควบคุมประมวลผลและส่งสัญญาณการควบคุมเป็นคำสั่งให้อุปกรณ์ส่วนเออาร์พทำงาน จากนั้นทำการส่งค่าที่ได้รับจากเซนเซอร์ไปเก็บที่คลาวด์ (Cloud) ของเว็บไซต์อิงสปีค (ThingSpeak) ดังรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 (ก) เป็นแผนผังการทำงานของชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์โดยอธิบายการเชื่อมต่อของชุดควบคุม (A) และชุดควบคุม (B) ในส่วนชุดควบคุม (A) เป็นการรับค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 (A) จากอากาศที่เป็นส่วนออกจากโฟโตรีแอคเตอร์, อุณหภูมิกับความชื้นของสาหร่ายคลอเรลล่าและความเข้มแสงของสิ่งแวดล้อมที่ส่งมาจากเซนเซอร์เพื่อควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศและโมดูลไฟแอลอีดี ส่วนชุดควบคุม (B) เป็นการรับค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 (B) จากอากาศที่เป็นส่วนเข้าไปในโฟโตรีแอคเตอร์และค่ากรด-เบสของสาหร่ายคลอเรลล่าที่ส่งมาจากเซนเซอร์เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของชุดปั๊มจ่ายของเหลว, ตัวกวนสาหร่ายและปั๊มเติมอากาศ จากรูปที่ 6 (ข) เป็นโปรแกรมแสดงค่าเซนเซอร์บนอิงสปีคที่ถูกส่งมาจากชุดควบคุม (A) และชุดควบคุม (B) โดยแสดงผลเป็นกราฟเส้นในช่วงเวลาที่โฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติทำงาน



รูปที่ 6 แสดง (ก) แผนผังการทำงานชุดควบคุมโพโตรีแอคเตอร์และ (ข) โปรแกรมแสดงค่าเซนเซอร์บนอิงสปีค

ส่วนชุดควบคุมกล้องมีหน้าที่ติดตามการเจริญเติบโตเพื่อดูความหนาแน่นและความผิดปกติของสาหร่ายคลอเรล่าที่จะส่งผลกระทบต่อการกักเก็บก๊าซ CO₂ การทำงานเป็นการตรวจสอบความหนาแน่นของสาหร่ายที่สังเกตจากสีของสาหร่ายโดยใช้ไมโครกล้องและโปรแกรมควบคุมกล้องสร้างจากภาษาไพทอน โดยใช้การเปรียบเทียบสีของภาพสาหร่ายคลอเรล่าที่ถ่ายจากไมโครกล้องกับภาพอ้างอิง โดยมีคำสั่งให้ถ่ายภาพเพื่อเก็บเป็นช่วงเวลา 2 ช่วงเวลา ได้แก่ เวลา 5.30 น. และ 19.30 น. ดังรูปที่ 7

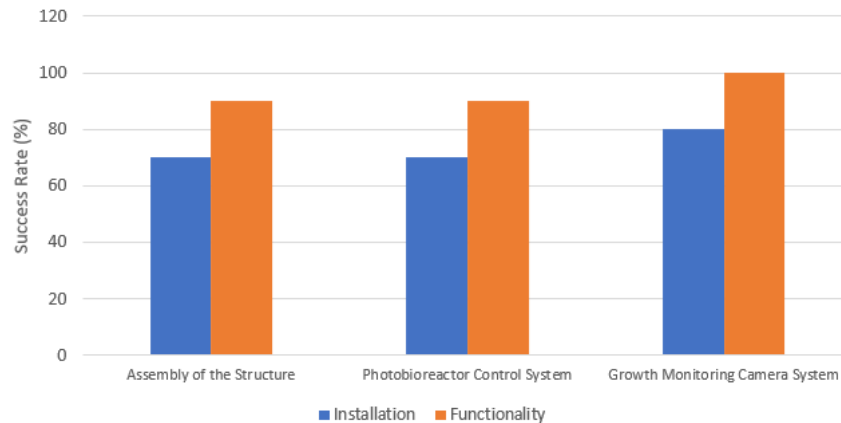


รูปที่ 7 แสดงโปรแกรมควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรล่า

4. ผลการทดสอบ

จากการทดสอบการทำงานของระบบโพโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเรล่าจะแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นผลการทดสอบการประกอบโครงสร้างรวมกับการติดตั้งชุดควบคุมโพโตรีแอคเตอร์และชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโต ส่วนที่สองเป็นผลการทดสอบความสามารถในการดักจับก๊าซ CO₂ จากสาหร่ายคลอเรล่าด้วยชุดควบคุมโพโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก

