



ผลกระทบของเทคโนโลยี GRANDER® ต่อเชื้อ *Vibrio* spp. และคุณภาพน้ำทางเคมี

กรณีศึกษา : ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม

Impacts of GRANDER® Technology on *Vibrio* spp. and Chemical Water Quality: A Case Study in Marine Aquaculture Systems

วิเชียร ศิริพรหม¹, นวพร สาธารณพร², ทิฆัมพร กรรเจียก³ และ ธนุ จารุเหตารักษ์^{4*}

Wichian Siriprom¹, Navaporn Sataranaporn², Tikumporn Kunjiek³ and Thathanhu Charhuhaetharucks^{4*}

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐานและพลศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

¹ Assistant Professor, Department of Basic Science and Physical Education, Faculty of Science at Si Racha, Kasetsart University Sriracha Campus.

² นักศึกษาระดับปริญญาตรี, ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา

² Undergraduate Student, Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University.

³ นักวิจัยชำนาญการ, สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล, มหาวิทยาลัยบูรพา

³ Senior Researcher, Institute of Marine Science, Burapha University.

⁴ ผู้อำนวยการฝ่ายพัฒนาธุรกิจ, บริษัท ไวทัล เวล จำกัด

⁴ Business Development Director, Vital Well Co., Ltd.

*Corresponding author, E-mail: Dhetch.MEGA@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเทคโนโลยี GRANDER® ในการควบคุมเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ในน้ำเค็มจากระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็มของสถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา โดยมีการควบคุมความเข้มข้นของเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ในสถานะเริ่มต้นให้อยู่ในช่วง $2.5-2.7 \times 10^7$ CFU/mL หลังจากนั้นทำการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER® เป็นระยะเวลา 48 และ 96 ชั่วโมง สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อ *Vibrio* spp. วิเคราะห์ด้วยวิธีสปเรดเพลต (spread plate technique) รวมถึงวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางสถิติด้วย one-way ANOVA และทดสอบความแตกต่างรายคู่ด้วย Tukey's HSD ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในส่วนการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางเคมีได้ทำการตรวจวัด แอมโมเนีย (NH_3) ไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-)

ผลการศึกษาพบว่า หลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER® เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ในระบบลดลงเหลือน้อยกว่า 30 CFU/mL แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. กว่า 99.99% และแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยชุดควบคุมยังคงพบปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. อยู่ในระดับ 10^4-10^5 CFU/mL นอกจากนี้ ยังพบว่าคุณภาพน้ำทางเคมีหลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER® มีปริมาณแอมโมเนียลดลงร้อยละ 4.56 และไนไตรท์เพิ่มขึ้นร้อยละ 48.01 ซึ่งตรงกันข้ามกับความเข้มข้นของไนเตรท พบว่าค่าไนเตรทเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.60 จากพารามิเตอร์คุณภาพน้ำทางเคมี แสดงให้เห็นว่า



เทคโนโลยี GRANDER® สามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการไนตริฟิเคชัน ในขณะเดียวกันอาจเกิดการดีไนตริฟิเคชันบางส่วน จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของไนเตรทบางส่วนเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2)

ดังนั้น เทคโนโลยี GRANDER® จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเค็มแบบไม่ใช้สารเคมีที่มีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านการยับยั้งเชื้อก่อโรครกลุ่ม *Vibrio* spp. และช่วยเสริมเสถียรภาพในการควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม เพื่อที่จะช่วยยกระดับความปลอดภัยด้านชีวภาพและการจัดการคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็มเชิงพาณิชย์ต่อไป

คำสำคัญ: เทคโนโลยี GRANDER®, *Vibrio* spp., ไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน

Abstract

This study aimed to evaluate the effectiveness of GRANDER® technology in controlling *Vibrio* spp. and improving chemical water quality in a marine aquaculture system with obtained from the marine aquaculture system of the Institute of Marine Science, Burapha University. The initial concentration of *Vibrio* spp. was set at $2.5-2.7 \times 10^7$ CFU/mL, and water was treated treated using GRANDER® technology for 48 and 96 hours. The concentration of *Vibrio* spp. was analyzed using the spread plate technique, and statistical differences were evaluated using one-way ANOVA followed by Tukey's HSD test ($p < 0.05$). For chemical water quality analysis, ammonia (NH_3 / NH_4^+), nitrite (NO_2^-), and nitrate (NO_3^-) were measured.

