

การพัฒนาวัสดุหีบห่อจากจีโอพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มอัตราการรอดของหอยเป๋าฮื้อในระบบเพาะฟัก
และเสริมสร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจของชุมชนชายฝั่ง
Development of Geopolymer-Based Shelter to Enhance
the Survival Rate of Abalone in Hatchery Systems and Strengthen
the Economic Stability of Coastal Communities

ภัทรพล กัตติกมาส

ขุนทอง คล้ายทอง¹

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารามราชวิทยาลัย ปทุมธานี อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี 12140

Email: Pattarapol.kat@pcshspt.ac.th

บทคัดย่อ

หอยเป๋าฮื้อ (*Haliotis asinina*) เป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีมูลค่าสูง แต่การเพาะเลี้ยงยังประสบปัญหาอัตราการรอดต่ำในระยะตัวอ่อน เนื่องจากขาดวัสดุหีบห่อที่เหมาะสม วัสดุทั่วไป เช่น ท่อ PVC และปูนซีเมนต์ แม้หาง่ายและราคาถูก แต่มีข้อจำกัดด้านพื้นผิว ความทนทาน และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โครงการนี้มุ่งพัฒนาวัสดุหีบห่อจากจีโอพอลิเมอร์ที่ปลอดภัยและสอดคล้องกับพฤติกรรมของหอยเป๋าฮื้อ โดยศึกษาความเหมาะสมของสูตร พื้นผิว และรูปทรงที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า จีโอพอลิเมอร์ทุกสูตรมีความคงรูปดี ไม่มีการแตกร้าว และมีค่า pH อยู่ในช่วงปลอดภัย (7.75–8.15) โดยสูตร 10M มีสมบัติเด่นที่สุด ทั้งด้านความทนทานต่อน้ำทะเล การดูดซึมน้ำในระดับเหมาะสม และค่ากำลังอัดสูงสุดที่ 35.10 MPa ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานในระบบเพาะฟัก การศึกษารูปแบบทางกายภาพพบว่า พื้นผิวร่องคลื่นและรูปทรงช่องโพรงช่วยเพิ่มการยึดเกาะและอัตราการรอดของหอยได้มากที่สุด โดยมีอัตราการรอด $77.50 \pm 3.19\%$ และ $85.00 \pm 4.30\%$ ตามลำดับ เมื่อทดสอบในระบบเพาะฟักจริง วัสดุหีบห่อจีโอพอลิเมอร์ให้ค่าอัตราการรอดของหอยเป๋าฮื้อสูงสุด $90.83 \pm 1.67\%$ มากกว่าปูนซีเมนต์ ($84.17 \pm 1.67\%$) และ PVC ($65.79 \pm 1.49\%$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ การประเมินความคุ้มค่าพบว่าวัสดุจีโอพอลิเมอร์สร้างกำไรสูงสุด 42,723 บาทต่อตารางเมตร แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของจีโอพอลิเมอร์สูตร 10M ในการเพิ่มอัตราการรอดของหอยเป๋าฮื้อ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และส่งเสริมความมั่นคงทางเศรษฐกิจของชุมชนชายฝั่งได้อย่างเป็นรูปธรรม

คำสำคัญ: หอยเป๋าฮื้อ, วัสดุหีบห่อ, จีโอพอลิเมอร์

บทนำ

หอยเป๋าฮื้อ (Abalone) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Haliotis asinina* เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีมูลค่าในตลาดโลกสูงถึง 2.6 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ (Hernández-Casas, 2023) และอาจมีความต้องการในตลาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้การเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อในระบบฟาร์มได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เพื่อทดแทนการจับตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตามหนึ่งในอุปสรรคสำคัญของระบบเพาะฟักคือ อัตราการตายของตัวอ่อนอายุประมาณ 6 เดือน ที่สูงถึง 53.8% ก่อนเข้าสู่ระยะตัวเต็มวัย (Minh et al., 2010) ซึ่งสาเหตุเกิดจากขาดที่ยึดเกาะหรือแหล่งหลบซ่อนที่เหมาะสม ส่งผลให้ตัวอ่อนเกิดความเครียดและมีอัตราการรอดต่ำ (Hadijah, S. B., 2015) ดังนั้นชาวประมงจึงแก้ปัญหาโดยใช้วัสดุหีบห่อ

ปัจจุบันเกษตรกรมักใช้วัสดุอย่างท่อ PVC หรือปูนซีเมนต์เป็นที่หลบซ่อนในระบบเพาะฟัก เนื่องจากหาง่ายและมีต้นทุนต่ำ แต่กลับพบข้อจำกัดสำคัญ ได้แก่ ผิวสัมผัสไม่เหมาะกับการยึดเกาะ อายุการใช้งานสั้น และความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การปล่อยไมโครพลาสติกจาก PVC (Swietlik & Magnucka, 2023) หรือค่า pH ที่ไม่คงที่ของปูนซีเมนต์ ซึ่งอาจกระทบต่อการเจริญเติบโตของหอยเป๋าฮื้อ