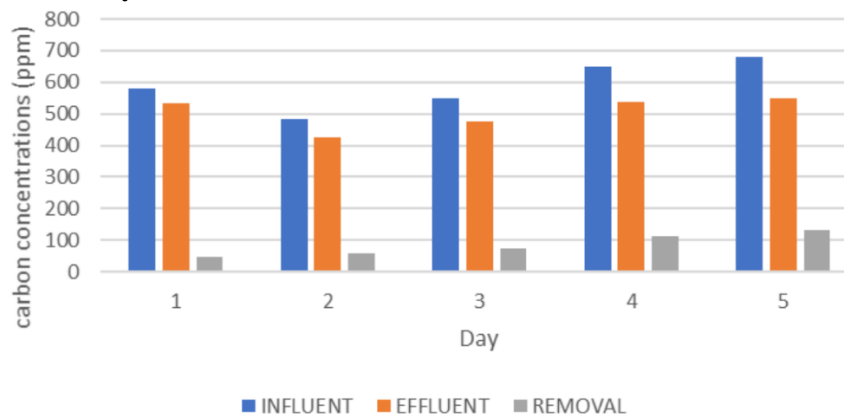
ในการทดสอบส่วนที่หนึ่ง การทดสอบการประกอบโครงสร้างรวมกับการติดตั้งชุดควบคุมโพโตรีแอคเตอร์และชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโต เป็นการทดสอบการประกอบและติดตั้งโครงสร้างได้ถูกต้องตามจุดประสงค์การออกแบบและทดสอบการติดตั้งชุดควบคุมโพโตรีแอคเตอร์ร่วมกับชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตเพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อการทำงานของอุปกรณ์ให้ถูกต้องตามจุดประสงค์ ผลการทดสอบส่วนที่หนึ่งแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การทดสอบการประกอบติดตั้งโครงสร้างของและการทำงานของโพโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติ

จากผลการทดสอบ พบว่าโครงสร้างสามารถติดตั้งประกอบและรองรับน้ำหนักหรือทำงานได้ถูกต้องคิดเป็นค่าเฉลี่ย 80.00% ชุดควบคุมโพโตรีแอคเตอร์สามารถติดตั้งประกอบและทำงานได้คิดเป็นค่าเฉลี่ย 80.00% และชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตมีเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จในการติดตั้งและเชื่อมต่อเฉลี่ยอยู่ที่ 90.00%

ในส่วนที่สองเป็นการทดสอบการดักจับก๊าซ CO₂ ด้วยชุดควบคุมโพโตรีแอคเตอร์ เป็นการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ ที่เข้าสู่ระบบและก๊าซ CO₂ ที่ออกจากระบบ โดยเก็บผลการทดสอบทั้งหมด 5 วัน ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงการทดสอบการดักจับก๊าซ CO₂ จากสาหร่ายคลอเรลล่าที่ควบคุมด้วยโพโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติ

จากผลการทดสอบพบว่าความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ ที่เข้าสู่ระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 587.53 ppm และความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ ที่ออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 503.03 ppm ระบบสามารถดักจับก๊าซ CO₂ ได้ทั้งหมด 84.50 ppm คิดเป็น 14.06 % ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าสู่โพโตรีแอคเตอร์

5. สรุปผลการทดสอบ

การออกแบบและพัฒนาโพโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเรลล่า ในการทดสอบส่วนที่หนึ่งเป็นการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติและอลูมิเนียมโปรไฟล์ พบปัญหาในการออกแบบส่วนการติดตั้ง

