



การประยุกต์ใช้เศษคอนกรีตมวลเบาสำหรับเป็นวัสดุยึดเกาะของแบคทีเรีย เพื่อใช้บำบัดน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

Application of lightweight concrete scraps as a bacteria anchoring material for treating aquaculture water

สิริพงษ์ วงศ์พรประทีป^{1*}, พงศ์พิราม ฤทธิกาญจน์¹, วาริสา แทนมณี¹ และ ชญาดา วงศ์พรประทีป²

Siripong Wongphonprateep^{1*}, Phongpiram Rittikan¹, Warisa Tanmanee¹ and Chayada Wongphonprateep²

¹ สาขาวิทยาศาสตร์เกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

¹ Agricultural Sciences, Department Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, 80110

² กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10900

² Soil Resources Survey and Research Division, Land Development Department, Bangkok, 10900

บทคัดย่อ: คุณภาพน้ำที่สำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ สารประกอบไนโตรเจน เช่น แอมโมเนีย ไนไตรท์ ที่มาจากเศษอาหารที่เหลือในบ่อเลี้ยง เศษซากสิ่งมีชีวิตที่ตายในบ่อเลี้ยง การบำบัดน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนิยมใช้แบคทีเรียต้องการออกซิเจน ต้องอาศัยพื้นที่ยึดเกาะ เช่น ปะการัง หรือ หินภูเขาไฟ ซึ่งในปัจจุบันต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาสูง จึงจำเป็นต้องหาวัสดุทดแทนที่มีราคาถูก ร่วมกับการใช้แบคทีเรียเพื่อบำบัดน้ำ จึงเป็นที่มาของการวิจัยเพื่อใช้เศษอิฐมวลเบาเพื่อเป็นที่อยู่แบคทีเรียชนิด *Bacillus subtilis* เพื่อการบำบัดน้ำ โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้ (1) วิเคราะห์พื้นผิววัสดุด้วยการถ่ายภาพพื้นผิวของวัตถุ (2) การหาปริมาณของฝุ่นละอองน้ำ (3) ศึกษาคุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป (4) ทดสอบการเป็นที่อยู่ของแบคทีเรีย ผลการศึกษาสามารถแบ่งเศษอิฐมวลเบา (LCS) ออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ 25-30 (S), 35-40 (M) และ 41-45 (L) มม. (1) พื้นผิวของอิฐมวลเบาที่มีรูพรุนที่พื้นผิวขนาด 200 ไมโครเมตร คิดเป็น 5% ของพื้นที่ผิว (2) เมื่อนำอิฐไปแช่น้ำพบว่าอิฐมีการละลายน้ำเล็กน้อย โดยเป็นฝุ่นละอองน้ำอยู่ที่ 9-10% ของน้ำหนักแห้ง (3) เมื่อใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวกรองชีวภาพ พบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่าง, ค่าของแข็งละลายน้ำ และค่าความเป็นด่างจะมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาที่อิฐแช่อยู่ในน้ำ ($P < 0.05$) แต่ไม่เกินกว่าค่าที่เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำ (4) การเป็นที่อยู่ของแบคทีเรียในระบบกรองน้ำพบว่าอิฐขนาด 35-40 (M) มม. มีปริมาณแบคทีเรียที่ผิวสูงกว่าชุดทดลองอื่นๆ ($P < 0.05$) แต่ลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ไม่แตกต่างกับชุดการทดลองอื่น ($P > 0.05$) โดยการใช้เศษอิฐมวลเบาทั้งสามขนาดมีคุณสมบัติที่นำมาใช้ทดแทนหินภูเขาไฟในระบบการกรองชีวภาพเพื่อการเลี้ยงสัตว์น้ำได้

คำสำคัญ: เศษคอนกรีตมวลเบา; แบคทีเรียบำบัดน้ำ; บาซิลลัส ซับทิลิส; คุณภาพน้ำ; วัสดุกรองชีวภาพ

ABSTRACT: An important factor in water quality for aquaculture is the presence of nitrogen compounds such as ammonia and nitrite originating from leftover feed and the debris of dead organisms in the pond. Anchoring materials for water treatment bacteria such as corals or volcanic rocks are commonly used. However, these materials are currently expensive and need to be imported. Utilization of an alternative low-cost bacterial anchoring material (lightweight concrete scraps: LCS) in combination with inoculation of *Bacillus subtilis* for water treatment was conducted. This research involved the following steps: (1) analyzed the surface of LCS through surface imaging, (2) determined the percentage of dissolved dust, (3) monitored changes in water quality,

* Corresponding author: Siripong.w@mutsv.ac.th

Received: date; October 9, 2024 Revised: date; January 7, 2025

Accepted: date; January 8, 2025 Published: date; May 30, 2025

and (4) measured the bacterial habitation on LCS. The results showed that LCS which were divided into three size categories: 25-30 mm (S), 35-40 mm (M), and 41-45 mm (L) (1), had a porous structure with pore size of approximately 200 micrometers. These pores occupied around 5% of LCS's total surface area. (2) When soaked in water, the LCS exhibited slight solubility with dissolved dust around 9–10% of its dry weight. (3) The study found that the alkaline, total soluble solid, and pH increased as LCS submerge times increased ($P < 0.05$). However, these parameters are still in acceptable limits for aquaculture. (4) Additionally, the use of 35–40 mm LCS resulted in a significantly higher bacterial count compared to the other experimental sets ($P < 0.05$). The LCS slightly reduced levels of ammonia and nitrite in the water. However, LCS (regardless of size) was not significantly different in terms of water quality parameters compared to other experimental sets ($P > 0.05$). These properties demonstrate that LCS can serve as a substitute material for lava rock in aquaculture biofiltration systems.

Keywords: lightweight concrete scraps; water treatment bacteria; *Bacillus subtilis*; water quality; biofilter media

บทนำ

ปัจจุบันกิจกรรมการผลิตภาคอุตสาหกรรมมีความพยายามใช้การผสมผสานเศรษฐกิจชีวภาพแบบหมุนเวียน โดยคำนึงถึงความยั่งยืนของทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม กรณีของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการขยับขยายของเสียจากตัวสัตว์น้ำที่เลี้ยง เศษอาหารที่เหลือซากเน่าเปื่อยของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมทั้งการตายของแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ สิ่งเหล่านี้เป็นที่มาของสารประกอบไนโตรเจนที่มีในบ่อเลี้ยง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นสูงในระบบน้ำหมุนเวียน จำเป็นที่จะต้องมีการจัดการสิ่งขยับขยายจากสัตว์น้ำ (von Ahnen et al., 2015) ซึ่งในปัจจุบันมีความจำเป็นอย่างมากเนื่องจากความเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะทรัพยากรน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการเจือปนด้วยสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (Nicula et al., 2022) กรองชีวภาพในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำถูกผลิตจากวัสดุหลากหลายชนิด อาทิเช่น เศษไม้ เปลือกหอย กรวด ดินเผา เซรามิก ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว แกลบ ทราาย ไฟเบอร์กลาส พลาสติก ซีโอไลต์ หินภูเขาไฟซึ่งสามารถเก็บกักน้ำและอากาศได้ดี และมีค่าจนถึงปัจจัยต่างๆ ประกอบด้วย เช่น ขนาดของวัสดุกรอง, การคงตัว, การเสื่อมสภาพ, pH ที่เหมาะสม กรองชีวภาพในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบันถูกผลิตจากวัสดุหลากหลายชนิด อาทิเช่น เศษไม้ เปลือกหอย กรวด ดินเผา เซรามิก ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว แกลบ ทราาย ไฟเบอร์กลาส พลาสติก ซีโอไลต์ หินภูเขาไฟ ซึ่งสามารถเก็บกักน้ำและอากาศได้ดี (Emily et al., 2023) นอกจากนี้วัสดุบำบัดน้ำที่ดีจะสามารถลดปริมาณแอมโมเนีย และส่งเสริมการเพิ่มจำนวนของไนโตรฟิกเคชันแบคทีเรีย (Nitrification Bacteria) ในสกุลของ Nitrosomonas และ Nitrobacter ตัวกรองชีวภาพที่มีพื้นที่ผิวต่อหน่วยปริมาตรสูงกว่าจะมีประสิทธิภาพและประหยัดกว่าเมื่อเทียบกับตัวกรองชีวภาพที่มีพื้นที่ผิวดำ ซึ่งต้นทุนของการติดตั้งตัวกรองชีวภาพในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนที่ทันสมัย คิดเป็น 10-30% ของต้นทุนทั้งหมด (Mnyoro et al., 2022) ดังนั้นแนวคิดในการบำบัดน้ำแบบหมุนเวียนโดยอาศัยแบคทีเรียและการหาสิ่งยึดเกาะที่เหมาะสม และมีราคาถูก จึงมีความน่าสนใจในการนำวัสดุชนิดใหม่มาใช้ในการบำบัดน้ำ

อิฐมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ปูนซีเมนต์ ทราาย ปูนขาว ยิปซัม น้ำ และผงอลูมิเนียมเนื่องจากมีน้ำหนักน้อยกว่าอิฐชนิดอื่นๆ ด้วยเทคโนโลยีการผลิตให้พองอากาศแทรกอยู่ประมาณ 75 % จึงทำให้อิฐเบาลอยน้ำได้ พองอากาศจะเป็นลักษณะ closed cell ไม่ดูดซึมน้ำ (Chansuvarn, 2014) แต่ส่งผลให้อิฐมวลเบา มีคุณสมบัติที่แข็งแรงและเปราะ ส่งผลให้กระบวนการผลิตและการก่อสร้างจะเกิดการแตกหักของอิฐมวลเบาเป็นจำนวนมาก ซึ่งอิฐมวลเบาเหล่านี้จะถูกนำกลับไปบดเพื่อที่จะนำกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตซ้ำอีกครั้ง ส่งผลให้เกิดฝุ่นผงขนาดเล็ก ส่งผลกระทบต่อคนและสิ่งแวดล้อมในบริเวณรอบโรงงานผลิต ผู้วิจัยได้รับทราบปัญหาดังกล่าวจากผู้ผลิตที่ต้องการนำเศษอิฐกลับไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากมีอิฐที่ไม่ผ่านมาตรฐานในกระบวนการผลิตถึง 5 ตันต่อวัน (ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต) จากการศึกษาองค์ประกอบของพื้นผิวของอิฐมวลเบาที่มีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก (Suebbuakaew et al., 2012) ทำให้เกิดแนวคิดที่จะหากรรมวิธีเพื่อนำมาใช้แทนวัสดุกรองและบำบัดน้ำในท้องตลาดจากเดิมใช้ปะการังที่ผิวดูหมาย หินภูเขาไฟที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ หรือวัสดุสังเคราะห์อื่น เช่น พลาสติกโพลีไวนิล คลอไรด์ (PVC) และ โพลีเอทิลีน (PE) ที่มีราคาสูงและความกังวลว่าเมื่อเสื่อมสภาพอาจกลายเป็นแหล่งสร้างไมโครพลาสติกลงสู่แหล่งน้ำ (Mnyoro et al., 2022) ด้วยคุณสมบัติของอิฐมวลเบาที่มีลักษณะเป็นรูพรุนน่าจะมีความเหมาะสม

ในการเป็นที่ย่อยของแบคทีเรียได้ Thaneerat (2010) กล่าวว่า *Bacillus* ทำหน้าที่ในการใช้เป็นโปรไบโอติกเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหารทำให้สัตว์น้ำโตเร็ว หรือใส่ลงในน้ำ เพื่อใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อเลี้ยง และยังสามารถลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนด้วยกระบวนการ Nitrification ในสภาวะมีอากาศได้ (Thaneerat, 2010)

คณะผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะใช้ประโยชน์จากเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรียที่มีราคาถูกกว่าวัสดุกรองในท้องตลาด และยังมีลักษณะพื้นผิวเป็นรูพรุนซึ่งคาดว่าเหมาะแก่การให้แบคทีเรียมายึดเกาะ เพื่อเพิ่มจำนวนได้ เมื่อมีปริมาณแบคทีเรียจำนวนมากขึ้นจะส่งผลให้สารประกอบไนโตรเจนในน้ำลดลงด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน การนำอิฐมวลเบาที่ผ่านการบำบัดแบบหยาบให้มีขนาดเล็กลง มาแยกออกมา 3 ขนาด เปรียบเทียบกับหินภูเขาไฟซึ่งเป็นวัสดุกรองที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และในการทดลองเลือกใช้แบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus* ที่มีขายทั่วไป และทราบความเข้มข้นที่แน่นอน และเป็นที่ยอมรับของเกษตรกรทั่วไปทดแทน *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* ที่จำเป็นต้องเพาะขยายขึ้นเอง (ข้อจำกัดทางด้านทุนวิจัย) เพื่อทดสอบวัตถุประสงค์ในการทดสอบความเป็นไปได้ที่จะนำเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรียมาใช้จากอุตสาหกรรมก่อสร้าง มาใช้เป็นวัสดุที่ใช้เป็นแหล่งยึดเกาะของแบคทีเรีย และการลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นคือสามารถนำเชื้อของอิฐมวลเบาไปเป็นวัสดุกรอง ลดการเกิดฝุ่นจากการรดน้ำ และเพิ่มมูลค่าให้กับเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรียได้อีกทางหนึ่ง

วิธีการศึกษา

สิ่งทดลอง

ใช้เชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรียจากบริษัทเอกชน ที่ผ่านการบำบัดด้วยไม้มขนาดใหญ่มาก คัดเลือกอิฐมวลเบาออกเป็นกลุ่มตามขนาดของอิฐมวลเบาที่ผ่านการบำบัดแบบหยาบ ได้ 3 กลุ่ม ดังนี้ (S) มีขนาด 25-30 มิลลิเมตร, (M) มีขนาด 35-40 มิลลิเมตร และ (L) มีขนาด 41-45 มิลลิเมตร และใช้หินภูเขาไฟขนาด 15-20 มม. (Lava rock) เป็นชุดควบคุม

การหาปริมาณของฝุ่นละลายน้ำ (%)

ชั่งน้ำหนักเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรียและหินภูเขาไฟให้ได้ 100 กรัม นำไปใส่ในภาชนะพลาสติกทนความร้อน เติมน้ำลงให้ท่วมเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรียแช่น้ำไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเทน้ำที่แช่เชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรียออกจนหมด เพื่อเป็นการกำจัดฝุ่นบริเวณพื้นผิวที่สามารถละลายน้ำตามพื้นผิวของเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรียและหินภูเขาไฟ จากนั้นนำไปในตู้อบลมร้อน 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นจนหมด โดยจะคอยขยับตำแหน่งของเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรียเพื่อให้ได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง จากนั้นนำเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรียที่อบแห้งสนิทใส่ในโถดูดความชื้นเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ของฝุ่นดังนี้

$$\text{ปริมาณของฝุ่นละลายน้ำ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของฝุ่นที่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักอิฐมวลเบาเริ่มต้น}}$$

การหาพื้นที่ผิว และรูพรุนของเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรีย

นำตัวอย่างเชื้อของอิฐมวลเบาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 25 - 45 มิลลิเมตร มาตัดให้ได้ขนาด (กว้างxยาวx สูง) 10x10x2 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น นำไปถ่ายภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ที่ขนาด 200 และ 1 ไมโครเมตร และวิเคราะห์ความกว้างของรูพรุนด้วยโปรแกรม Image J ตามวิธีการของ Mazzoli and Favoni (2012)

การเตรียมชุดกรองสำหรับบรรจุเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรีย

การเตรียมกระบอกพลาสติกทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร ความสูง 20 เซนติเมตร นำท่อ PVC ขนาด 1.27 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร ต่อกับข้อต่อ PVC งอ 90 องศา ที่เจาะรูบริเวณด้านบน ของข้อต่อ เพื่อที่จะเป็นรูสำหรับใส่สายเติมอากาศ บริเวณตรงกลางของกระป๋องพลาสติก และนำอิฐทุกชุดการทดลองมาบรรจุ น้ำหนัก 100 กรัม และปิดตะแกรงพลาสติกสีดำ ขนาดตากว้าง 5 มิลลิเมตร (Figure 1) จำนวน 12 ชุด



