



**การพัฒนาวัสดุชีวภาพเลียนแบบรากหญ้าทะเลเคลือบด้วยสารเร่งปฏิกิริยาทางแสง
 สำหรับการตรึงคาร์บอนในระบบนิเวศทางทะเล**

**Development of a Biomaterial Mimicking Seagrass Roots Coated with
 a Photocatalyst for Carbon Sequestration in Marine Ecosystems**

กัญญากัด เหมือนมี รุจิรพันธ์ ลิขิตสาม

พรพรรณ โฉมวงษ์ สายธาร สาสีผล สุทธิพนธ์ วงศ์ฤกษ์²

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย สุพรรณบุรี, ตำบลทุ่งคอก, อำเภอสองพี่น้อง, จังหวัดสุพรรณบุรี 72110, ประเทศไทย

²มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, ตำบลกำแพงแสน, อำเภอกำแพงแสน, จังหวัดนครปฐม 73140, ประเทศไทย

*E-mail: Rphone637@gmail.com

บทคัดย่อ

การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจากกิจกรรมของมนุษย์ส่งผลให้มหาสมุทรดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากซึ่งจะช่วยชะลอภาวะโลกร้อนแต่กลับก่อให้เกิดภาวะกรดในทะเลส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่สร้างโครงสร้างแคลเซียม คาร์บอเนต เช่น หอย ปะการังและสัตว์ทะเลเปลือกแข็งรวมถึงระบบนิเวศหญ้าทะเลที่มีบทบาทสำคัญในการกักเก็บคาร์บอน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุชีวภาพจาก ไมซีเลียมเลียนแบบโครงสร้างรากหญ้าทะเลและศึกษาประสิทธิภาพของสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำให้เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต เพื่อลดผลกระทบของภาวะกรดในทะเล วัสดุชีวภาพถูกพัฒนาจากการเพาะไมซีเลียมบนฟางข้าวร่วมกับเปลือกหอยบดเพื่อสร้างโครงสร้างพรุนคล้ายรากหญ้าทะเล จากนั้น นำวัสดุฐานไปประยุกต์ใช้ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง ได้แก่ สาร CaO สารคอมโพสิต CaO/TiO₂ และ สารคอมโพสิต CaO/TiO₂-ZnO โดยทำการทดสอบในน้ำปราศจากไอออน และน้ำทะเลจำลองที่มีการเติมแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์และกระตุ้นปฏิกิริยาด้วยแสงอัลตราไวโอเลตประสิทธิภาพในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ถูกประเมินจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) ผลการทดลองพบว่าไมซีเลียมสามารถเจริญเติบโตและยึดเกาะฟางข้าวและเปลือกหอยได้ดี โดยฟางข้าวที่มีขนาดเล็กและอัตราส่วนฟางข้าวต่อเปลือกหอยที่เหมาะสมช่วยให้เกิดโครงสร้างวัสดุที่ แข็งแรงและสม่ำเสมอ ในส่วนของการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง พบว่าสารแคลเซียมออกไซด์ สามารถเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารประกอบคาร์บอเนตได้ และเมื่อใช้ร่วมกับ ไทเทเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเฉพาะในระบบน้ำทะเลจำลอง ซึ่งปรากฏสัญญาณของหมู่คาร์บอนอย่างชัดเจนจากการวิเคราะห์ FT-IR

คำสำคัญ: ไมซีเลียม, ภาวะกรดในทะเล, สารเร่งปฏิกิริยาทางแสง, แคลเซียมคาร์บอเนต, วัสดุชีวภาพ

1. บทนำ

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ ทั้งการเผาไหม้ เชื้อเพลิง การตัดไม้ ทำลายป่า และกิจกรรมอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งมหาสมุทรทำหน้าที่เป็น

แหล่งดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใหญ่ที่สุดในโลก โดยดูดซับได้มากกว่าหนึ่งในสี่ของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกมาในบรรยากาศ ถึงแม้การดูดซับของมหาสมุทรจะสามารถลดความรุนแรงของภาวะโลกร้อนได้ แต่กลับส่งผล