เพื่อแก้ไขข้อจำกัดเหล่านี้ ผู้จัดทำจึงเสนอการใช้วัสดุทางเลือกคือ “จีโอพอลิเมอร์” ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นด้านความแข็งแรง ทนทานต่อสภาพแวดล้อมทางทะเล และสามารถออกแบบพื้นผิวให้สอดคล้องกับพฤติกรรมของหอยเป๋าฮื้อได้ (วิเชียร ชาติ, 2559) โดยโครงการนี้ครอบคลุมตั้งแต่การศึกษาพฤติกรรมของหอยเป๋าฮื้อ การ

ออกแบบและพัฒนาวัสดุ ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมี ทดลองใช้งานในระบบจริง ไปจนถึงการประเมิน ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและศักยภาพในเชิงพาณิชย์

การพัฒนาวัสดุหลบซ้อนจากจีโอพอลิเมอร์ใน ครั้งนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มอัตราการรอดของหอยเป่าอื้อ ในระบบเพาะฟักอย่างยั่งยืน ซึ่งไม่เพียงส่งผลดีต่อการเพิ่ม ผลผลิตและลดต้นทุนให้เกษตรกรรายฝั่ง แต่ยังเป็นการใช้ ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า โดยการนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ ใหม่ ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และรองรับการ ขยายตัวของตลาดหอยเป่าอื้อในอนาคต

วิธีการดำเนินงาน

1. การพัฒนาสูตรจีโอพอลิเมอร์ให้เหมาะสม ต่อการขึ้นรูปวัสดุหลบซ้อนและปลอดภัยต่อหอยเป่าอื้อ

เตรียมวัตถุดิบและสารเคมีเพื่อเป็นส่วนผสมขึ้น รูปตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์ในแต่ละสูตรตามตารางที่ 1

วัตถุดิบ	สูตร (กรัม)				
	6M	8M	10M	12M	14M
ถั่วลันเตา	420	420	420	420	420
ทราย	840	840	840	840	840
NaOH	140	140	140	140	140
	(6M)	(8M)	(10M)	(12M)	(14M)
Na ₂ SiO ₃	140	140	140	140	140

ขั้นตอนการเตรียมและทดสอบจีโอพอลิเมอร์

1) การขึ้นรูปตัวอย่าง เตรียมแบบหล่อทรง ลูกบาศก์ 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทาน้ำมันเครื่อง ด้านใน ผสมถั่วลันเตาและทรายในกะละมังให้เข้ากัน เติมน้ำ สารละลายต่าง ผสมให้เข้ากัน เทลงแบบหล่อ ใช้แท่งดำไล่ อากาศ เกรียงผิวหน้าให้เรียบ รอเซตตัว 24 ชั่วโมง แล้วจึง แกะออกจากแบบ หุ้มด้วยพลาสติกแรป และบ่มที่ อุณหภูมิห้อง 28 วัน

2) การทดสอบค่าความเป็นกรดต่าง (pH) แห่ ตัวอย่างในน้ำกลั่น 10 นาที่ ใช้เครื่องวัด pH ตรวจค่าทุก 2 นาที่ บันทึกผลและวิเคราะห์แนวโน้ม เลือกสูตรที่ให้ค่า pH อยู่ระหว่าง 7.5-8.5 สำหรับขั้นตอนถัดไป

3) การทดสอบการปล่อยสารพิษ บดตัวอย่าง ให้ผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร สกัดโลหะด้วยน้ำ บัฟเฟอร์กรดอะซิติก กรองและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS คัดเลือกสูตรที่ปลดปล่อยอยู่ในช่วงที่ไม่เป็นอันตราย

4) การทดสอบความทนทานต่อน้ำทะเล ชั่ง น้ำหนักก่อนแช่ แช่ในน้ำทะเล 12 สัปดาห์ แล้วนำไปอบที่ 110 ± 5 °C จนแห้ง แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง หาร้อยละ น้ำหนักที่สูญเสีย คัดสูตรที่เสียน้ำหนักมากที่สุดออก

5) การทดสอบการดูดซึมน้ำ อบตัวอย่างที่ 110 ± 5 °C จนแห้ง ชั่งน้ำหนักแห้ง แล้วแช่น้ำกลั่น 48 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักที่เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง คำนวณร้อยละ การดูดซึมน้ำ คัดออกสูตรที่ดูดซึมน้ำมากที่สุด

6) การทดสอบค่ากำลังอัด ใช้เครื่องทดสอบ แรงอัดขนาด 2,000 กิโลนิวตัน ทดสอบจนแตก บันทึกแรง สูงสุด คำนวณกำลังอัด เลือกสูตรที่ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด

2. การออกแบบลักษณะทางกายภาพของวัสดุ หลบซ้อนเพื่อเพิ่มอัตราการรอดของหอยเป่าอื้อ

1) การศึกษาการยึดเกาะและอัตราการรอด ของหอยเป่าอื้อต่อพื้นผิวแต่ละแบบ ออกแบบวัสดุพื้นผิว แบบเรียบลื่น ร่องคลื่น และรูพรุน ขนาด 400 ตาราง เซนติเมตรต่อด้าน ด้วยโปรแกรม Tinkercad และขึ้นรูป ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ นำวัสดุไปแช่ในบ่อเลี้ยงแยก ต่างหาก ปล่อยหอยเป่าอื้อลงไป สังเกตพฤติกรรมและ บันทึกจำนวนหอยที่เกาะและรอดชีวิตเป็นเวลา 4 สัปดาห์

2) การศึกษาการยึดเกาะและอัตราการรอด ของหอยเป่าอื้อต่อรูปทรงแต่ละแบบ ออกแบบวัสดุทรง แฉ่นเรียบโค้ง ช่องโพรง และกล่อ่ง ด้วยโปรแกรม Tinkercad โดยใช้พื้นผิวที่ให้ผลดีที่สุดจากตอนที่ 1 และ ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ นำวัสดุไปแช่ในบ่อเลี้ยงแยก ต่างหาก ปล่อยหอยเป่าอื้อลงไป สังเกตพฤติกรรมและ บันทึกจำนวนหอยที่เกาะและรอดชีวิตเป็นเวลา 4 สัปดาห์

3. การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุหลบซ้อน โดยศึกษาพฤติกรรมหอยเป่าอื้อในระบบเพาะฟัก

1) การสังเกตพฤติกรรมการยึดเกาะของหอย เป่าอื้อต่อวัสดุหลบซ้อนจีโอพอลิเมอร์ในแต่ละช่วงเวลา นำวัสดุหลบซ้อนจากจีโอพอลิเมอร์ที่พัฒนาแล้วไปแช่ใน บ่อเลี้ยง จากนั้นปล่อยหอยเป่าอื้อลงไปและสังเกต พฤติกรรมการยึดเกาะในช่วงกลางวันและกลางคืน เป็น ระยะเวลา 2 สัปดาห์ โดยสังเกตและตรวจสอบความปกติ ของพฤติกรรมในแต่ละช่วงเวลา

2) การทดสอบวัสดุหลบซ้อนจีโอพอลิเมอร์ เพื่อเพิ่มอัตราการรอดของหอยเป่าอื้อเทียบกับวัสดุ แบบเดิมในระบบเพาะฟัก เตรียมวัสดุหลบซ้อนจากจีโอ พอลิเมอร์ที่พัฒนาแล้ว พร้อมวัสดุหลบซ้อน PVC และ ปูนซีเมนต์ที่ใช้ทั่วไป นำไปแช่แยกในบ่อเลี้ยงแต่ละบ่อ ปล่อยหอยเป่าอื้อลงไป สังเกตและบันทึกจำนวนที่เกาะ และรอดชีวิตบนวัสดุเป็นเวลา 4 สัปดาห์

4. การคำนวณความคุ้มค่าของการใช้วัสดุ หลบซ่อนในระบบเพาะพัก

คำนวณจากสูตรดังต่อไปนี้

ต้นทุนวัสดุ (บาท)

= ราคาวัสดุต่อหน่วย (บาท) / จำนวนที่ต้องใช้ต่อบ่อ

รายได้ (บาท)

= [จำนวนหอยเริ่มต้น (ตัว) / อัตราการรอด] ×
[น้ำหนักต่อตัว (กิโลกรัม)] × ราคาขาย (บาท/กิโลกรัม)

กำไร (บาท)

= รายรับ (บาท) - ต้นทุนวัสดุ (บาท)

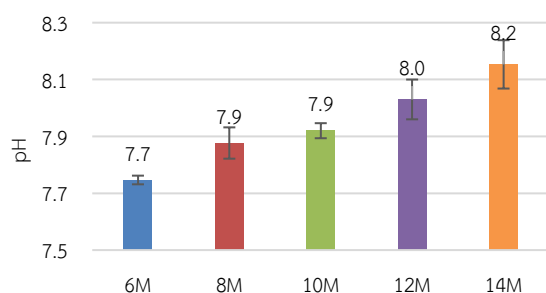
กำไรต่อตารางเมตร (บาท/ตารางเมตร)

= กำไร (บาท) / พื้นที่วัสดุหลบซ่อนต่อขึ้น (ตารางเมตร)

ผลและอภิปรายผล

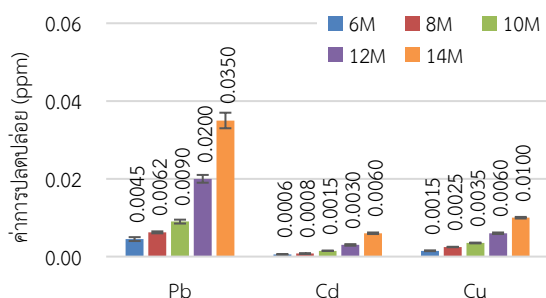
1. การพัฒนาสูตรจีโอพอลิเมอร์ให้เหมาะสม ต่อการขึ้นรูปวัสดุหลบซ่อนและปลอดภัยต่อหอยเป่าฮือ