Figure 1 Experimental Equipment

การทดสอบความสามารถในการเป็นที่ยู่ของแบคทีเรีย และความสามารถในการบำบัดคุณภาพน้ำ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) 5 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ศึกษาในตู้กระจก ขนาด 70 ลิตร พักน้ำกำจัดเชื้อแบคทีเรียที่อาจปนเปื้อนในน้ำทดลองด้วยฟอร์มาลิน (Chen et al., 2016; Klein et al., 2022) ปริมาณ 50 มก./ล. นาน 14 วันหลังจากนั้นกรองถ่านกัมมันต์เพื่อกำจัดฟอร์มาลินที่อาจตกค้าง ระหว่างการศึกษา มีการเติมอากาศตลอดการทดลอง โดยใช้ขนาดของอิฐมวลเบาที่มีขนาดแตกต่างกัน เปรียบเทียบกับหินภูเขาไฟเป็นชุดควบคุม มีการเติมอาหารสำเร็จรูปสำหรับอาหารปลาตุ๊ก ที่มีระดับโปรตีนไม่น้อยกว่า 39 เปอร์เซ็นต์ ครั้งละ 5 กรัม/ตู้ โดยใส่ลงไปโดยตรงแบบลอยน้ำ และเติมแบคทีเรีย *B. subtilis* สำเร็จรูปของบริษัท Whitecrane Aquatech ที่มีจำนวนแบคทีเรีย 1×10^7 CFU/g ใส่ลงทดลองลงในกระบอกพลาสติกขนาด 10 ลิตร โดยใช้วิธีตัวอย่าง 100 กรัม ทดสอบปัจจัยที่มาจากชนิด และขนาดของวัสดุกรอง โดยการแบ่งการทดลองดังนี้

- ชุดทดลองที่ไม่มีวัสดุกรองชีวภาพ (No biofilter media)
- ชุดทดลองที่ใส่หินภูเขาไฟ ขนาด 15-20 มม. (Lava rock)
- ชุดทดลองที่ใส่อิฐมวลเบาขนาด 25-30 มม. (LC (S))
- ชุดทดลองที่ใส่อิฐมวลเบาขนาด 35-40 มม. (LC (M))
- ชุดทดลองที่ใส่อิฐมวลเบาขนาด 41-45 มม. (LC (L))

ในชุดการทดลองที่ตู้กระจกขนาด 70 ลิตร และเติมแบคทีเรีย *B. subtilis* ปริมาณ 0.18 กรัม/ตู้ (ตามคำแนะนำบนฉลากผลิตภัณฑ์) ทุก วันที่ 1, 7, 14, 21 และ 28 และเก็บตัวอย่างแบคทีเรียทั้งหมด 5 ครั้ง ในวันที่ 7, 14, 21, 28 และ 35 ดังนี้ (Table 1)

Table 1 Level and frequency of catfish diet and *Bacillus subtilis* supplement during the experiment

Additives	Experimental period (day)				
	1	7	14	21	28
Catfish diet (g)	5	5	5	5	5
<i>Bacillus subtilis</i> (g)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18

การเก็บข้อมูล

ศึกษาคุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป บันทึกคุณภาพน้ำแต่ละปัจจัย ด้วยเครื่อง Lovibond MD600 (United Kingdom) โดยวิเคราะห์หาค่าคุณภาพน้ำในปัจจัยต่างๆ ด้วยสารเคมีสำเร็จรูป ดังนี้ หาค่าความเป็นด่าง (Alkaline- ALKA-M-PHOTOMETER 513211BT) , แอมโมเนีย (AMMONIA NO.1 512581BT) และไนไตรท์ (NITRITE LR 512311BT) และตรวจสอบด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำ (Lutron WA-2017SD) ที่ต่อดั้วด้วยหัววัดในส่วนของค่าดังนี้ pH (ORP-14), ของแข็งที่ละลายในน้ำ (Total dissolved solids; CDPB-03) และ อุณหภูมิ (Temperature; TP-07) ส่วนการตรวจสอบจำนวนแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้น

การทดสอบความสามารถในการเป็นที่ยูของแบคทีเรีย เก็บตัวอย่างแบคทีเรียบนผิวอิฐมวลเบา ใช้ไม้พินสำลีที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยเครื่องอบความร้อนสูงด้วยไอน้ำ โดยการยกกระบอกพลาสติกขึ้นเหนือน้ำและใช้ไม้พินสำลีแตะบนผิวอิฐมวลเบาและหินภูเขาไฟตำแหน่งที่สูงสุดของวัสดุกรองโดยไม่ซ้ำที่ เป็นจำนวน 1 ครั้งต่อตัวอย่าง ทำจำนวน 3 ครั้งต่อตู้ทดลอง (ในชุดควบคุมใช้ไม้พินสำลีแตะที่บริเวณขอบบนของกระบอกพลาสติก เนื่องจากไม่มีวัสดุกรอง) จากนั้นนำไม้พินสำลีที่เก็บตัวอย่างใส่ลงในขวดแก้วที่มีน้ำกลั่น 100 ml ปิดฝาให้สนิทและเขย่า จากนั้นนำตัวอย่างที่อยู่ในขวดแก้วมาการเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่ 10^7 CFU/ml เมื่อเจือจางได้ความเข้มข้นดังกล่าวแล้วนำไป Spread บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Soyabean Casein Digest Agar (HiMedia Laboratories Private Limited, Maharashtra, India) เมื่อเก็บตัวอย่างครบหมดทั้ง 15 ตู้ทดลอง แล้วนำจานเพาะเชื้อทั้งหมดเข้าตู้บ่มเชื้อ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส บ่มเชื้อไว้เป็นเวลา 18 ชั่วโมง (ตามคำแนะนำของผู้ผลิต) จากนั้นนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียบนจานเพาะเชื้อ ทำทุก 7 วัน (วันที่ 7, 14, 21, 28 และ 35) และจดบันทึก

การนับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียในจานเพาะเชื้อ จำแนกด้วยลักษณะของโคโลนีของ *B. subtilis* ที่มีโคโลนีสีขาวถึงสีครีม รูปทรงกลม และมีพื้นผิวหยาบไม่มันเงา (Figure 3) นับ 2 รูปแบบ เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากผู้ทำการศึกษา ดังนี้ (1) การนับโคโลนีด้วยเทคนิค Standard plate counts โดยนับโคโลนีของ *B. subtilis* ที่มีการเจริญเติบโตขึ้นบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยโคโลนีมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น (Brackett, 1993) และ (2) การนับด้วยโปรแกรม Image J ตามวิธีการของ Mazzoli and Favoni (2012) โดยถ่ายภาพจานเพาะเชื้ออาหารที่มีโคโลนีของแบคทีเรีย *B. subtilis* ขึ้นในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ และใช้โปรแกรม Image J ในการนับโคโลนีต่ออาหารเลี้ยงเชื้อและนำข้อมูลตัวเลขทั้งหมดที่ได้ เปรียบเทียบการเพิ่มจำนวนของ *B. subtilis*

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 5 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดย analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย The Sheffe's Post hoc Comparison ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป PSPP 2.0.1 (Free Software Foundation, Inc. : <https://www.gnu.org/software/software.html>)

สถานที่ดำเนินการ

โรงเพาะฟักสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช ไร่ใหญ่ ระหว่างกันยายน – ธันวาคม 2566

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ปริมาณของฝุ่นที่ละลายน้ำ

เศษอิฐมวลเบาขนาด S มีปริมาณฝุ่นที่ละลายน้ำอยู่ที่ 10.83 ± 0.29 % รองลงมาคือเศษอิฐมวลเบาขนาด M อยู่ที่ 10.67 ± 0.29 % และเศษอิฐมวลเบาขนาด L มีปริมาณ 10.00 ± 0.05 % และในส่วนของหินภูเขาไฟ มีปริมาณฝุ่นละลายน้ำอยู่ที่ 9.00 ± 1.32 % แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$)