กระทบให้เกิดปัญหาใหม่ที่เราเรียกว่า ภาวะกรดในทะเล (ocean acidification) ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศในทะเลอย่างกว้างขวาง เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แตกตัวในน้ำทะเลจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับไอออนคาร์บอเนต จึงเกิดการเพิ่มขึ้นของกรดคาร์บอนิก และการลดลงของไอออนคาร์บอเนตที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการสร้างแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นสารประกอบหลักของเปลือก และโครงสร้างแข็งของสิ่งมีชีวิตในทะเลจำนวนมาก ผลกระทบที่ตามมาทำให้สิ่งมีชีวิตที่สร้างเปลือกแข็ง (calcifying organisms) เช่น ปู กุ้ง หอยชนิดต่างๆ รวมถึงปะการัง เป็นต้น มีความยากลำบากในการสร้างและคงสภาพเปลือก หรือโครงสร้างไว้ได้ มีการเจริญเติบโตช้าลง อัตราการมีชีวิตรอดลดลง และเสี่ยงต่อการถูกล่ามากขึ้น ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารและเศรษฐกิจชุมชนชายฝั่งที่พึ่งพาการประมงสัตว์ทะเลเหล่านี้ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบกับหนึ่งในระบบธรรมชาติที่มีบทบาทสำคัญในการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในทะเลคือ ระบบนิเวศหญ้าทะเล (seagrass ecosystem) (Apostoloumi et al., 2021; Kaewsrihaw et al., 2022) ซึ่งสามารถกักเก็บคาร์บอนในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดคาร์บอนในน้ำ และชะลอผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แต่เนื่องด้วยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากขึ้น และอุณหภูมิที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ระบบนิเวศหญ้าทะเลมีจำนวนลดลงมาก หากไม่มีมาตรการรองรับ หรือไม่มีการรับมือกับปัญหาเหล่านี้จะส่งผลกระทบอย่างหนักเมื่อรวมกับภาวะกรดในทะเล จากการศึกษาเกี่ยวกับไมซีเลียมซึ่งเป็นเครือข่ายเส้นใยของเชื้อราที่มีความแข็งแรง สามารถเจริญเติบโตบนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว เป็นต้น นับเป็นวัสดุชีวภาพที่มีความยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Tahir et al., 2024) โครงสร้างตามธรรมชาติของไมซีเลียมมีลักษณะพรุน น้ำหนักเบา และสามารถขึ้นรูปได้ตามต้องการ คุณสมบัติเหล่านี้เอื้อต่อการประยุกต์ใช้ในระบบนิเวศ โดยเฉพาะการ

เลียนแบบรากหญ้าทะเลซึ่งทำหน้าที่ดูดซับคาร์บอน (Hawkins et al., 2023; Livne et al., 2022) และป้องกันการพัดพาของตะกอนใต้ทะเล ปัญหาภาวะกรดในทะเลที่รุนแรงขึ้นจากการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวทางแก้ไขจากงานวิจัยด้านโฟโตคาทาไลซิสซึ่งชี้ให้เห็นว่า สารกึ่งตัวนำอย่างไทเทเนียมไดออกไซด์ (Zou et al., 2023) สามารถใช้พลังงานจากแสงเพื่อกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีที่เปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำให้กลายเป็นสารประกอบคาร์บอเนตที่มีเสถียรภาพได้ แต่หากมีเพียงไทเทเนียมไดออกไซด์เพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ จึงศึกษาเพิ่มเติมพบว่าแคลเซียมออกไซด์มีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยาให้คาร์บอนกลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสามารถหาได้จากเปลือกหอยที่ผ่านการเผา (Fatimah et al., 2018) รวมถึงได้มีการเพิ่มซิงค์ออกไซด์ (Jiang et al., 2021) เพิ่มเติมเพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำงานร่วมกันของแคลเซียมออกไซด์กับไทเทเนียมไดออกไซด์ เสริมเปลือกหอยบดลงในวัสดุฐานไมซีเลียม เปลือกหอยอุดมไปด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตไม่เพียงช่วยเพิ่มน้ำหนักและความคงตัวให้กับวัสดุ แต่ยังมีความสามารถในการปรับสมดุลความเป็นกรด-เบสเพื่อให้ไมซีเลียมมีสถานะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาวัสดุชีวภาพสำหรับการใช้งานในทะเลโดยใช้ไมซีเลียมที่เลี้ยงบนฟางข้าวเป็นวัสดุฐานเลียนแบบรากหญ้าทะเลเคลือบด้วยแคลเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ที่ผสมกับวัสดุอื่น (Parsafard et al., 2024) คือแคลเซียมออกไซด์กับไทเทเนียมไดออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์กับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เสริมด้วยซิงค์ออกไซด์ เพื่อสร้างวัสดุที่มีคุณสมบัติในดักจับคาร์บอนในน้ำทะเล และเพิ่มปริมาณแคลเซียมออกไซด์ในระบบนิเวศ ทำให้ลดคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำทะเล และปรับสมดุลความเป็นกรด-เบสช่วยลดผลกระทบของภาวะกรดในทะเลที่กำลังคุกคามสิ่งมีชีวิตเปลือกแข็งชนิดต่างๆ