จากการขึ้นรูปและบ่ม พบว่า ตัวอย่างทุกสูตรมี
ประสิทธิภาพในการคงรูปได้โดยไม่แตกร้าว จึงนำไป
ทดสอบค่าความเป็นกรดต่าง (pH) พบว่า ทุกสูตรอยู่ใน
ช่วงปลอดภัย ดังกราฟที่ 1



กราฟที่ 1 ผลการทดสอบ pH ที่ปลดปล่อย

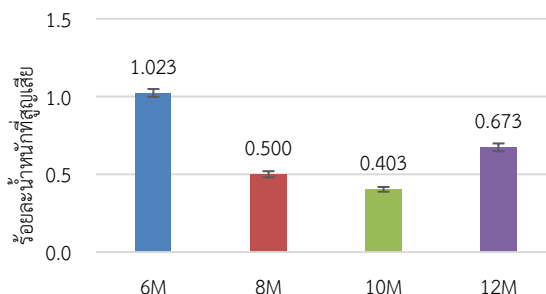
จากนั้นทดสอบการปลดปล่อยสารพิษ พบว่า สูตร 14M
มีการปลดปล่อยสารพิษมากที่สุด และมากกว่ามาตรฐาน
ความปลอดภัยต่อสัตว์น้ำ จึงถูกคัดออก ดังกราฟที่ 2



กราฟที่ 2 ผลการทดสอบการปลดปล่อยสารพิษ

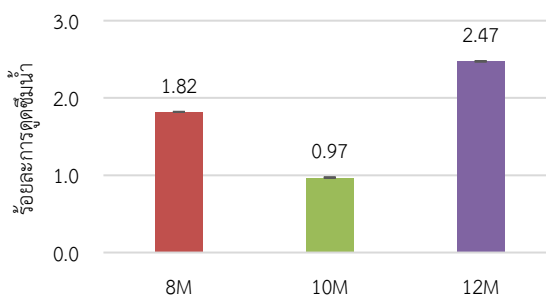
จากนั้นทดสอบความทนทานต่อการถูกกัดกร่อนจากน้ำ
ทะเล พบว่า ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักระหว่างก่อนแช่
และหลังแช่น้ำทะเลของทุกสูตรแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยสูตร 6M มีร้อยละการสูญเสีย
น้ำหนักจากการถูกกัดกร่อนจากน้ำทะเลมากที่สุด จึงถูก
คัดออก ดังกราฟที่ 4.3



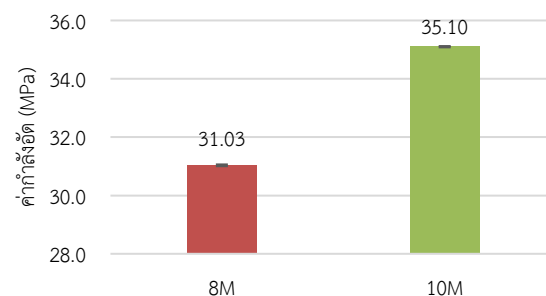
กราฟที่ 3 ผลการทดสอบการสูญเสียน้ำหนักจากการกัดกร่อนโดยน้ำทะเล

จากนั้นทดสอบการดูดซึมน้ำ พบว่า ร้อยละการดูดซึมน้ำ
ของทุกสูตรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดย
สูตร 12M มีร้อยละการดูดซึมน้ำอยู่มากที่สุด จึงถูกคัด
ออก ดังกราฟที่ 4



กราฟที่ 4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

จากนั้นทดสอบค่ากำลังอัด พบว่า ค่ากำลังของทุกสูตร
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยสูตร 10M มีค่า
กำลังอัดมากที่สุด จึงเลือกเป็นสูตรที่จะนำไปพัฒนาต่อไป
ดังกราฟที่ 4.5



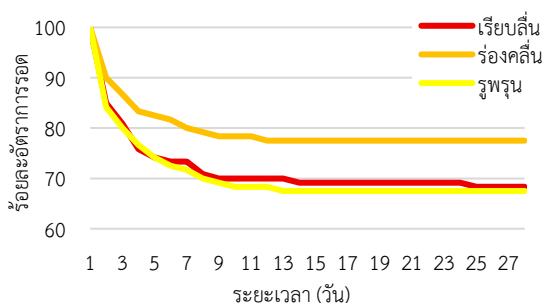
กราฟที่ 5 ผลการทดสอบค่ากำลังอัด

โดยสูตร 10M ถูกคัดเลือกเนื่องจากมีคุณสมบัติ
เหมาะสม เนื่องจากขึ้นรูปได้ดี ไม่แตกร้าว มี pH อยู่ในช่วง
ปลอดภัยใกล้เคียงน้ำทะเล (7.8–8.3) ไม่ปลดปล่อยโลหะ
หนักเกินค่ามาตรฐาน (FAO, 2021) นอกจากนี้ยังทนต่อ
น้ำทะเลและดูดซึมน้ำในระดับที่เหมาะสม แสดงถึงความ