ผลการหาพื้นที่ผิว และรูพรุนของเศษอิฐมวลเบา

พื้นที่ผิวเฉลี่ยและรูพรุนของเศษอิฐ เมื่อถ่ายภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Figure 2) และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Image J พบว่ามีรูพรุนบนพื้นที่ผิวเฉลี่ย $239.11 \pm 179.69 \mu\text{m}$ คิดเป็น $52.35 \pm 13.38 \%$ ของพื้นที่ผิวทั้งหมดโดย De et al. (2020) ได้อธิบายว่า ถ้าวัดรูพรุน แบบแมโครพอร์ (Macropore) คือมีความกว้างตั้งแต่ 50 nm ขึ้นไปสามารถจัดว่าเป็นวัสดุที่มีรูพรุนสามารถใช้กระบวนการดูดซับได้ดี และกระบวนการผลิตอิฐมวลเบายังเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดรูพรุนแบบต่อเนื่อง ส่งผลให้น้ำหนักเบาและไม่อมน้ำ (Ngenprom et al., 2018) สอดคล้องกับการศึกษาของ Intanai (2011) ที่อธิบายว่าระบบบำบัดน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดแอมโมเนีย ควรจะมีขนาดพื้นที่ผิวสัมผัสสูง น้ำหนักเบา และมีที่ว่างในวัสดุกรองน้อย

Intanai (2011) อธิบายว่าในระบบกรองชีวภาพ แบบที่เรียกกลุ่มไนโตรฟิเคชั่น จะยึดเกาะกับวัสดุกรองชีวภาพ (biofilter media) หรือยึดเกาะกับตะกอนแขวนลอยในน้ำ (bio floc) แต่ Zhang et al. (2024) กล่าวถึงแบคทีเรียกลุ่มไนโตรฟิเคชั่นมีการเติบโตช้า และอ่อนแอต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม และมีข้อจำกัดในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่นในภาวะไม่มีออกซิเจนเท่านั้น โดยในปัจจุบันสามารถแยกสายพันธุ์ของแบคทีเรียในกลุ่มของ Bacillus ที่มีความสามารถในการเจริญเติบโต และสามารถปรับตัวได้ดี สามารถสร้างปฏิกิริยาไนโตรฟิเคชั่น และ ดีไนตริฟิเคชั่นภายใต้ภาวะที่มีอากาศซึ่งเป็นภาวะที่เกิดขึ้นในการเลี้ยงปลา เมื่อมีการเติม Bacillus ลงไปนอกจากมีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ไว และบำบัดน้ำได้อย่างดีแล้วนั้นแล้วนั้นยังสามารถเกาะกับวัสดุกรองได้อย่างดี (Su et al., 2020)

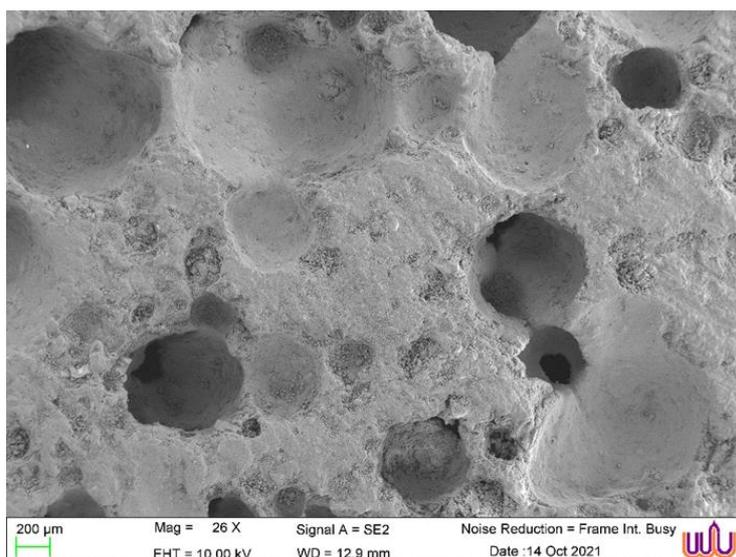


Figure 2 Porosity of lightweight brick at 200 micrometers

การทดลองนี้ศึกษาในกลุ่มที่ยึดเกาะกับวัสดุกรอง ซึ่งความสามารถในการบำบัดน้ำของสารประกอบไนโตรเจน จะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ผิวสัมผัส ซึ่งวัสดุที่เลือกใช้ควรเลือกวัสดุที่มีผิวสัมผัสมาก น้ำหนักเบา และขนาดเล็ก ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้วัสดุหลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับการออกแบบการทำงานของถัง bioreactor อย่างไรก็ตามในการนำเศษอิฐมวลเบามาใช้ควรมีวิธีการจัดการกับอิฐมวลเบา เช่น การล้างหรือแช่น้ำ เพื่อให้ปริมาณฝุ่นที่ปนเปื้อนอยู่ลดน้อยลงมากที่สุดเพราะฝุ่นของเศษอิฐมวลเบามีส่วนผสมจากปูนจะส่งผลต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงสัตว์น้ำได้ คุณภาพน้ำที่ใช้ในการทดลองวันที่ 1 มีค่า pH อยู่ที่ 7.1 ค่าความเป็นด่างอยู่ที่ 27 มก./ล. และค่าของแข็งละลายในน้ำอยู่ที่ 24.9 มก./ล. และตลอดการทดลอง 35 วัน อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในตู้ทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงของ 24.97- 26.50 องศาเซลเซียส

ค่าคุณภาพน้ำเมื่อทดลอง พบว่าชุดการทดลองที่ใช้เชื้ออริฐมวลเบา คุณภาพน้ำมีค่า pH สูงขึ้นและสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดุกรอง และชุดการทดลองที่ใช้หินภูเขาไฟ ($P < 0.05$) โดยชุดการทดลองที่ไม่มีวัสดุกรองจะมีค่า pH ต่ำที่สุด มีค่าอยู่ในช่วง 7.26 - 7.69 แต่ไม่มีความแตกต่างกับชุดการทดลองที่ใช้หินภูเขาไฟที่มีค่าอยู่ในช่วง 7.39 - 7.65 และชุดการทดลองที่ใช้อริฐมวลเบาเป็นวัสดุให้ผลที่ใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง ซึ่งค่า pH ของน้ำในชุดทดลองขนาด S, M และ L อยู่ในช่วง 8.06 - 8.25 (Table 2) โดยขนาดของอริฐมวลเบาไม่ส่งผลให้ค่า pH ของน้ำแตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) อย่างไรก็ตามผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำอริฐมวลเบาเป็นส่วนผสมของวัสดุปูนแช่ลงในน้ำส่ง เมื่อระยะเวลาที่นานขึ้นจะผลให้ค่า pH ในน้ำมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีวัสดุกรองและหินภูเขาไฟอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

ค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) เมื่อดำเนินการทดลองไปตามระยะเวลา พบว่าทุกชุดการทดลองมีค่า TDS สูงขึ้นทุกชุดการทดลอง โดยจะมากที่สุดในกลุ่มทดลองที่มีอริฐมวลเบา ค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำจะสูงขึ้นตามระยะเวลาที่นานขึ้น จะมีสาเหตุมาจากการละลายของอริฐมวลเบา ส่งผลให้ค่า TDS มากกว่าในชุดควบคุมที่ไม่มีวัสดุกรอง และชุดทดลองที่ใช้หินภูเขาไฟเป็นวัสดุกรอง ($P < 0.05$) เมื่อระยะเวลาผ่านไปชุดการทดลองที่ใช้ริฐขนาด S, M และ L น้ำที่ใช้ทดลองจะมีค่าของแข็งละลายน้ำสูงขึ้นตามระยะเวลาการทดลองและมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการทดลอง โดยขนาดของอริฐมวลเบา ไม่ได้ส่งผลต่อค่า TDS (Table 3) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Mnyoro et al. (2022) เนื่องจากการละลายของวัสดุปูนที่เป็นองค์ประกอบของอริฐมวลเบา ส่งผลให้ค่า TDS มีปริมาณสูงขึ้น

Table 2 pH of water containing catfish feed and *Bacillus subtilis* during 35-day experimental period

Treatment	Experimental period (day)					p-value
	7	14	21	28	35	
No material	7.69±0.04 ^a	7.47±0.03 ^a	7.41±0.14 ^a	7.26±0.07 ^a	7.32±0.06 ^a	0.000
Lava rock	7.65±0.03 ^a	7.49±0.02 ^a	7.62±0.05 ^a	7.39±0.03 ^b	7.40±0.05 ^a	0.000
LC (S)	8.06±0.06 ^b	8.08±0.03 ^b	8.20±0.05 ^b	8.15±0.05 ^c	8.18±0.03 ^b	0.000
LC (M)	8.13±0.02 ^b	8.11±0.02 ^b	8.25±0.01 ^b	8.20±0.02 ^c	8.25±0.03 ^b	0.000
LC (L)	8.15±0.03 ^b	8.15±0.04 ^b	8.09±0.04 ^b	8.19±0.03 ^c	8.24±0.01 ^b	0.000

Note: Vertically different letters indicate a statistically significant difference at $p < 0.05$.

