เครื่องปฏิกรณ์การสังเคราะห์แสงแบบลูกผสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

นางสาวขวัญชนก บุ้นบำรุงสุข
นางสาวน้ำฝน นิยมวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เครื่องปฏิกรณ์การสังเคราะห์แสงแบบลูกผสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

นางสาวขวัญชนก ปั้นบำรุงสุข
นางสาวน้ำฝน นิยมวงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hybrid Photobioreactor

Ms. Kwanchanok Panbumrungsuk
Ms. Namfon Niyomwong

A Reported Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for
The Degree of Bachelor of Chemical Engineering Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	เครื่องปฏิกรณ์การสังเคราะห์แสงแบบลูกผสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย
โดย	นางสาวขวัญชนก ปั้นบำรุงสุข
	นางสาวน้ำฝน นิยมวงศ์
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.ธนวรรณ พิณรัตน์
	ดร.ญาณีพร พุชรวรโชติ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

ธนวรรณ พิณรัตน์ .....ประธานกรรมการ
(ดร.ธนวรรณ พิณรัตน์)

.....ประธานกรรมการ
(ดร.ญาณีพร พุชรวรโชติ)

ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ .....กรรมการ
(อ. ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	เครื่องปฏิกรณ์การสังเคราะห์แสงแบบลูกผสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย
โดย	นางสาวขวัญชนก ปั้นบำรุงสุข นางสาวน้ำฝน นิยมวงศ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ธนวรรณ พิณรัตน์ ดร.ญาณีพร พัชรวรโชติ

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ศึกษาและออกแบบเครื่องปฏิกรณ์การสังเคราะห์แสงแบบลูกผสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยสามารถนำเครื่องปฏิกรณ์ไปใช้เพื่อการวิจัยหรือพัฒนาเป็นธุรกิจเชิงพาณิชย์ หลักการทำงานจะอ้างอิงจากระบบการเพาะเลี้ยงแบบหมุนเวียนอากาศแบบใช้แสง เครื่องปฏิกรณ์มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกซ้อนกันสองชั้นทำจากวัสดุอะคริลิคใส มีระบบหมุนเวียนของเหลวขึ้นอยู่กับการออกแบบสองส่วนที่สำคัญ คือ บริเวณไรเซอร์ ดาวน์คัมเมอร์ซึ่งเป็นสัดส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทรงกระบอกชิ้นนอกต่อชิ้นในมีค่าเท่ากับ 0.5 และบริเวณช่องว่างด้านบน-ล่างของท่อทรงกระบอกด้านในเครื่องปฏิกรณ์ที่จะต้องมีค่าเท่ากัน โดยโครงงานนี้กำหนดไว้ให้มีค่าเท่ากับ 10 เซนติเมตร ป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศเข้าสู่ระบบผ่านหัวกระจายก๊าซแบบเปลือย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตรที่มีการกระจายก๊าซสองทิศทาง ติดตั้งบนพื้นผิวด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์มีอัตราการไหล 3 ลิตรต่อนาที และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 9 โดยปริมาตร บริเวณกลางทรงกระบอกภายในติดตั้งหลอดไฟชนิด LED สีแดง ขนาด 48 วัตต์ ที่มีองศาการกระจายแสงรวมกันเท่ากับ 180 องศา สำหรับการศึกษาครั้งนี้จะใช้สาหร่ายคลอเรลล่าที่มีการควบคุมค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นจากสูตรอาหารเท่ากับ 6.8 อัตราส่วนความสว่างต่อความมืดที่ 18 ชั่วโมงต่อ 6 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการทำงานของระบบจะวัดผลจากความหนาแน่นของเซลล์ โดยจะเก็บตัวอย่างทุกๆ 24 ชั่วโมง และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อหาความหนาแน่นของเซลล์ด้วยเครื่อง UV-VIS spectroscopy ที่ช่วงความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร ซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้พบว่าเครื่องปฏิกรณ์การสังเคราะห์แสงแบบลูกผสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายนั้นมีรูปแบบการหมุนเวียนของของเหลวตรงตามทฤษฎี นอกจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงยังมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 0.061 เป็น 0.214 ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร และจาก 0.095 เป็น 0.216 ที่ความยาวคลื่น 695 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่ใช้วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่าย แสดงให้เห็นความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Hybrid Photobioreactor
By	Ms.Kwanchanok Panbumrungsuk
	Ms.Namfon Niyomwong
Advisor	Dr.Tanawan Pinnarat
	Dr.Yaneeporn Patcharavorachot
Report for	Bachelor Degree in Chemical Engineering
	Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

This project studied and designed a hybrid photobioreactor that use for algae cultivation in research scale or can be developed to commercial scale. Reactor characteristic is similar to an airlift photobioreactor, which comprise of superimposed 2 piece transparent acrylic tube. The mixing process depends on riser - downcomer, which has an outside and inside diameter ratio of 0.5. The length from the top must be equal to the length from bottom zone. In this case, value of 10 centimeters was used. The flow rate of carbon dioxide and air is 3 liter per minute, which has 9 percentage by volume of carbon dioxide. Bubbles move from bottom to top of reactor by diffuser, which has diameter of 10 centimeters. A diffuser is installed at the center on the base inside the hybrid photobioreactor. The light tube is modified from red LED that requires 48 watt power. The LED light has totally 180 degrees of lighting. This project used Chlorella algae, which has initial pH value of 6.8 from medium culture. This experiment used light - dark cycle of 18 hour to 6 hour To test the efficiency of the system, the cell density was measured for optical density (OD value) by UV-VIS spectroscopy in the wavelength of 400-700 nanometer. From this experiment, a design of hybrid photobioreactor has a circulating pattern similar to a theory and biomasses continue to increase. This was observed from increasing value of optical density from initial value to final value of 0.061 to 0.214 at wavelength of 415 nanometers and 0.095 to 0.216 at wavelength of 695 nanometers. These two wavelength indicate the Chlorophyll in the algae cell, which determine the growth rate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากความอนุเคราะห์และการให้คำปรึกษาจากอาจารย์ทุกท่าน รวมทั้งบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง คณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณผู้ที่ให้การสนับสนุนดังรายนามต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ธนวรรณ พิณรัตน์ และดร.ญาณีพร พัชรวรโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำทั้งในเรื่องวิชาการ การค้นคว้าหาข้อมูลด้วยตนเอง การทำงานร่วมกับผู้อื่น และคอยมอบโอกาสในการพัฒนาความสามารถแก่ลูกศิษย์เสมอ ตลอดจนเป็นตัวอย่างของความขยัน ความตรงต่อเวลาและความมานะอดทนต่ออุปสรรคต่างๆ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข และดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบ และการเลือกวัสดุผลิตภัณฑ์ที่ใช้สร้างเครื่องปฏิกรณ์การสังเคราะห์แสงแบบลูกผสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งนับว่าเป็นข้อมูลที่สำคัญและเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อนงค์ จีรภัทร์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับสายพันธุ์สาหร่าย และให้โอกาสในการศึกษาวิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจากศูนย์วิจัยทรัพยากรชีวภาพสาหร่าย ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนักศึกษาจากสาขาประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับการแบ่งปันความรู้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ให้อนุเคราะห์สารเคมีเพื่อใช้เป็นสารอาหารและหัวเชื้อสาหร่ายเพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณ นายบารมี เวสสะภักดี นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมการบิน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับความช่วยเหลือเรื่องการใช้โปรแกรมการออกแบบ CATIA V5R20 และให้คำแนะนำเกี่ยวกับการแก้ไขจุดบกพร่องของเครื่องปฏิกรณ์การสังเคราะห์แสงแบบลูกผสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

ขอขอบคุณ นายพงศ์โสภา สิทธิชัย และเพื่อนๆจากสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับความช่วยเหลือเรื่องการแก้ไขปัญหา อนุเคราะห์อุปกรณ์ต่างๆสำหรับเครื่องปฏิกรณ์การสังเคราะห์แสงแบบลูกผสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

ขอขอบพระคุณ ดร.ธีรพร สุธีวงศ์ และขอขอบคุณ นายธวัชชัย ทินกรณ์ สำหรับความอนุเคราะห์เครื่อง UV-VIS spectroscopy สอนวิธีดำเนินงาน วิเคราะห์ผล และช่วยตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงของสาหร่ายตลอดระยะเวลาการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่อบรมสั่งสอนให้มีความตั้งใจ เป็นแรงผลักดันในการทำงาน และเป็นผู้สนับสนุนในเรื่องการศึกษา ซึ่งปริญญานิพนธ์เล่มนี้คณะผู้จัดหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยและศึกษาเกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์เพื่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอนาคต

นางสาวขวัญชนก ปั้นบำรุงสุข
นางสาวน้ำฝน นิยมวงศ์
13 มีนาคม 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ V

สารบัญ(ต่อ) VI

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

สารบัญรูป(ต่อ) IX

สารบัญรูป(ต่อ) X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 สาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) 3

2.1.1 ด้านอุตสาหกรรม 4

2.1.2 ด้านเกษตรกรรม 4

2.1.3 ด้านการแพทย์และสุขภาพ 4

2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย 6

2.2.1 รูปแบบการเพาะเลี้ยง 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2.2 แสง 12

2.2.3 ค่าความเป็นกรดด่าง 17

2.2.4 อุณหภูมิ 17

2.3 การวัดมวลชีวภาพและการเจริญเติบโตของสาหร่าย 17

บทที่ 3 อุปกรณ์ วิธีการออกแบบและดำเนินงาน 19

3.1 การออกแบบ และโมเดลของเครื่องปฏิกรณ์ (Photobioreactor : PBR Design) 19

3.1.1 การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 1 19

3.1.2 การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 2 22

3.1.3 การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 3 24

3.1.4 การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 4 30

3.2 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย (Algae Cultivation) 42

3.2.1 การทำความสะอาดเครื่องปฏิกรณ์ฯ 42

3.2.2 การเตรียมหัวเชื้อ และสูตรอาหารสำหรับสาหร่าย 43

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล 49

4.1 ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของ Hybrid Photobioreactor 49

4.1.1 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลล่า 49

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ 55

5.1 สรุปผลการทดลอง 55

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม 56

เอกสารอ้างอิง 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์ที่มูลค่าสูงในสาหร่าย 5

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการเพาะเลี้ยงระบบเปิดและระบบปิด 8

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบความสามารถและลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์ฯ 12

ตารางที่ 3.1.1 แสดงรายละเอียดโดยสังเขปของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 1 19

ตารางที่ 3.1.1(ต่อ) แสดงรายละเอียดโดยสังเขปของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 1 20

ตารางที่ 3.1.2 แสดงรายละเอียดโดยสังเขปของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 2 22

ตารางที่ 3.1.3 แสดงรายละเอียดโดยสังเขปของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 3 24

ตารางที่ 3.1.4a แสดงรายละเอียดโดยสังเขปของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 4 30

ตารางที่ 3.1.4b แสดงอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศ 36

ตารางที่ 3.1.4c แสดงความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางที่เปลี่ยนใหม่ของ Model 4 37

ตารางที่ 3.2.2 แสดงชนิดของสารเคมี และปริมาณที่ต้องใช้ต่อน้ำ 1 ลิตร 44

ตารางที่ 3.3.1a แสดงช่วงพีคของกราฟและค่าที่อ่านได้จากเครื่อง UV – VIS Spectroscopy ของหัวเชื้อสาหร่ายก่อนผสมกับ Medium Culture 47

ตารางที่ 3.3.1b แสดงช่วงพีคของกราฟและค่าที่อ่านได้จากเครื่อง UV – VIS Spectroscopy ของเซลล์สาหร่ายด้านบนถังหลังผสมกับ Medium Culture 47

ตารางที่ 3.3.1c แสดงช่วงพีคของกราฟและค่าที่อ่านได้จากเครื่อง UV – VIS Spectroscopy ของเซลล์สาหร่ายด้านล่างถังหลังผสมกับ Medium Culture 48

ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงต่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยเก็บตัวอย่าง จากด้านบนและด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงบ่อเพาะเลี้ยงแบบ (a) Round Ponds และ (b) Raceway Ponds 7

รูปที่ 2.2 เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบท่อ 9

รูปที่ 2.3 เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแผ่น 9

รูปที่ 2.4 เครื่องปฏิกรณ์ใช้แสงแบบถังกวน 10

รูปที่ 2.5 เครื่องปฏิกรณ์แบบพ่นฟองอากาศ 10

รูปที่ 2.6 เครื่องปฏิกรณ์แบบระบบหมุนเวียน..... 11

รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบของการป้อนก๊าซ และลักษณะการหมุนเวียนก๊าซภายใน
Bubble Photobioreactor (ซ้าย) และ Airlift Photobioreactor (3 รูปขวา) 10

รูปที่ 2.8 แสดงระยะการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลล่า..... 18

รูปที่ 3.1.1A แสดงลักษณะโดยรวมของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 1..... 20

รูปที่ 3.1.1B แสดงส่วนฝาครอบของเครื่องปฏิกรณ์ฯ หลอดไฟ และทางออกอากาศ..... 21

รูปที่ 3.1.1C แสดงตำแหน่งการติดตั้งหัวกระจ่ายก๊าซ และใบพัด..... 21

รูปที่ 3.1.2A แสดงทางช่องว่างบริเวณผนังของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 2..... 23

รูปที่ 3.1.2B แสดงตำแหน่งหลอดไฟ LED และครีบติดผนัง 4 ชิ้น 23

รูปที่ 3.1.3A แสดงลักษณะโดยรวมของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 3 25

รูปที่ 3.1.3B แสดงตำแหน่งติดตั้งหัวจ่ายก๊าซ และ Supporter บริเวณ Bottom zone 25

รูปที่ 3.1.3C แสดงช่องว่างที่ผนังของเครื่องปฏิกรณ์ และฝาครอบ..... 26

รูปที่ 3.1.1D แสดงรูปร่างของ Supporter 27

รูปที่ 3.1.3E แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Supporter บริเวณ Top zone..... 27

รูปที่ 3.1.3F แสดงอุปกรณ์ Diffuser ชนิดทิศทางการจ่ายก๊าซด้านเดียว 28

รูปที่ 3.1.3G แสดงทิศทางการให้แสงสว่างของหลอดไฟ LED 3 หลอด 29

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้ ห้ามมิให้ลบเลือนข้อความนี้ออกจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.1.4A แสดงลักษณะโดยรวมของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 4 31

รูปที่ 3.1.4B แสดงส่วนประกอบของวงแหวนและครีบที่ติดกับ Draft tube 31

รูปที่ 3.1.4C แสดงลักษณะเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 4 เมื่อประกอบส่วนของวงแหวน
และครีบเข้ากับ Draft tube ภายใน Body 32

รูปที่ 3.1.4D แสดงบริเวณที่ Draft tube ถูกยึดติดด้วยโซ่เพื่อใช้ในการลอยตัว 32

รูปที่ 3.1.4E แสดงด้านข้างของเครื่องปฏิกรณ์ฯซึ่งจะมีแผ่นอะคริลิคขนาดเล็ก 2 ชิ้น
รูปตัว U ทำหน้าที่ขัดขวางการเคลื่อนที่ของ Draft tube 33

รูปที่ 3.1.4F แสดงแผงหลอดไฟ LED ที่ถูกติดบนกระดาษแข็งเป็น 3 ทิศทาง 34

รูปที่ 3.1.4G แสดงปลายท่ออะคริลิคใส่แผงไฟ LED 34

รูปที่ 3.1.4H แสดงลักษณะหัวจ่ายก๊าซชนิดเปลือย และกระจายก๊าซหลายทิศทาง 35

รูปที่ 3.1.4I แสดงวิธีการวัดอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศ 36

รูปที่ 3.1.4J แสดงชิ้นส่วนของฐานที่ถูกติดกับ Plug (ขวา) และ Ball valve (ซ้าย) 37

รูปที่ 3.1.4K แสดงชิ้นส่วนของฐานที่จะถูกยึดติดกับหัวกระจายก๊าซ และประกอบเข้า
กับช่องว่างด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ฯ 38

รูปที่ 3.1.4L แสดงบริเวณผนังของเครื่องปฏิกรณ์ฯที่ถูกตัดแบ่งออกเป็น 4 ช่อง 39

รูปที่ 3.1.4M แสดงชิ้นส่วนฝาครอบเครื่องปฏิกรณ์ฯที่ถูกออกแบบ 39

รูปที่ 3.1.4N แสดงชิ้นส่วนจริงของฝาครอบพร้อมตะขอเกี่ยวสายโซ่ 40

รูปที่ 3.1.4O แสดงชิ้นส่วนของฐานเครื่องปฏิกรณ์ฯยึดติดกับรถเข็น 41

รูปที่ 3.1.4P แสดงภาพรวมของเครื่องปฏิกรณ์ฯ และการทดสอบการรั่วซึม 41

รูปที่ 3.2.1 แสดงขั้นตอนการล้างด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อโรค และรอแห้ง 24 ชั่วโมง 43

รูปที่ 3.2.2 แสดงขั้นตอนการผสมสารเคมีก่อนเทผสมเข้ากับน้ำดื่มบริสุทธิ์ 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.2.3 แสดงขั้นตอนการเทหัวเชื้อสาหร่ายเข้าผสมกับ Medium culture 45

รูปที่ 3.3.1 แสดงขั้นตอนและตำแหน่งการวัดค่าความเข้มแสงทั้ง 3 ตำแหน่ง 48

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่า
และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ภายในระยะเวลาการเพาเลี้ยง 7 วัน 51

รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่า
และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆเมื่อเพาะเลี้ยงอย่างต่อเนื่อง 51

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่า
และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร และ 695 นาโนเมตร 52

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง (LUX) กับระยะเวลาการเพาะเลี้ยง
สาหร่ายคลอเรลล่า โดยวัดค่าความเข้มแสงที่ผนังด้านนอกของเครื่องปฏิกรณ์ 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันสาหร่ายได้รับความนิยมจากนักวิจัยในการพัฒนาให้เป็นพลังงานทางเลือก ผลิตภัณฑ์เวชสำอาง ตลอดจนส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ สาหร่ายใช้พื้นที่ในการเจริญเติบโตน้อย สามารถแบ่งตัวได้อย่างรวดเร็ว และมีองค์ประกอบภายในเซลล์ที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ เช่น วิตามิน เกลือแร่ คาร์โบไฮเดรต กรดไขมัน และโปรตีน นอกจากนั้นในภาคอุตสาหกรรมยังมีการเพาะปลูกสาหร่ายเพื่อช่วยในการบำบัดมลพิษ เพราะการเจริญเติบโตของสาหร่ายจำเป็นต้องใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การวิจัยและพัฒนาเพื่อนำสาหร่ายไปใช้ประโยชน์มีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะการเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยวสาหร่ายนับเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์และความคุ้มค่าเชิงพาณิชย์

ในการเลี้ยงสาหร่ายสามารถแบ่งการเพาะเลี้ยงออกเป็นสองประเภท คือ การเพาะเลี้ยงในระบบเปิด (Open System) ซึ่งเป็นวิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบธรรมชาติ วิธีนี้ยากต่อการควบคุมอุณหภูมิและปัจจัยต่างๆที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย อีกวิธีการหนึ่งคือ การเพาะเลี้ยงในระบบปิด (Close System) ซึ่งถือว่าเป็นการเพาะเลี้ยงที่มีการวิจัยและพัฒนามาก จนสามารถควบคุมปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายและลดการปนเปื้อนได้ดี โดยเครื่องเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระบบปิดมีหลายชนิด ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน เช่น เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบท่อ (Tubular Photobioreactors) จะมีปัญหาในเรื่องการควบคุมปริมาณแสง ใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกมากและยากต่อการควบคุมอุณหภูมิ เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบให้แสง (Stirred Tank Photobioreactors) นั้นยากต่อการเพิ่มขนาดในการดำเนินงาน (Scale up) การควบคุมแสงและอุณหภูมิเป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นที่มาของโครงงานนี้ในการศึกษาเพื่อพัฒนาความสามารถของเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้แสง

การศึกษาโครงงานนี้เน้นการออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่สามารถปรับสภาวะให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ เช่น อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งส่งผลต่ออัตราการผสมของสาหร่ายภายในเครื่องเพาะเลี้ยง และความเข้มแสง ทั้งนี้การปรับเปลี่ยนปัจจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสาหร่ายรวมถึงสภาพแวดล้อมต่างๆในขณะทำการทดลองเลี้ยง ซึ่งในโครงงานนี้จะเลือกใช้สาหร่าย Chlorella Vulgaris มาเป็นกรณีศึกษาและทดสอบการทำงานของเครื่องเพาะเลี้ยงสาหร่าย

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงสาหร่าย ที่สามารถปรับสภาวะให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายต่างสายพันธุ์ช่วยเพิ่มผลผลิตสาหร่ายที่มีคุณภาพและความคุ้มค่าเชิงพาณิชย์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยใช้สาหร่ายคลอเรลล่าเป็นกรณีศึกษาและทดสอบการทำงานของเครื่องเพาะเลี้ยง

1.4 ประโยชน์ที่คิดว่าจะได้รับ

สามารถนำเครื่องปฏิกรณ์แบบใช้แสง (Photobioreactor) มาเพาะเลี้ยงสาหร่ายสายพันธุ์ Chlorella Vulgaris ได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันในท้องตลาดมีผลิตภัณฑ์สาหร่ายและผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากสาหร่ายมากมาย มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และมีกลุ่มของผู้ใช้ทั้งที่เป็นการบริโภคในครัวเรือน การศึกษา การแพทย์ และอุตสาหกรรม ซึ่งถ้าจะพิจารณาลงไปในแต่ละกลุ่มของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์จะมีความแตกต่างกันมาก และส่วนใหญ่จะเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งโดยภาพรวมแล้วมีปริมาณนำเข้าเพิ่มขึ้นมากในปี พ.ศ. 2542 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2541 และ 2540 [1] เป็นไปได้ว่ามีความต้องการวัตถุดิบสาหร่ายในประเทศมากขึ้น ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเพื่อการเพาะเลี้ยงจึงเป็นสิ่งสำคัญในการตอบสนองความต้องการภายในประเทศ