เสถียรในสภาวะแวดล้อมเปียกชื้น สอดคล้องกับ Turner & Collins (2013) ที่ชี้ว่าโครงสร้างจีโอพอลิเมอร์ที่สมดุลจะช่วยลดการเสื่อมสภาพเมื่อสัมผัสน้ำทะเลต่อเนื่อง และด้วยค่ากำลังอัดที่วัดได้ จึงมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งานในระบบเพาะพักที่ต้องเผชิญแรงไหลของน้ำและการเคลื่อนไหวของหอย (Zhang et al., 2020)

2. การออกแบบลักษณะทางกายภาพของวัสดุหลบซ่อนให้สอดคล้องต่อพฤติกรรมหอยเป่าอื้อ

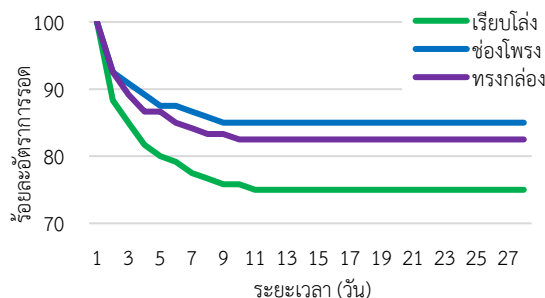
1) การศึกษาการยึดเกาะและอัตราการรอดของหอยเป่าอื้อต่อพื้นผิวแต่ละแบบ จากการศึกษาการยึดเกาะและอัตราการรอดของหอยเป่าอื้อต่อพื้นผิววัสดุต่าง ๆ ภายในระยะเวลา 28 วัน พบว่า แบบผิวร่องคลื่น มีจำนวนหอยเป่าอื้อยึดเกาะมากที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละอัตราการรอดอยู่ที่ 77.50 ± 3.19 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับแบบรูปพรุน และแบบเรียบลื่น ดังผลในกราฟที่ 6



กราฟที่ 6 อัตราการรอดของหอยเป่าอื้อในช่วง 28 วันบนพื้นผิววัสดุที่ต่างกัน

หอยเป่าอื้อมีแนวโน้มยึดเกาะบนพื้นผิวร่องคลื่นมากกว่าผิวเรียบและผิวรูปพรุน เนื่องจากคล้ายสภาพธรรมชาติ ทำให้เกาะได้มั่นคงแม้มีกระแสน้ำพัดพา (Xi et al., 2023) ส่วนผิวรูปพรุนแม้เพิ่มพื้นที่เกาะแต่อาจเป็นแหล่งสะสมสิ่งสกปรกและไม่เหมาะกับการยึดเกาะ ขณะที่ผิวเรียบลื่นให้ผลต่ำสุด สอดคล้องกับ Gysbers et al. (2024) ที่พบว่าพื้นผิวแบบร่องคลื่น (Ridged) ช่วยเพิ่มการเกาะในสภาวะน้ำไหล

2) การศึกษาการยึดเกาะและอัตราการรอดของหอยเป่าอื้อต่อรูปทรงแต่ละแบบ จากการศึกษาการยึดเกาะและอัตราการรอดของหอยเป่าอื้อต่อรูปทรงแบบต่าง ๆ ภายในระยะเวลา 28 วัน พบว่า ช่องโพรง และทรงกล่อ่ง มีจำนวนหอยเป่าอื้อยึดเกาะมากที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละอัตราการรอดอยู่ที่ 85.00 ± 4.30 และ 82.50 ± 4.19 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P = 0.44$) และมากกว่าแบบเรียบลื่น ดังกราฟที่ 7



กราฟที่ 7 อัตราการรอดของหอยเป่าอื้อในช่วง 28 วันบนรูปทรงวัสดุที่ต่างกัน

หอยเป่าอื้อมีแนวโน้มยึดเกาะและมีอัตราการรอดสูงสุดบนวัสดุทรงช่องโพรง และทรงกล่อ่ง โดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่สูงกว่าแผ่นเรียบลื่น เนื่องจากโครงสร้างที่ซับซ้อนและมีพื้นที่หลบซ่อนมาก ช่วยเพิ่มโอกาสการรอดของหอยเป่าอื้อ คล้ายกับที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติ เช่น โพรงหินหรือแนวปะการัง ซึ่งช่วยลดความเครียดจากกระแสน้ำและการถูกรบกวนจากศัตรู (Swain & Andelman, 1999) อย่างไรก็ตาม แม้ทรงกล่อ่งจะให้ผลใกล้เคียงกับช่องโพรง แต่การไหลเวียนของน้ำอาจต่ำกว่า ส่งผลให้เกิดการสะสมของเศษอินทรีย์วัตถุได้ง่าย สอดคล้องกับ Xi et al. (2023) ที่ระบุว่าโครงสร้างซับซ้อนส่งเสริมการอยู่รอดของสัตว์ทะเลภายใต้สภาวะน้ำไหล แต่ต้องสมดุลกับการระบายของเสียในระบบน้ำ