LC (S)= lightweight concrete with particle size of 25-30 mm

LC (M)= lightweight concrete with particle size of 35-40 mm

LC (L)= lightweight concrete with particle size of 41-45 mm

Table 3 Total dissolved solids (TDS) of water containing catfish feed and *Bacillus subtilis* during 35-day experimental period

Treatment	TDS (mg/L)					p-value
	7	14	21	28	35	
No material	41.33±2.08 ^a	46.33±1.15 ^a	51.00±1.00 ^a	55.87±3.31 ^a	62.53±1.46 ^a	0.000
Lava rock	46.33±2.08 ^a	51.67±2.52 ^a	54.00±3.00 ^a	62.23±2.90 ^a	67.73±3.02 ^a	0.000
LC (S)	195.00±10.82 ^b	219.00±11.53 ^b	230.00±2.00 ^b	253.67±11.59 ^b	264.67±6.43 ^b	0.000
LC (M)	184.00±12.49 ^b	211.67±12.22 ^b	230.00±13.45 ^b	240.67±25.01 ^b	262.00±23.07 ^b	0.000
LC (L)	172.00±6.08 ^b	195.00±9.54 ^b	211.33±10.26 ^b	229.67±11.15 ^b	248.67±11.15 ^b	0.000

Note: Vertically different letters indicate a statistically significant difference at p < 0.05.

LC (S)= lightweight concrete with particle size of 25-30 mm

LC (M)= lightweight concrete with particle size of 35-40 mm

LC (L)= lightweight concrete with particle size of 41-45 mm

ค่าความเป็นด่าง (Alkaline) เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าคุณภาพน้ำของชุดการทดลองที่มีการใช้อิฐมวลเบาทั้งสามขนาด มีค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่มากขึ้น โดยมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการใช้วัสดุกรองและชุดการทดลองที่ใช้หินภูเขาไฟเป็นวัสดุกรอง (P<0.05) ยังมีการใช้อิฐมวลเบาในน้ำเป็นเวลานานยิ่งส่งผลให้ค่าค่าความเป็นด่างมีแนวโน้มที่สูงขึ้น แตกต่างกับการใช้หินภูเขาไฟและชุดทดลองที่ไม่มีวัสดุกรอง โดยค่าความเป็นด่างของชุดทดลองที่ใช้อิฐมวลเบาเทียบกับชุดที่ไม่มีวัสดุกรองและหินภูเขาไฟ พบว่ามีความแตกต่างตั้งแต่วันที่ 7 และเพิ่มสูงขึ้นประมาณสองเท่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Table 4)

Table 4 Alkaline of water containing catfish feed and *Bacillus subtilis* during 35-day experimental period

Treatment	Experimental period (day)					p-value
	7	14	21	28	35	
No material	33.00±2.65 ^a	30.33±1.53 ^a	28.67±0.58 ^a	30.67±2.08 ^a	32.00±1.00 ^a	0.00
Lava rock	30.00±1.00 ^a	33.33±2.08 ^a	29.67±1.53 ^a	33.33±4.04 ^a	31.33±3.51 ^a	0.00
LC (S)	48.67±1.53 ^b	47.33±5.51 ^b	51.33±6.11 ^b	54.67±4.93 ^b	59.67±5.86 ^b	0.00
LC (M)	48.33±5.86 ^b	49.33±3.21 ^b	56.00±3.61 ^b	61.67±6.66 ^b	56.33±2.52 ^b	0.00
LC (L)	47.00±1.00 ^b	47.67±5.03 ^b	51.67±2.31 ^b	53.33±4.73 ^b	53.00±8.89 ^b	0.00

Note: Vertically different letters indicate a statistically significant difference at p < 0.05.

LC (S)= lightweight concrete with particle size of 25-30 mm

LC (M)= lightweight concrete with particle size of 35-40 mm

LC (L)= lightweight concrete with particle size of 41-45 mm

Table 5 Ammonia of water containing catfish feed and *Bacillus subtilis* during 35-day experimental period

Treatment	Experimental period (day)					p-value
	7	14	21	28	35	
No material	0.27±0.34 ^a	0.05±0.02 ^a	0.06±0.02 ^a	0.10±0.02 ^a	0.12±0.10 ^a	0.781
Lava rock	0.45±0.14 ^a	0.04±0.01 ^a	0.05±0.02 ^a	0.05±0.03 ^a	0.08±0.02 ^a	0.211
LC (S)	0.19±0.07 ^a	0.06±0.00 ^a	0.03±0.01 ^a	0.04±0.02 ^a	0.07±0.03 ^a	0.208
LC (M)	0.25±0.17 ^a	0.04±0.01 ^a	0.05±0.01 ^a	0.04±0.02 ^a	0.07±0.03 ^a	0.041
LC (L)	0.29±0.38 ^a	0.04±0.01 ^a	0.04±0.01 ^a	0.04±0.02 ^a	0.06±0.05 ^a	0.643

Note: Vertically different letters indicate a statistically significant difference at $p < 0.05$.

LC (S)= lightweight concrete with particle size of 25-30 mm

LC (M)= lightweight concrete with particle size of 35-40 mm

LC (L)= lightweight concrete with particle size of 41-45 mm

ปริมาณแอมโมเนียในชุดการทดลองที่ใช้หินภูเขาไฟเป็นวัสดุกรองมีค่าสูงที่สุด ในวันที่ 7 โดยมีค่าแอมโมเนียอยู่ที่ 0.45±0.14 มก./ล. ในชุดการทดลองที่ใช้หินภูเขาไฟเป็นที่ที่อยู่ของแบคทีเรีย แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป ทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มค่าแอมโมเนียลดลง โดยตั้งแต่วันที่ 21 – 35 พบว่าคุณภาพน้ำของชุดการทดลองที่ไม่มีการใช้วัสดุกรองมีค่าแอมโมเนียที่สูงกว่าชุดการทดลองอื่น (Table 5) ตลอดการศึกษาพบว่าปริมาณของแอมโมเนียในน้ำทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$)

ปริมาณไนไตรท์ (Nitrite) พบว่าในช่วง 21 วันแรกในระหว่างการทดลอง ชุดควบคุมที่ไม่มีการใช้วัสดุกรองมีปริมาณไนไตรท์มากกว่าชุดการทดลองอื่น โดยเฉพาะในวันที่ 14 มีค่าสูงถึง 0.127±0.50 มก./ล. ซึ่งแตกต่างกับชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในส่วนของชุดการทดลองที่ใช้หินภูเขาไฟและอิฐมวลเบาทั้งขนาด S, M และ L จะมีค่าไนไตรท์ที่ต่ำ อยู่ในช่วง 0.01-0.11 มก./ล. และมีแนวโน้มว่าจะส่งผลให้ค่าไนไตรท์ต่ำตลอดระยะเวลาการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่ไม่มีการใช้วัสดุกรอง ชุดการทดลองที่ใช้หินภูเขาไฟ และชุดการทดลองที่ใช้อิฐมวลเบา ขนาด S, M และ L มีค่าไนไตรท์ในปริมาณใกล้เคียงกันทุกชุดการทดลอง (Table 6) แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดคุณภาพน้ำหากมีวัสดุให้แบคทีเรียบำบัดยึดติด จะใช้เวลาในการบำบัดน้ำน้อยกว่า