สาหร่ายจัดเป็นไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) ที่หากพิจารณาจากขนาดของเซลล์แล้วจะสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่ สาหร่ายขนาดใหญ่ (Macroalgae) และสาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) จะมีขนาดประมาณ 2 ไมครอน โดยในโครงงานนี้มุ่งเน้นศึกษาสาหร่ายขนาดเล็ก

2.1 สาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae)

สาหร่ายขนาดเล็กสามารถสืบพันธุ์ได้ด้วยการแบ่งเซลล์ ซึ่งมีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับสังเคราะห์แสง และเจริญเติบโตได้รวดเร็ว สาหร่ายอาศัยกระบวนการสังเคราะห์แสงในการเจริญเติบโตของเซลล์ ซึ่งปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายก็คือ แสง น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสารอาหารอื่นๆ ดังสมการ

$$CO_2 + H_2O + \text{สารอาหาร} + \text{แสง} \longrightarrow (CH_2O)_n + O_2$$

$(CH_2O)_n$ คือ มอโนแซคคาไรด์ (monosaccharides) เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของคาร์โบไฮเดรท มีสูตรอย่างง่ายคือ $(CH_2O)_n$ โดย n มีจำนวนตั้งแต่ 3 ขึ้นไป (ที่พบมากคือ 5 และ 6 แต่อาจมีค่ามากได้ถึง 9) และสารอาหาร คือ ธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการ โดยส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยในปัจจุบันสาหร่ายมีความนิยมทั้งในงานวิจัยและการอุปโภคบริโภค เนื่องจากคุณประโยชน์ที่หลากหลาย เช่น ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม ด้านการแพทย์และสุขภาพ ดังจะเสนอตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ด้านอุตสาหกรรม

สาหร่ายบางชนิดจะมีองค์ประกอบของน้ำมันภายในเซลล์มาก เมื่อผ่านกระบวนการสกัดจะได้ผลิตภัณฑ์ตั้งต้นในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล [2] และน้ำมันเครื่องบินได้ อีกทั้งยังเป็นพลังงานสะอาด [3] ที่ลดภาวะโลกร้อน (Global Warming) และปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากฝีมือมนุษย์ในปัจจุบันและยังสามารถช่วยแก้ไขปัญหาสภาวะการขาดแคลนพลังงาน นอกจากนั้นคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนัก สารพิษจำพวก So_x No_x [4] และการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสงก่อนปล่อยออกซิเจนสู่อากาศ ช่วยกำจัดมลพิษทางอากาศ ทั้งยังช่วยโรงงานอุตสาหกรรมในเรื่องการบำบัดน้ำเสียที่ออกมาจากโรงงานต่างๆอีกด้วย [5]

2.1.2 ด้านเกษตรกรรม

สาหร่ายที่เหลือจากกระบวนการผลิตอื่นสามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยชีวภาพสำหรับการเพาะปลูก อาหารสำหรับสัตว์ในส่วนของปศุสัตว์ [6] อีกทั้งยังสามารถเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการเพาะเห็ดอีกด้วยนอกจากนั้นปัจจุบันยังมีการนำสาหร่ายเกลียวทองไปใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น เหตุการณ์ในช่วงปี 2543 เป็นต้นมา วงการกุ้งกุลาดำทางภาคตะวันออก และภาคใต้ของไทยประสบกับปัญหาการระบาดของโรคกุ้งที่มาจากเชื้อไวรัสต่างๆ เป็นจำนวนมาก โดยยาปฏิชีวนะไม่สามารถลดการระบาดของโรคที่เกิดจากเชื้อไวรัสได้ และกลับขยายเพิ่มขึ้นอย่างมากทั้งในภาคตะวันออกภาคกลางและภาคใต้เป็นความเสียหายค่อนข้างรุนแรงซึ่งหลังจากมีการนำสาหร่ายเกลียวทองไปใช้ก็พบว่า สาหร่ายจะช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันของกุ้งทำให้มีอัตราการรอดสูงเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและภูมิคุ้มกันโรค แม้อาศัยในบริเวณที่มีความเค็มสูงเกิน 40 กรัมต่อสารละลาย 1000 กรัม นอกจากนั้นยังมีการพัฒนานำสาหร่ายเกลียวทองสดมาอนุบาล และเลี้ยงปลานิลแดงจนถึงระยะวางไข่พบว่าอัตราการฟักออกเป็นตัวและอัตรารอดของลูกปลาสูงในเนื้อปลามี Gamma - Linolenic Acid (GLA) และโปรตีนสูงมีสีสันสวยงามเหมาะแก่การส่งออกเนื้อปลาทำซาชิมิ (Sashimi) ซึ่งได้รับความนิยมในญี่ปุ่น [7]

2.1.3 ด้านการแพทย์และสุขภาพ

ปัจจุบันอาหารเสริมมีความนิยมมากซึ่งส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบของสาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) เนื่องจากมีปริมาณวิตามิน เกลือแร่โดยเฉพาะโปรตีนที่มีอยู่ปริมาณสูงถึงร้อยละ 70 ของน้ำหนักแห้ง โดยภายในยังมีรงควัตถุที่มีมูลค่าสูงอีกหลายชนิด เช่น Phycocyanin, Allophycocyanin, Beta-carotene, Chlorophyll และกรดไขมันจำเป็นไม่อิ่มตัว เช่น Gamma- Linolenic Acid (GLA) อยู่ร้อยละ 26 –30 ของกรดไขมันทั้งหมด ซึ่งกรดไขมันดังกล่าวกำลังเป็นที่สนใจทางการแพทย์ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการยับยั้งการแข็งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเลือด ลดระดับความดันโลหิต ลดปริมาณคลอเลสเตอรอล และยังสามารถควบคุมฮอร์โมน Prostaglandin ซึ่งช่วยรักษาเกี่ยวกับโรคหัวใจและโรคภูมิแพ้ต่างๆ [8] นอกจากนั้นยังมีการพัฒนานำสาหร่ายเป็นส่วนประกอบหลักในการทำเครื่องสำอางด้วย [6] ดังนั้นจะเห็นว่าสาหร่ายมีประโยชน์และมูลค่าแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ปัจจุบันมีการประยุกต์และนำมาใช้ในงานเกี่ยวกับการตรวจหาแอนติเจน แอนติบอดีโดยใช้คุณสมบัติในการเรืองแสงของสาหร่าย (Immunnoassays Microcopy) [8]

ตารางที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์ที่มูลค่าสูงในสาหร่าย [9]

ผลิตภัณฑ์	ตัวอย่างชนิดของสาหร่าย	ประโยชน์ในปัจจุบันและที่น่าจะเป็นไปได้
Amphidinolides and Amphdinins	Amphidinium sp.	สารต่อต้านการเกิดมะเร็ง
Astaxanthin	Haematococuspluvialis, Chorella sp.	เม็ดสีรงควัตถุในพืช
Beta - Carotene	Dunaliella	อาหารเสริมสำหรับสุขภาพ
Docosahexaenoic acid	Isochrysisgalbana	กรดไขมันจำเป็นต่อร่างกาย
Gamma-Linolenic Acid	Spirulina sp.	กรดไขมันจำเป็นต่อร่างกาย
Other Polyunsaturated fatty acids	Phaeodactylumtricornutum, Isochrysisgalbana	อาหารเสริมสำหรับสุขภาพ
Fucoxanthin	Phaeodactylumtricornutum	สารต่อต้านอนุมูลอิสระ
Goniodomins	Alexandriumhiranoi	ยาต่อต้านการเกิดเชื้อรา
Oscillapeptin	Oscillatoriaagardhii	สารยับยั้งอีลาสติน (Elastase)
Phycobilliproteins	Red algae, cyanobacteria	เม็ดสีรงค์วัตถุในพืช
Phycocyanin	Spirulinaplantensis	เม็ดสีรงค์วัตถุในพืช

จากที่กล่าวมาข้างต้นโครงงานนี้เลือกใช้สาหร่ายขนาดเล็กในการศึกษา ซึ่งสายพันธุ์ที่ใช้คือ คลอเรลลา (Chlorella) เป็นสาหร่ายในกลุ่มสาหร่ายสีเขียว นิยมนำมาบริโภคในรูปแบบของอาหารเสริม หรือผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ ชาวญี่ปุ่นยังใช้เติมลงไปในชา ซุป นม น้ำผลไม้ บะหมี่ คุกกี้ เค้ก และไอศกรีม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาหร่ายคลอเรลล่าจัดเป็นแหล่งของโปรตีน วิตามิน และเกลือแร่ โดยมีโปรตีนที่อยู่ในรูปของกรดนิวคลีอิก คือ “อาร์ เอ็น เอ” หรือเรียกว่า กรดไรโบนิวคลีอิก (Ribonucleic acid – RNA) สูงมากโดยมีอยู่ถึง 8 ชนิด นักวิทยาศาสตร์พบว่าสารดังกล่าวจะช่วยกระตุ้นให้เซลล์ร่างกายเกิดความกระปรี้กระเปร่า มีความอ่อนเยาว์ และช่วยชะลอความชราได้ นอกจากนั้นผลการวิจัยยังพบว่า “อาร์ เอ็น เอ” ในสาหร่ายคลอเรลล่าประกอบด้วย กรดอะมิโนจำเป็นชนิดที่ร่างกายสร้างขึ้นมาใช้เองไม่ได้ ต้องได้รับจากการบริโภคของพืชหรือสัตว์เท่านั้น โปรตีนจากคลอเรลลาจึงมีคุณภาพเทียบเท่ากับโปรตีนที่ได้จากเนื้อสัตว์ [10]

ภายในเซลล์สาหร่ายคลอเรลลายังมีวิตามินอยู่หลากหลายชนิด คือ วิตามินซี บี1 บี2 บี6 บี12 เบตา-แคโรทีน (ซึ่งให้วิตามิน เอ) ไนอาซิน กรดแพนโทเทนิค กรดโฟลิก ไบโอติน โคลีน อินโนซิทอล พีเอบีเอ วิตามินอี และ วิตามินเค ส่วนเกลือแร่ที่มีอยู่ได้แก่ ฟอสฟอรัส เหล็ก โปแตสเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน แคลเซียม แมงกานีส ทองแดง สังกะสี ไอโอดีน โคบอลต์ และกรดไขมันไลโปอิก

นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยสนับสนุนสรรพคุณในด้านต่าง ๆ ของคลอเรลลา เช่น กระตุ้นการเจริญเติบโต เป็นแหล่งโปรตีน เสริมภูมิคุ้มกันร่างกาย ชะลอความชรา ป้องกันอนุมูลอิสระ ล้างพิษในระบบทางเดินอาหาร เนื่องจากมีองค์ประกอบของสารอาหารที่มีประโยชน์สูง วงการธรรมชาติบำบัดจึงนิยมนำคลอเรลลาไปใช้ในการเสริมภูมิคุ้มกัน สมานแผล ปรับการทำงานของกระเพาะอาหารและลำไส้ ต้านสารพิษต่าง ๆ ใช้กระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโต และช่วยสร้างเนื้อเยื่อในร่างกาย ตลอดจนป้องกันอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี

2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย มีหลายประการ คือ รูปแบบระบบการเพาะเลี้ยง แสง อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจน ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ป้อนเข้าในเครื่องปฏิกรณ์ การถ่ายเทของก๊าซ สารอาหารที่สาหร่ายได้รับ และการออกแบบของเครื่องปฏิกรณ์สำหรับการเพาะเลี้ยง ดังต่อไปนี้

2.2.1 รูปแบบระบบการเพาะเลี้ยง

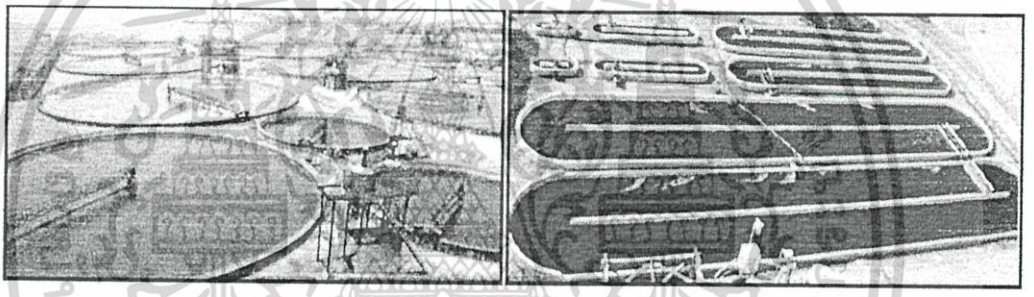
ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ การเพาะเลี้ยงในระบบเปิดและระบบปิด โดยหากสถานที่ตั้งของบ่อเพาะเลี้ยงอยู่กลางแจ้งก็จะให้ผลลัพธ์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกับบ่อในร่ม ดังนั้นปัจจัยดังกล่าวจึงเป็นสิ่งสำคัญอันดับต้น ๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

1. การเพาะเลี้ยงในระบบเปิด

ลักษณะของระบบเพาะเลี้ยงจะเป็นพื้นที่เปิดขนาดใหญ่ อยู่กลางแจ้ง โดยอาจเป็นบ่อน้ำที่เกิดตามธรรมชาติ (Shallow Ponds) หรือเป็นบ่อกวนวนที่ถูกสร้างขึ้นก็ได้ (Raceway Ponds) ซึ่งระบบบ่อกวนวนดังกล่าวก็สามารถพัฒนาเป็นหลายรูปแบบได้ และจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น หากบ่อเพาะเลี้ยงมีลักษณะเป็นวงกลม ติดตั้งระบบการกวนให้เป็นคานหมุนอย่างช้าๆ ในแนวรัศมี จะเรียกว่า Round ponds และในกรณีบ่อกวนวนชนิดปกติจะมีลักษณะเด่น คือ บ่อเพาะเลี้ยงมีขนาดยาวคล้ายวงรี มีผนังคอนกรีตกลางบ่อเพื่อช่วยในการหมุนวน และมีใบพัดที่ช่วยในการกวนน้ำในระบบให้มีการไหลเวียนอย่างสม่ำเสมอจะเรียกว่า Raceways ponds ตามรูปที่ 2.1



(a) (b)

รูปที่ 2.1 แสดงบ่อเพาะเลี้ยงแบบ (a) Round Ponds และ (b) Raceway Ponds

ในขณะที่บ่อเพาะเลี้ยงแบบปิดจะมีรูปแบบมากกว่า มีข้อดี ข้อเสีย และจุดเด่นของการทำงานแตกต่างกัน ซึ่งเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ไว้ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระบบปิดจะมีข้อดีมากกว่าการเพาะเลี้ยงในระบบเปิด เนื่องจากมีประสิทธิภาพการทำงานสูง การปนเปื้อนน้อย และสามารถนำมาใช้กับสาหร่ายได้หลายพันธุ์ ดังนั้นในโครงงานนี้จึงเลือกใช้ระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการเพาะเลี้ยงระบบเปิดและระบบปิด [11]

ลักษณะที่นำมาเปรียบเทียบ	ระบบเปิด	ระบบปิด
สัดส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรสาหร่าย	มาก	น้อย
พันธุ์สาหร่ายที่นำมาเลี้ยง	จำกัดสายพันธุ์	หลากหลายสายพันธุ์
ความหนาแน่นของผลผลิต	น้อย	มาก
ประสิทธิภาพผลผลิต	น้อย	มาก
ช่วงเวลาการเพาะปลูก	จำกัดช่วงเวลา	ยืดหยุ่นช่วงเวลาได้
การปนเปื้อน	มีความเป็นไปได้	เป็นไปได้น้อยมาก
การสูญเสียน้ำ (Evaporation)	มีความเป็นไปได้	ไม่สามารถเกิดขึ้นได้
ประสิทธิภาพการกระจายของแสง	น้อย-ปานกลาง	ปานกลาง-มาก
การถ่ายเทของก๊าซ	น้อย	ปานกลาง-มาก
การควบคุมอุณหภูมิ	ไม่มี	ดีเยี่ยม
พารามิเตอร์ที่มีมูลค่าใช้จ่ายสูง	การกวนผสม	การควบคุมอุณหภูมิและออกซิเจน
มูลค่าในการลงทุน	ลงทุนต่ำ	ลงทุนสูง

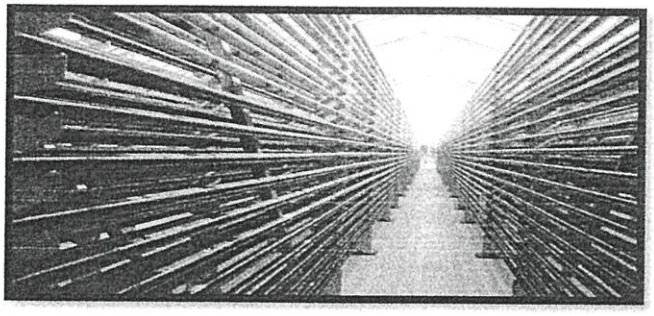
2. การเพาะเลี้ยงในระบบปิด

วิธีการนี้จะสามารถจำแนกออกได้อีกหลายแบบ หากพิจารณาจากชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ฯ เช่น เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบท่อ แบบแผ่น แบบถังกวน แบบพ่นฟองอากาศ และแบบหมุนเวียนอากาศ โดยโครงงานนี้จะนำข้อดีและรูปแบบการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ฯแต่ละชนิดมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ และสามารถปรับสภาวะในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายได้ตามความต้องการของแต่ละสายพันธุ์ เช่น อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการผสมของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงภายในเครื่อง และความเข้มแสง ซึ่งจะมีรายละเอียดการทำงานอย่างสรุปดังต่อไปนี้

1. เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบท่อ (Tubular Photobioreactors)

เป็นเครื่องปฏิกรณ์ฯที่ถูกออกแบบให้มีพื้นที่รับแสงมาก เหมาะสำหรับการเพาะปลูกกลางแจ้งแต่มีปัญหาในเรื่องการควบคุมปริมาณแสง ควบคุมอุณหภูมิ และใช้พื้นที่ในการเพาะเลี้ยงมาก โดยลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์ฯจะแสดงในรูปที่ 2.2

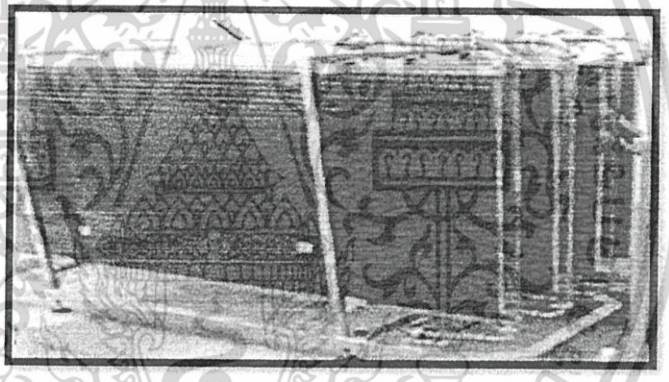
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบท่อ

2. เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแผ่น (Flat Plate Photobioreactors)

เครื่องปฏิกรณ์ฯชนิดนี้มีพื้นที่รับแสงมาก เหมาะสำหรับการเพาะปลูกกลางแจ้ง แต่จะยากต่อการควบคุมแสง อุณหภูมิ และการสะสมของความเข้มข้นออกซิเจนที่ละลายในระบบจึงไม่นิยมทำ Scale up ลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์ฯจะแสดงในรูปที่ 2.3

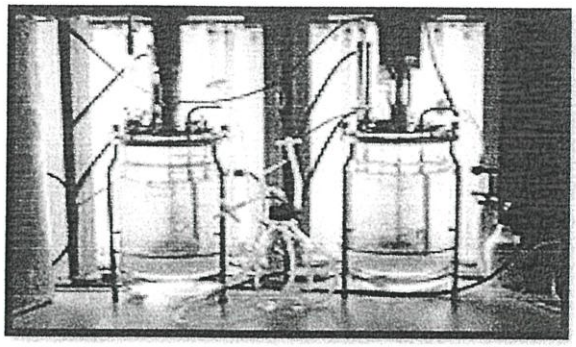


รูปที่ 2.3 เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแผ่น

3. เครื่องปฏิกรณ์ใช้แสงแบบถังกวน (Stirred Tank Photobioreactor)

เครื่องปฏิกรณ์ฯชนิดนี้มีขนาดใหญ่ส่งผลให้แสงไม่สามารถส่องผ่านได้อย่างเต็มประสิทธิภาพจึงต้องอาศัยแสงเทียมเข้าช่วย ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จากรูปจะเห็นว่าเครื่องปฏิกรณ์ฯคล้ายถังทรงกระบอก สามารถสร้างได้ง่าย ปรับอัตราการผสมของสารภายในระบบได้ แต่จะมีปัญหาเรื่องการทำ scale up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เครื่องปฏิกรณ์ใช้แสงแบบถังกวน

4. เครื่องปฏิกรณ์แบบพ่นฟองอากาศ (Bubble Photobioreactor)

ระบบมีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยเป็นการปล่อยก๊าซตรง ๆ จากด้านล่างของถัง ไม่มีการหมุนเวียนก๊าซเกิดขึ้นภายในระบบจึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานไม่ดีเท่าที่ควร มีการติดตั้งระบบแสงเทียมเพื่อช่วยแก้ปัญหาการกระจายของแสงไม่ทั่วถึงดังแสดงในรูปที่ 2.5 หากเครื่องปฏิกรณ์ฯมีความสูงมากจะส่งผลต่อการป้อนก๊าซเข้าสู่ระบบ จากรายละเอียดทำให้เครื่องปฏิกรณ์ฯชนิดนี้ไม่นิยมทำ Scale up

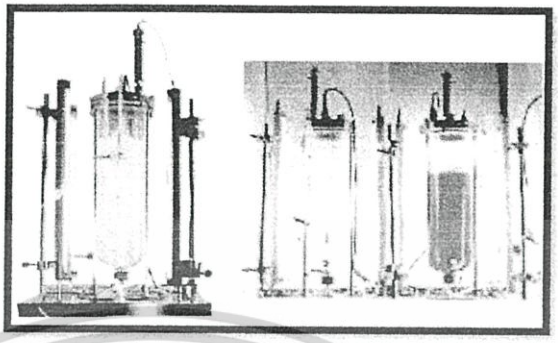
รูปที่ 2.5 เครื่องปฏิกรณ์แบบพ่นฟองอากาศ

5. เครื่องแบบปฏิกรณ์แบบระบบหมุนเวียนอากาศ (Airlift - Photobioreactor)

เป็นระบบที่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากด้านล่างของถัง ภายในมีส่วนที่เรียกว่า Riser และ Downcomer ช่วยในการหมุนเวียนของก๊าซภายในเครื่องปฏิกรณ์ฯ ส่งผลทำให้เกิดการผสมกันได้ดีขึ้น โดยระบบจำเป็นต้องมีการใช้ระบบแสงเทียม เพื่อแก้ปัญหาการกระจายแสงไม่ทั่วถึง นิยมพบปัญหาในการทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ... ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Scale up และในเรื่องการปรับอัตราการไหลของก๊าซที่ป้อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ฯ ลักษณะและรูปร่างโดยรวมจะแสดงในรูปที่ 2.6

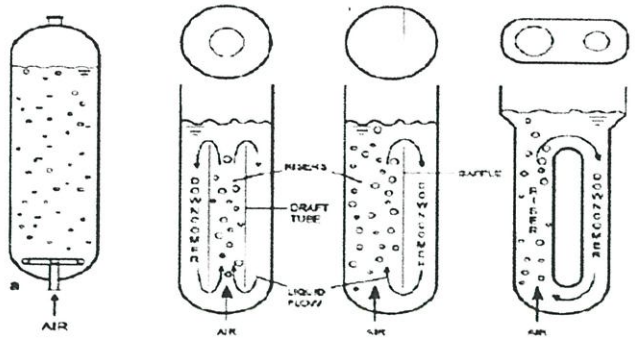


รูปที่ 2.6 เครื่องแบบปฏิกรณ์แบบระบบหมุนเวียน

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจำเป็นต้องปรับสภาวะให้มีความเหมาะสมตามชนิดของสาหร่าย และการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในเครื่องปฏิกรณ์ฯจะต้องมีการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ประสิทธิภาพของการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่ายขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ค่าความเป็นกรดด่าง พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของเหลวกับก๊าซ อุณหภูมิ และอัตราการป้อนก๊าซ โดยรูปแบบของการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และตำแหน่งของการติดตั้งตัวปล่อยก๊าซจะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ฯ โดย Bubble Photobioreactor และ Airlift Photobioreactor มักนิยมติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวไว้ด้านล่างของบริเวณฐาน มีทิศทางการปล่อยก๊าซขึ้นสู่ด้านบนดังรูปที่ 2.7

สำหรับ Airlift Photobioreactor จะออกแบบให้ภายในมีส่วนของ Riser และ Down comer ทำให้เกิดระบบการหมุนเวียนก๊าซเป็นการเพิ่มระยะเวลาให้ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สัมผัสกับเซลล์สาหร่ายได้นานขึ้น โดยส่วนใหญ่แล้วหากมีระยะเวลาการสัมผัสน้อยเกินไปจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการละลายน้ำของก๊าซต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบของการป้อนก๊าซ และลักษณะการหมุนเวียนก๊าซภายใน Bubble Photobioreactor (ซ้าย) และ Airlift Photobioreactor (3 รูปขวา)

นอกจากลักษณะการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ฯที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบการเพาะเลี้ยงแล้ว ในการทำโครงงานจะต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการเพิ่มความสามารถในการดำเนินการ (Scale up) เพื่อให้ประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้แสงมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้ได้ในอุตสาหกรรมขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ โดยรายละเอียดจะถูกแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบความสามารถ และลักษณะของเครื่องปฏิกรณ์

ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ฯ	ประสิทธิภาพการเพาะปลูก	การควบคุมการปนเปื้อน	ขนาดพื้นที่ที่ต้องการ	การขยายขนาด (Scale-up)
Tubular PBR	ดี	ยาก	พื้นที่มาก	เป็นไปได้
Flat Plate PBR	ดีมาก	ยาก	พื้นที่น้อย	ยาก
Stirred Tank PBR	แย่	ปานกลาง	พื้นที่ปานกลาง	ยาก
Bubble PBR	ปานกลาง	ง่าย	พื้นที่ปานกลาง	เป็นไปได้
Airlift PBR	ดี	ดีมาก	พื้นที่ปานกลาง	เป็นไปได้

2.2.2 แสง

สาหร่ายจำเป็นต้องใช้แสงสว่างเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโต ปัจจัยของแสงที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ได้แก่ ความยาวคลื่น ความเข้มแสง และแหล่งกำเนิดแสง ดังนั้นในโครงงานจึงศึกษาและพัฒนาการระบบแสงสว่างที่ให้แก่ระบบเพาะเลี้ยงอย่างเหมาะสม โดยจะอธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความยาวคลื่น

สำหรับช่วงความยาวคลื่นของแสงที่เหมาะสมเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายนั้น คือ ช่วงความยาวคลื่นที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ (Visible Light) [12] ที่ 380-780 นาโนเมตร ซึ่งความยาวคลื่นที่แตกต่างกันจะมีผลต่อปริมาณองค์ประกอบภายในเซลล์สาหร่ายแตกต่างกันดังนี้

Chlorophylls เป็นรงควัตถุไม่มีขั้ว (Hydrophobic) เป็น Pigment ที่พบในพืชที่มีสีเขียว เป็นตัวรับแสงในการสังเคราะห์แสงของพืชเพื่อสร้างเป็นน้ำตาลกลูโคส ซึ่งเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานในเซลล์ของพืช ช่วงแสงที่สามารถดูดซับได้ คือ 450-475 และ 630-675 นาโนเมตร

Phycobilins เป็นรงควัตถุมีขั้ว (Hydrophilic) มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างและทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง ซึ่งภายในประกอบด้วย Phycocyanin, Phycoerythrin และ Allophycocyanin โดยช่วงแสงที่สามารถดูดซับสารดังกล่าวได้ คือ 500-650 นาโนเมตร

Carotenoids เป็นรงควัตถุไม่มีขั้ว (Hydrophobic) เป็นกลุ่มรงควัตถุที่มีสีเหลือง-ส้ม มีหน้าที่ในการช่วยรับพลังงานแสงเพื่อการสังเคราะห์ด้วยแสง และทำหน้าที่ในการป้องกันอันตรายจากแสง ช่วงแสงที่สามารถดูดซับได้ คือ 400-550 นาโนเมตร

ดังนั้นการเลือกใช้แสงสว่างกับเครื่องปฏิกรณ์จึงต้องคำนึงถึงช่วงความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมกับชนิดของรงค์วัตถุ (pigment) ภายในเซลล์ที่สนใจ และต้องการปริมาณผลผลิตมาก ยกตัวอย่างเช่น หากต้องการการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลล่าจากปริมาณคลอโรฟิลล์ในเซลล์ที่เพิ่มมากขึ้น จากการวิจัยพบว่าแสงสีแดงมีประสิทธิภาพต่อสาหร่ายมากกว่าแสงสีเขียว และ Daylight (สีขาว) เพราะในสาหร่ายสีเขียวมีรงควัตถุ คือ คลอโรฟิลล์ เอ ที่สามารถดูดซับแสงสีแดงได้โดยตรง และครอบคลุมความยาวคลื่นในช่วง Photosynthetically Active Radiation (PAR , 650 nm)

2. ความเข้มแสง (Illuminance)

ความเข้มแสง หมายถึง ปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่กำหนด โดยจะนิยมวัดในหน่วยกำลังเทียน (Candle Power) หรือลูเมน (Lumen) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้จากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง หรือตำแหน่งที่ติดตั้งกับเครื่องปฏิกรณ์ฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการทำการทดลองจะต้องคำนึงถึงองศา และระยะการกระจายแสง เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพการกระจายแสงที่ดี ซึ่งส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด โดยการติดตั้งจะมีหลายวิธี เช่น การติดตั้งภายในเครื่องปฏิกรณ์ฯ ภายนอกเครื่องปฏิกรณ์ฯ และด้านบนเครื่องปฏิกรณ์ฯ

3. แหล่งกำเนิดแสง

การเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมจะยิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์ฯ ในการผลิตสาหร่ายจะพบว่ามีการใช้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน ซึ่งปริมาณผลผลิตที่ได้ก็จะแตกต่างกันด้วย แหล่งกำเนิดแสงสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ แหล่งกำเนิดแสงจากธรรมชาติ (Natural Lighting) และแหล่งกำเนิดแสงจากแสงเทียมที่ถูกประดิษฐ์ขึ้น (Artificial Lighting) ดังจะเสนอรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 แหล่งกำเนิดแสงจากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ (Sunlight) ซึ่งเป็นที่นิยมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อเปิดกลางแจ้ง (Open Pond) เนื่องจากราคาถูก แต่ข้อเสียที่สำคัญ คือ ไม่สามารถควบคุมความเข้มแสงได้ ประสิทธิภาพของแสงที่ได้ขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น สภาพอากาศ ฤดูกาล

3.2 แหล่งกำเนิดแสงจากแสงเทียมที่ถูกประดิษฐ์ขึ้น เป็นที่นิยมเนื่องจากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในเครื่องปฏิกรณ์ฯซึ่งเป็นระบบปิด สามารถควบคุมความเข้มแสง และระยะเวลาการให้แสงได้ โดยแสงเทียมในปัจจุบันมีหลายชนิดซึ่งจะยกตัวอย่างได้ดังนี้

1. หลอดไฮโดรเจน (Hydrogen Lamp), ดิวทีเรียม (Deuterium lamp)

หลอดไฟชนิดไฮโดรเจนจะประกอบด้วยขั้วบวก (Anode) ขั้วลบ (Cathode) และแผ่นความร้อน(Heating Element) ภายในกระเปาะบรรจุไว้ด้วยแก๊สไฮโดรเจน เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าประมาณ 40 โวลต์ให้แผ่นความร้อนรอบ ๆ ขั้วลบ จนอุณหภูมิสูงประมาณ 200-3000 องศาเซลเซียส ความร้อนจะทำให้ขั้วลบเริ่มปล่อยอิเล็กตรอนออกมา หลังจากนั้นกระแสไฟฟ้าจะถูกตัดออกจากแผ่นความร้อนแต่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ขั้วลบแทน โวลต์ที่สูงนี้จะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการกระโดด (Arc) ของอิเล็กตรอนระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ เป็นผลให้อิเล็กตรอนของแก๊สอยู่ในสถานะกระตุ้น (Excited State) เมื่อพลังงานของอิเล็กตรอนลดลง อิเล็กตรอนจะกลับสู่สถานะพื้น (Ground State) พร้อม ๆ กับปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่นช่วง 160-375 นาโนเมตรออกมา หลอดไฮโดรเจนมีอายุการใช้งานน้อย เนื่องจากความเข้มของแสงจะลดลงเรื่อย ๆ ตามอายุการใช้งาน โดยระหว่างทำการทดลองจะต้องหลีกเลี่ยงการมองโดยตรง เพราะแสงอัลตราไวโอเลตมีความสามารถในการทำลายเยื่อบุลูกตา

2. หลอดทังสเตน (Tungsten Lamp)

หลอดไฟกำเนิดแสงแบบทังสเตนนิยมใช้เนื่องจากมีราคาถูกและให้แสงที่มีความเข้มคงที่ ไส้หลอดทังสเตนเมื่อถูกทำให้ร้อนประมาณ 2,626 องศาเซลเซียส จะเกิดการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนทำให้เกิดการปล่อยแสงช่วงความยาวคลื่น 200-20,000 นาโนเมตร แต่เนื่องจากกระเปาะหลอดไฟทำด้วยแก้วธรรมดาที่มีความบริสุทธิ์ต่ำ แสงความยาวคลื่นสูงกว่า 2,500 นาโนเมตร และที่ต่ำกว่า 300 นาโนเมตร จึงถูกดูดกลืนไว้ ดังนั้นช่วงใช้งานของหลอดทังสเตนจึงอยู่ที่ประมาณ 300-2,500 นาโนเมตร นอกจากนั้นหลอดทังสเตนบางชนิดสามารถเปล่งแสงที่คงที่ทันทีหลังจากได้รับกระแสไฟฟ้า แต่บางชนิดอาจต้องใช้เวลาหลายนาทีกว่าแสงจะคงที่ ความเข้มของแสงจะเปลี่ยนแปลงมากถ้าโวลต์ที่ตกคร่อมหลอดทังสเตนเปลี่ยนแปลงไป ความเข้มของแสงจะลดลงตามอายุการใช้งาน เพราะไอระเหยของทังสเตนเกาะที่ผิวแก้วด้านในทำให้แสงผ่านออกมาน้อยลง ถ้าเกาะหนามากจนกลายเป็นสีดำ หรือปล่อยแสงที่กระพริบอยู่ตลอดเวลาควรเปลี่ยนหลอดทังสเตนใหม่

3. หลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten Halogen Lamp)

หลอดไฟกำเนิดแสงชนิดนี้พัฒนามาจากหลอดทังสเตน โดยการเติมธาตุกลุ่มฮาโลเจนในกระเปาะหลอดไฟ ตัวอย่างเช่น ไอโอดีน และใช้ควอทซ์ทำกระเปาะหลอดไฟแทนแก้ว เป็นผลให้หลอดไฟกำเนิดแสงมีอายุการใช้งานนานขึ้น เนื่องจากไอระเหยของทังสเตนเมื่อรวมกับธาตุฮาโลเจนจะกลายเป็นทังสเตนฮาไลด์ (Tungsten Halide) แทนที่ทังสเตนจะไปเกาะที่ผิวกระเปาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดไฟด้านใน ทังสเตนฮาไลด์เมื่อถูกความร้อนทังสเตนจะกลับไปเกาะที่ไส้หลอดได้อีกส่วนควอทซ์มีความบริสุทธิ์สูงจึงดูดกลืนแสงในช่วง 300-400 นาโนเมตร ได้น้อย ประกอบกับสามารถทนความร้อนได้มากกว่าแก้วมาก จึงสามารถเพิ่มความเข้มของแสงได้ ดังนั้นจึงสามารถใช้งานในช่วง 300-400 นาโนเมตรได้ดีกว่าหลอดทังสเตน

4. หลอดไฟแอลอีดี (Light-Emitting Diode)

หลอด LED หรือไดโอดเปล่งแสง เป็นหลอดที่มีความร้อนต่ำ โครงสร้างประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำสองชนิด (สารกึ่งตัวนำชนิด N และสารกึ่งตัวนำชนิด P) ประกบเข้าด้วยกัน มีผิวข้างหนึ่งเรียบคล้ายกระจกเมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงผ่านตัว LED โดยจ่ายไฟบวกให้ขาแอโนด (A) จ่ายไฟลบให้ขาแคโทด (K) ทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิด N มีพลังงานสูงขึ้น จนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อจากสารชนิด N ไปรวมกับโฮลในสารชนิด P การที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อ PN ทำให้เกิดกระแสไหล เป็นผลให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไปและคายพลังงานออกมาในรูปคลื่นแสง สีของแสงที่เกิดจากรอยต่อจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้าง LED ทั้งชนิดที่เป็นของเหลวและก๊าซ เช่น ใช้แกลเลียมฟอสไฟด์ (Gallium Phosphide, GaP) ทำให้เกิดแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 610 – 760 นาโนเมตร ใช้แกลเลียมอาซีไนด์ ฟอสไฟด์ (Gallium Arsenide Phosphide, GaAsP) เกิดแสงสีเหลืองและเขียวการควบคุมปริมาณแสงสว่างจะควบคุมกระแสที่ไหลผ่าน หลอด LED หากกระแสที่ไหลสูงมากไปจะทำให้หลอดมีความสว่างมาก แต่หากป้อนกระแสสูงมากไปจะทำให้บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำเกิดความร้อน ปริมาณมากจนทำให้โครงสร้างหลอดเสียหายไม่สามารถใช้งานได้อีก

5. หลอดไฟแบบนีออน (Fluorescent Light)

หลอดไฟแบบนีออน ทำด้วยหลอดแก้วที่สูบอากาศออกจนหมดแล้วบรรจุไอปรอทไว้เล็กน้อย มีไส้ที่ปลายหลอดทั้งสองข้าง หลอดเรืองแสงอาจทำเป็นหลอดตรง หรือครึ่งวงกลมก็ได้ เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านไอปรอทจะคายพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม ... ใช้

ไฟฟ้าให้อะตอมไอปรอท ทำให้อะตอมของไอปรอทอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น (Excited State) และอะตอมของปรอทจะคายพลังงานออกมาเพื่อลดระดับพลังงาน ในรูปของรังสีอัลตราไวโอเลต ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงที่มองไม่เห็น เมื่อรังสีนี้กระทบสารเรืองแสงที่ฉาบไว้ที่ผิวหลอด สารเรืองแสงจะเปล่งแสงสีต่างๆ ตามชนิดของสารเรืองแสงที่ฉาบไว้ในหลอดนั้น เป็นหลอดไฟฟ้าที่นิยมใช้กันทั่วไป เพราะว่าให้แสงสว่างนวลสบายตา และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

2.2.3 ค่าความเป็นกรดด่าง

สำหรับค่าความเป็นกรดด่างในระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่า ควรมีค่าอยู่ในช่วงที่ 6-8 โดยประมาณ [15] การปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายสามารถเตรียมได้ก่อนการเริ่มเพาะเลี้ยง โดยการใช้ไฮโดรคลอริกแอซิด (HCl) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ผสมน้ำเจือจางแล้ววัดค่า pH เทียบกับมาตรฐาน

2.2.4 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ต้องควบคุมให้เหมาะสมกับพันธุ์ของสาหร่ายที่เลี้ยง โดยสาหร่ายคลอเรลลา จะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25-40 องศาเซลเซียส [15] ดังนั้นเครื่องปฏิกรณ์แบบใช้แสงจึงไม่ต้องควบคุมอุณหภูมิของระบบเพราะอากาศของประเทศไทยอยู่ในช่วงดังกล่าว ซึ่งจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนอย่างมาก

ดังนั้นในโครงงานครั้งนี้จึงเลือกสาหร่ายคลอเรลล่า (Chlorrella) เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเพาะเลี้ยง โดยใช้แสงสีแดงจากหลอด LED ที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ 650 นาโนเมตร อุณหภูมิของการเพาะเลี้ยงอยู่ระหว่าง 25-40 องศาเซลเซียส

2.3 การวัดมวลชีวภาพและการเจริญเติบโตของสาหร่าย

ในขั้นตอนนี้จะทำให้ทราบถึงอัตราการเติบโต (Growth Rate) ของสาหร่ายที่ทำการเพาะเลี้ยง ซึ่งมีความสำคัญต่อการประเมินความเหมาะสมของสภาวะที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายตลอดจนประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์แบบใช้แสง หลักสำคัญคือจะต้องมีเข้าใจลักษณะการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยจากรูปที่ 2.8 ลักษณะกราฟการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลลาจะโค้งรูปเป็นตัว S (Sigmoid Curve) ซึ่งจะเรียกว่าเส้นโค้งการเติบโต (Growth Curve) [13] เส้นกราฟดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้ 5 ระยะคือ

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใด ... ให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ระยะปรับตัว (Lag Phase หรือ Inductional Phase) เป็นระยะของการปรับตัวเข้าสู่ระยะเริ่มแรกของการเจริญเติบโต ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนแทบไม่เป็นการเจริญเติบโต เนื่องจากการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม

2. ระยะเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Phase) เป็นระยะที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

3. ระยะเฉื่อย (Retardation Phase หรือ Phase of declining relative growth) เป็นระยะที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายเพิ่มขึ้นช้าลง

4. ระยะคงที่ (Stationary Phase) เป็นระยะที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายแทบไม่เพิ่มขึ้นหรือการเจริญเติบโตคงที่ สาหร่ายจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและถึงจุดอิ่มตัว เนื่องจากความจำกัดของอาหารและความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย ซึ่งจากกราฟจะเป็นเส้นนอนเกือบขนานกับแกน X ระยะนี้เป็นช่วงของการเก็บเกี่ยวผลผลิต

5.ระยะตาย (Death Phase) เป็นระยะที่หลังจากระยะที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด สาหร่ายไม่มีการเจริญเติบโต เนื่องจากความจำกัดของอาหารและความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายทำให้เซลล์สาหร่ายเริ่มตาย

รูปที่ 2.8 แสดงระยะการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์ วิธีการออกแบบและดำเนินงาน