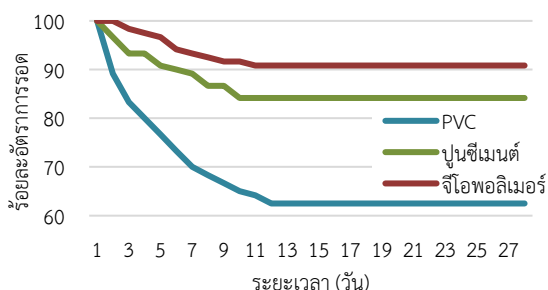
3. การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุหลบซ่อนโดยศึกษาพฤติกรรมหอยเป่าอื้อในระบบเพาะพัก

1) การสังเกตพฤติกรรมการยึดเกาะของหอยเป่าอื้อต่อวัสดุหลบซ่อนจีโอพอลิเมอร์ในแต่ละช่วงเวลา เมื่อออกแบบแบบหลบและขึ้นรูปวัสดุหลบซ่อนจากจีโอพอลิเมอร์เรียบร้อยแล้ว เราทำการศึกษาพฤติกรรมการยึดเกาะของหอยเป่าอื้อ จากการศึกษาพบว่า หอยเป่าอื้อประมาณ 22-25 ตัว (75%-85%) จะหลบซ่อนภายในวัสดุหลบซ่อนจีโอพอลิเมอร์ในช่วงกลางวัน ส่วนที่เหลือประมาณ 5-8 ตัว พบยึดเกาะอยู่บนผนังหรือพื้นบ่อโดยไม่มีอาการเครียดหรือพฤติกรรมผิดปกติ เช่น การปล่อยตัวหรือหลุดเกาะ ช่วงกลางคืนหอยเกือบทั้งหมด (>90%) เคลื่อนไหวออกจากวัสดุหลบซ่อนเพื่อมากินสาหร่าย และกลับเข้าไปพักเมื่อเริ่มมีแสงในตอนเช้า ทั้งนี้ภายในระยะเวลาการทดลอง 2 สัปดาห์ ไม่พบการตายหรืออ่อนแรง หอยทุกตัวสามารถเคลื่อนไหวและยึดเกาะได้ตามปกติ และไม่พบการเปลี่ยนสีของเปลือก เมื่อถูกหรืออาการที่บ่งบอกความอึดอัดแต่อย่างใด

หอยเป่าอื้อส่วนใหญ่หลบซ่อนภายในวัสดุจีโอพอลิเมอร์ในช่วงกลางวันและออกหาอาหารช่วงกลางคืน ซึ่งเป็นพฤติกรรมปกติที่มีอาศัยในที่มืดเพื่อหลีกเลี่ยงแสง (Setyono et al., 2020) หอยทุกตัว

เคลื่อนไหวและยึดเกาะได้ตามปกติโดยไม่พบการตายหรืออาการเครียด แสดงว่าวัสดุหลบบ่อนจีโอพอลิเมอร์ไม่ก่อพิษในสภาพน้ำทะเล สอดคล้องกับ Gao et al. (2022) ที่รายงานว่าวัสดุอินทรีย์ที่มี pH ใกล้เคียงน้ำทะเลและพื้นผิวเสถียรช่วยคงพฤติกรรมธรรมชาติของสัตว์ทะเลได้ดี นอกจากนี้ การหลบบ่อนในวัสดุยังลดความเครียดและเพิ่มความปลอดภัยจากกระแสน้ำหรือศัตรู (Swain & Andelman, 1999) จึงสรุปได้ว่าวัสดุหลบบ่อนจีโอพอลิเมอร์มีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของหอยเป่าฮื้อ และสามารถประยุกต์ใช้ในระบบเพาะเลี้ยงได้อย่างปลอดภัย

2) การทดสอบวัสดุหลบบ่อนจีโอพอลิเมอร์ เพื่อเพิ่มอัตราการรอดของหอยเป่าฮื้อเทียบกับวัสดุแบบเดิมในระบบเพาะพัก จากการศึกษาการยึดเกาะและอัตราการรอดของหอยเป่าฮื้อต่อวัสดุหลบบ่อนต่าง ๆ ในระบบเพาะพัก เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่า วัสดุหลบบ่อนจีโอพอลิเมอร์ มีจำนวนหอยเป่าฮื้อยึดเกาะมากที่สุด คิดเป็นร้อยละอัตราการรอดอยู่ที่ 90.83 ± 1.67 รองลงมา เป็นวัสดุหลบบ่อนปูนซีเมนต์ และ PVC อยู่ที่ร้อยละ 84.17 ± 1.67 และ 65.79 ± 1.49 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังกราฟที่ 8