2.วิธีการดำเนินงาน

2.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของไมซีเลียมและการพัฒนาสัณฐานวิทยา

2.1.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของไมซีเลียมภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโครงสร้างวัสดุชีวภาพจากไมซีเลียมให้มีลักษณะคล้ายรากเห็ดเพื่อใช้เป็นโครงสร้างฐานของวัสดุ a. การทำแม่พิมพ์ทำ การออกแบบรูปแม่พิมพ์ทรงรากเห็ดโดยใช้โปรแกรม SketchUp และพิมพ์ต้นแบบด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ b. การขึ้นรูปวัสดุเตรียมฟางข้าวและเปลือกหอย โดยนำฟางข้าวไปนึ่งฆ่าเชื้อเป็นเวลา 30 นาที และตัดให้มีขนาด 1 เซนติเมตร ส่วนเปลือกหอยนำไปล้างทำความสะอาดและต้มเป็นเวลา 30 นาที เพื่อกำจัดกลิ่นและฆ่าเชื้อ จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C แล้วบดให้ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรง 400 mesh และผ้าขาวบางเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคสม่ำเสมอ นำวัสดุทั้งสองชนิดมาผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ทรายส่วนของฟางข้าวต่อเปลือกหอยในแต่ละชุดการทดลองชุดการทดลอง ขนาดของฟางข้าว อัตราส่วนฟางข้าว : เปลือกหอย ชุดที่ 1 ฟางข้าวตัด 1 ซม. 2 : 1 , ชุดที่ 2 ฟางข้าวป่น 2 : 1 , ชุดที่ 3 ฟางข้าวตัด 1 ซม. 1 : 1 , ชุดที่ 4 ฟางข้าวป่น 1 : 1 หลังจากนั้นนำส่วนผสมแต่ละชุดคลุกเคล้าให้เข้ากันใส่ไมซีเลียมลงในส่วนผสมในอัตราส่วน 1 : 3 และบรรจุส่วนผสมลงในแม่พิมพ์ ปิดด้วยกระดาษกรองและเจาะรูเพื่อให้อากาศถ่ายเทนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 25 วัน เพื่อให้ไมซีเลียมเจริญเติบโตและยึดเกาะวัสดุจนเกิดโครงสร้างที่แข็งแรงเมื่อครบกำหนด นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหยุดการเจริญของไมซีเลียมและเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุ

2.2 การศึกษาประสิทธิภาพของสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงแบบผง

2.2.1 การเตรียมสารเคลือบออกไซด์ (CaO)

นำเปลือกหอยนางรมบดไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงและผ้าขาวบางเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคสม่ำเสมอ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมออกไซด์ หลังจากนั้นปล่อยให้เย็น บดให้ละเอียด และเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR เครื่อง Raman Spectrometer และเครื่อง XRD

2.2.2 การเตรียมสารคอมโพสิตแคลเซียมออกไซด์ไทเทเนียมไดออกไซด์ (CaO/TiO₂)

ซึ่งแคลเซียมออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วน 1 : 1 ผสมในน้ำปราศจากไอออน (De-ionized water: DI) กลั่น และกวนด้วยเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็กเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 °C จากนั้นกรองและอบแห้งที่ 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเผาที่ 500 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นปล่อยให้เย็น บดให้ละเอียด และเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR เครื่อง Raman Spectrometer และเครื่อง XRD