โครงงานนี้เป็นการออกแบบและสร้าง Hybrid Photobioreactor ซึ่งเป็นเครื่องปฏิกรณ์สำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบใช้แสง มีการนำหลักการทำงานของ Airlift Photobioreactor มาพัฒนา และปรับเปลี่ยนสภาวะให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยผลผลิตสามารถนำไปใช้เพื่อการศึกษาวิจัยหรือเชิงพาณิชย์ได้ สำหรับโครงงานนี้จะสามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานเป็น 3 ส่วนหลัก คือ การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ฯ การเพาะเลี้ยงสาหร่าย และการวัดค่าเพื่อนำไปวิเคราะห์ผล

3.1 การออกแบบ และโมเดลของเครื่องปฏิกรณ์ (Photobioreactor : PBR design)

ในการสร้างเครื่องปฏิกรณ์ฯจะต้องคำนึงถึงราคาวัสดุอุปกรณ์ ความสะดวกในการติดตั้ง และประสิทธิภาพการทำงานซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย สำหรับการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ฯในโครงงานนี้จะนำลักษณะการทำงาน เช่น การจ่ายก๊าซเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยง การหมุนเวียนภายในระบบ รูปร่างของเครื่องปฏิกรณ์ฯ ของ Stirred Tank ; Bubble Photobioreactor ; Airlift Photobioreactor มาประยุกต์ใช้และพัฒนาขึ้นตามลำดับ โดยใช้โปรแกรม CATIA V5R20 ในการออกแบบ

3.1.1 การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 1

จากการค้นคว้าและศึกษาเกี่ยวกับชนิดของ Photobioreactor พบว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบปั่นกวน (Stirred Tank) มีต้นทุนในการผลิตต่ำ ทำความสะอาดได้ง่าย และมีขั้นตอนการดำเนินงานไม่ซับซ้อน ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 1 ขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.1.1

ตารางที่ 3.1.1 แสดงรายละเอียดโดยสังเขปของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 1

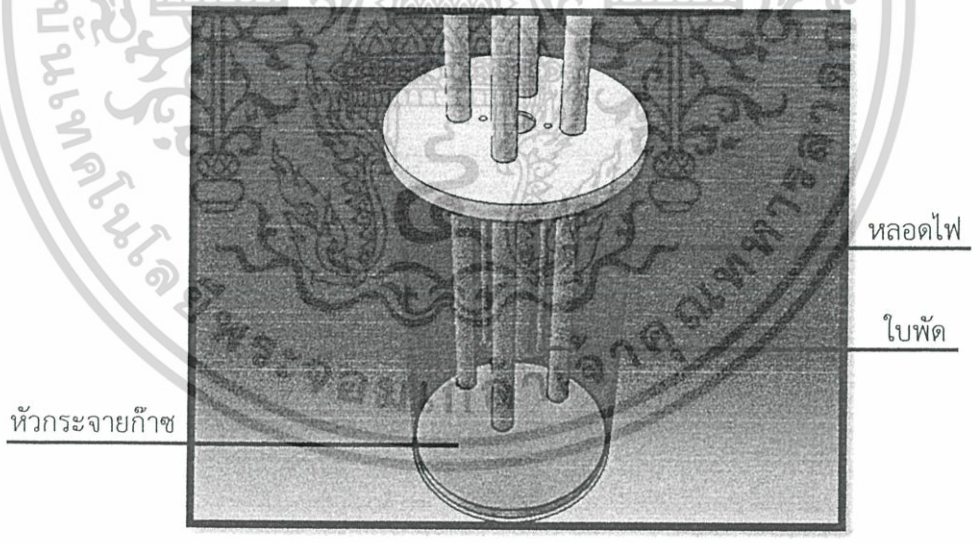
หัวข้อ	รายละเอียด
ชนิดของ PBR	Stirred Photobioreactor
วัสดุ	พลาสติกใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1.1(ต่อ) แสดงรายละเอียดโดยสังเขปของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 1

หัวข้อ	รายละเอียด
ขนาด	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ความสูง 60 เซนติเมตร
ระบบหมุนเวียนภายใน	ใบพัด และหัวกระจายก๊าซ (Diffuser)
ระบบการให้แสงสว่าง	หลอดไฟชนิด LED จำนวน 4 หลอด
ระบบการให้ก๊าซ CO_2	หัวกระจายก๊าซขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร และปล่อยอากาศออกผ่านท่อด้านบนเครื่องปฏิกรณ์ฯ

เครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 1 มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกโดยด้านบนเป็นฝาปิดสนิท เพื่อป้องกันการปนเปื้อน ติดตั้งหลอดไฟ 4 ตำแหน่งภายในเครื่องปฏิกรณ์ และมีการจ่ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านหัวกระจายก๊าซเข้าสู่ระบบจากทางด้านล่าง ทำให้เกิดการผสมกันระหว่างเซลล์สาหร่ายและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงติดตั้งใบพัดภายในระบบเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและประสิทธิภาพการผสมให้ดียิ่งขึ้น โดยมีท่อบริเวณฝาครอบเครื่องปฏิกรณ์ฯเป็นทางออกสำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ภายในระบบดังแสดงในรูปที่ 3.1.1A

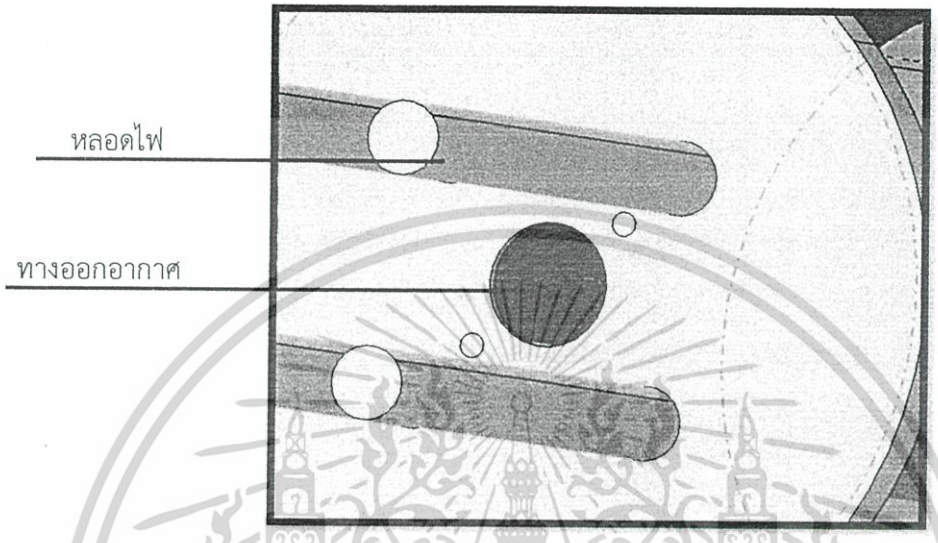


รูปที่ 3.1.1A แสดงลักษณะโดยรวมของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 1

โดยจากการออกแบบยังพบจุดบกพร่องของระบบ คือ หากกำหนดให้อัตราการปั่นกวนของใบพัดเร็วเกินไปจะส่งผลทำให้เกิดแรงเฉือนมาก เมื่อเซลล์สาหร่ายกระทบกับใบพัดจะทำให้เซลล์แตก ในขณะเดียวกันหากมีอัตราการปั่นกวนช้าเกินไปนอกจากจะไม่เกิดประโยชน์ต่อระบบ

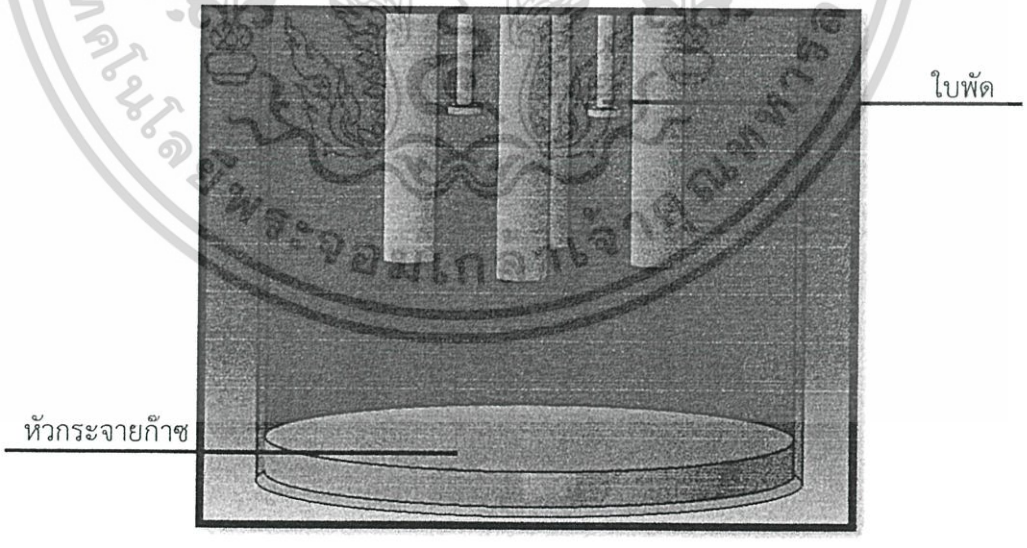
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังเป็นการสิ้นเปลืองไฟฟ้า เครื่องปฏิกรณ์ฯถูกออกแบบมาให้ฝาปิดสนิท และมีการจ่ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าระบบตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง ดังนั้นจึงมีอากาศส่วนที่สาหร่ายไม่ได้นำไปใช้เหลืออยู่ภายในระบบ ซึ่งทางออกสำหรับอากาศ คือ ช่องว่างด้านบนที่ใช้ต่อกับท่อบริเวณฝาเครื่องปฏิกรณ์ฯ ดังแสดงในรูปที่ 3.1.1B



รูปที่ 3.1.1B แสดงส่วนฝาครอบของเครื่องปฏิกรณ์ฯ หลอดไฟ และทางออกอากาศ

จะเห็นว่าชิ้นส่วนฝาครอบต้องรอบรับน้ำหนักจากหลอดไฟหลายหลอด หากเจาะรูบริเวณตรงกลาง และเลือกใช้วัสดุที่เปราะแตกง่าย อาจทำให้การเกิดความเสียหายต่อเครื่องปฏิกรณ์ฯ



รูปที่ 3.1.1C แสดงตำแหน่งการติดตั้งหัวกระจ่ายก๊าซ และใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 2

จากปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 1 ต่อมาจึงได้มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบโดยอ้างอิงลักษณะเครื่องปฏิกรณ์แบบพ่นอากาศ (Bubble Photobioreactor) ซึ่งมีประสิทธิภาพการผสมมากกว่า Stirred Photobioreactor คือ มีการหมุนเวียนก๊าซดีขึ้น ปริมาณเซลล์ที่แตกน้อยลง นอกจากนั้นยังสามารถออกแบบ ดำเนินงานและทำความสะอาดได้ง่าย โดยมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.1.2

ตารางที่ 3.1.2 แสดงรายละเอียดโดยสังเขปของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 2

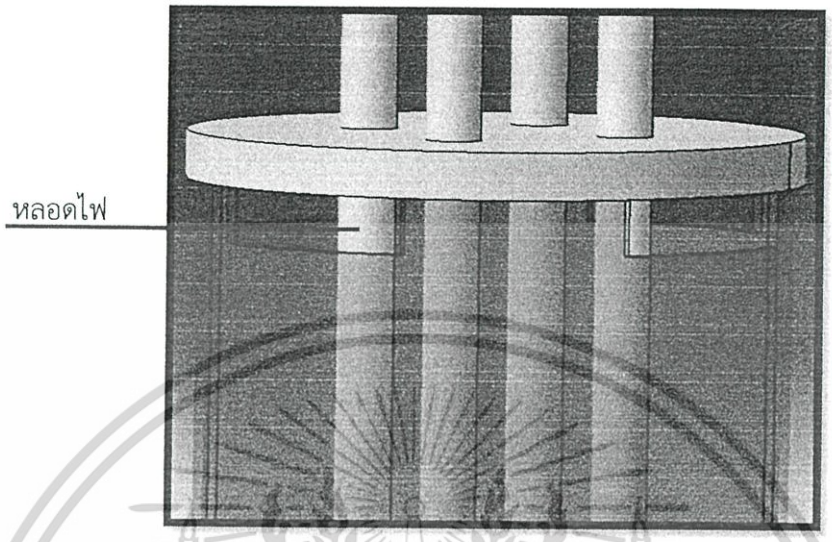
หัวข้อ	รายละเอียด
ชนิดของ PBR	Bubble Photobioreactor
วัสดุ	พลาสติกใส
ขนาด	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ความสูง 60 เซนติเมตร
ระบบหมุนเวียนภายใน	หัวกระจายก๊าซ และครีบ (Puddle)
ระบบการให้แสงสว่าง	หลอดไฟชนิด LED จำนวน 4 หลอด
ระบบการให้ก๊าซ CO_2	หัวกระจายก๊าซขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร และปล่อยอากาศออกอิสระ

เครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 2 มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกฝาปิดสนิท ติดตั้งหลอดไฟ 4 ตำแหน่ง และจ่ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านหัวกระจายก๊าซทางด้านล่างเครื่องปฏิกรณ์ฯ เช่นเดียวกับ Model 1 แต่เปลี่ยนทางออกของก๊าซเป็นช่องว่างบริเวณผนังด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ฯ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะสามารถออกจากระบบได้อย่างอิสระ ดังแสดงในรูปที่ 3.1.2A รวมถึงติดตั้งครีบบริเวณผนังของเครื่องปฏิกรณ์ (Puddle) เพื่อลดการเกิด Vortex และเพิ่มให้มีประสิทธิภาพการผสมมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.1.2B

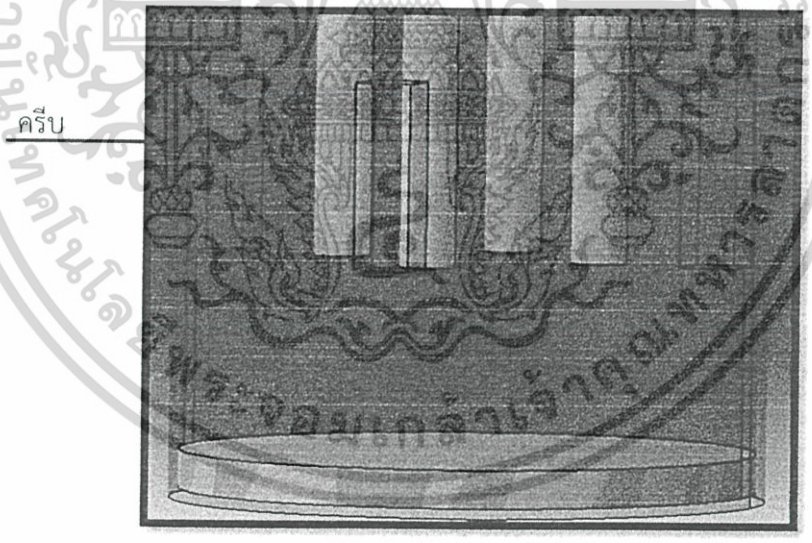
จากการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ Model 2 พบว่ายังมีข้อบกพร่องเกิดขึ้น คือ หลอดไฟ LED ยังคงไม่สามารถให้แสงสว่างอย่างทั่วถึงทั้งระบบ เนื่องจากหลอดไฟแต่ละหลอดมีองศาการกระจายแสงเพียง 60 องศา และการใช้จำนวนหลอดไฟถึง 4 หลอดจะทำให้เกิดความร้อนทำให้อุณหภูมิในน้ำสูงขึ้น อีกทั้งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า นอกจากนั้นครีบที่ติดบริเวณผนังนั้นมีจำนวนและความหนามากเกินไปอาจส่งผลทำให้เซลล์แตกได้เช่นกัน หากมีการจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอัตราที่เร็วเกินไป ทำให้การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายนั้นยากขึ้น เพราะต้องระวังและควบคุมปัจจัยดังกล่าวอยู่เสมอ



รูปที่ 3.1.2A แสดงทางช่องว่างบริเวณผนังของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 2



รูปที่ 3.1.2B แสดงตำแหน่งหลอดไฟ LED และครีบติดผนัง 4 ชิ้น

รวมทั้ง Diffuser ที่มีขายโดยทั่วไปจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด 20 เซนติเมตร ทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบของเครื่องปฏิกรณ์ฯ เนื่องจากอุปกรณ์ที่มีขายทั่วไปนั้นไม่ตรงตามแบบที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 3

จากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจึงได้มีการค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อแก้ไขปัญหาดังที่กล่าวไปข้างต้น และพบว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบหมุนเวียนอากาศ (Airlift Photobioreactor) นั้นมีลักษณะคล้ายกับเครื่องปฏิกรณ์แบบพ่นฟองอากาศ แตกต่างที่ภายในจะพบ Riser และ Downcomer ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพการหมุนเวียนภายในระบบดีกว่า ซึ่งรายละเอียดจะแสดงในตารางที่ 3.1.3

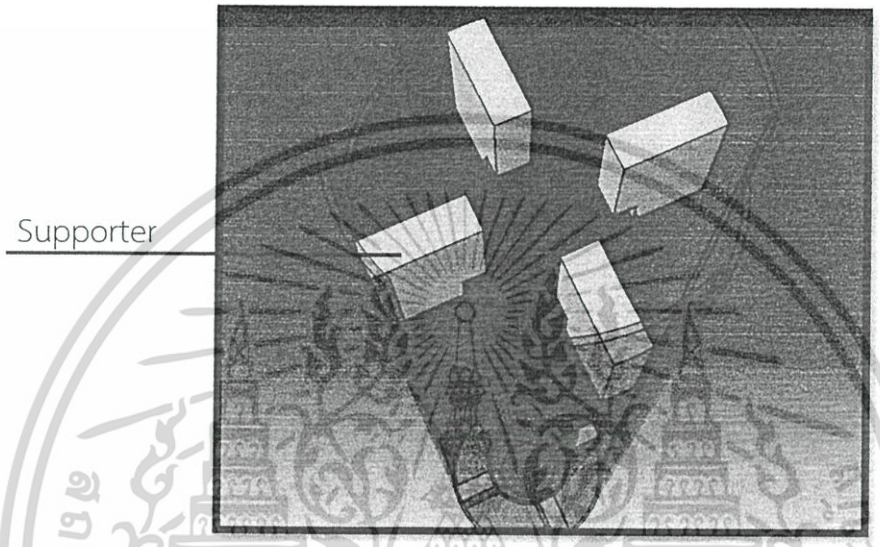
ตารางที่ 3.1.3 แสดงรายละเอียดโดยสังเขปของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 3

หัวข้อ	รายละเอียด
ชนิดของ PBR	Airlift Photobioreactor
วัสดุ	แก้ว / กระจกตู้ปลา
ขนาด	Body : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 เซนติเมตร ความสูง 100 เซนติเมตรโดยประมาณ Draft tube : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตรโดยประมาณ ความสูง 70 เซนติเมตร
ระบบหมุนเวียนภายใน	Riser, Downcomer
ระบบการให้แสงสว่าง	หลอดไฟชนิด LED สีแดง จำนวน 3 หลอด ความยาว 115 เซนติเมตร
ระบบการให้ก๊าซ CO_2	หัวกระจายก๊าซขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และปล่อยอากาศออกอิสระ
เพิ่มเติม	ใช้ Supporter พยุง Draft tube ให้ลอย

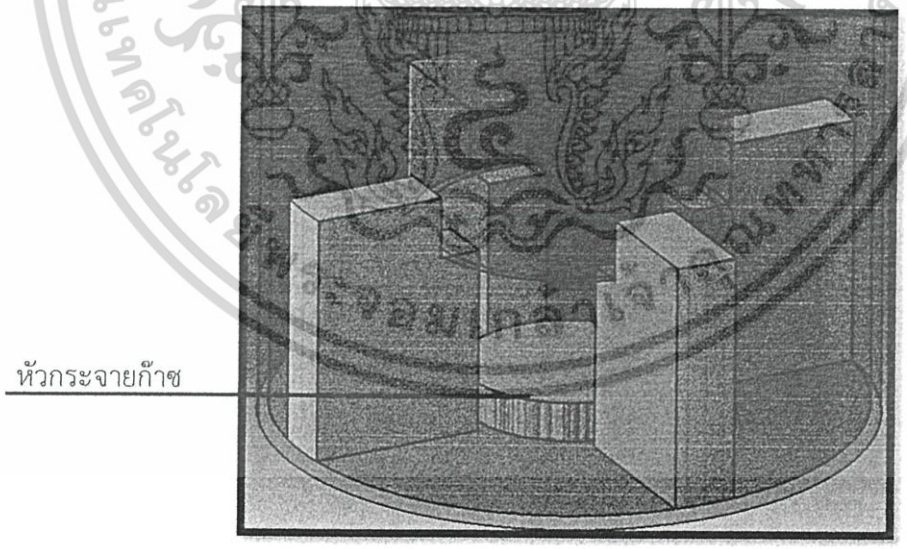
เครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 3 มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกสูงซ้อนกัน 2 ชั้น การหมุนเวียนภายในระบบจะเกิดขึ้นบริเวณช่องว่างของท่อทรงกระบอกด้านในและผนังด้านนอก ซึ่งมีลักษณะโดยรวมดังแสดงในรูปที่ 3.1.3A ระบบจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านหัวกระจายก๊าซทางด้านล่างบริเวณตรงกลางของเครื่องปฏิกรณ์ฯ ส่งผลทำให้บริเวณท่อทรงกระบอกด้านในมีทิศทางการไหลของก๊าซขึ้นสู่ด้านบนจึงกำหนดให้เป็น Riser และในทางตรงกันข้ามบริเวณผนังของเครื่องปฏิกรณ์จะมีทิศทางการไหลของก๊าซลงสู่ด้านล่างเรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Downcomer ดังแสดงในรูปที่ 3.1.3B ทั้ง 2 ส่วนนี้จะทำให้เกิดการหมุนเวียนก๊าซในแนวดิ่ง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผสมระหว่างเซลล์สาหร่ายและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในเครื่องปฏิกรณ์ฯจะติดตั้งหลอดไฟ LED ทั้งหมด 3 หลอด โดยเปลี่ยนทิศทางการติดตั้งเพื่อเพิ่มพื้นที่และโอกาสในการได้รับแสงสว่างของสาหร่าย โดยจะอธิบายรายละเอียดเพิ่มเติมของเครื่องปฏิกรณ์ฯในเนื้อหาต่อจากนี้