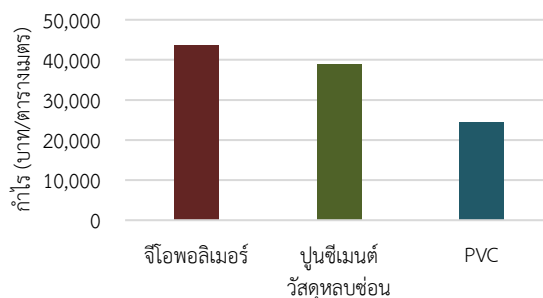


กราฟที่ 8 อัตราการรอดของหอยเป่าฮื้อในช่วง 28 วันบนวัสดุหลบบ่อนที่ต่างกัน

วัสดุหลบบ่อนจีโอพอลิเมอร์มีความเหมาะสมที่สุดในระบบเพาะพัก เนื่องจากมีผิวขรุขระและมีช่องโพรงให้หอยเป่าฮื้อเข้ายึดเกาะและกระจายตัวได้ดี ภายใต้สภาพน้ำไหลแรงและความหนาแน่นสูง สอดคล้องกับ Yang et al. (2017) ที่ชี้ว่าพื้นผิวขรุขระและแสงน้อยช่วยเพิ่มอัตราการรอด ส่วนวัสดุหลบบ่อนปูนซีเมนต์ มีความเป็นด่างในช่วงแรกซึ่งก่อความเครียดต่อหอย ส่วนวัสดุหลบบ่อน PVC มีผิวเรียบลื่น ทำให้หอยเกาะได้ไม่ดี โดยเฉพาะในน้ำไหลแรง สอดคล้องกับ Lee et al. (2019) ที่พบว่าวัสดุพื้นผิวหยาบและทนแรงน้ำช่วยเพิ่มอัตราการรอด อีกทั้งวัสดุจีโอพอลิเมอร์ยังสอดคล้องกับ FAO (2021) ที่แนะนำวัสดุที่ค่า pH ใกล้เคียงน้ำทะเลและปลอดสารพิษ เพื่อส่งเสริมสุขภาพหอยเป่าฮื้อ

4. การคำนวณความคุ้มค่าของการใช้วัสดุหลบบ่อนในระบบเพาะพัก

จากการประเมินความคุ้มค่าโดยเทียบกำไรต่อตารางเมตร พบว่า วัสดุหลบบ่อนจีโอพอลิเมอร์มีความคุ้มค่ามากที่สุด โดยทำกำไรอยู่ที่ 42,723 บาทต่อตารางเมตร รองลงมาเป็นวัสดุหลบบ่อนปูนซีเมนต์ และ PVC อยู่ที่ 39,776 และ 30,829 บาทต่อตารางเมตร ตามลำดับ ดังกราฟที่ 9



กราฟที่ 9 กำไรจากผลผลิตหอยเป่าฮื้อต่อตารางเมตรของวัสดุหลบบ่อนแบบต่าง ๆ

วัสดุจีโอพอลิเมอร์ให้กำไรสูงสุดอยู่ที่ 42,723.40 บาทต่อตร.ม. เนื่องจากอัตราการรอดของหอยเป่าฮื้อสูงถึง 90.83% ทำให้สร้างรายได้มากกว่าวัสดุหลบบ่อนอื่น แม้ต้นทุนต่อหน่วยจะไม่ต่ำที่สุด แต่อัตราการรอดของหอยเป่าฮื้อ ความทนทาน และเหมาะสมกับสภาพน้ำทะเล ทำให้คุ้มค่าระยะยาว สอดคล้องกับ FAO (2021) และ Yang et al. (2017) ที่ชี้ว่าวัสดุพื้นผิวขรุขระและปลอดสารพิษช่วยเพิ่มอัตราการรอด นำมาสู่การเพิ่มรายได้เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจของชุมชนชายฝั่งได้ในอนาคต

สรุปผล

1. การพัฒนาสูตรจีโอพอลิเมอร์ให้เหมาะสมต่อการขึ้นรูปวัสดุหลบบ่อนและปลอดภัยต่อหอยเป่าฮื้อ

จีโอพอลิเมอร์สูตร 10M มีคุณสมบัติเด่นที่สุด โดยสามารถขึ้นรูปได้ดี ไม่แตกร้าว มี pH อยู่ในช่วงปลอดภัย ไม่ปลดปล่อยโลหะหนักเกินมาตรฐาน (FAO, 2021) มีความทนทานต่อน้ำทะเลสูง รวมถึงมีค่าการดูดซึมน้ำในระดับเหมาะสม แสดงถึงความเสถียรของโครงสร้างในสภาวะแวดล้อมเปียกชื้น อีกทั้งมีกำลังอัดที่เพียงพอต่อการใช้งานในระบบเพาะพักที่ต้องรับแรงจากการไหลของน้ำและการเคลื่อนไหวของหอยเป่าฮื้อ จึงเหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาต่อเป็นวัสดุหลบบ่อนชีวภาพในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2. การออกแบบลักษณะทางกายภาพของวัสดุ หลบซ่อนให้สอดคล้องต่อพฤติกรรมหอยเป่าอื้อ

