

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเพื่อศึกษาของความสามารถในการจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ *Chlorella* sp. และการศึกษาหาผลกระทบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพคืบที่มีผลต่อ *Chlorella* sp. ในระบบมีขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัยดังแสดงตามลำดับได้ดังต่อไปนี้

3.1 สถานที่ในการดำเนินการวิจัยก๊าซชีวภาพ

สถานที่ดำเนินงานวิจัยสำหรับระบบจับคาร์บอนไดออกไซด์นี้ ได้จัดทำขึ้นที่สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ส่วนการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของ *Chlorella* sp. จัดทำที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.2 ก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง

ก๊าซชีวภาพที่นำมาใช้เป็นก๊าซชีวภาพจากมูลสุกร โดยองค์ประกอบก๊าซชีวภาพคืบที่ได้จากมูลสุกรจะมีคุณสมบัติเบื้องต้น ดังแสดงในตาราง 3.1 ซึ่งปกติแล้วก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีค่าไม่เกิน 2,500 ส่วนต่อล้านส่วน โดยปริมาตร (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552) แต่ในการทดลองนั้น ได้ใช้ก๊าซชีวภาพที่ได้รับการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยถังฟลอย์เหล็กจนมีค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยกว่า 100 ส่วนต่อล้านส่วนโดยปริมาตรซึ่งจากการศึกษาวรรณกรรม พบว่าหากมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพเกินกว่า 150 ส่วนต่อล้านส่วนโดยปริมาตรจะเริ่มมีผลต่อการเจริญเติบโตของ *Chlorella* sp. ซึ่งทำให้ *Chlorella* sp. มีความเข้มข้นลดลงแต่ *Chlorella* sp. จะยังสามารถเจริญเติบโตได้ดีหากมีไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยกว่า 100 ส่วนต่อล้านส่วนโดยปริมาตร (Kao et. al., 2012b)

ตาราง 3.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของก๊าซชีวภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติ	ปริมาณ
ก๊าซมีเทน (CH_4)	65-70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	< 2,000 ส่วนต่อล้านส่วนโดยปริมาตร
ก๊าซออกซิเจน (O_2)	< 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
ก๊าซไนโตรเจน (N_2)	< 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

3.3 *Chlorella* sp. ที่นำมาทดลอง

Chlorella sp. ที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาชีววิทยา สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่ง *Chlorella* sp. สามารถทนต่ออุณหภูมิได้สูงถึง 40 องศาเซลเซียส และสามารถทนทานต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นสูงสุด 45 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Kumar *et al.*, 2011) รวมถึงมีสัดส่วนไขมัน 22.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (Kao *et al.*, 2012a) รูปขยายเซลล์ของ *Chlorella* sp. ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และรูปการเพาะขยายสาหร่ายพันธุ์เดียวกันที่ภาควิชาชีววิทยา สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แสดงในรูปที่ 3.2



รูป 3.1 ภาพขยายเซลล์ *Chlorella* sp. ที่ใช้ในการทดลอง



รูป 3.2 ห้องเลี้ยงและขยายพันธุ์สาหร่ายพันธุ์เดี่ยว

3.4 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ระบบการจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดย *Chlorella* sp. ในถังโฟโตไบโอรีแอคเตอร์ และชุดเครื่องมือวัดและบันทึกผลการทดลอง โดยรายละเอียดในแต่ละส่วนมีดังนี้

3.4.1 ระบบการจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดย *Chlorella* sp. ในถังโฟโตไบโอรีแอคเตอร์