รูปที่ 3.1.3A แสดงลักษณะโดยรวมของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 3



รูปที่ 3.1.3B แสดงตำแหน่งติดตั้งหัวจ่ายก๊าซ และ Supporter บริเวณ Bottom zone

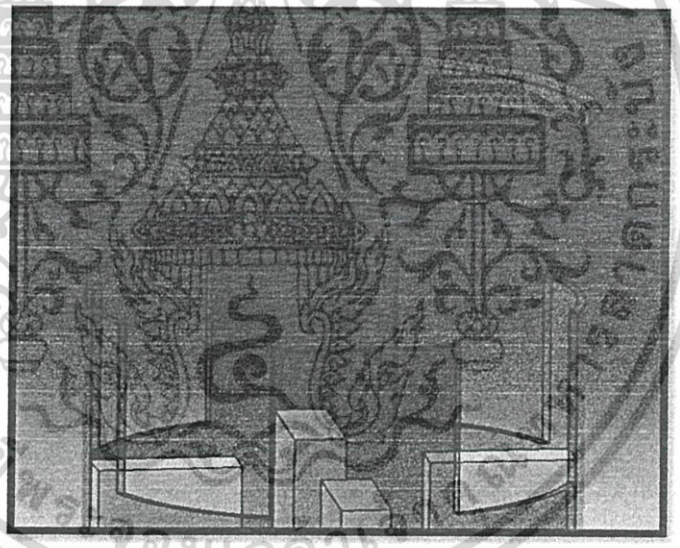
ประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 3 นั้นขึ้นอยู่กับการทำงานร่วมกันของส่วนประกอบหลายส่วน เช่น Body - Draft tube , Supporter และหัวกระจายก๊าซ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Body & Draft tube

จากรูปที่ 3.1.3A จะเห็นว่าเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 3 มีลักษณะโปร่งใส เกิดจากการเลือกใช้วัสดุที่ทำจากแก้ว ช่วยให้สามารถมองเห็นระบบภายในอย่างชัดเจน เพิ่มความสะดวกในการทำงานและเก็บค่าข้อมูลต่างๆ โดยจากการศึกษาข้อมูลพบว่าระยะห่างของ Top Clearance และ Bottom Clearance ในเครื่องปฏิกรณ์แบบหมุนเวียนอากาศจะต้องมีค่าเท่ากัน รวมถึงสัดส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง Body และ Draft tube นั้นควรมีค่าเท่ากับ 0.5 เพราะจะทำให้เกิดการหมุนเวียนระบบดีที่สุด [14]

นอกจากนั้นจะสังเกตได้ว่าผนังด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ฯจะถูกตัดออกเป็นช่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 4 ช่องเท่าๆกัน ซึ่งใช้เป็นทางออกของอากาศดังที่แสดงในรูปที่ 3.1.3C



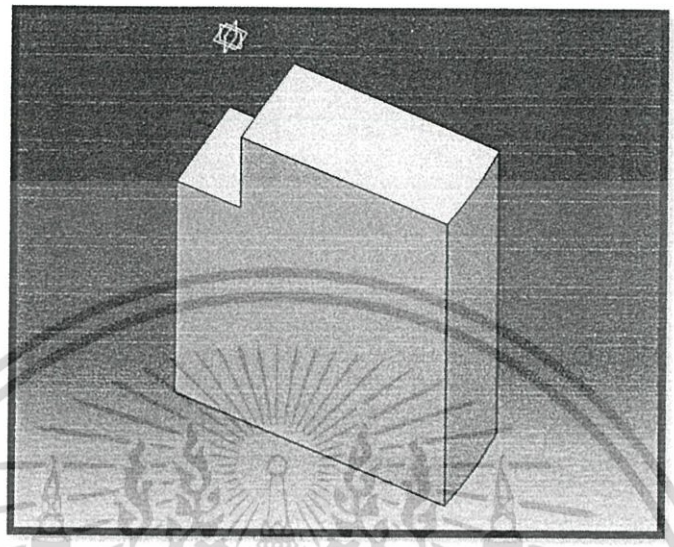
รูปที่ 3.1.3C แสดงช่องว่างที่ผนังของเครื่องปฏิกรณ์ และฝาครอบ

2. Supporter

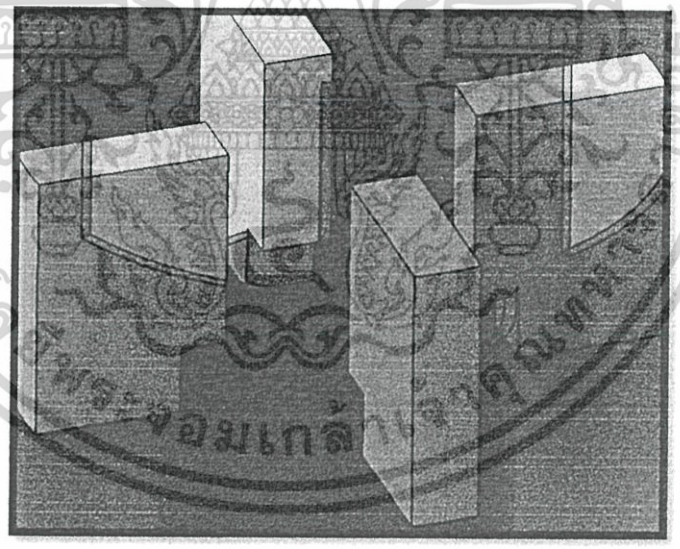
ในเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 3 จะติดตั้งตัว Supporter ที่ทำจากวัสดุกันน้ำมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหนา และถูกตัดมุมออก 1 ด้านดังแสดงในรูปที่ 3.1.3D อุปกรณ์ดังกล่าวทำหน้าที่ในการพยุง Draft tube ให้ลอยตัวตลอดการดำเนินงาน [15] ช่วยให้สาหร่ายภายในระบบสามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Supporter จะติดตั้งทั้งบริเวณด้านล่างและด้านบนของ Draft tube ดังแสดงในรูปที่ 3.1.3B และ 3.1.3E



รูปที่ 3.1.3D แสดงรูปร่างของ Supporter



รูปที่ 3.1.3E แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Supporter บริเวณ Top zone

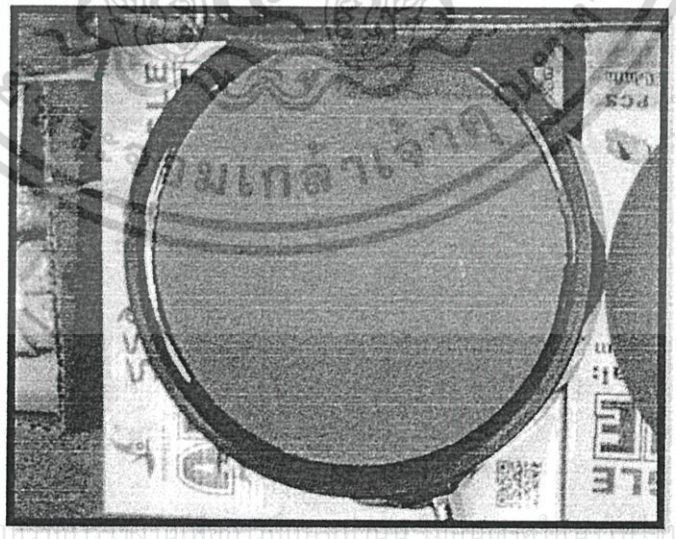
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Cover

ในส่วนของฝาปิดด้านบนจะเจาะรูตรงกลางเพื่อให้สามารถใส่หลอดไฟ LED ได้ และต้องออกแบบความยาวของฝาครอบให้น้อยกว่าความสูงของช่องว่าง เพื่อไม่ให้เกิดการขัดขวางทางออกของก๊าซจากระบบ การเจริญเติบโตของสาหร่ายนั้นจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งอาหารสำหรับเซลล์และปล่อยออกซิเจนสู่บรรยากาศ จากค่าการละลาย Henry's constant พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าที่ 1.25×10^{5} K/Torr ในขณะที่ก๊าซออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 3.30×10^{7} K/Torr ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส [16] ดังนั้นจึงทำให้ระบบมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำมากกว่า และก๊าซออกซิเจนระเหยออกสู่บรรยากาศ

4. Diffuser

ชนิดของ Diffuser ที่จำหน่ายโดยทั่วไปหากพิจารณาจากทิศทางการจ่ายก๊าซจะมี 2 ประเภท คือ แบบด้านเดียวและแบบสองด้าน ถ้าพิจารณาจากลักษณะรูปร่างจะสามารถแยกออกได้เป็น 2 ประเภทเช่นกัน คือ แบบหุ้มขอบพลาสติกและแบบเปลือย ซึ่งในเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 3 จะเลือกใช้ Diffuser ชนิดปล่อยก๊าซด้านเดียวและหุ้มขอบพลาสติก เพราะต้องการใช้ทิศทางการปล่อยก๊าซขึ้นสู่ด้านบนเท่านั้น และอาจมีอายุการใช้งานนานกว่าแบบเปลือย ดังแสดงในรูปที่ 3.1.3F



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1.3F แสดงอุปกรณ์ Diffuser ชนิดทิศทางการจ่ายก๊าซด้านเดียว

5. หลอดไฟ LED

จากการศึกษาพบว่าหลอดไฟ LED สีแดง มีความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร จะให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลล่าสูง ดังนั้นใน Model 3 จึงเลือกใช้หลอดไฟแบบดังกล่าว โดยเลือกขนาดความยาวที่เหมาะสมกับความสูงของเครื่องปฏิกรณ์ฯ และมีจำหน่ายทั่วไป

ในเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 3 จะเลือกใช้หลอดไฟ LED ยี่ห้อ Classica รุ่น Eco LED Submersible Lighting ที่มีความยาว 115 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตรโดยประมาณ มีองศาการกระจายแสงที่ 60 องศา โดยจะติดตั้งทั้งหมด 3 หลอดและหันด้านสว่างออกจากจุดศูนย์กลาง ดังแสดงในรูปที่ 3.1.3G

รูปที่ 3.1.3G แสดงทิศทางการให้แสงสว่างของหลอดไฟ LED 3 หลอด

จากการออกแบบ Model 3 ยังพบข้อบกพร่องเล็กน้อย คือ การใช้วัสดุที่ทำจากแก้วจะทำให้เครื่องปฏิกรณ์ฯมีน้ำหนักมาก ยากต่อการขนย้ายหรือทำความสะอาด เสี่ยงต่อการแตกร้าวและหาซื้อในรูปแบบสำเร็จรูปยากเกินไป สาหร่ายที่ใช้ทดลองเพาะเลี้ยงมีขนาดเล็กมาก มักเกิดการตกตะกอนและสะสมตามช่องว่างต่างๆ ดังนั้นการติดตั้งหลอดไฟจำนวน 3 หลอดด้วยวิธีปกติอาจทำให้มีรอยต่อระหว่างหลอดมาก เช่นเดียวกับการใช้ Supporter อาจทำให้มีโอกาสที่เซลล์สาหร่ายเข้าไปติดในรอยต่อระหว่างพื้นผิวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 4

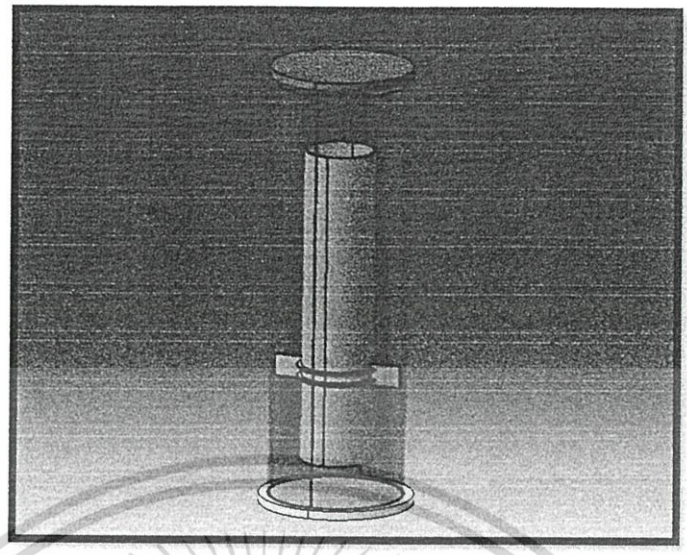
หลังจากนำปัญหาจากเครื่องปฏิกรณ์ Model 3 มาแก้ไข และเพิ่มเติมอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยอ้างอิงจาก Airlift Photobioreactor เช่นเดิม จะได้เป็นเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 4 ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 3.1.4a

เครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 4 จะเปลี่ยนวัสดุจากแก้วหรือกระจกตู้ปลา เป็นอะคริลิคใสแทน เนื่องจากมีจำหน่ายแบบสำเร็จรูป น้ำหนักเบา และง่ายต่อการประกอบเพื่อใช้งาน นอกจากนั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์อื่นๆ เช่น Supporter จะถูกเปลี่ยนเป็นการติดตั้งครีบขนาดเล็กแทน โดยวิธีดังกล่าวจะทำให้การเคลื่อนที่ของสาหร่ายภายในระบบมีประสิทธิภาพมาก และลดการสะสมของเซลล์สาหร่ายลง ซึ่งแบบของ Model 4 จะแสดงในรูปที่ 3.1.4A

ตารางที่ 3.1.4a แสดงข้อมูลโดยสังเขปของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 4

หัวข้อ	รายละเอียด
ชนิดของ PBR	Airlift Photobioreactor
วัสดุ	อะคริลิคใสสำเร็จรูป
ขนาด	Body : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ความสูง 100 เซนติเมตรโดยประมาณ Draft tube : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตรโดยประมาณ ความสูง 70 เซนติเมตร
ระบบหมุนเวียนภายใน	Riser, Downcomer
ระบบการให้แสงสว่าง	หลอดไฟชนิด LED สีแดง ความยาว 115 เซนติเมตร จำนวน 3 หลอด รวมเป็น Light tube 1 หลอด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตรโดยประมาณ ความสูง 80 เซนติเมตร
ระบบการให้ก๊าซ CO_2 และอากาศ	หัวกระจายก๊าซขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศออกอิสระ
เพิ่มเติม	ใช้โซ่แขวน Draft tube ให้ลอยจากพื้น ติดตั้งครีบขนาดเล็ก Plug และ Ball valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1.4A แสดงลักษณะโดยรวมของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 4

ระบบการให้แสงสว่างจะใช้หลอดไฟ LED สีแดงเหมือนเดิม แต่จะลดปริมาณหลอดไฟเหลือเพียง 1 หลอด และบริเวณฐานของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 4 จะติดตั้ง Plug และ Ball valve สำหรับการถ่ายเทน้ำหรือของเหลวออกจากระบบ ซึ่งจะอธิบายอย่างละเอียดดังต่อไปนี้

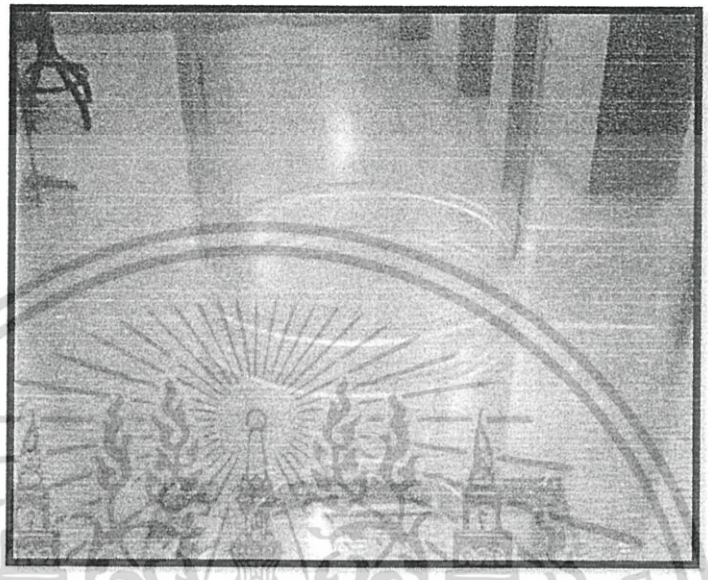
1. ครีบขนาดเล็ก และสายโซ่คล้อง

ในเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 4 จะออกแบบให้ Draft tube มีครีบด้านข้างจำนวน 2 ชิ้น เพื่อป้องกันการสั่นหรือเคลื่อนที่ทั้งในแนวแกนและรัศมีเมื่อเปิดระบบการจ่ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.1.4B และ 3.1.4C

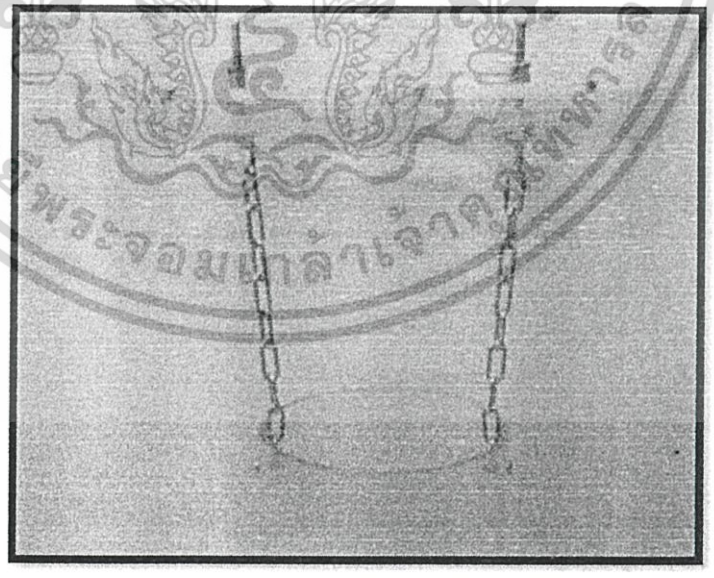
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำ... โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้... การนำไปใช้

รูปที่ 3.1.4B แสดงส่วนประกอบของวงแหวนและครีบที่ติดกับ Draft tube

เมื่อประกอบรวมกับ Body และ Draft tube ใช้สายโซ่คล้องกับตะขอบริเวณฝาครอบของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อช่วยพยุง Draft tube ให้ลอยตัวอยู่เสมอจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.1.4C และ 3.1.4D



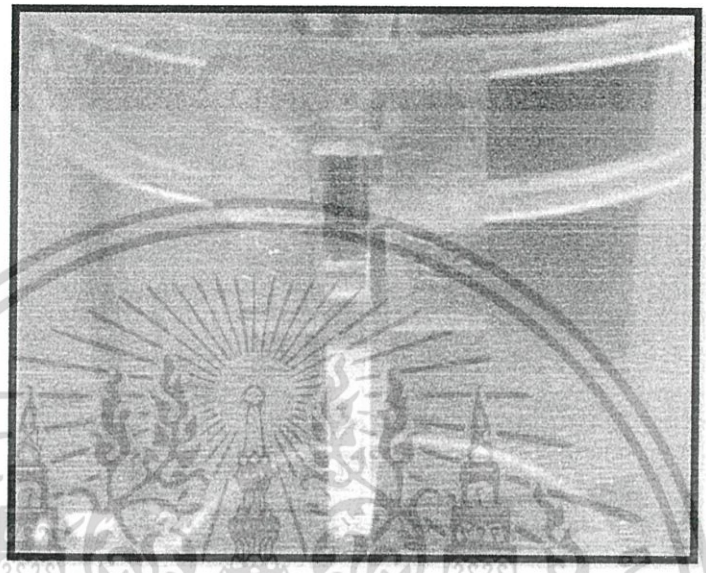
รูปที่ 3.1.4C แสดงลักษณะเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 4 เมื่อประกอบส่วนของวงแหวน และครีบเข้ากับ Draft tube ภายใน Body



รูปที่ 3.1.4D แสดงบริเวณที่ Draft tube ถูกยึดติดด้วยโซ่เพื่อใช้ในการลอยตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของ Draft tube ระหว่างการจ่ายก๊าซของระบบ ในการออกแบบจึงเพิ่มชิ้นส่วนอะคริลิครูปตัว U จำนวน 2 ชิ้น ติดตั้งที่ผนังของท่อชั้นนอกดังรูป 3.1.4E โดยมีขนาดช่องว่างพอดีกับความหนาของครีบ

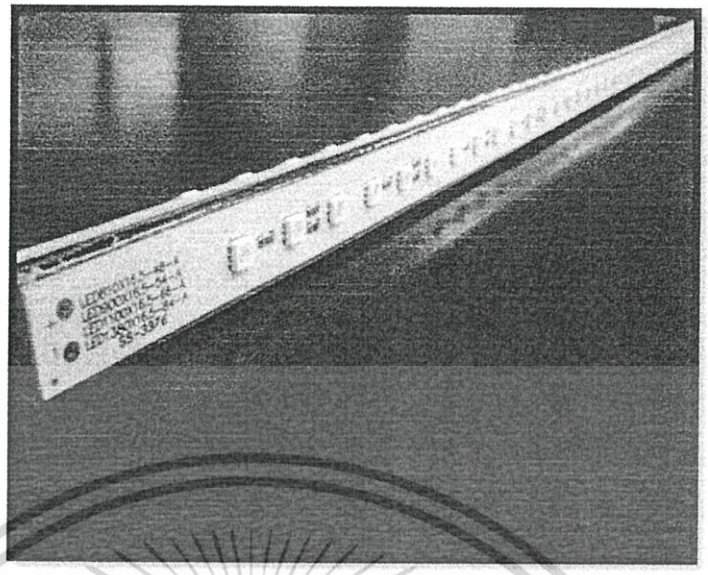


รูปที่ 3.1.4E แสดงด้านข้างของเครื่องปฏิกรณ์ฯซึ่งจะมีแผ่นอะคริลิคขนาดเล็ก 2 ชิ้น รูปตัว U ทำหน้าที่ขัดขวางการเคลื่อนที่ของ Draft tube