The results showed that after 96 hours of treatment with GRANDER® technology, the concentration of *Vibrio* spp. was reduced to less than 30 CFU/mL, indicating more than 99.99% inhibition compared with the control (10^4-10^5 CFU/mL). This reduction was significantly different from the control group ($p < 0.05$). In addition, the treated seawater showed a 4.56% decrease in ammonia and a 48.01% increase in nitrite, while nitrate increased by only 5.60%. These chemical water quality parameters suggest that GRANDER® technology may enhance the nitrification process while also promoting partial denitrification, leading to the conversion of some nitrate into nitrogen gas (N_2).

Overall, GRANDER® technology is an effective non-chemical approach for controlling pathogenic bacteria and stabilizing water quality, which could improve biosecurity and water management in commercial marine aquaculture systems.

Keywords: GRANDER® technology, *Vibrio* spp., nitrification-denitrification

บทนำ

จากความร่วมมือทางวิชาการแบบสหวิทยาการระหว่างมหาวิทยาลัย และสถาบันวิจัยในยุโรป ภายใต้ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีน้ำอย่างยั่งยืน (WETSUS – European Centre of Excellence for Sustainable Water Technology) ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา นักวิจัยจากสถาบันวิจัยต่าง ๆ ได้ร่วมกันศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำในระดับฟิสิกส์-เคมี และพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (WETSUS, 2026) โดยเฉพาะคุณสมบัติในด้านสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็ก



ไฟฟ้าที่มีต่อโครงสร้างโมเลกุลของน้ำ ซึ่งกระบวนการทำให้น้ำมีคุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนไป โดยอาศัยคุณสมบัติด้านแม่เหล็กนั้นเป็นรากฐานทางวิทยาศาสตร์ของกระบวนการบำบัดน้ำด้วยแม่เหล็ก (Magnetic Water Treatment: MWT) และเป็นทางเลือกหนึ่งของระบบบำบัดน้ำแบบไม่ใช้สารเคมี (Non-Chemical Devices: NCDs) โดยถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนกระบวนการบำบัดน้ำทางเคมีแบบดั้งเดิมที่มักก่อให้เกิดผลพลอยได้ที่เป็นพิษ (Mahmoud et al., 2016) สำหรับการบำบัดน้ำแบบ NCDs เป็นเทคนิคหนึ่งในหลาย ๆ เทคนิคของการบำบัดน้ำทางกายภาพ เช่น กระบวนการไฟฟ้าสถิต สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ (Pulsed electric field machine: PEF) อัลตราโซนิก (ultrasonics) และไฮโดรไดนามิกคาวิเทชัน (Hydrodynamic Cavitation) อย่างไรก็ตามกระบวนการบำบัดน้ำด้วยแม่เหล็กยังคงเป็นระบบบำบัดน้ำที่ได้รับความสนใจสูง เนื่องจากมีรูปแบบอุปกรณ์ที่เรียบง่ายไม่ต้องใช้ไฟฟ้าแรงสูง บำรุงรักษาง่าย ต้นทุนการดำเนินงานต่ำ และมีความปลอดภัยสูง (Li et al., 2022)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าเทคโนโลยี GRANDER® เป็นเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเชิงกายภาพที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดฟิสิกส์ของน้ำระดับโครงสร้าง (Water Structure Physics) โดยเชื่อมโยงกับกลไกที่เกิดจากสนามแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น การเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงพันธะไฮโดรเจน สมดุลประจุ และคุณสมบัติของไอออนในน้ำ นอกจากนี้ ยังสามารถยับยั้งแบคทีเรียบางชนิดได้ (Vetterl et al., 2004; Piyadasa et al., 2016) สำหรับเทคโนโลยี GRANDER® เป็นสิ่งประดิษฐ์ของ โยฮันน์ แกรนเดอร์ (Johann Grander) นักประดิษฐ์ชาวออสเตรียที่ได้พัฒนาขึ้นโดยมีแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับ “การฟื้นฟูคุณสมบัติของน้ำ (Water Revitalization)” ด้วยการถ่ายโอนคุณสมบัติทางกายภาพระดับโครงสร้างของน้ำผ่านสภาวะที่ไม่เกี่ยวข้องกับสารเคมีหรือพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ดังนั้นด้วยคุณสมบัติของน้ำทะเล ซึ่งเป็นระบบสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีไอออนเข้มข้นจึงทำให้มีค่าการนำไฟฟ้าสูงตามไปด้วย และด้วยความซับซ้อนของระบบคอลลอยด์และจุลชีพ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรคในน้ำทะเลโดยเฉพาะแบคทีเรียในสกุล *Vibrio* spp. ที่เป็นปัญหาโดยตรงต่ออัตราการรอดและประสิทธิภาพการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเศรษฐกิจหลายชนิด ดังนั้นการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรคในน้ำทะเลจะส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจระดับอุตสาหกรรมอย่างมาก