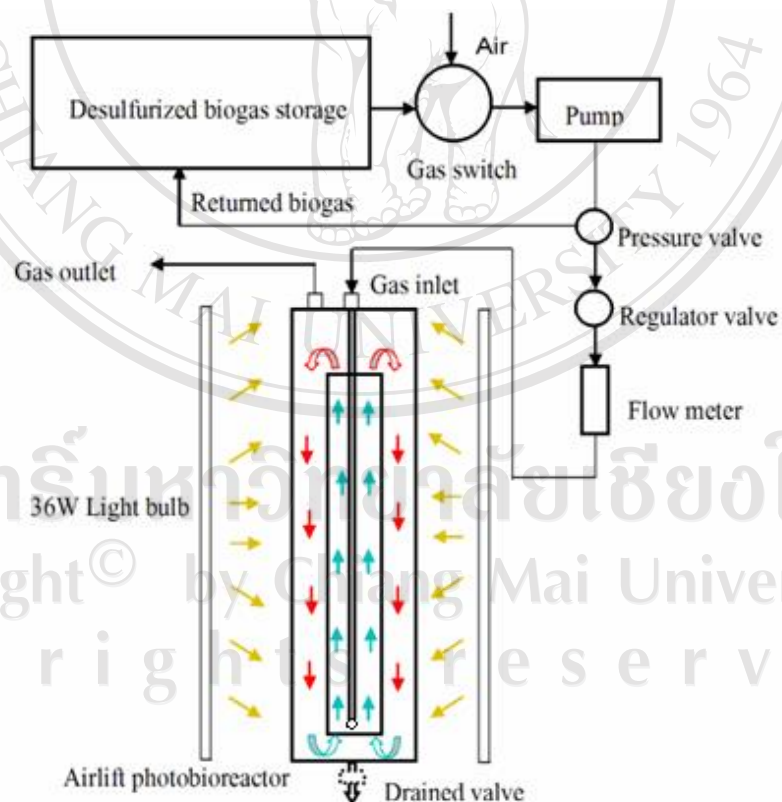
ในระบบประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

ก. ถังโฟโตไบโอรีแอคเตอร์ที่ใช้จับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพโดยใช้ *Chlorella* sp.

ในการทดลองนี้ได้ใช้ระบบแบบชีวภาพโดยใช้ *Chlorella* sp. เป็นตัวจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผสมอยู่ในก๊าซชีวภาพ โดย *Chlorella* sp. จะถูกเลี้ยงและให้ก๊าซชีวภาพอยู่ในถังโฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบอากาศยกตัวที่ทำจากอะคริลิกใส 2 คอลัมน์ติดตั้งซ้อนกัน ประกอบด้วยถังปฏิกริยาทำมาจากท่ออะคริลิกใสหนา 3 มิลลิเมตร คอลัมน์ภายนอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 150 เซนติเมตร คอลัมน์ภายในมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร ปริมาตรใช้งาน 8 ลิตร ติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนซ์ชนิดแสงสีขาว ขนาดกำลังไฟฟ้า 36 วัตต์ จำนวน 4 หลอด ความเข้มแสงเฉลี่ยทั่วพื้นผิววัดได้ 3,207 ลักซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และแผนผังโดยรวมของระบบรวมทั้งแสดงถึงทิศทางการไหลของก๊าซในโฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบอากาศยกตัวได้แสดงดังรูปที่ 3.4



รูป 3.3 ถังโฟโตไบโอรีแอคเตอร์



รูป 3.4 แผนผังระบบการจับคาร์บอนไดออกไซด์โดย *Chlorella* sp. ในถังปฏิกรณ์โฟโตไบโอรีแอคเตอร์แบบ airlift internal recirculation และทิศทางการไหล

ขั้นตอนการทำงานของระบบจับคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพเริ่มจากปั๊มสุญญากาศดูดก๊าซชีวภาพออกมาจากถังเก็บ หากเป็นก๊าซชีวภาพที่ต้องการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซได้ถูกดูดผ่านชุดถังฟลอยเหล็กปริมาตร 200 ลิตร จำนวน 2 ถัง ซึ่งมีหน้าที่ลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ต่อจากนั้นก๊าซได้ไหลผ่านโรตารีเตอร์ซึ่งทำหน้าที่วัดอัตราการไหลและถูกปล่อยเข้าสู่โฟโตไบโอรีแอคเตอร์จากทางด้านล่างซึ่งโฟโตไบโอรีแอคเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบอากาศยกตัว ภายในคอลัมน์ที่มี *Chlorella* sp. อยู่ นั้นมีคอลัมน์ขนาดเล็กอยู่ภายในอีกชั้นหนึ่ง และหัวจ่ายก๊าซจะถูกปล่อยออกจากภายในคอลัมน์เล็ก เพื่อให้เกิดการวนเวียนของ *Chlorella* sp. ทำให้เพิ่มการสัมผัสกับเนื้อก๊าซชีวภาพ