2. หลอดไฟ LED

ในโครงงานนี้มีการประยุกต์นำหลอดไฟ LED ยี่ห้อ Classica สีแดง รุ่น Eco LED Submersible Lighting จำนวนทั้งหมด 3 หลอด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร แปลงเป็นหลอดไฟภายในท่ออะคริลิคจำนวน 1 หลอด โดยใช้วิธีการถอดแผงหลอดไฟ LED ออกจากครอบแก้วเดิม ก่อนนำมาติดลงบนกระดาษแข็งที่มีรูปร่างเป็นปริซึม 3 เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 3.1.4F ก่อนจะบรรจุลงท่ออะคริลิคใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ความยาว 100 เซนติเมตร ที่ปลายท่อทำจากวัสดุเดียวกัน และถูกออกแบบให้มีลักษณะกลมมน เพื่อลดแรงกระแทกกับฟองอากาศจากหัวกระจายก๊าซ ดังแสดงในรูปที่ 3.1.4G โดยกำหนดให้สัดส่วนความสว่างต่อความมืดคือ 18 ชั่วโมงต่อ 6 ชั่วโมง [17] เพราะจะทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้เร็วและมีปริมาณลิพิดภายในเซลล์มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1.4F แสดงแผงหลอดไฟ LED ที่ถูกติดบนกระดาษแข็งเป็น 3 ทิศทาง

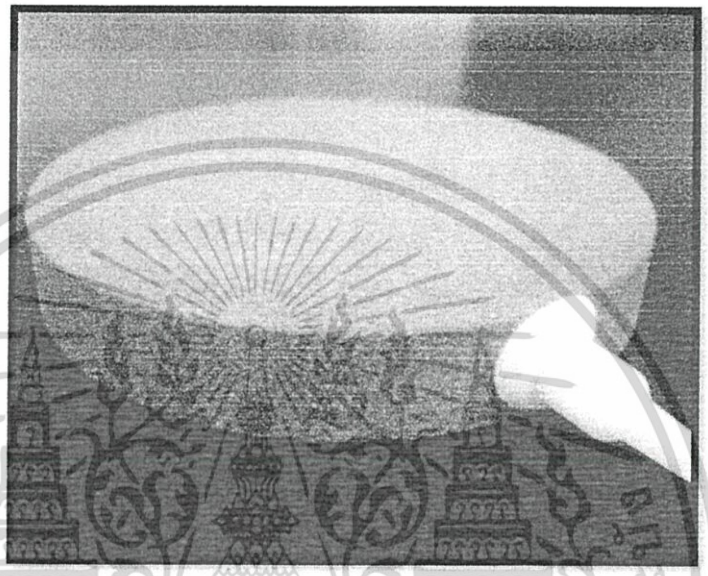
รูปที่ 3.1.4G แสดงปลายท่ออะคริลิคใส่แผงไฟ LED

3. Diffuser

เนื่องจากปัญหาการตกตะกอน และสะสมของเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กตามรอยต่อต่างๆ จึงเปลี่ยนมาใช้ Diffuser แบบเปลือยที่มีการกระจายก๊าซรอบด้านดังรูปที่ 3.1.4H จากการค้นคว้าข้อมูลและคำแนะนำของเจ้าหน้าที่คณะเทคโนโลยีการเกษตรพบว่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ระบบเพียงอย่างเดียว อาจทำให้เกิดความเป็นกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากเกินไปต้องมีการนำอากาศหรือออกซิเจนเข้าร่วมกันด้วยเพื่อเจือจาง ดังนั้นโครงงานนี้จึงมีการจ่ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศเข้าสู่ระบบพร้อมกันในอัตรา 3 ลิตรต่อนาที จากการคำนวณจะได้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็นร้อยละ 8 ของอากาศขาเข้าทั้งหมด



รูปที่ 3.1.4H แสดงลักษณะหัวจ่ายก๊าซชนิดเปลือย และกระจายก๊าซหลายทิศทาง

โดยวิธีวัดอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศ สามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ นำน้ำใส่ภาชนะขนาดใหญ่ให้เต็ม ก่อนจะใช้ภาชนะที่มีสเกลบอกปริมาตรคว่ำลงไปในภาชนะที่บรรจุน้ำและระวังไม่ให้มีฟองอากาศภายใน ต่อมาใช้สายยางต่อเข้ากับปั๊มก๊าซที่ต้องการวัดอัตราเร็วแล้วสอดเข้าไปด้านในภาชนะที่มีสเกลพร้อมจับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 3.1.4I เมื่อทดลองจะพบว่าอากาศจากสายยางเข้าไปแทนที่น้ำภายในภาชนะที่มีสเกล หลังจากจับเวลาจนครบ 1 นาทีให้นำสายยางออกแล้วอ่านค่าที่ได้จากสเกล ทำซ้ำเช่นนี้ 3-5 ครั้งก่อนบันทึกผลเพื่อใช้ค่าดังกล่าวในการคำนวณต่อไป

ซึ่งในโครงงานนี้ทำการวัดอัตราการไหลของอากาศที่ได้จากปั๊ม อัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากถังคาร์บอนไดออกไซด์ และวัดอัตราการไหลของก๊าซทั้งสองชนิดพร้อมกันจากการต่อสายยางแบบ T-way โดยจะแสดงค่าในตารางที่ 3.1.4b เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ หลังจากได้ค่าอัตราการไหลที่วัดจริงจะต้องแปลงหน่วยให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นลิตรต่อนาที โดยค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของอากาศ คาร์บอนไดออกไซด์ และผสมกัน ในท่อ T-way มีค่าเท่ากับ 1.37, 0.26 และ2.92 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ

รูปที่ 3.1.4l แสดงวิธีการวัดอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศ

ตารางที่ 3.1.4b แสดงค่าอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศ

ชนิดของก๊าซ	ครั้งที่	อัตราการไหลที่วัดได้จริง (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)
อากาศ	1	1,350 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
	2	1,380 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
	3	1,410 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
	4	1,350 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
	5	1,350 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
คาร์บอนไดออกไซด์	1	250 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
	2	280 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
	3	250 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
	4	250 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
	5	260 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

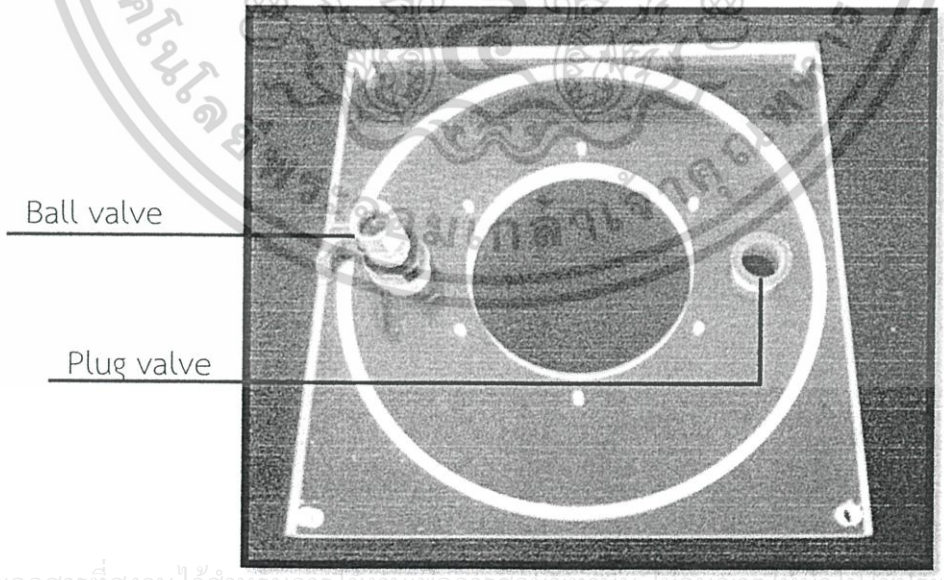
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1.4b(ต่อ) แสดงค่าอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศ

ชนิดของก๊าซ	ครั้งที่	อัตราการไหลที่วัดได้จริง (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที)
คาร์บอนไดออกไซด์และอากาศ (T-way)	1	2,880 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
	2	2,940 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
	3	2,910 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
	4	2,940 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
	5	2,940 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

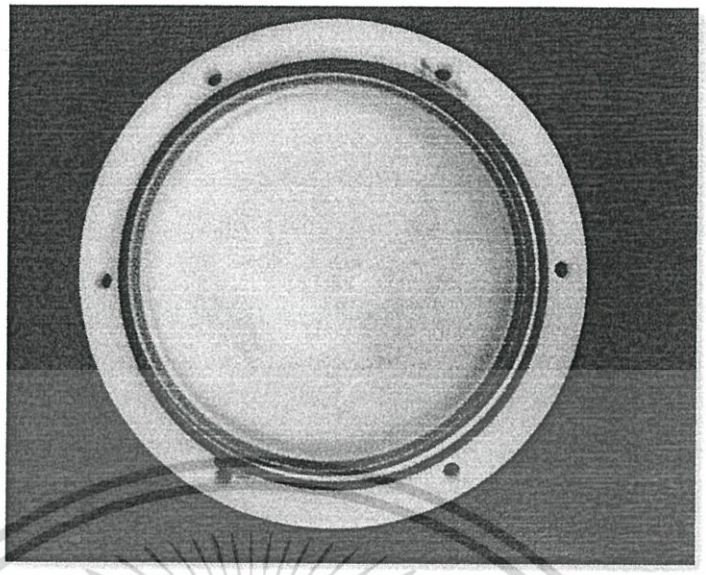
4. Plug และ Ball valve

บริเวณฐานของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 4 จะติดตั้ง Plug ชนิดเกลียวนอก สำหรับถ่ายน้ำออกจากถังเพื่อทิ้งหรือหลังการทำความสะอาด และติดตั้ง Ball valve เพื่อใช้สำหรับกรณีเก็บตัวอย่างสาหร่ายภายในระบบ หรือต้องการควบคุมอัตราการไหลขาออกของเครื่องปฏิกรณ์ฯ ดังแสดงในรูปที่ 3.1.4J นอกจากนั้นบริเวณตรงกลางยังมีการเจาะรูขนาดใหญ่ไว้สำหรับการติดตั้ง Diffuser ซึ่งหากอุปกรณ์ดังกล่าวชำรุดเสียหายก็สามารถถอดเปลี่ยนได้ง่ายดังแสดงในรูปที่ 3.1.4K



รูปที่3.1.4J แสดงชิ้นส่วนของฐานที่ถูกติดกับ Plug (ขวา) และ Ball valve (ซ้าย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.1.4K แสดงชิ้นส่วนของฐานที่จะถูกยึดติดกับหัวกระจายก๊าซ และประกอบเข้ากับช่องว่างด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ฯ

5. Body และ Draft tube

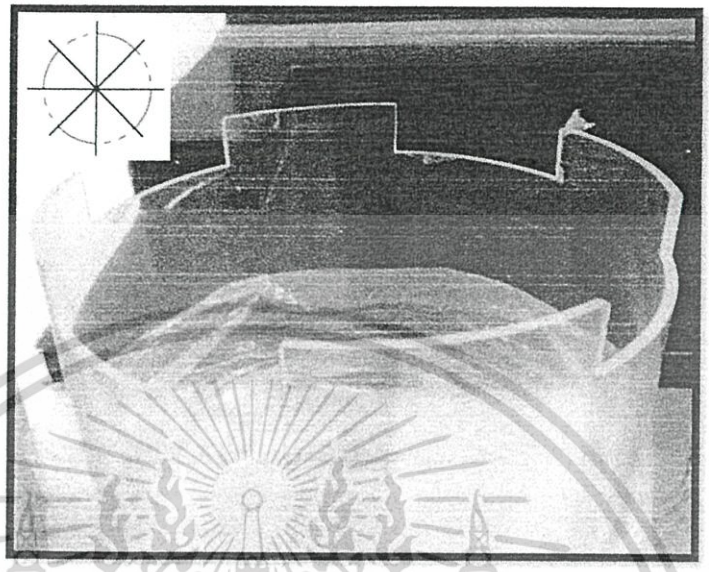
จากการออกแบบในตอนแรกของเครื่องปฏิกรณ์ฯ Model 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดังกล่าวไม่มีจำหน่ายแบบสำเร็จรูป หากใช้วิธีการม้วนเป็นหลอดจากแผ่นอะคริลิคเรียบจะทำให้เกิดรอยต่อ และไม่ได้วงกลมที่มีรัศมีเท่าๆกัน ดังนั้นจึงมีการปรับเปลี่ยนให้มีรายละเอียดดังตารางที่ 3.1.4c

ตารางที่ 3.1.4c แสดงความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางที่เปลี่ยนใหม่ของ Model 4

ชิ้นส่วน	ขนาดความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลาง
Body	วัสดุอะคริลิคหนา 0.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 29 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 30 เซนติเมตร ขนาดความยาว 100 เซนติเมตร
Draft tube	วัสดุอะคริลิคหนา 0.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 14 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 15 เซนติเมตร ขนาดความยาว 70 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และบริเวณผนังของเครื่องปฏิกรณ์จะถูกตัดออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 4 ช่อง เท่าๆกัน โดยใช้มุมในการแบ่งสัดส่วนดังกล่าวได้เท่ากับ 45° ดังแสดงในรูปที่ 3.1.4L



รูปที่ 3.1.4L แสดงบริเวณผนังของเครื่องปฏิกรณ์ฯที่ถูกตัดแบ่งออกเป็น 4 ช่อง

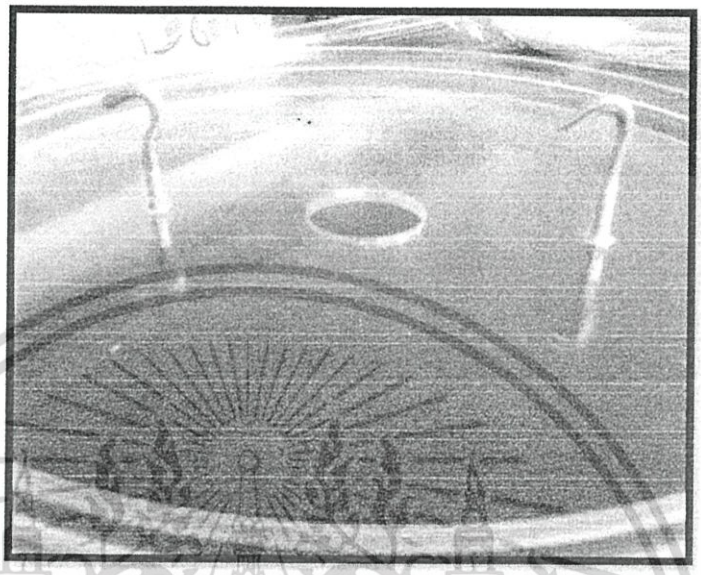
6. ฝาครอบเครื่องปฏิกรณ์ฯ

ฝาครอบเลือกใช้วัสดุอะคริลิคขนาดความหนา 0.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 32 เซนติเมตร และความสูง 2.5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.1.4M-N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำ โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ การนำไปใช้

รูปที่ 3.1.4M แสดงชิ้นส่วนฝาครอบเครื่องปฏิกรณ์ฯที่ถูกออกแบบ

ชิ้นส่วนดังกล่าวจะถูกเจาะรูสำหรับใส่หลอดไฟบริเวณตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร และสำหรับตะขอใช้เกี่ยวสายโซ่ขนาด 0.5 เซนติเมตร



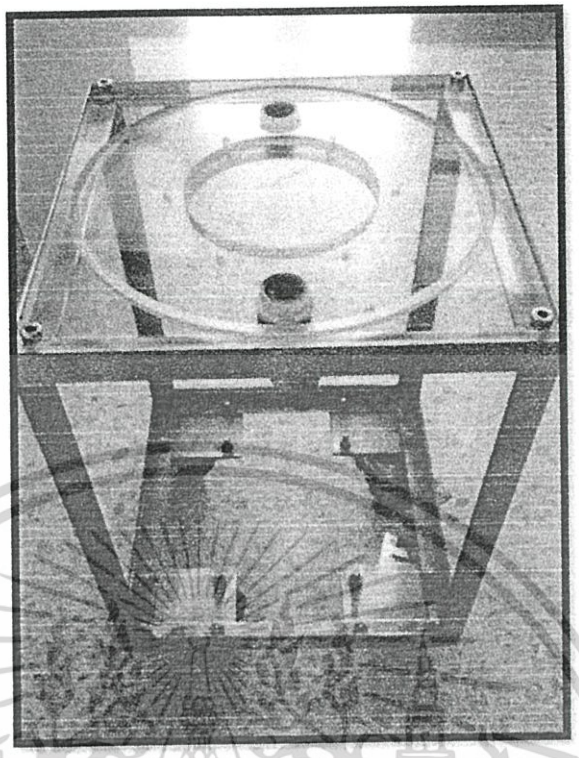
รูปที่ 3.1.4N แสดงชิ้นส่วนจริงของฝาครอบพร้อมตะขอเกี่ยวสายโซ่

7. รถเข็น

เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์ฯมีขนาดใหญ่ และต้องบรรจุของเหลวปริมาณมาก ดังนั้น เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายจึงจัดทำรถเข็นติดตั้งเข้ากับบริเวณด้านล่าง โดยใช้น็อตยึดกับฐาน 4 มุมของเครื่องปฏิกรณ์ฯดังแสดงในรูปที่ 3.1.4O

เมื่อประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดเข้าด้วยกัน เช่น ใช้น็อตยึดส่วนฐานของเครื่องปฏิกรณ์กับชิ้นส่วนที่ยึดติดกับหัวกระจายก๊าซ ใช้น้ำยาเชื่อมอะคริลิคเป็นตัวประสานชิ้นส่วนที่ทำจากวัสดุอะคริลิคเข้าด้วยกัน และรอแห้งสนิทเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.14P หลังจากนั้นทำการใส่น้ำให้เต็มเครื่องปฏิกรณ์ฯเพื่อทดสอบการใช้งาน หากพบรอยรั่วหรือน้ำซึมควรทาซิลิโคนทับบริเวณดังกล่าว รอแห้งสนิท 24 ชั่วโมงก่อนใช้งานจริงอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1.4O แสดงชิ้นส่วนของฐานเครื่องปฏิกรณ์ฯยึดติดกับรถเข็น

รูปที่ 3.1.4P แสดงภาพรวมของเครื่องปฏิกรณ์ฯ และการทดสอบการรั่วซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย (Algae Cultivation)

จากที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 สาหร่ายแต่ละสายพันธุ์จะมีองค์ประกอบภายใน และอัตราการเจริญเติบโตแตกต่างกันที่สภาวะเดียวกัน ซึ่งโครงงานนี้ได้เลือก 'สาหร่ายคลอเรลล่า (Chlorrella)' เป็นตัวอย่างสาหร่าย ใช้ทดสอบความสามารถในการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ฯ โดยปัจจัยเบื้องต้นที่ต้องควบคุมเพื่อให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายเป็นไปอย่างปกตินั้น คือ สารอาหาร สาหร่ายสายพันธุ์คลอเรลล่านั้นสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสารอาหารหลายสูตร แต่สำหรับการเพาะเลี้ยงในเครื่องปฏิกรณ์ฯนี้จะเลือกใช้สูตรอาหารสำหรับคลอเรลล่าโดยเฉพาะดังจะนำเสนอในหัวข้อ 3.2.2

ก่อนทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานนั้นจะต้องมีการเช็คสภาพ และทำความสะอาดเครื่องปฏิกรณ์ รวมถึงเตรียมสารอาหารสำหรับ Medium Culture โดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

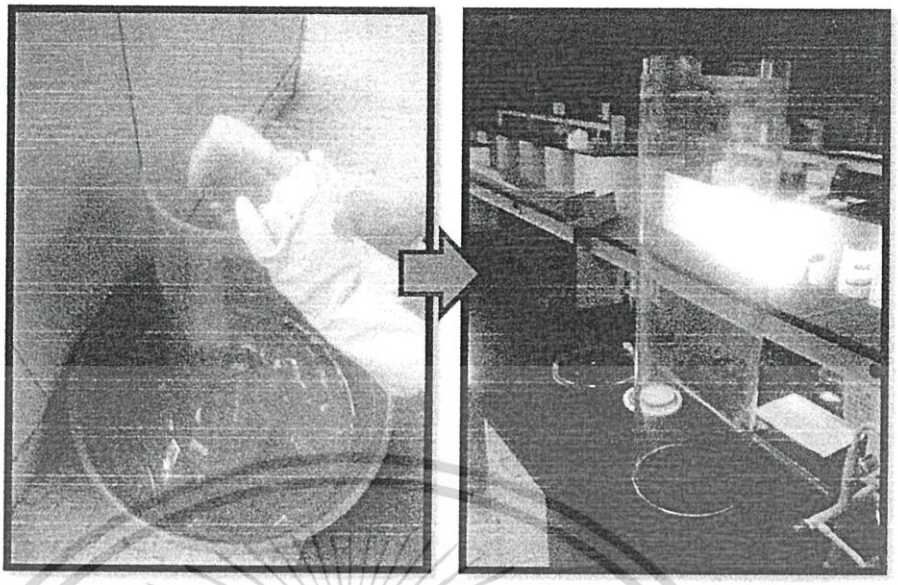
3.2.1 การทำความสะอาดเครื่องปฏิกรณ์

ก่อนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจะต้องทำความสะอาดภาชนะ หรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อทำลายเชื้อโรค แบคทีเรีย และเชื้อราต่างๆที่จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งโดยปกติแล้วควรฆ่าเชื้อด้วยการอบแห้งในตู้อบอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง

นอกจากนั้นน้ำที่ใช้เป็น Medium culture จะต้องใสสะอาด ปราศจากสารพิษ และผ่านขั้นตอนการฆ่าเชื้อเสียก่อน โดยอุปกรณ์ที่นิยมใช้ คือ หม้อนึ่งอัดไอ ซึ่งนิยมเติมน้ำลงในภาชนะที่ใช้เลี้ยงแล้วนำเข้าหม้อนึ่งอัดไอ ฆ่าเชื้อทั้งในน้ำและภาชนะไปพร้อมๆกัน กรณีภาชนะที่ใช้เลี้ยงมีขนาดเล็กกว่า 1 ลิตร จะใช้เวลาในการฆ่าเชื้อประมาณ 15 นาที ที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และในกรณีความจุของภาชนะมากกว่านี้ เช่น 5-20 ลิตร จะต้องใช้เวลานานประมาณ 45 นาที ที่ความดันเดียวกัน

แต่เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์ฯมีขนาดใหญ่มากจึงใช้วิธีทำความสะอาด 3 ขั้นตอนหลักๆ คือ การล้างด้วยน้ำยาที่มีส่วนผสมของ NaOCl (กรณีนี้ใช้น้ำยาฟอกผ้าขาวยี่ห้อไฮเตอร์) ซึ่งมีคุณสมบัติในการกำจัดเชื้อรา การล้างด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อโรค (กรณีนี้ใช้น้ำยาฆ่าเชื้อโรคเดทตอล) ตามด้วยน้ำสะอาด ทิ้งให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 3.2.1 และเลือกใช้น้ำดื่มบริสุทธิ์ในขวดพลาสติกขนาด 6 ลิตรที่มีจำหน่ายทั่วไปบรรจุลงเครื่องปฏิกรณ์ฯเพื่อเริ่มเพาะเลี้ยงสาหร่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.1 แสดงขั้นตอนการล้างด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อโรค และรอแห้ง 24 ชั่วโมง

3.2.2 การเตรียมหัวเชื้อ และสูตรอาหารสำหรับสาหร่าย

โครงงานนี้ได้รับความอนุเคราะห์หัวเชื้อสาหร่ายสายพันธุ์คลอเรลล่าและสารเคมีสำหรับการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยง จากคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทำให้สามารถข้ามขั้นตอนยุ่งยาก เช่น การแยกเชื้อสาหร่าย และการทำให้สาหร่ายบริสุทธิ์ได้ โดยขั้นตอนต่อไปสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณหัวเชื้อที่ต้องการใช้สำหรับการทดลอง 1 กะ (Batch)

หัวเชื้อที่ต้องการใช้คิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำที่เพาะเลี้ยง โดยในโครงงานนี้ใช้น้ำดื่มบริสุทธิ์จำนวน 51.3 ลิตร เมื่อคำนวณแล้วพบว่าจะต้องใช้ปริมาณหัวเชื้อสาหร่าย 5.7 ลิตร

2. ปริมาณสารเคมีสำหรับเตรียมอาหารเพาะเลี้ยง (Medium Culture)

สูตรอาหารสำหรับสาหร่ายคลอเรลล่ามีส่วนประกอบของสารเคมีหลายชนิด โดยปริมาณสารที่จำเป็นต้องใช้สำหรับเครื่องปฏิกรณ์ฯ 1 กะ จะแสดงในตารางที่ 3.2.2 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของสารเคมีแต่ละตัว (ต่อน้ำ 1 ลิตร) คูณ ปริมาณน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย

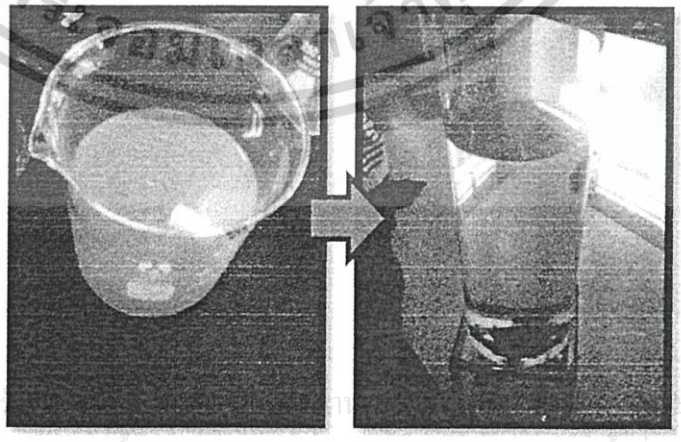
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2.2 แสดงชนิดของสารเคมีและปริมาณที่ต้องใช้ต่อน้ำ 51.3 ลิตร

สารเคมี	ปริมาณที่ใช้จริง (กรัม)
โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3)	64.13
โมโนโพแทสเซียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (KH_2PO_4)	64.13
แมกนีเซียมซัลเฟต 7-ไฮเดรต ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	51.30
แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)	4.31
กรดบอริค (H_3BO_3)	0.72
เฟอร์รัสซัลเฟต 7-ไฮเดรต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)	2.66
ซิงค์ซัลเฟต 7-ไฮเดรต ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)	4.51
แมงกานีสคลอไรด์ 4-ไฮเดรต ($MnCl_2 \cdot 4H_2O$)	0.72
โมลิบดินัมออกไซด์ (MoO_3)	0.36
คอปเปอร์ซัลเฟต 5-ไฮเดรต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	0.82
โคบอลท์ไนเตรท 6-ไฮเดรต [$Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$]	0.26
อีดีทีเอ (EDTA)	25.65

3. การเตรียม Medium Culture

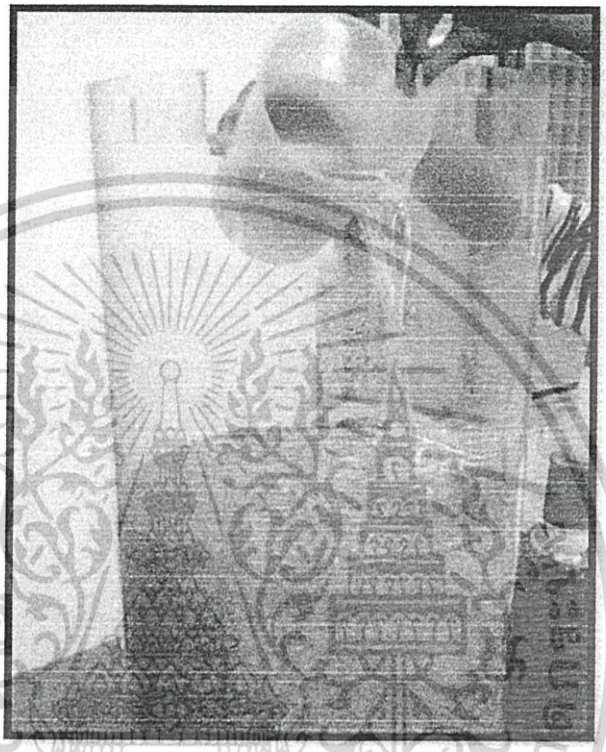
เมื่อปริมาณสารเคมีที่ต้องการเรียบร้อย ต่อมาจะต้องนำมาละลายในน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย (น้ำดื่มบริสุทธิ์) โดยจะต้องแบ่งน้ำดังกล่าวส่วนหนึ่งไว้สำหรับการละลายสารเคมี และละลายเข้ากับสารทีละตัวก่อนจะเทผสมเข้ากับน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายภายในเครื่องปฏิกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 3.2.2 เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากัน



รูปที่ 3.2.2 แสดงขั้นตอนการผสมสารเคมีก่อนเทผสมเข้ากับน้ำดื่มบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากผสมสารเคมีและน้ำดื่มบริสุทธิ์จนได้เป็น Medium Culture แล้ว ควรเริ่มเปิดระบบการเพาะเลี้ยง คือ ให้แสงสว่างจากหลอดไฟ LED และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับอากาศผ่านหัวกระจายก๊าซทิ้งไว้ 5-10 นาที ก่อนเทหัวเชื้อสาหร่ายเข้าไปผสมดังแสดงในรูปที่ 3.2.3 และเริ่มระบบการเพาะเลี้ยงได้ตามปกติ



รูปที่ 3.2.3 แสดงขั้นตอนการเทหัวเชื้อสาหร่ายเข้าผสมกับ Medium culture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวัดค่าเพื่อนำไปวิเคราะห์ผล (Measurement)

ในโครงงานการเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยเครื่องปฏิกรณ์ชนิดหมุนเวียนอากาศแบบใช้แสง จะต้องมีการเก็บค่าข้อมูลต่างๆเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของสาหร่ายในระยะเวลาที่กำหนด เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อแนมโน้มความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เช่น Optimal Density (OD) ค่าpH และค่าความเข้มแสง

3.3.1 ค่า Optimal Density (OD)

เมื่อระยะเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งสาหร่ายในเครื่องปฏิกรณ์ฯจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีที่เข้มขึ้น แสดงให้เห็นการเจริญเติบโตของเซลล์สาหร่ายผ่านการสังเกตด้วยตา แต่เพื่อความชัดเจนจึงต้องมีการเก็บตัวอย่างเซลล์สาหร่ายและนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectroscopy โดยขั้นตอนการวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ (Optical Density; OD) สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. เก็บตัวอย่างเซลล์สาหร่ายปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากด้านบนและด้านล่างเครื่องปฏิกรณ์ จำนวนทั้งหมด 2 ตัวอย่าง ทุกๆ 24 ชั่วโมง ซึ่งในที่นี้จะเก็บผลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ที่เวลา 24.00 น. ของทุกวัน
2. นำตัวอย่างเซลล์สาหร่ายไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร เพื่อสแกนหาค่าการดูดกลืนแสงที่สูงที่สุด
3. ทำการวัดค่า 2 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่างและบันทึกผลการทดลอง พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา เพื่อดูแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย

โดยกำหนดระยะเวลาที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่าในการทดลองนี้ คือ 7 วัน ซึ่งค่าที่วัดได้จากเครื่อง UV-VIS Spectroscopy ของหัวเชื้อสาหร่ายก่อนนำไปผสมเข้ากับ Medium Culture นั้นจะแสดงในตารางที่ 3.3.1a และสำหรับเซลล์สาหร่ายหลังผสมกับ Medium Culture ในเครื่องปฏิกรณ์ฯในตารางที่ 3.3.1b และ3.3.1c

จากตารางดังกล่าวพบว่าค่า OD ยังมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง คล้ายช่วง Exponential ของกราฟการเจริญเติบโตของสาหร่ายดังแสดงในบทที่ 2 รูปที่ 2.8 ดังนั้นในโครงงานนี้จึงทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มระยะเวลาการทดลอง เพื่อศึกษาแนวโน้มการเจริญเติบโตจนถึงช่วง Stationary แต่เนื่องจากระยะเวลาจำกัดจึงทำการทดลองเพียง 12 วันและพบว่าค่า OD ยังคงเพิ่มขึ้นเช่นเดิม

ตารางที่ 3.3.1a แสดงช่วงพีคของกราฟและค่าที่อ่านได้จากเครื่อง UV-VIS Spectroscopy ของหัวเชื้อสาหร่ายก่อนผสมกับ Medium Culture

ช่วงสูงสุดของกราฟ	ค่าที่อ่านได้
425	0.394
505	0.373
695	0.381

ตารางที่ 3.3.1b แสดงตำแหน่งพีคสูงสุดของกราฟและค่าที่อ่านได้ของเซลล์สาหร่ายด้านบนถังหลังผสมกับ Medium Culture จากเครื่อง UV-VIS Spectroscopy

ระยะเวลาเพาะเลี้ยง (วัน)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น			
	415 nm	500 nm	560	695 nm
1	0.061			0.059
2	0.076	0.068	0.068	0.063
3	0.104	0.088	0.092	0.109
4	0.129	0.117	0.114	0.106
5	0.147	0.142	0.134	0.144
6	0.188		0.169	0.162
7	0.214		0.226	0.216
8	0.242		0.254	0.272
9	0.284		0.267	0.298
10	0.308		0.288	0.337
11	0.326		0.312	0.358
12	0.348			0.386

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

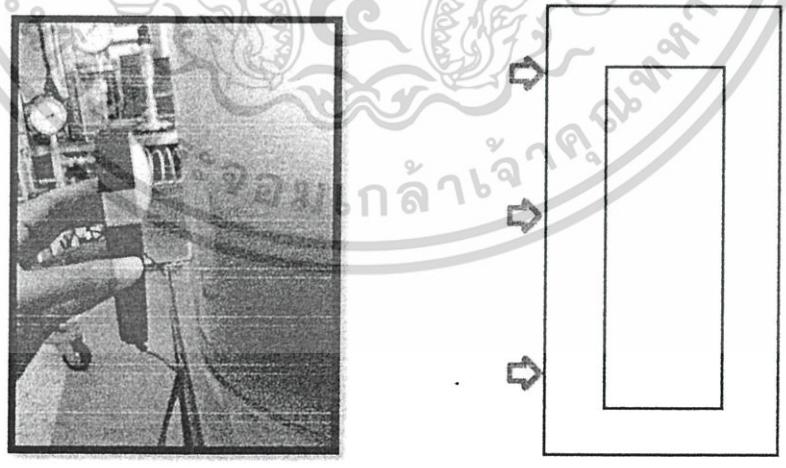
ตารางที่ 3.3.1b แสดงตำแหน่งพีคสูงสุดของกราฟและค่าที่อ่านได้ของเซลล์สาหร่ายด้านล่างถังหลังผสมกับ Medium Culture จากเครื่อง UV-VIS Spectroscopy

ระยะเวลาเพาะเลี้ยง (วัน)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น			
	415 nm	500 nm	560	695 nm
1	0.064			0.064
2	0.077	0.076	0.061	0.078
3	0.114		0.089	0.112
4	0.147	0.128	0.121	0.136
5	0.162	0.153	0.147	0.153

จากตารางที่ 3.3.1b จะเห็นว่าจะเก็บตัวอย่างสาหร่ายเพียง 5 วันแรก เนื่องจากด้านล่างเครื่องปฏิกรณ์ฯพบสิ่งสกปรก และสารตกตะกอนอื่นๆมาก อาจทำให้การวัดค่า OD คลาดเคลื่อนจึงเลือกเก็บจากด้านบนถังปฏิกรณ์เท่านั้น

3.3.2 ค่าความเข้มแสง

การวัดความเข้มแสงนั้นจะต้องใช้อุปกรณ์ Lux Meter สำหรับอ่านค่าดังกล่าว โดยในโครงงานนี้จะวัดที่พื้นผิวด้านนอกของเครื่องปฏิกรณ์ 3 ตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 3.3.1 หลังจากนั้นหาค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงก่อนบันทึกผลในหน่วยลักซ์ ดังแสดงในตารางที่ 3.3.1c



รูปที่ 3.3.1 แสดงขั้นตอนและตำแหน่งการวัดค่าความเข้มแสงทั้ง 3 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผล

โครงงานนี้ได้เลือก 'สาหร่ายคลอเรลล่า (Chlorrella)' เป็นตัวอย่างสาหร่ายเพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของ Hybrid Photobioreactor เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากคณะเทคโนโลยีการเกษตร สาขาประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าทหารลาดกระบัง และเป็นสายพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตรวดเร็วในอุณหภูมิปกติ สามารถนำผลผลิตที่ได้ไปใช้เพื่อการวิจัยหรือพัฒนาเป็นอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์

4.1 ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของ Hybrid Photobioreactor

ก่อนการทดสอบจะต้องมีการเช็คสภาพ และการรั่วซึมเครื่องปฏิกรณ์ฯ ทำความสะอาดด้วยสารละลาย NaOCl เพื่อกำจัดเชื้อโรค รวมถึงเตรียมสารอาหาร Medium culture สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งมีรายละเอียดตามที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 โดยอัตราการไหลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที และมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็นร้อยละ 9 ของทั้งหมด ติดตั้งหลอดไฟ LED สีแดง ขนาด 48 วัตต์ และกำหนดอัตราส่วนความสว่างต่อความมืด เท่ากับ 18:6 อุณหภูมิประมาณ 26-33 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 7 วัน และวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ (Optical Density; OD) ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer และพิจารณาแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย

4.1.1 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลล่า

อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลล่า จะพิจารณาจากการวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ ด้วยเครื่อง Spectrophotometer จะอาศัยความขุ่นเป็นตัวบ่งชี้ ด้วยหลักการที่ว่าหากตัวอย่างเซลล์สาหร่ายเก็บมาในแต่ละวัน มีความขุ่นมาก ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จะมีค่าสูง แสดงว่ามีความหนาแน่นของเซลล์มาก การวัดค่าความหนาแน่นของเซลล์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว แต่จะเป็นการวัดทั้งเซลล์เป็นและเซลล์ตายรวมกัน ซึ่งหากมีเซลล์ตายหรือตะกอนจากอาหารเพาะเลี้ยง ในปริมาณมากๆ เครื่องจะไม่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้หรือให้ค่าคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

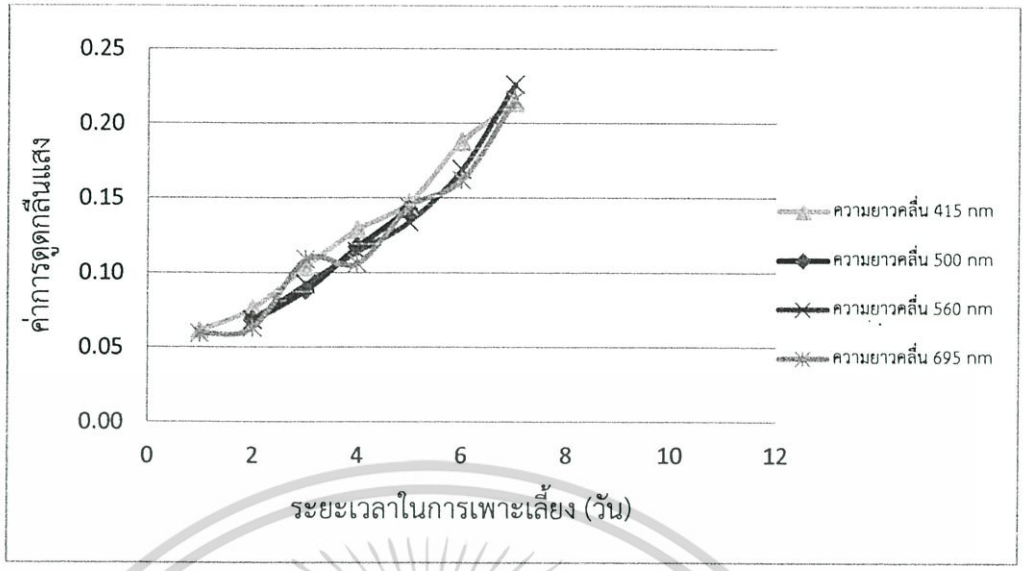
ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงต่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย(เก็บตัวอย่างจากด้านบนและด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์)

ระยะเวลาเพาะเลี้ยงสาหร่าย (วัน)	ค่าการดูดกลืนแสงที่แสกนพีคขึ้น							
	415 nm		500 nm		560 nm		695 nm	
	T	D	T	D	T	D	T	D
1	0.061	0.064	-	-	-	-	0.059	0.062
2	0.076	0.077	0.068	0.076	0.068	0.061	0.063	0.078
3	0.104	0.114	0.088	-	0.092	0.089	0.109	0.112
4	0.129	-	0.117	0.128	0.114	-	0.106	0.136
5	0.147	-	0.142	-	0.134	-	0.144	-
6	0.188	-	-	-	0.169	-	0.162	-
7	0.214	-	-	-	0.226	-	0.216	-

จะเห็นได้ว่าในวันที่ 5 ของการเพาะเลี้ยง เครื่อง Spectrophotometer จะไม่สามารถแสกนและวัดค่าการดูดกลืนแสงตัวอย่างเซลล์สาหร่ายซึ่งเก็บจากด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ได้ เนื่องจากมีตะกอนจากอาหารเพาะเลี้ยงตกลงมาสะสมอยู่ที่ด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ ดังนั้นจึงเก็บตัวอย่างเซลล์สาหร่ายเฉพาะจากด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อค่าการดูดกลืนแสง เพื่อดูแนวโน้มความหนาแน่นของเซลล์