2.2.3 การเตรียมสารคอมโพสิตแคลเซียมออกไซด์ไทเทเนียมไดออกไซด์-ซิงค์ออกไซด์ CaO/TiO₂-ZnO ซึ่งสาร CaO/TiO₂ และซิงค์คลอไรด์ในอัตราส่วน 2 : 1 จากนั้นผสมและกวนในน้ำ DI เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 °C จากนั้นกรองและอบแห้งที่ 105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเผาที่ 500 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นปล่อยให้เย็น บดให้ละเอียด และเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR เครื่อง Raman Spectrometer และเครื่อง XRD

2.2.4 การเตรียมน้ำทะเลจำลอง

เตรียมน้ำทะเลจำลองโดยใช้สัดส่วนที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ ศิริภรณ์ และคณะ (2556) โดยชั่งสารเคมี ได้แก่ sodium chloride 23.991 กรัม, potassium chloride 0.742 กรัม, calcium chloride 1.135 กรัม, magnesium chloride 5.102 กรัม, sodium sulfate 4.012 กรัม, sodium bromide 0.085 กรัม, strontium chloride 0.011 กรัม และ carbonic acid

0.027 กรัม แล้วละลายในน้ำ DI 1 ลิตร จากนั้นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก 30 นาที และวัดค่าความเค็มได้ 34 ppt

2.2.5 การทดสอบประสิทธิภาพของสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงแบบผงในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต เตรียมน้ำ DI และน้ำทะเลจำลอง (Sea) อย่างละ 500 มิลลิลิตร เติมน้ำ NaHCO_3 ปริมาณ 0.424 กรัม กวน 30 นาที และแบ่งใส่บีกเกอร์ ๑ ละ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำสารเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ปริมาณ 0.25 กรัมต่อบีกเกอร์ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ชนิดของสารในแต่ละชุดการทดลอง

ชนิดน้ำ	ชนิดของสารในแต่ละชุดการทดลอง		
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
DI	CaO	CaO/TiO ₂	CaO/TiO ₂ -ZnO
Sea	CaO	CaO/TiO ₂	CaO/TiO ₂ -ZnO

2.3 การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุชีวภาพไมซีเลียมเคลือบสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง
 เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตแบบผงแล้วนำสารที่มีแนวโน้มในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตมากที่สุดมาทำสารเคลือบ โดยเริ่มจากซังผง PVA 5 กรัม ผสมในน้ำ DI 150 มิลลิลิตรกวนและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นซังผงสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง 0.5 กรัม และนำไปกวนให้สารมีอนุภาคสม่ำเสมอเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปเคลือบบนวัสดุไมซีเลียมด้วยแปรงและนำชิ้นงานที่เคลือบแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที เพื่อนำไปทดสอบโดยใช้วิธีการทดสอบดังชุดการทดสอบประสิทธิภาพของผง

สารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต จากนั้นให้แสง UV เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปกรองและเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย FT-IR ผลการทดลอง

3.ผลและอภิปรายผล

3.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของไมซีเลียมภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน

การศึกษาการเจริญเติบโตของไมซีเลียมภายใต้สภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน เพื่อพัฒนาโครงสร้างวัสดุชีวภาพให้มีลักษณะคล้ายรากหญ้าทะเลสำหรับใช้เป็นโครงสร้างฐานวัสดุ ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 25 วัน โดยทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตของเชื้อไมซีเลียมภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันของขนาดฟางข้าว

ขนาดของฟางข้าวต่อเปลือกหอย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Mean
ฟางข้าวตัด 1 ซม. 2 : 1	3	4	3	3.33
ฟางข้าวป่น 2 : 1	4	5	4	4.33
ฟางข้าวตัด 1 ซม. 1 : 1	2	3	3	2.67
ฟางข้าวป่น 1 : 1	4	3	3	3.33

หมายเหตุ: คะแนนการเจริญเติบโตของไมซีเลียมกำหนดดังนี้

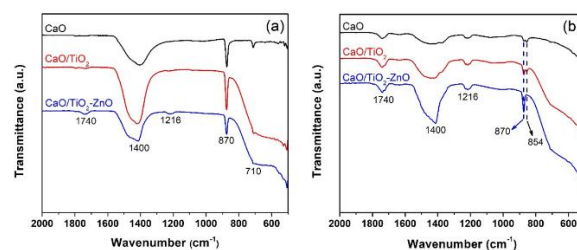
- 1 = เจริญเติบโตน้อยมาก (เส้นใยปกคลุมน้อยกว่า 30%) , 2 = เจริญเติบโตน้อย (เส้นใยปกคลุม 30–50%)
 3 = เจริญเติบโตปานกลาง (เส้นใยปกคลุม 50–70%) , 4 = เจริญเติบโตดี (เส้นใยปกคลุม 70–90%)