ข. ถังเก็บก๊าซชีวภาพ

ถังเก็บก๊าซชีวภาพผลิตจาก PVC ที่มีความหนา 1.2 มิลลิเมตร ปริมาตรใช้งาน 1.9 ลูกบาศก์เมตร มีวาล์วขาออก วาล์วสำหรับก๊าซย้อนกลับ และวาล์วรับก๊าซชีวภาพ วาล์วที่ใช้ทั้งหมดเป็นแบบ PVC Ball Valve ซึ่งติดตั้งบนถังดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูป 3.5 ถังเก็บก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง

ค. ระบบกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ระบบกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S Reduction) เป็นระบบที่ลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพระบบนี้ใช้หลักการ Iron sponge โดยฟลอยเหล็กจะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนได้เป็น Fe_2O_3 ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็น Fe_2S_3 (เพ็ญจิตร แสงสุรศักดิ์ และคณะ, 2540) ซึ่งระบบกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้แสดงในรูปที่ 3.6 (ก) จากรูประบบกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้ทำจากถัง PVC ขนาด 200 ลิตรต่อถัง จำนวน 2 ถังต่ออนุกรมกันทำหน้าที่

กรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพให้ลดต่ำกว่า 100 ล้านต่อล้านส่วนโดยปริมาตร รูปของถังฟลอยเหล็กที่ใช้ แสดงในรูปที่ 3.6 (ข)



(ก)



(ข)

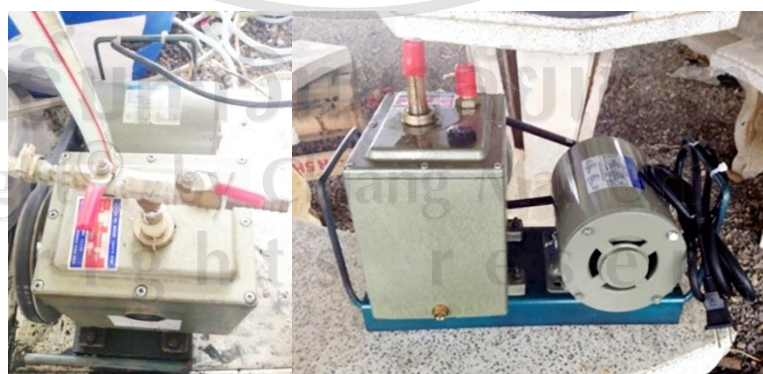
รูป 3.6 ถังฟลอยเหล็กที่ใช้ในระบบกรองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

(ก) ถัง PVC ขนาด 200 ลิตร จำนวน 2 ถังต่ออนุกรมกัน

(ข) ลักษณะของการบรรจุฟลอยเหล็กในระบบ

ง. เครื่องสูบลำก๊าซชีวภาพ

เครื่องสูบลำก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นเครื่องสูบลำชนิดสูญญากาศ ยี่ห้อ VENZ Model SP 1/3 มีกำลัง 1/3 แรงม้า ปริมาณการสูบสูงสุด 50 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 ตัวซึ่งบนหัวปั๊มฝั่งดูดเข้าจะติดตั้งวาล์วทองเหลือง 3 ทาง สำหรับให้เลือกสลับระหว่างลำก๊าซชีวภาพหรืออากาศ ลักษณะปั๊มสูญญากาศที่ใช้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.7



รูป 3.7 ปั๊มสูญญากาศที่ใช้ในการทดลอง

จ. แผงควบคุมอัตราการไหลและควบคุมระบบไฟ

แผงควบคุมอัตราการไหลและควบคุมระบบไฟประกอบด้วย Regulator 1 ตัว ทำหน้าที่วัดความดันภายในระบบและโรตารี่มิเตอร์ทำหน้าที่วัดอัตราการไหลก๊าซชีวภาพที่เข้าระบบ นอกจากนี้จะมีวาล์วทองเหลืองใช้ควบคุมความดันของก๊าซชีวภาพส่วนเกินที่ไม่ได้ผ่านโฟโตไบโอรีแอคเตอร์ให้ไหลย้อนกลับเข้าไปยังถังเก็บ ส่วนระบบไฟนั้นได้ติดตั้งอุปกรณ์ตั้งเวลาเปิดปิดอัตโนมัติ ยี่ห้อพานาโซนิค และสวิตช์ไฟสำหรับควบคุมปั๊มสุญญากาศและระบบให้แสงสว่างดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูป 3.8 แผงควบคุมอัตราการไหลของก๊าซและอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟ

3.4.2 ชุดเครื่องมือวัดและบันทึกผลการทดลอง

เครื่องมือวัดที่ใช้ประกอบด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัล เครื่องวัดอัตราการไหลก๊าซชีวภาพและอากาศ เครื่องวัดค่าพีเอชมีรายละเอียดชุดเครื่องมือวัดดังนี้

ก. เครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพแบบพกพา (Portable Biogas Check)

เครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพแบบพกพา Portable (Geotech: Biogas Check และ Geotech: Biogas 5000) ใช้สำหรับวัดปริมาณก๊าซมีเทนมีการวัด 0 - 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อ่าน 0 - 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ก๊าซออกซิเจน 0 - 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อ่านการวัด 0 - 500 ส่วนต่อล้านส่วนโดย

ปริมาตร (เฉพาะ Geotech: Biogas 5000) ซึ่งมีความแม่นยำหลังการเทียบมาตรฐานของการวัดก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ ± 0.5 เปอร์เซ็นต์และลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูป 3.9 เครื่องวัดองค์ประกอบก๊าซชีวภาพแบบพกพา

ข. เครื่องวัดอัตราการไหลก๊าซ

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลก๊าซ เป็นแบบลูกกลอย (โรตารี่ มิเตอร์) ยี่ห้อ Dwyer มีย่านการวัด 0.01 - 0.5 ลิตรของก๊าซต่อนาที โดยใช้วัดก๊าซที่จะเข้าสู่ระบบ ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูป 3.10 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลก๊าซแบบลูกกลอย

ค. เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัลและนาฬิกาจับเวลาดิจิทัล

ในการทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องวัดแบบดิจิทัล มีหน้าที่วัดอุณหภูมิภายในตู้และอุณหภูมิภายนอกตู้ มีย่านการวัด 0 - 100 องศาเซลเซียส ตัวเครื่องติดตั้งบนตู้ของโฟโตไบโอรีแอคเตอร์ และนาฬิกาจับเวลาดิจิทัลนำมาใช้เพื่อเตือนเวลาในการควบคุมระบบ ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูป 3.11 เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัลและนาฬิกาจับเวลาดิจิทัล

ง. เครื่องวัดค่าพีเอช

ในการวิจัยนี้ใช้เครื่องมือวัดค่าพีเอชแบบพกพา (EZDO 6011) มีย่านการวัด 0 - 14 ใช้สำหรับวัดค่าพีเอชของ *Chlorella* sp. และสารอาหารก่อนและหลังเดินระบบในแต่ละวัน ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.12



รูป 3.12 เครื่องวัดค่าพีเอชแบบพกพา EZDO 6011

จ. การวัดความทึบแสง

การวัดความทึบแสงที่ใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Jenway 6400 Spectrophotometer ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ใช้วัดค่าความเข้มข้นของ *Chlorella* sp. ที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูป 3.13 เครื่องวัดความทึบแสง Jenway 6400 Spectrophotometer

3.5 การทดลองเพื่อหาความสามารถในการจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ *Chlorella* sp. ที่สภาวะสมดุล โดยใช้ก๊าซชีวภาพที่รองก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในการทดลองทุกอัตราการไหลของก๊าซชีวภาพที่ทดลองได้เดินระบบที่ SRT 8 วัน ซึ่งใน 1 รอบการทดลองให้ก๊าซชีวภาพ 1 ชั่วโมงสลับด้วยอากาศ 30 นาทีที่อัตราการจ่ายอากาศ 30 ลิตรต่อ นาที ซึ่งการจ่ายอากาศเพื่อกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนเกินที่ละลายอยู่ในน้ำ และเดินระบบ 3 รอบต่อ 1 วัน คิดเป็นเวลาที่จะให้แสงสว่างวันละ 4 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งจะบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