การศึกษาการใช้อิฐมวลเบาขนาดต่าง ๆ เป็นวัสดุกรองเมื่อเวลาผ่านไปส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าความเป็นด่าง (Alkaline) และค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) สูงขึ้น เนื่องจากอิฐมวลมีส่วนผสมหลักคือ ปูนซีเมนต์ และปูนขาว เป็นต้น ซึ่งปูนซีเมนต์มีองค์ประกอบออกไซด์หลัก คือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกอนไดออกไซด์หรือซิลิกา (SiO₂) อลูมิเนียมออกไซด์หรือ อลูมินา (Al₂O₃) เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) เป็นต้น และปูนขาวจะประกอบไปด้วย แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) เป็นส่วนใหญ่ ในส่วนผสมเหล่านี้จะส่งผลให้ค่า pH ค่าความเป็นด่าง และค่าของแข็งละลายน้ำสูงขึ้น เหตุผลโดยเฉพาะแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) เมื่อมีอยู่ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแล้วจะทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และน้ำ (H₂O) จะได้ต่างที่อยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต (HCO₃⁻)

Table 6 Nitrite of water containing catfish feed and *Bacillus subtilis* during 35-day experimental period

Treatment	Experimental period (day)					p-value
	7	14	21	28	35	
No material	0.53±0.59 ^a	01.27±0.50 ^b	0.74±0.59 ^a	0.04±0.02 ^a	0.04±0.01 ^a	0.216
Lava rock	0.09±0.05 ^a	0.03±0.01 ^a	0.03±0.01 ^a	0.01±0.01 ^a	0.03±0.02 ^a	0.000
LC (S)	0.11±0.07 ^a	0.03±0.01 ^a	0.02±0.01 ^a	0.02±0.01 ^a	0.03±0.02 ^a	0.025
LC (M)	0.02±0.02 ^a	0.04±0.01 ^a	0.02±0.02 ^a	0.02±0.01 ^a	0.07±0.03 ^a	0.035
LC (L)	0.07±0.10 ^a	0.07±0.06 ^a	0.02±0.01 ^a	0.02±0.01 ^a	0.05±0.01 ^a	0.171

Note: Vertically different letters indicate a statistically significant difference at $p < 0.05$.

LC (S)= lightweight concrete with particle size of 25-30 mm

LC (M)= lightweight concrete with particle size of 35-40 mm

LC (L)= lightweight concrete with particle size of 41-45 mm

ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ Mnyoro et al. (2022) ที่ใช้วัสดุเซรามิกในระบบกรองชีวภาพ พบว่าส่งผลต่อค่าคุณภาพน้ำบางประการ เนื่องจากองค์ประกอบหลักของคอนกรีตมวลเบาประกอบด้วยวัสดุปูน ที่มี pH ประมาณ 12.0-13.8 (Sumra et al., 2020) ซึ่งเมื่อนำคอนกรีตมวลเบามาแช่น้ำจะส่งผลให้ pH ของน้ำจะสูงขึ้นตามระยะเวลา โดย pH ที่เหมาะสมในกระบวนการไนตริฟิเคชัน 7.2-8.2 โดยหากค่า pH ลดต่ำลงจะส่งผลให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันลดลงด้วย หากมีการเพิ่มของ pH หรือ อุณหภูมิ จะทำให้สัดส่วนของแอมโมเนียมีมากขึ้นด้วย ซึ่งส่งผลต่อความเป็นพิษกับสัตว์น้ำแม้จะมีปริมาณน้อย (Intanai, 2011) ในระบบกรองชีวภาพสามารถควบคุมแอมโมเนียได้โดยใช้แบคทีเรียไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะใช้สารประกอบไนโตรเจนเป็นอาหาร โดยการศึกษาคุณสมบัติของระบบกรองสามารถดูได้จากปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนที่ลดลง เพื่อใช้เป็นดัชนีในการระบุวาระบบไนตริฟิเคชันเกิดอย่างสมบูรณ์ และ Tontasukitvanich (2002) แนะนำว่าน้ำสำหรับเลี้ยงสัตว์น้ำควรมี pH 6.1-9.0 หากสูงหรือต่ำกว่านี้จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ และปริมาณแอมโมเนียไม่ควรเกินกว่า 0.02 มก./ล. และไนโตรเจน ไม่ควรเกิน 0.11 มก./ล. และ Ngenprom et al. (2018) ยังได้แนะนำว่า คุณภาพน้ำในการเลี้ยงสัตว์น้ำ ควรมีความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 6.50-8.50 ความกระด้าง 50-300 มก./ล. แอมโมเนียไม่ควรเกิน 1 มก./ล. และค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ควรจะสูงกว่า 100 มก./ล. โดย Intanai (2011) อธิบายว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันจะใช้อัลคาไลน์ ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาสมบูรณ์ แต่โดยมากแล้ววัสดุบำบัดน้ำที่มีในท้องตลาด เช่น เซรามิกพอร์น ที่มีส่วนผสมของวัสดุปูน ล้วนแต่มีค่าสูงเกินมาตรฐานความปลอดภัยในการเลี้ยงสัตว์น้ำ (Ngenprom et al., 2018) เนื่องจากวัสดุปูนบางส่วนจะละลายออกมาเมื่อแช่ในน้ำ แต่หากน้ำอยู่ในภาวะเป็นกรดจะส่งผลให้คาร์บอนในรูปของไบคาร์บอเนตเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้ โดย Mtyńska et al. (2019) ที่รายงานว่าน้ำอ่อนที่สัมผัสกับวัสดุปูนจะทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบคาร์บอเนต และไบคาร์บอเนต ละลายออกจากแคลเซียม และไฮดรอกไซด์ไอออนของวัสดุปูน

ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าในช่วงแรกจะมีคุณภาพน้ำในปัจจัยด้านสารประกอบไนโตรเจน เช่น แอมโมเนีย และไนโตรเจนค่อนข้างสูงกว่ามาตรฐาน แต่เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ผลการทดสอบการเป็นที่ยูของแบคทีเรีย *B. subtilis* บนพื้นผิวของวัสดุกรอง

ผลการศึกษาการเป็นที่ยูของแบคทีเรียในระบบกรองน้ำพบว่าการใช้วัสดุขนาด S, M และ L มีปริมาณแบคทีเรียบนพื้นผิวที่ไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีการใช้วัสดุกรองและการใช้หินภูเขาไฟอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากการทดลองพบว่า วัสดุขนาด M มีจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อสูงสุดในวันที่ 21 โดยมีจำนวนโคโลนี $441.00 \pm 42.79 \times 10^7$ CFU/ml และลดลงในลำดับถัดไปแต่ยังมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นจนสิ้นสุดการทดลอง

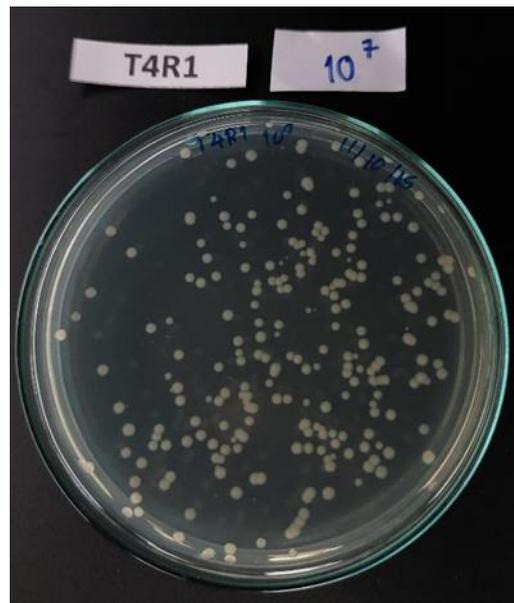


Figure 3 Colonies of *Bacillus subtilis* on soyabean casein digest agar

เมื่อสิ้นสุดการทดลองการใช้อิฐขนาด S, M และ L จะมีจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้ออยู่ $233.00 \pm 37.24 \times 10^7$, $307.00 \pm 25.63 \times 10^7$ และ $288.33 \pm 11.68 \times 10^7$ CFU/ml ตามลำดับ ต่างกับชุดการทดลองที่ไม่มีการใช้วัสดุรองและการใช้หินภูเขาไฟที่จะมีจำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้ออยู่ที่ 117.67 ± 17.95 และ $184.00 \pm 6.24 \times 10^7$ CFU/ml ตามลำดับ ซึ่งจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การใช้อิฐมวลเบาทั้งขนาด S, M และ L ส่งผลให้มีแบคทีเรียบนพื้นผิวของวัสดุรองมากกว่าการใช้หินภูเขาไฟและชุดการทดลองที่ไม่มีการใช้วัสดุรองอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 21 ตลอดจนสิ้นสุดการทดลอง (Table 7)