5 = เจริญเติบโตดีมาก (เส้นใยปกคลุมมากกว่า 90%) ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อไมซีเลียมภายใต้สภาวะที่ต่างกัน โดยเปรียบเทียบขนาดฟางข้าวและอัตราส่วนฟางข้าวต่อเปลือกหอย พบว่าการเจริญเติบโตของเชื้อไมซีเลียมมีความแตกต่างกันในแต่ละชุดการทดลอง โดยสามารถเรียงลำดับค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตจากมากไปน้อยได้ดังนี้ ฟางข้าวป่น (2:1), ฟางข้าวตัด 1 ซม. (2:1), ฟางข้าวป่น (1:1) และ ฟางข้าวตัด 1 ซม. (1:1) ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33, 3.33, 3.33 และ 2.67 ตามลำดับ

3.2 การทดสอบประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต

3.2.1 ผลการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าสารเร่งปฏิกิริยาทั้งสามชนิดมีพีคที่ตำแหน่ง $710\text{--}870\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นลักษณะจำเพาะของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และสะท้อนการแปรสภาพคาร์บอนไดออกไซด์ให้ตกตะกอนเป็น CaCO_3 โดยสาร $\text{CaO/TiO}_2\text{-ZnO}$ ปรากฏพีคที่ 1216 และ 1740 cm^{-1} ซึ่งบ่งชี้ถึงการเกิดสารตัวกลางและการกระตุ้น CO_2 ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับและแปรสภาพคาร์บอนสูงกว่าสาร CaO และ CaO/TiO_2 ส่วนการทดสอบในน้ำทะเลจำลองพบว่าพีคที่ 870 , 1216 , 1400 และ 1740 cm^{-1} มีความเข้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำ DI แสดงว่าสภาพแวดล้อมที่มี HCO_3^- ช่วยส่งเสริมการดูดซับและการแปรสภาพ CO_2 ได้ดีขึ้น โดยตัวอย่าง $\text{CaO/TiO}_2\text{-ZnO}$ ไม่ปรากฏพีคของ surface carbonate ที่ 854 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่าสามารถเปลี่ยนผ่านไปเป็น CaCO_3 ได้สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ

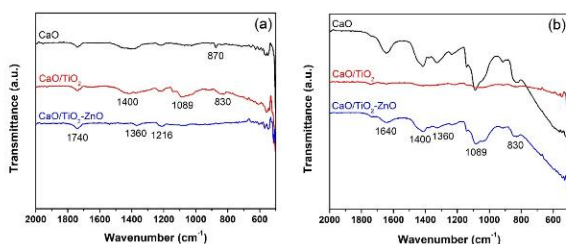


รูปที่ 1 กราฟแสดงการวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR ของ CaO , CaO/TiO_2 และ $\text{CaO/TiO}_2\text{-ZnO}$ ภายหลังเสร็จสิ้นปฏิกิริยาในสภาวะ (a) น้ำ DI และ (b) น้ำทะเลจำลอง

3.2.2 ผลการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโดยใช้วัสดุชีวภาพไมซีเลียมเคลือบด้วยสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง

ผลการวิเคราะห์ FT-IR พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสารประกอบ CaCO_3 โดยทั้งการทดสอบในน้ำ DI และน้ำทะเลจำลองปรากฏพีคที่สัมพันธ์กับหมู่คาร์บอเนต (CaCO_3) หมู่ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และ activated CO_2 ซึ่งบ่งชี้ว่ากระบวนการ photocatalysis สามารถแปลงคาร์บอนไดออกไซด์เป็น CaCO_3 ได้ ในการทดสอบน้ำทะเลจำลองพบพีคเพิ่มเติมที่ 1645 cm^{-1} สำหรับวัสดุ CaO และ $\text{CaO/TiO}_2\text{-ZnO}$ แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของ HCO_3^- ในกระบวนการแปรสภาพ CO_2 โดยวัสดุชีวภาพจากไมซีเลียมที่เคลือบด้วยสารเร่งปฏิกิริยา CaO และ $\text{CaO/TiO}_2\text{-ZnO}$ ทำหน้าที่เป็นทั้งโครงสร้างรองรับและเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซับ CO_2 ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนรูปเป็น CaCO_3 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการทดสอบในน้ำทะเลจำลองให้สัญญาณของหมู่คาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตเข้มข้นกว่าน้ำ DI แสดงถึงประสิทธิภาพในการดูดซับและแปรสภาพ CO_2 ที่สูงกว่าเนื่องมาจากการมีอยู่ของไบคาร์บอเนตและสมดุลคาร์บอเนตในระบบที่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 2 การวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางหมู่ฟังก์ชันด้วย



เทคนิค FT-IR ของวัสดุชีวภาพจากไมซีเลียมที่มีโครงสร้างเลียนแบบรากหญ้าทะเลเคลือบด้วยสารกระตุ้นเชิงแสง CaO, CaO/TiO₂ และ CaO/TiO₂-ZnO ภายหลังเสร็จสิ้นปฏิกิริยา photocatalysis ในสถานะ (a) น้ำ DI และ (b) น้ำทะเลจำลอง

สรุปผล

สรุปผลการศึกษาพบว่าการพัฒนาวัสดุชีวภาพจากไมซีเลียมมีโครงสร้างเลียนแบบรากหญ้าทะเลสามารถใช้เป็นฐานรองรับสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงเพื่อเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารประกอบคาร์บอนที่เสถียรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวัสดุรองรับที่ใช้ฟางข้าวปั่นผสมเปลือกหอยบดละเอียดในอัตราส่วน 2:1 ส่งเสริมการเจริญของไมซีเลียมได้ดีที่สุด(4.33) และสามารถสร้างโครงสร้างฐานที่แข็งแรงหลังการอบที่ 80 °C ผลการวิเคราะห์ FT-IR, Raman และ XRD ยืนยันว่าสารคอมโพสิต CaO/TiO₂-ZnO มีโครงสร้างรอยต่อต่างชนิดที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับคาร์บอนเหนือกว่าสารเดี่ยว โดยเฉพาะในน้ำทะเลจำลองที่พบสัญญาณของหมู่คาร์บอเนต (CO₃²⁻) และ CaCO₃ ชัดเจนกว่าน้ำ DI จากอิทธิพลของไอออน (Ion Effect) งานวิจัยในอนาคตควรศึกษาความทนทานของโครงสร้างไมซีเลียมและทดสอบในระบบนิเวศทางทะเลจริง เพื่อประเมินศักยภาพในการลดภาวะความเป็นกรดของมหาสมุทรและการกักเก็บคาร์บอนอย่างยั่งยืน.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับคำปรึกษาและชี้แนะตลอดจนได้รับการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่จากสาขาเคมีและชีววิทยา โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย ปทุมธานี โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย สุพรรณบุรี และคณะศิลปศาสตร์วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

เอกสารอ้างอิง

- ศิริภรณ์ โคตะมี, เพ็ญพรรณ ศรีสกุลเดียว, สมสมร แก้วบริสุทธิ์. (2556). องค์ประกอบแร่ธาตุหลักในน้ำทะเลเปรียบเทียบกับน้ำเกลือสินเธาว์ เพื่อการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม. *วารสารแก่นเกษตร*, 41(4), 419–424.
- Arroyo Loranca, R. G., Rivera Pérez, C., Hernández Adame, L., Cruz Villacorta, A. A., Rodríguez López, J. L., & Hernández Saavedra, N. Y. (2023). Efecto de iones concentración de proteína Ps19, una proteína de la *Bombyx mori* and *Samia cynthia ricini*.
- Diningsih, C., & Rohmawati, L. (2022). Synthesis of calcium carbonate (CaCO₃) from eggshell by calcination method. *Indonesian Physical Review*, 5(3), 208–215. <https://doi.org>
- Jiang, Q., Han, Z., Yuan, Y., & Cheng, Z. (2021). Preparation and properties of floral CaO/ZnO composite from *Achatina fulica* snail shell. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 61841–61847. <https://doi.org/10.1007>