- องค์กรประกอบก๊าซชีวภาพได้ทำการวัดทุก 15 นาที
- อัตราการไหลของก๊าซถูกควบคุมให้คงที่ตลอดเวลา
- ค่าเพื่อชวัดรอบการทดลองรอบละ 2 ครั้ง คิดเป็นวันละ 6 ครั้ง และวัดอุณหภูมิระหว่างเดินระบบในแต่ละวัน
- วัดอัตราการเติบโตของ *Chlorella* sp. ก่อนและหลังเดินระบบในแต่ละวัน การวัดค่าความเข้มข้นทำได้โดยการหาน้ำหนักแห้ง ซึ่งใช้วิธี Dry-Gravimetric Method และวัดค่า Optical Density ที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร และนำค่าทั้งสองมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่า R^2

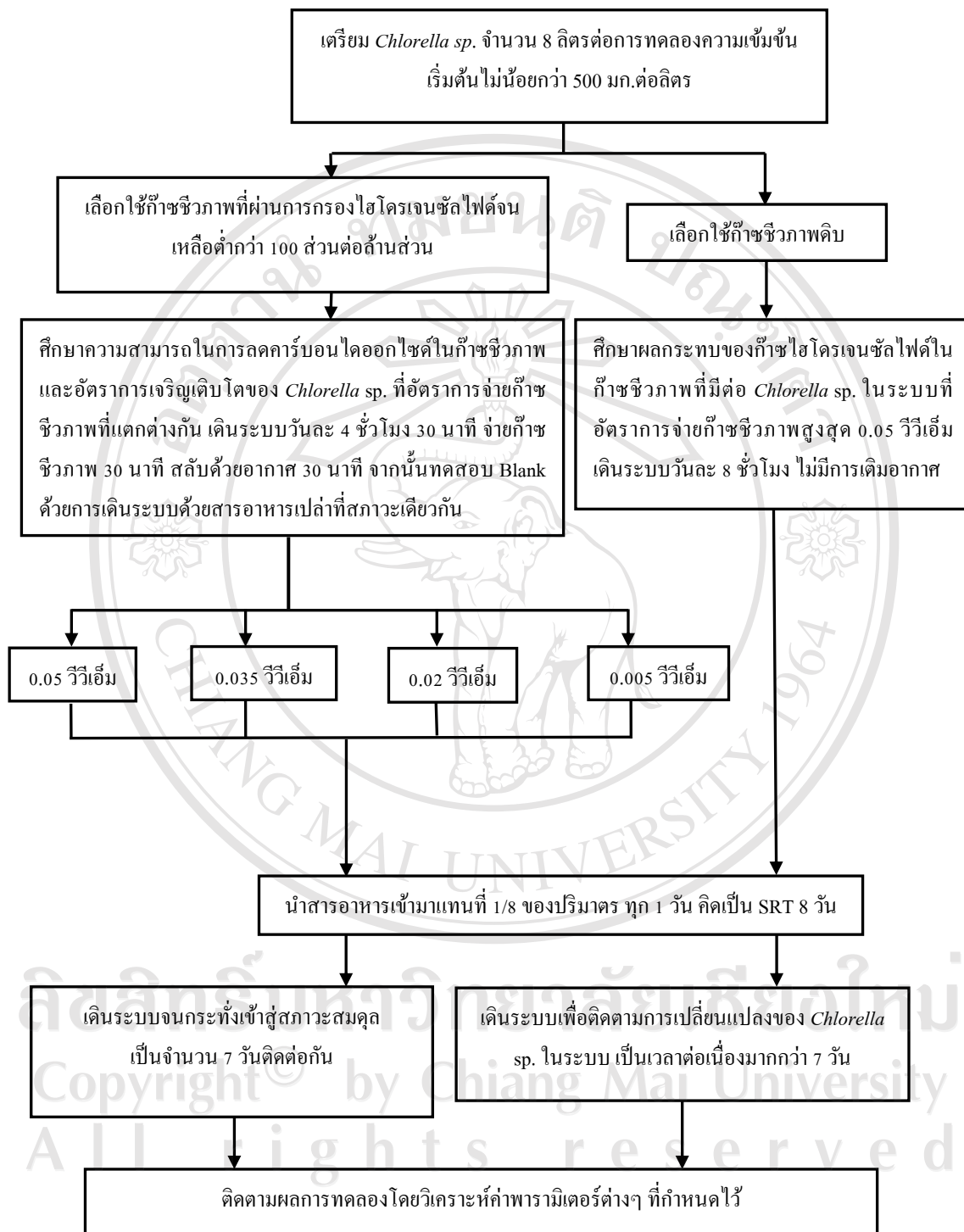
- ก่อนเริ่มเดินระบบในแต่ละวัน *Chlorella* sp. ในโฟโตไบโอรีแอक्टर ถูกนำออก 1 ลิตร แล้วแทนที่ด้วยสารอาหาร 1 ลิตร เพื่อรักษาให้การเติบโตของสาหร่ายอยู่ในช่วง log-phase และเพื่อให้ค่า SRT ให้มีค่า 8 วัน