พื้นผิวร่องคลื่นและรูปทรงที่มีช่องหลบซ่อน เช่น ช่องโพรง และทรงกล่อ่ง ช่วยเพิ่มการยึดเกาะและอัตราการรอดของหอยเป่าอื้อได้ดีกว่าพื้นผิวเรียบหรือรูปทรง โดยพื้นผิวร่องคลื่นให้ผลอัตราการรอดสูงสุด และวัสดุทรงช่องโพรงมีอัตราการรอดสูงสุด โครงสร้างที่มีความซับซ้อนช่วยให้หอยเป่าอื้อรู้สึกปลอดภัย ลดแรงกระทำจากกระแสน้ำ และเลียนแบบแหล่งอาศัยตามธรรมชาติ เช่น โพรงหิน หรือแนวปะการัง จึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุหลบซ่อนในระบบเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มอัตราการรอดของหอยเป่าอื้อ

3. การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุหลบซ่อน โดยศึกษาพฤติกรรมหอยเป่าอื้อในระบบเพาะพัก

หอยเป่าอื้อส่วนใหญ่หลบซ่อนภายในวัสดุช่วงกลางวันและออกหาอาหารช่วงกลางคืน โดยไม่พบการตายหรืออาการเครียดใด ๆ แสดงว่าวัสดุไม่ก่อพิษและคงพฤติกรรมธรรมชาติของสัตว์ได้ดี อัตราการรอดของหอยเป่าอื้อสูงสุดอยู่ที่วัสดุจีโอพอลิเมอร์ รองลงมาคือปูนซีเมนต์ และ PVC ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การยึดเกาะและอัตราการรอดที่สูงของจีโอพอลิเมอร์เกิดจากพื้นผิวขรุขระและช่องโพรงที่ช่วยให้หอยกระจายตัวได้ดี ลดแรงกระทำจากกระแสน้ำ และเลียนแบบแหล่งอาศัยธรรมชาติ จึงเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงเชิงระบบ

4. การคำนวณความคุ้มค่าของการใช้วัสดุ หลบซ่อนในระบบเพาะพัก

วัสดุหลบซ่อนจากจีโอพอลิเมอร์ที่พัฒนาแล้วสามารถใช้งานได้จริงในระบบเพาะพัก และช่วยเพิ่มอัตราการรอดของหอยเป่าอื้อได้อย่างมีนัยสำคัญ นำมาสู่การเพิ่มรายได้เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจของชุมชนชายฝั่งได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายขุนทอง คล้ายทอง ครูที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขจุดบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้โครงการชิ้นนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ดร. สมร ปาโท ผู้อำนวยการโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี ที่อนุญาตให้คณะผู้ทำโครงการได้จัดทำโครงการ อนุญาตให้ใช้พื้นที่ในโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี ในการทำการทดลอง

ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ประจวบคีรีขันธ์ คุณกาญจนา

และคุณศราวุธ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าศึกษาดูงาน ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ประจวบคีรีขันธ์ ตลอดจนช่วยเหลือในการเตรียมการทดลองจนสำเร็จจุลวงไปได้ด้วยดี

สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้จัดการประกวดโครงงานวิทยาศาสตร์นี้ขึ้นมา ซึ่งเป็นโอกาสอันดี ที่ทำให้คณะผู้จัดทำได้นำเสนอโครงงานวิทยาศาสตร์ที่ดำเนินการมาจนเสร็จสิ้น

เอกสารอ้างอิง

Capinpin, E. C., Toledo, J. D., Encena II, V. C., & Doi, M. (1998). Biology and culture of the tropical abalone *Haliotis asinina* Linnaeus. *Aquaculture*, 165(1–2), 321–336. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00271-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00271-6)

Davidovits, J. (2015). *Geopolymer chemistry and applications* (4th ed.). Institut Géopolymère.

Fleming, A. E., Hone, P. W., & Smith, B. (1996). The effect of stocking density on the growth and survival of juvenile greenlip abalone (*Haliotis laevigata*) in a semi-closed recirculating system. *Aquaculture*, 139(1–2), 129–136. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01162-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01162-3)

Garcia, M. A., Lopez, P. R., & Fernandez, J. (2018). Effects of substrate complexity on shelter use and aggregation in juvenile fish. *Aquatic Ecology*, 52(3), 375–385. <https://doi.org/10.1007/s10452-018-9642-7>



The 6th PCSHS Science Symposium 2026
"Driving the Future with Scientific Innovation"