จากการศึกษาพบว่าชุดการทดลองที่ใช้เศษอิฐมวลเบาทั้ง 3 ขนาด สามารถเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย *B. subtilis* ได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ใช้หินภูเขาไฟและชุดการทดลองที่ไม่มีระบบกรองเนื่องจากเศษอิฐมวลเบามีลักษณะเป็นรูพรุนพื้นผิวหยาบ สามารถเป็นที่ยึดเกาะและเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียได้ดีกว่าหินภูเขาไฟที่มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบกว่า จึงส่งผลให้ชุดการทดลองที่ใช้อิฐมวลเบาเป็นวัสดุรองมีปริมาณของแบคทีเรียเพิ่มจำนวนขึ้นมากกว่าชุดการทดลองที่ใช้หินภูเขาไฟเป็นวัสดุรอง โดย Buadee (2004) และ Chattopadhyay (2016) กล่าวว่ากลไกในการยึดเกาะของแบคทีเรียมีด้วยกันหลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยแบคทีเรียจะสร้างเส้นใยขนาดเล็กรอบตัวเซลล์ เส้นใยเหล่านี้จะเกาะจับกันแน่นกับเส้นใยของเซลล์อื่น ๆ ทำให้แบคทีเรียสามารถเกาะติดหนาเป็นฟิล์มบนผิวตัวกลางได้ ตัวเซลล์ของแบคทีเรียจะฝังจมอยู่ในเส้นใยดังกล่าว การรับประทานอาหารและอากาศจะซึมผ่านเส้นใยโดยที่เส้นใยมีเอนไซม์ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ทำให้โมเลกุลเล็กลงก่อนที่จะเข้าสู่เซลล์แบคทีเรีย และแบคทีเรียจะสามารถเกาะติดกับวัสดุที่มีความหยาบได้ดีกว่าพื้นผิวที่เรียบ ซึ่งสอดคล้องกับ Tontasukitvanich (2002) ที่กล่าวว่าวัสดุที่ใช้เป็นตัวกรองชีวภาพต้องพิจารณาถึงด้านกายภาพของผิวตัวกรองซึ่งมีความสำคัญต่อการยึดเกาะของแบคทีเรีย ยิ่งใช้วัสดุที่มีพื้นที่ผิวมาก มีความพรุนหรือขรุขระ ปริมาณแบคทีเรียที่ยึดเกาะจะมากตามไปด้วย หากวัสดุมีพื้นที่ผิวมากจะทำให้เซลล์แบคทีเรียสามารถยึดเกาะได้ดี อีกทั้งความขรุขระของพื้นผิวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะของแบคทีเรียได้ ทำให้เซลล์แบคทีเรียหลุดออกจากพื้นผิวได้ยากและมีโอกาสเจริญเติบโตต่อไป (Chattopadhyay, 2016; Erdei-Tombor et al., 2024) จากผลการศึกษาพบว่า ตัวอย่างของอิฐมวลเบาที่ใช้ในการศึกษานี้มีลักษณะทางกายภาพเป็นรูพรุนพื้นผิวหยาบ และรูพรุนมาก มีความเหมาะสมกับการเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย *B. subtilis* (Whitecrane Aquatech) และสามารถลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนลงได้ แต่อย่างไรก็ตามหากปริมาณไบโอฟิล์มที่ผิววัสดุบำบัดหนาเกินไปจะลดประสิทธิภาพการบำบัดน้ำลงได้ (Ahnen et al., 2015) เมื่อเปรียบเทียบกับหินภูเขาไฟที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ผลการศึกษาค้นคว้าพบว่าเศษอิฐมวลเบาสามารถใช้เป็นตัวกรองเพื่อเป็นที่อยู่ของแบคทีเรีย ทดแทนหินภูเขาไฟได้

Table 7 *Bacillus subtilis* ($\times 10^7$ CFU/ml) found on bacterial anchoring materials during 35-day experimental period

Treatment	Experimental period (day)					p-value
	7	14	21	28	35	
No material	15.33±1.53 ^a	42.67±8.02 ^a	136.67±8.50 ^a	117.33±22.23 ^a	117.67±17.95 ^a	0.210
Lava rock	14.33±0.58 ^a	44.00±9.85 ^a	148.67±18.58 ^a	167.33±16.50 ^{ab}	184.00±6.24 ^{ab}	0.017
LC (S)	11.00±5.29 ^a	48.33±8.50 ^{ab}	206.00±45.51 ^{ab}	217.00±32.74 ^{bc}	233.00±37.24 ^{bc}	0.000
LC (M)	22.67±9.87 ^a	72.33±11.50 ^b	441.00±42.79 ^c	297.00±50.03 ^c	307.00±25.63 ^d	0.000
LC (L)	11.67±7.37 ^a	50.00±7.94 ^{ab}	260.33±15.82 ^b	272.00±13.00 ^c	288.33±11.68 ^{cd}	0.000

Note: Vertically different letters indicate a statistically significant difference at $p < 0.05$.

LC (S)= lightweight concrete with particle size of 25-30 mm

LC (M)= lightweight concrete with particle size of 35-40 mm

LC (L)= lightweight concrete with particle size of 41-45 mm

ปัจจุบันราคาวัสดุกรองเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้วัสดุกรองในการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการจำหน่ายจะแบ่งตามประเภทของวัสดุกรอง มีทั้งจำหน่ายเป็นกิโลกรัมหรือจำหน่ายแบบก้อน โดยแบ่งตามประเภทวัสดุกรองได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้ 1) วัสดุเทียมธรรมชาติ เช่น Ceramic ring, C-BAR และ Bio Block ที่มีจำหน่ายตั้งแต่ ชั้นละ 8-180 บาทตามชนิดของวัสดุกรอง 2) วัสดุธรรมชาติ เช่น ปะการัง, หินภูเขาไฟ และเปลือกหอย นิยมจำหน่ายเป็นถุงหรือกิโลกรัม โดยมีราคาตั้งแต่ 70-150 บาท 3) พลาสติก เช่น Bio ball และ Moving Bed นิยมนำจำหน่ายเป็นถุง มีราคาอยู่ที่ 127-142 บาท ซึ่งการเลือกใช้วัสดุกรองในแต่ละประเภทจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในเรื่องของต้นทุนในการเลี้ยงสัตว์น้ำในแต่ละครั้งและเมื่อเปรียบเทียบกับเศษอาหารมูลปลาซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตที่สามารถใช้ทดแทนวัสดุกรองอื่น ๆ ได้โดยเศษอาหารมูลปลามีราคาถูกกว่าสามารถลดต้นทุนในการเลี้ยงสัตว์น้ำและเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น

สรุป

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้เศษอาหารมูลปลาและความเหมาะสมในการใช้เป็นที่อยู่ของแบคทีเรีย *B. subtilis* บนวัสดุกรองโดยนำเศษของอาหารมูลปลาเป็นวัสดุกรอง โครงสร้างของวัสดุพบว่าอาหารมูลปลาทั้ง 3 ขนาด มีเศษอาหารมูลปลามีรูพรุนเฉลี่ยบนพื้นที่ผิวขนาด $239.11 \pm 179.69 \mu\text{m}$ เพอร์เซ็นต์ฝุนมีความเกี่ยวเนื่องกับขนาดของอาหารมูลปลา โดยพบว่าอาหารมูลปลาที่เล็กจะมีฝุนมากขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำหนักเท่ากัน

การทดสอบคุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปพบว่าการใช้เศษอาหารมูลปลาทั้ง 3 ขนาด ส่งผลให้ pH, Alkaline และ TDS สูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป โดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 8.06 – 8.25 ค่าความเป็นด่างสูงสุดอยู่ที่ 61.67 มก./ล. และค่า TDS สูงสุดอยู่ที่ 264.67 มก./ล. ซึ่งมีค่าสูงกว่าการใช้หินภูเขาไฟและชุดควบคุมที่ไม่ใช้วัสดุกรองอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในส่วนของอุณหภูมิตลอดระยะเวลาการทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วง 24.60-26.43 องศาเซลเซียส การใช้เศษอาหารทุกขนาดจะทำให้ทุกปัจจัยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่แช่อยู่ในน้ำ แต่ไม่เกินกว่าค่าที่เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนค่าไนโตรเจนรวมพบว่ามีค่าต่ำกว่าค่าแอมโมเนียได้ดีกว่าหินภูเขาไฟอย่างมาก และไม่มีสารประกอบแอมโมเนียตกค้างในตัววัสดุกรองชีวภาพ

การเป็นที่อยู่ของแบคทีเรียในระบบกรองพบว่าการใช้เศษอาหารมูลปลาทั้ง ขนาด S, M และ L มีปริมาณแบคทีเรียบนพื้นที่ผิวสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่มีการใช้วัสดุกรองและชุดที่ใช้หินภูเขาไฟเป็นวัสดุกรองชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเศษอาหารมูลปลาขนาด 35-40 (M) มม. เมื่อตรวจสอบปริมาณแบคทีเรียมีจำนวนโคโลนีเฉลี่ยอยู่ที่ $441.00 \pm 42.79 \times 10^7$ CFU/ml โดยมีแนวโน้มในการลด

ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ได้ดี ใกล้เคียงกับการใช้หินภูเขาไฟร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* ที่ปริมาณ 0.18 มก. / 1 สัปดาห์ (ชุดการทดลองที่ 2)

ดังนั้น การใช้ชีวมวลเบาขนาด 35-40 (M) มม. ร่วมกับแบคทีเรีย *B. subtilis* มีปริมาณแบคทีเรียพบพื้นผิวมากกว่าชุดทดลองอื่น แต่ให้ผลด้านคุณภาพน้ำไม่แตกต่างกับชุดทดลองอื่น โดยมีค่าของแอมโมเนียและไนไตรท์อยู่ในค่าที่เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยการใช้เศษชีวมวลเบาทั้งสามขนาดให้ผลไม่แตกต่างจากการใช้หินภูเขาไฟ และมีคุณสมบัติที่นำมาใช้ทดแทนหินภูเขาไฟในระบบการกรองชีวภาพเพื่อการเลี้ยงสัตว์น้ำได้ จากการศึกษาที่ผู้วิจัยเสนอให้ใช้ชีวมวลเบาในปริมาณ 20 % ของปริมาตรน้ำ และมีการล้าง หรือแช่น้ำเป็นเวลา 7 วัน ก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุกรอง เพื่อลดค่าของแข็งที่ละลายน้ำ (TDS) และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ลงจะทำให้มีความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุบำบัดน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้ดีขึ้น ทั้งนี้ควรมีการวิจัยการใช้เศษมวลเบาเพื่อบำบัดน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ที่มีสัตว์น้ำอาศัยอยู่จริงต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ บริษัท ควอลิตี้คอนสตรัคชั่นโปรดักส์ จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนตัวอย่างวัสดุ และทุนวิจัย และ บริษัท ไวท์เครน (วี.88) อะควาเทค จำกัด ที่สนับสนุนตัวอย่างแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Ahnen, M. V., L. F. Pedersen, P. B. Pedersen, and J. Dalsgaard. 2015. Degradation of urea, ammonia and nitrite in moving bed biofilters operated at different feed loadings. *Aquacultural Engineering*. 69: 50-59.
- Brackett, R. E. 1993. Chapter 6 - Microbial Quality. P.125-148. In :L. S. Robert and E. P. Stanley. *Postharvest Handling*. Academic Press, London.
- Buadee, S. 2004. Nitrifying bacteria and biological filters from natural materials to remove ammonia. in wastewater treatment systems. M. S. Thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok.
- Chansuvarn, W. 2014. Adsorption efficiency of lead (II) ion from aqueous solution by using an aerated concrete as adsorbent. Faculty of Science and Technology. Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. Bangkok.
- Chattopadhyay, S. 2016. Adhesion and decontamination of biological contaminants in drinking water distribution systems. *Exposure and Health*. 8: 199-210.
- Chen, N.H., K.Y. Djoko, F. J. Veyrier, and A. G. McEwan. 2016. Formaldehyde stress responses in bacterial pathogens. *Frontiers in Microbiology*. 7: article ID 257.
- De, S., S. Acharya, S. Sahoo, and G. Chandra Nayak. 2020. Chapter 12 - Present status of biomass-derived carbon-based composites for supercapacitor application. P. 373-415. In: A. Pandikumar and P. Rameshkumar. *Nanostructured, Functional, and Flexible Materials for Energy Conversion and Storage Systems*, Elsevier.
- Emily, A. W., G. Zipporah, O. James, C. Mercy, and S. O. Paul. 2023. Opportunities and challenges of alternative local biofilter media in recirculating aquaculture systems. *Journal of Aquatic and Terrestrial Ecosystems*. 1: 73-81.
- Erdei-Tombor, P., G. Kiskó, and A. Taczman-Brückner. 2024. Biofilm formation in water distribution systems. *Processes*. 12: article ID 280.
- Intanai, P. 2011. Study of the characteristics and suitability of biofilters for a moving bed bioreactor in an aquaculture system. M. S. Thesis. King Mongkut's University of Technology. Thonburi, Bangkok.

- Klein, V. J., M. Irla, M. Gil López, T. Brautaset, and L. Fernandes Brito. 2022. Unravelling formaldehyde metabolism in bacteria: road towards synthetic methylotrophy. *Bacterias*. 10: article ID 220.
- Mazzoli, A., and O. Favoni. 2012. Particle size, size distribution and morphological evaluation of airborne dust particles of diverse woods by Scanning Electron Microscopy and image processing program. *Powder Technology*. 225: 65-71.
- Mnyoro, M. e. S., R. N. Munubi, L.-F. Pedersen, and S. W. Chenyambuga. 2022. Evaluation of biofilter performance with alternative local biomedica in pilot scale recirculating aquaculture systems. *Journal of Cleaner Production*. 366: article ID 132929.
- Ngenprom, N., S. Pradmali, and T. Sanyawuth. 2018. Development of composite materials by laterite and sand as plastic for porous material. In, 98. Bangkok: Rajamangala University of Technology Phra Nakhon.
- Nicula, N.-O., L.-F. Lungulescu, I. A. Ieropoulos, G. A. Rimbu, and O. Csutak. 2022. Nutrients removal from aquaculture wastewater by biofilter/antibiotic-resistant bacteria systems. *Water*. 14: article ID 607.
- Su, Y., C. Liu, H. Fang, and D. Zhang. 2020. *Bacillus subtilis*: a universal cell factory for industry, agriculture, biomaterials and medicine. *Microbial Cell Factories*. 19: article ID 173.
- Suebbuakaew, N., S. Mesathien, and T. Thephasadin Na Ayuthya. 2012. Light brick development by using used paper. *Journal of Industrial Education*. 1: 51-57.
- Sumra, Y., S. Payam, and I. Zainah. 2020. The pH of Cement-based Materials: A review. *Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition*. 35: 908-924.
- Thaneerat, C. 2010. Development of ammonia removal system in aquaculture. *Bulletin of Applied Sciences Bureau of Science Technology Information*. 183: 43-49.
- Tontasukitvanich, S. 2002. Nitrate treatment system in the closed recirculating seawater system for aquaculture. Chulalongkorn University. Bangkok.
- Zhang, X., P. Xu, Y. Lou, Y. Liu, Q. Shan, Y. Xiong, H. Wei, and J. Song. 2024. Characteristics of novel heterotrophic nitrification–aerobic denitrification bacteria *Bacillus subtilis* F4 and *Alcaligenes faecalis* P4 isolated from landfill. Leachate biochemical treatment system. *Water*. 16: article ID 1993.