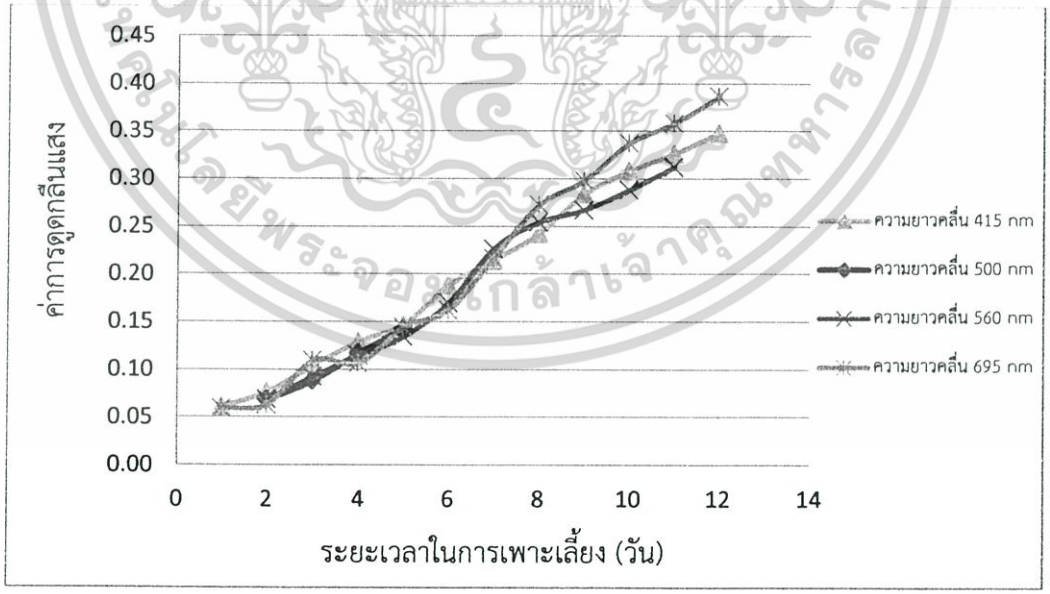
และเมื่อนำค่าที่การดูดกลืนแสงที่วัดได้มาพล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่า และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆที่แสกนพีคขึ้น จะได้ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่า และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ภายในระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 7 วัน

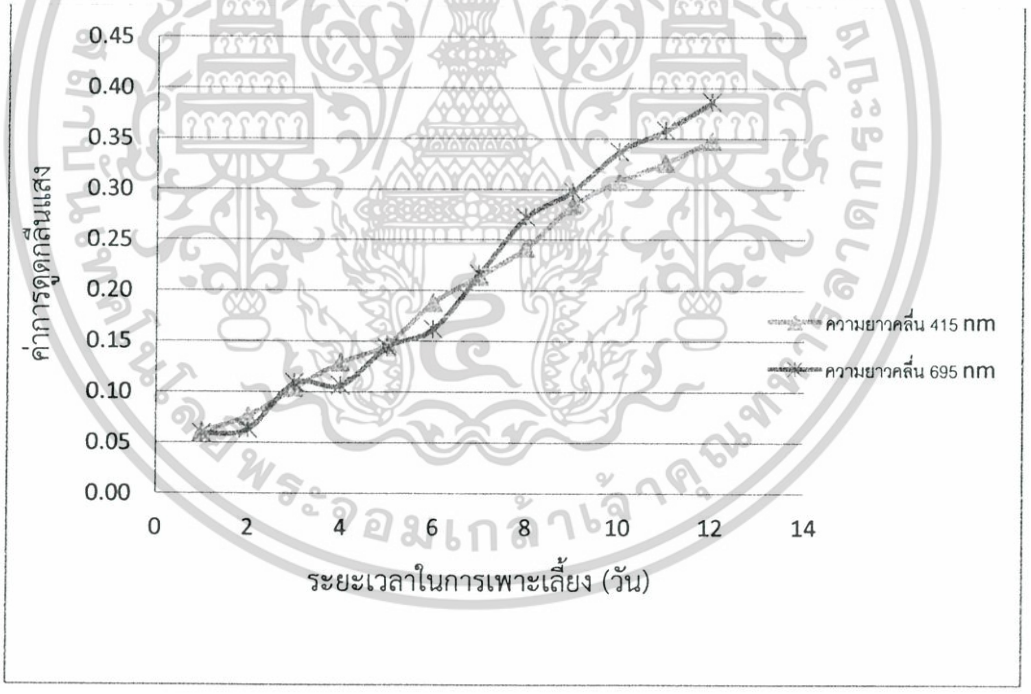
จากรูปที่ 4.1 จะสังเกตได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการเพาะเลี้ยง แสดงว่าสาหร่ายคลอเรลล่ามีการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆเช่นกัน ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงมีค่าสูงใกล้เคียงกันที่หลายความยาวคลื่น ได้แก่ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร 560 นาโนเมตรและ 695 นาโนเมตร



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่า และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆเมื่อเพาะเลี้ยงอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาวัดค่าพบว่าค่าการดูดกลืนแสงในวันที่ 7 ของการเพาะเลี้ยง คือ 0.214 0.226 และ 0.216 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จึงได้เพิ่มระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงอย่างต่อเนื่อง เพื่อสังเกตแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโตและค่าความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจะขึ้นพีคของค่าการดูดกลืนแสงที่หลายความยาวคลื่นเนื่องจากเซลล์สาหร่ายภายในเครื่องปฏิกรณ์มียังความหนาแน่นน้อย และเมื่อระยะเวลาผ่านไปจะไม่สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร เนื่องสาหร่ายมีคลอโรฟิลล์เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งคลอโรฟิลล์จะดูดกลืนแสงที่สองช่วงความยาวคลื่น คือ 450-475 และ 630-675 นาโนเมตร ดังนั้นจึงเหลือเพียงข้อมูลที่อยู่ประมาณช่วงความยาวคลื่นดังกล่าว คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ 415 นาโนเมตร และค่าการดูดกลืนแสงที่ 695 นาโนเมตร ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงว่าสาหร่ายก็มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่า และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร และ 695 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แปรผันตรงกับการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลล่าที่เพาะเลี้ยง ซึ่งการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลลาจะประกอบด้วย 5 ระยะคือ

1.ระยะปรับตัว (Lag Phase หรือ Inductional Phase)

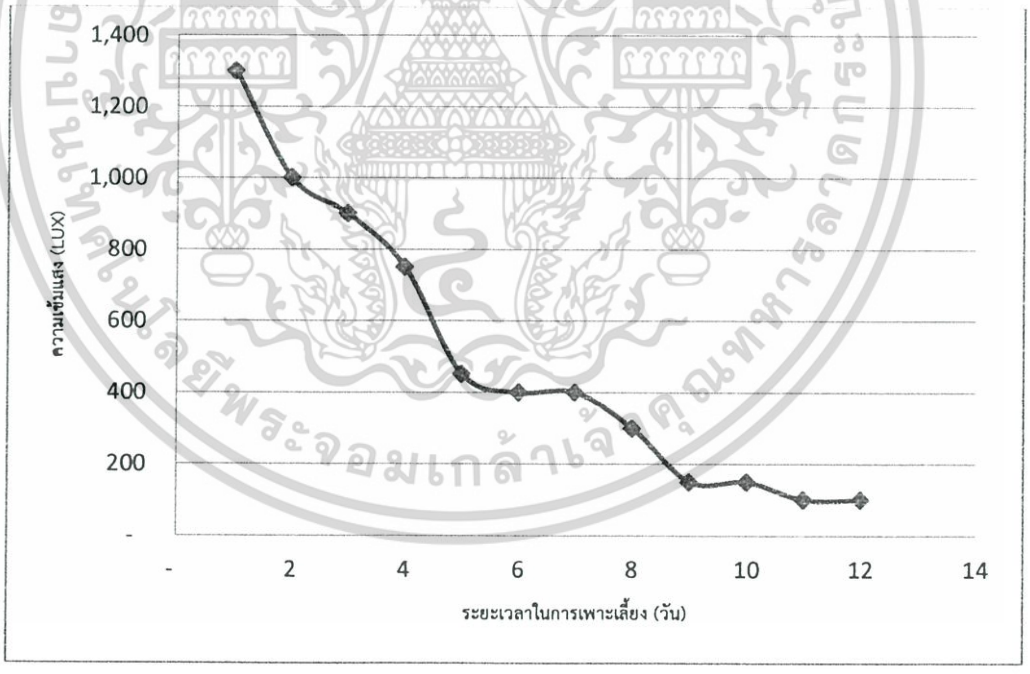
2.ระยะเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Phase)

3.ระยะเฉื่อย (Retardation Phase หรือ Phase of Declining Relative Growth)

4.ระยะคงที่ (Stationary Phase)

5.ระยะตาย (Death Phase)

ซึ่งเมื่อเทียบการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรล่าที่เพาะเลี้ยงกับกราฟอัตราเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลล่า (Growth Rate) แล้วจะอยู่ในช่วงระยะเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Phase) ทั้งนี้ระยะดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปัจจัยของการเจริญเติบโต อันได้แก่ แสง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสารอาหารที่สาหร่ายได้รับ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง (LUX) กับระยะเวลาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่า โดยวัดค่าความเข้มแสงที่ผนังด้านนอกของเครื่องปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสาหร่ายมีการเจริญเติบโตจะไปขัดขวางการเดินทางของแสงที่ติดตั้งภายในเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้ความเข้มแสงลดลง ดังจะเห็นได้จากกราฟที่ 4.4 ที่ความเข้มแสงมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเพาะเลี้ยง จนอาจทำให้เกิดบริเวณที่แสงส่องไม่ถึง (Drake Zone) ซึ่งความเข้มแสงของวันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยงอยู่ที่ 100 ลักซ์ ซึ่งถือว่าต่ำมากเมื่อเทียบกับความต้องการคลอเรลล่าซึ่งต้องการแสงที่มีความเข้มแสงอยู่ที่ประมาณ 3,500 – 5,000 ลักซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในโครงงานนี้เป็นการสร้าง Hybrid Photobioreactor หรือเครื่องปฏิกรณ์สำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่มีประสิทธิภาพการหมุนเวียนอากาศสูง ต้นทุนต่ำ และมีระบบการทำงานที่ไม่ซับซ้อน โดยพัฒนาโครงสร้างจากเครื่องปฏิกรณ์แบบหมุนเวียนอากาศชนิดใช้แสง (Airlift Photobioreactor) จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายมีหลายประการ เช่น การหมุนเวียนอากาศ สารอาหาร อุณหภูมิ และแสงสว่าง เป็นต้น ดังนั้น Hybrid Photobioreactor จึงได้มีการควบคุมปริมาณตลอดจนการทำงานของปัจจัยดังกล่าวที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ฯ รวมถึงการเจริญเติบโตของสาหร่าย

โดยเครื่องปฏิกรณ์มีสัดส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง Body และ Draft tube เท่ากับ 0.5 ความยาวของ Top – Bottom Clearance มีค่าเท่ากันคือ 10 เซนติเมตร และมีระดับของเหลวภายในเครื่องปฏิกรณ์ฯเท่ากับ 90 เซนติเมตรครอบคลุมชิ้นส่วน Draft Tube เมื่อสังเกตการหมุนเวียนภายในระบบพบว่า การเคลื่อนที่ของอากาศและของเหลวบริเวณ Riser เป็นไปตามทฤษฎี คือ มีทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบน มีอัตราการไหลสูง สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน และในบริเวณของ Downcomer มีทิศทางการเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่าง แต่มีอัตราการไหลต่ำ ไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน นอกจากนั้นบริเวณด้านล่างของ draft tube จะเห็นการหมุนเวียนของระบบ คือ ของเหลวจากส่วนของ Downcomer ไหลกลับเข้าไปด้านใน riser อีกครั้งอย่างต่อเนื่อง แต่มีอัตราการไหลต่ำและไม่สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนเช่นกัน ทั้งนี้อาจเป็นผลจากระดับน้ำ (Static Liquid Level) หรือระยะ Top – Bottom Clearance ที่มีค่ามากเกินไป

ในการทดลองนี้จะใช้อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศเท่ากับ 3 ลิตรต่อนาที และมีคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 9 โดยปริมาตรของก๊าซทั้งหมด จะสังเกตเห็นว่าฟองอากาศที่ออกมาจากหัวกระจายก๊าซนั้นมีขนาดเล็กเท่าๆกัน ส่งผลดีต่อประสิทธิภาพของระบบคือทำให้การเคลื่อนที่ของของเหลวเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปของเหลวจะมีความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายเพิ่มมากขึ้นทำให้แสงจากหลอด LED นั้นอาจไม่สามารถส่องสว่างได้เต็มประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดไฟที่ใช้ติดตั้งภายในเครื่องปฏิกรณ์ชนิด LED สีแดงมีความเข้มแสงเริ่มต้นเท่ากับ 1,200 ลักซ์ ซึ่งความเข้มแสงดังกล่าวน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ เนื่องจากไม่สามารถหาหลอดไฟชนิด LED ที่มีองศาการกระจายแสงเท่ากับ 360 ได้ และจากหลอดไฟอะคริลิคที่ประยุกต์ขึ้นนั้นมีองศาการกระจายแสงรวมเพียง 180 องศา ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ความเข้มแสงมีค่าน้อยกว่าที่ต้องการ นอกจากนั้นระยะทางระหว่างหลอดไฟชนิด LED กับพื้นผิวด้านนอกของเครื่องปฏิกรณ์ฯอาจมากเกินไป ทำให้ความเข้มแสงที่วัดได้น้อยลง

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การทดสอบการทำงานของ Hybrid Phobioreactor พบว่ายังมีจุดบกพร่องที่ควรแก้ไข จากการกำหนดสภาวะดังที่กล่าวไปข้างต้นถึงแม้การเคลื่อนที่ของของเหลวจะเป็นไปตามทฤษฎี แต่พบว่ายังไม่สามารถเห็นได้ชัดเจน ดังนั้นอาจใช้วิธีปรับแก้อัตราการไหลของก๊าซขาเข้าให้สูงมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการหมุนเวียนในส่วนของ Riser และ Downcomer ตามลำดับ ซึ่งวิธีดังกล่าวง่ายและประหยัดกว่าการปรับขนาดสัดส่วนของ Body และ Draft Tube ใหม่

รวมทั้งหัวกระจายก๊าซมีขนาดรูอากาศเล็กมาก ดังนั้นควรเพิ่มความระมัดระวังในขั้นตอนการใช้งานและจัดเก็บ เพราะอาจทำให้สิ่งสกปรกอุดตันส่งผลให้รูอากาศตันไม่สามารถจ่ายก๊าซได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ อีกทั้งควรหมั่นตรวจเช็คความร้อนของอุปกรณ์ปั๊มอากาศ และเข็มแสดงอัตราการไหลของก๊าซจากถังคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะการใช้งานติดต่อกันหลายวันอาจทำให้อุปกรณ์เกิดความคลาดเคลื่อนและชำรุดเสียหายได้ และในการทดลองครั้งต่อไปควรเพิ่มอัตราเร็วของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศมากขึ้นตามระยะเวลาการทดลอง เพราะนอกจากจะประหยัดต้นทุนแล้วการใช้วิธีดังกล่าวจะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของระบบอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถรักษาประสิทธิภาพการหมุนเวียนของของเหลวภายในระบบรวมถึงอัตราการไหลให้คงที่สม่ำเสมอ

และจากปัญหาของระบบการให้แสงสว่างอาจแก้ไขได้ด้วยวิธีเพิ่มปริมาณแผงหลอดไฟ LED ภายในท่ออะคริลิคที่ถูกเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเช่นกัน ส่งผลให้มีระยะทางระหว่างหลอดไฟกับพื้นผิวด้านนอกของเครื่องปฏิกรณ์ลดลง และมีความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งนอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วยังมีข้อแนะนำเล็กน้อยสำหรับการทดลองครั้งต่อไปซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. สายโซ่ที่ใช้คล้องระหว่างตะขอเกี่ยวและ Draft Tube ขึ้นสนิมช่วงวันที่ 4 ของการทดลอง ดังนั้นการทดลองครั้งต่อไปอาจจะต้องเปลี่ยนวัสดุที่ช่วยในการลอยตัวของ Draft Tube ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. บริเวณด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ฯชิ้นส่วนของหัวกระจายก๊าซที่ต่อเข้ากับ Body เกิดการรั่วซึมขึ้นระหว่างการทดสอบด้วยน้ำ อาจเกิดจากแรงดันน้ำปริมาณมากหรือแผ่นยางกันซึมมีขนาดเล็กเกินไป โดยในการทดลองครั้งนี้ได้แก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าด้วยการทาซิลิโคนลงบนพื้นผิวที่เกิดการรั่วซึม ดังนั้นในสำหรับครั้งต่อไปอาจต้องเปลี่ยนแผ่นยางกันซึม หรือวิธีการยึดติดชิ้นส่วนทั้ง 2 ชิ้นให้แนบสนิทกับมากขึ้น

3. อัตราการไหลของฟองอากาศจากหัวกระจายก๊าซรุนแรงมาก ทำให้หลอดไฟชนิด LED ที่ติดตั้งบริเวณตรงกลางเครื่องปฏิกรณ์ฯเอียงอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้เทปกาว และแผ่นยางช่วยยึดหลอดไฟให้ตั้งตรง แต่ยังไม่ต้านทานแรงดันดังกล่าวได้ ดังนั้นอาจต้องมีการทำวงแหวนและครีบเช่นเดียวกับ Draft Tube เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว นอกจากนั้นบริเวณพื้นผิวที่ไม่ได้จุ่มน้ำมีความร้อนสูง ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปอาจต้องปรับเปลี่ยนความลึกในการจุ่มหลอดไฟ หรือความยาวของแผงหลอดไฟ เพื่อให้บริเวณที่อาจเกิดความร้อนนั้นสัมผัสกับของเหลวภายในระบบมากที่สุด

4. ในการเก็บตัวอย่างเพื่อไปวัดค่าและบันทึกผล พบว่าเมื่อเปิดวาล์วของเหลวที่ไหลออกมามีสีขุ่น สกปรก ซึ่งอาจเกิดจากการสะสมของตะกอนสาหร่ายรวมกับสิ่งสกปรกที่เข้ามาทางช่องว่างขนาดเล็กด้านบนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ดังนั้นก่อนเก็บตัวอย่างจะต้องไขของเหลวดังกล่าวทิ้งประมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วจึงเก็บตัวอย่างตามปกติเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

5. จากระยะเวลาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจำนวน 7 วันบริเวณผนังด้านข้างของเครื่องปฏิกรณ์ฯนั้นมีเซลล์สาหร่ายเกาะอยู่อย่างเบาบาง ดังนั้นหากทดลองต่อไปหรือมีการเพิ่มระยะเวลาการทดลองจะต้องหาวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวเพิ่มเติม เพราะเซลล์สาหร่ายอาจเพิ่มความหนาแน่นที่พื้นผิวขัดขวางการหมุนเวียนของระบบ และทำให้ไม่สามารถเห็นการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ฯได้ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Export Of Thailand Classified By Commodity. [Online].Available : http://www.ops3.moc.go.th /infor/HS/export/export_commodity/report.asp

[2] Thomas E.Murphy.,HalilBerberoglu., 2011. Effect of algae pigmentation on photobioreactor productivity and scale-up: A light transfer perspective. Journal of Quantitative Spectroscopy &Radiative Transfer 112, 2826–2834

[3] สาวิตรีไทรทับทิม. 2011. การนำสาหร่ายที่ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมาบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมรีไซเคิล. เข้าถึงได้จาก: http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf . 2013 9 23

[4] Elina K. Nauha.,VilleAlopaeus., 2013. Modeling method for combining fluid dynamics and algal growth in a bubble column photobioreactor. Chemical Engineering Journal 22z, 559–568

[5] Wahidin S., Idris A., Shaleh SR., 2012.The influence of light intensity and photoperiod on the growth and lipid content of microalgae Nannochloropsis sp..j.biortech. 2012.11.032.

[6] HilalKarginyimaz., 2012. The proximate Composition and Growth of spirulina p. Biomass at Different temperature. Journal of Animal and Veterinary Advances 11, 1135-1138

[7] Cheevadhanarak S., Chetkul W. 2004. "Cloning and Characterization of the Phycocyanin Alpha-subunit PhycocyanobilinLyase Gene From S. Platensis C1" [Online].Available :http://hydrogenandfuelcells.energy.gov.

[8] จงกล พรมยะ. การวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายSpirulinaplatensis(Nordstedt) Geiteler. เข้าถึงได้จาก: http://www.fishtech.mju.ac.th/FishNew1/OSS/files/vKhI5iDMon34134.pdf . 2013 9 22

[9] E. Molina Grima., F.G. Acie´n., Ferna´ndez.,F. Garcı´a Camacho., Yusuf Chisti., 1999. Photobioreactors: light regime, mass transfer, and scaleup. Journal of Biotechnology 70, 231–247

[10] สาหร่ายคลอเรลลา (Chlorella). เข้าถึงได้จาก: http://www.winwinthailand.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=27 2013 9 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] ณัฐภาส ผู้พัฒน์และคณะ. "Commercial Spirulina Cultivation"งานสาหร่ายประยุกต์ โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา. เข้าถึงได้จาก: http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch52/01-celebrate/natpas/celebrate_00.html

[12] J. P. PANDEY1., NEERAJ PATHAK1., AMIT TIWARI1., 2009. Standardization of pH and Light Intensity for the Biomass Production of Spirulina platensis. journal of algae biomass utilization

[13] ขจรเกียรติ์ ศรีนวลสม การเพาะเลี้ยงสาหร่าย. เข้าถึงได้จาก : http://www.fishtech.mju.ac.th/FishNew1/OSS/files/TmBcVkLThu30003.pdf

[14] Ali Abdul-Rahman., Al-Azzi.,Laith S. S. Al-Kuffe., 2010. Influence of draft tube diameter on operation behavior of air lift loop reactors. Al-Khwarizmi Engineering Journal, Vol.6, No. 2, PP 21-32

[15] Hu-Ping Luo., Muthanna H. Al-Dahhan., 2008. Local characteristics of hydrodynamics in draft tube airlift bioreactor. Chemical engineering science 63, 3057-3068

[16] J.M. Smith., H.C. Van Ness., M.M. Abbott., (2005). Introduction to chemical engineering thermodynamics. (357). McGraw-Hill companies, Inc

[17] Suzana Wahidin., Ani Idris., Sitti Raehanah Muhamad Shaleh., 2013. The influence of light intensity and photoperiod on the growth and lipid content of microalgae Nannochloropsis sp. Bioresource Technology 129, 7–11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้