เมื่อเริ่มเดินระบบในแต่ละวัน จะมีการอ่านและบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ข้างต้น ผ่านเครื่องมือวัด และทำการหาความเข้มข้นของสาหร่ายอย่างต่อเนื่องทุกวัน จนกว่าจะเข้าสู่สภาวะสมดุล (steady state) ต่อเมื่ออัตราการเติบโตของ *Chlorella* sp. ในระบบ มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าที่วัดได้เทียบกับวันก่อนหน้า เป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 7 วัน

3.6 การทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพดิบที่มีต่อ *Chlorella* sp. ในระบบ

การทดลองในส่วนนี้ได้เดินระบบโดยปล่อยก๊าซชีวภาพดิบพร้อมทั้งให้แสงสว่างวันละ 8 ชั่วโมง และใช้ค่า SRT 8 วัน โดยที่ไม่มีการเติมอากาศเข้าสู่ระบบ เพื่อสังเกตผลกระทบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อ *Chlorella* sp. ในโฟโตไบโอรีแอक्टर หาค่าความเข้มข้น *Chlorella* sp. วันละ 2 ครั้ง คือ ก่อนและหลังการเดินระบบ โดยการหาน้ำหนักแห้งและวัดค่าความทึบแสง (Optical Density) ที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร รวมทั้งหาค่าของแอมพลิจูดของแสงได้ เพื่อหาของแอมพลิจูดที่เป็นสารอินทรีย์ในระบบโดยเดินระบบต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 7 วัน

จากรายละเอียดการทดลองจากหัวข้อ 3.5 และหัวข้อ 3.6 สามารถแสดงรายละเอียดของลำดับและขั้นตอนของการทดลองได้ดังแผนภูมิที่แสดงในรูปที่ 3.14



รูป 3.14 ลำดับขั้นตอนวิธีการทดลอง

3.7 การคำนวณและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.7.1 การคำนวณหา เปอร์เซ็นต์การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3.1)

$$\text{Carbondioxide reduction(\%)} = \frac{(C_{\text{CO}_2 \text{ inf.}} - C_{\text{CO}_2 \text{ eff.}})}{C_{\text{CO}_2 \text{ inf.}}} \times 100\% \quad \dots(3.1)$$

โดย $C_{\text{CO}_2 \text{ inf.}}$ คือ สัดส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพเข้าระบบ
เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
 $C_{\text{CO}_2 \text{ eff.}}$ คือ สัดส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพที่ขาออก
เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

3.7.2 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของก๊าซมีเทน

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ ที่เพิ่มขึ้นของก๊าซมีเทนใช้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3.2)

$$\text{Methane enrichment(\%)} = \frac{(C_{\text{CH}_4 \text{ eff.}} - C_{\text{CH}_4 \text{ inf.}})}{C_{\text{CH}_4 \text{ inf.}}} \times 100\% \quad \dots(3.2)$$

โดย $C_{\text{CH}_4 \text{ inf.}}$ คือ สัดส่วนความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเข้าระบบ
เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
 $C_{\text{CH}_4 \text{ eff.}}$ คือ สัดส่วนความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ขาออก
เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

3.7.3 การคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย (กรัมต่อลิตรต่อวัน)

การคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย (กรัมต่อลิตรต่อวัน) ใช้สมการที่ (3.3)

$$P = \frac{(X_f - X_0)}{t - t_0} \quad \dots(3.3)$$

โดย P คือ อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย (กรัมต่อลิตร-วัน)

X_t คือ น้ำหนักชีวมวลที่เวลาเท่ากับ t (กรัมต่อลิตร)