และประกอบในส่วนของการยึดถึงใส่สำหรับรายที่ต้องบรรจุสาหร่ายคลอเรลล่าในถังและการเจาะรูเพื่อใส่สายยางและท่อสำหรับนำสาหร่ายคลอเรลล่าออกจากถัง ส่วนในการติดตั้งและเชื่อมต่อชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติพบปัญหาในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเพราะต้องใช้สายสัญญาณเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุมที่มีตำแหน่งอุปกรณ์แตกต่างกันทำให้ต้องใช้รางเก็บสายช่วยเก็บสายสัญญาณให้เชื่อมต่อได้สะดวกและง่ายต่อการตรวจสอบ ดังนั้นในการทดสอบการประกอบติดตั้งโครงสร้างร่วมกับชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์และชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตสามารถติดตั้งและประกอบได้ถูกต้องคิดเป็นค่าเฉลี่ย 73.33% และการทำงานของโครงสร้างกับชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์และชุดควบคุมกล้องสามารถทำงานได้ถูกต้องคิดเป็นค่าเฉลี่ย 93.33 % ในการทดสอบส่วนที่สองพบว่าระบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติที่ใช้สาหร่ายคลอเรลล่าสามารถทำงานได้ถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนด ทำให้มีการดักจับก๊าซ CO₂ เฉลี่ยทั้งหมด 14.06 % คิดเป็น 84.50 ppm โดยมีการดักจับสูงสุดคิดเป็นค่าเฉลี่ย 19.25 % และมีการดักจับต่ำสุดคิดเป็นค่าเฉลี่ย 8.29 % โดยปัญหาที่พบในการทดสอบเป็นปริมาณน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่ามีการลดลงบางส่วนและการรั่วซึมของภาชนะที่บรรจุ ในการทดสอบได้ทำการแก้ไขด้วยการใช้ซิลิโคนอุดการรั่วซึมรวมทั้งปัญหาของการตั้งเงื่อนไขการทำงานบางส่วนที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมที่ทดสอบ

ในการออกแบบและพัฒนาโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเรลล่า ผู้พัฒนาพบว่าผลการทดสอบแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันและสามารถนำไปใช้ในการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสามารถเก็บเกี่ยวสาหร่ายคลอเรลล่าไปใช้ประโยชน์ต่อตามวัตถุประสงค์การใช้งานของสาหร่าย ในส่วนการพัฒนาเพิ่มเติมเป็นการนำปัญหาที่พบไปปรับปรุงแก้ไขและต้องการนำไปใช้จริงโดยเพิ่มขนาดภาชนะบรรจุให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและออกแบบการเก็บผลผลิตจากสาหร่ายให้เป็นระบบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มมูลค่าของระบบและนำ AI ช่วยในการวิเคราะห์ควบคุมผลลัพธ์ให้ได้แนวทางที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเรลล่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] Carvalho, A. P., Silva, S. O., Baptista, J. M., & Malcata, F. X. (2011). Light requirements in microalgal photobioreactors: An overview of biophotonic aspects. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 89(5), 1275-1288. <https://doi.org/10.1007/s00253-010-3047-8>
- [2] Klinthong, W., Yang, Y.-H., Huang, C.-H., & Tan, C.-S. (2015). A review: Microalgae and their applications in CO₂ capture and renewable energy. *Aerosol and Air Quality Research*, 15(2), 712-742. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2014.11.0299>
- [3] Acut, D. P., Alarde, H. P. S., Bartolabac, K. J. C., Cane, J. F. A., & Magsayo, J. R. (2022). Development of an Arduino-based photobioreactor to investigate algae growth rate and CO₂ removal efficiency. *IAES International Journal of Robotics and Automation*, 11(2), 141-160. <https://doi.org/10.11591/ijra.v11i1.pp141-160>
- [4] Chang, J.-S., Show, P.-L., Ling, T.-C., Chen, C.-Y., Ho, S.-H., & Tan, C.-H. (2017). Photobioreactors. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 313-352). Elsevier