X_0 คือ น้ำหนักชีวมวลเริ่มต้น

t คือ เวลาที่ใช้ (วัน)

t_0 คือ เวลาเริ่มต้น (วัน)

3.7.4 การคำนวณภาระบรรทุการ์บอน (Carbon loading rate)

การคำนวณภาระบรรทุการ์บอนใช้สมการดังนี้

$$CLR. = \frac{CO_2 \text{ inf.}}{\text{Conc. of Chlorella sp.}} \quad \dots(3.4)$$

โดย $CO_2 \text{ inf.}$ = ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์เข้าระบบ (กรัมต่อวัน)

$\text{Conc. of Chlorella sp.}$ = น้ำหนักของ *Chlorella* sp. ทั้งหมดในถัง
โฟโตไบโอรีแอक्टर (กรัม)

3.7.5 การคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(Liquid phase mass transfer coefficient coefficient)

การคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือค่า $K_L a$
หาได้จากความชันของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณในสมการที่ (3.5)

$$\ln(C^* - C_{in}) - \ln(C^* - C_{out}) \quad \dots(3.5)$$

กับเวลาที่ทำการวัดองค์ประกอบก๊าซ (t)

จากสมการที่ (3.5) C^* คือความเข้มข้นของ H_2CO_3 (โมลต่อลิตร) หาได้จาก

$$C^* = \frac{CO_2 \text{ inf.}(100\%)}{100 \cdot H} \quad \dots(3.6)$$

H คือ Henry Constant = 29.41 ที่ 25 องศาเซลเซียส

C_{in} คือ ค่าความเข้มข้น H_2CO_3 (โมลต่อลิตร) ที่คำนวณได้จากค่าพีเอชก่อนหยุดระบบและ
หากค่าพีเอช > 7 นั้น หมายความว่าสารละลายมีสถานะเป็นด่าง ไม่จำเป็นต้องคิดค่า C_{in} แต่ค่าพีเอช
ต่ำสุดในการทดลองมีค่า เท่ากับ 5.8 เมื่อคิดค่า C_{in} แล้ว พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.89×10^{-7} โมลต่อลิตร ซึ่ง
มีค่าน้อยมาก จึงสมมุติให้ C_{in} ของการทดลองนี้มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น C_{out} หาได้ดังนี้

$$C_{\text{out}} = \Delta C = \frac{\text{liter CO}_2 \text{ absorbed}}{\text{Tube volume (mole / l)}} \quad \dots(3.7)$$

โดยที่ liter CO₂ absorbed หาได้จากสมการที่ (3.8)

$$\text{liter CO}_2 \text{ absorbed} = \left[\frac{(\text{CO}_2 \text{ inf.} - \text{CO}_2 \text{ eff.})}{100} \right] \cdot Q_g \cdot \left(\frac{\text{Retention time}}{24.5} \right) (\text{mole}) \quad \dots(3.8)$$

3.7.6 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ของการทดลอง

วิธีการวิเคราะห์ของการทดลองในแต่ละพารามิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังในตารางที่ 3.2

ตาราง 3.2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ของการทดลอง

พารามิเตอร์	ก๊าซชีวภาพก่อน เข้าระบบ	ก๊าซชีวภาพออกจาก ระบบ	<i>Chlorella</i> sp. ใน โฟโตไบโอรีแอคเตอร์	ความถี่	วิธีการวิเคราะห์
ก๊าซมีเทน (เปอร์เซ็นต์)	√	√	-	วันละ 6 ครั้ง	Sensor
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (เปอร์เซ็นต์)	√	√	-	วันละ 6 ครั้ง	Sensor
ปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยได้	-	-	√	วันละ 2 ครั้ง เฉพาะการทดลองที่ใช้ ก๊าซชีวภาพดิบ	Gravimetric method*
ปริมาณของแข็งแขวนลอย	-	-	√	วันละ 2 ครั้ง	Gravimetric method*
Optical Density ที่ 665 นาโนเมตร	-	-	√	วันละ 2 ครั้ง	Spectrophotometric method*
ค่าพีเอช	-	-	√	ทุกวัน	pH meter*
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	-	-	√	ทุกวัน	Thermometer*

*หมายเหตุ : วิธีการวิเคราะห์ Standard Method for the Water and Wastewater (APHA Edition 21st; 2005)