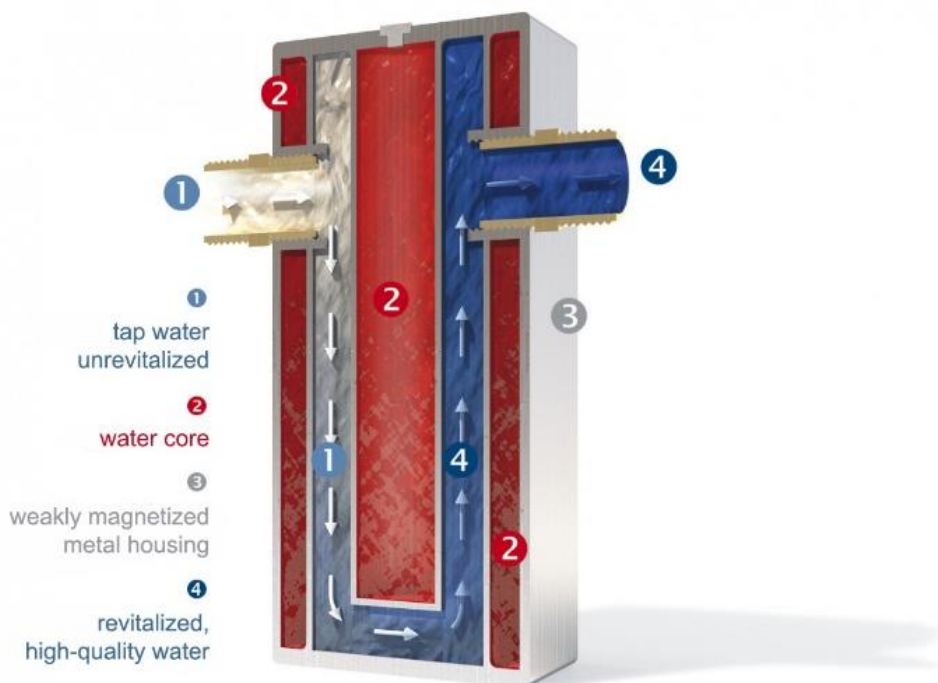
ประกอบกับพิพิธภัณฑสัตว์น้ำและสถานเลี้ยงสัตว์น้ำทะเล สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา (Bangsaen Aquarium & Museum :BIMS) ซึ่งก่อตั้งขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2512 เป็นแหล่งการเพาะเลี้ยง และแหล่งเรียนรู้ด้านสัตว์น้ำเค็มที่สำคัญของประเทศไทย มีบทบาททั้งด้านการจัดแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ การวิจัย และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม จึงจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพน้ำเค็ม โดยเฉพาะในด้านจุลินทรีย์ก่อโรคอย่างเข้มข้น ซึ่งในปัจจุบันแม้จะมีการใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) การกรองเชิงกล การใช้คลอรีน และการใช้จุลินทรีย์โปรไบโอติกส์ (Summerfelt, 2003) ในการควบคุมคุณภาพน้ำเค็มแต่วิธีการเหล่านี้ ยังคงมีข้อจำกัดในด้านสารตกค้าง ประกอบกับการค้นคว้าและประมวลผลงานทางวิชาการในประเทศไทย ยังไม่พบรายงานการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี GRANDER® ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม โดยเฉพาะการยับยั้งการเจริญและลดปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดทางองค์ความรู้ที่สำคัญ ทั้งในเชิงวิชาการและเชิงอุตสาหกรรม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายที่จะศึกษาถึงศักยภาพของเทคโนโลยี GRANDER® ในการควบคุมปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบบำบัดน้ำแบบไม่ใช้สารเคมีที่มีความปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเทคโนโลยี GRANDER® ในการลดจำนวนเชื้อ *Vibrio* spp. ในน้ำเค็มของระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำทางเคมีจากระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม หลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER®

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

อุปกรณ์ฟื้นฟูน้ำ GRANDER® (ดังภาพที่ 1) ประกอบด้วยตัวเรือนโลหะที่มีความเป็นแม่เหล็กอ่อน (หมายเลข 3) และแกนน้ำที่ผ่านการฟื้นฟูแล้ว (หมายเลข 2) แกนกลางที่ทำจากน้ำที่ผ่านการฟื้นฟูนั้นถูกบรรจุไว้ในตัวเรือนโลหะที่มีความเป็นแม่เหล็กอ่อน โดยน้ำที่ผ่านการฟื้นฟูและบรรจุอยู่ในแกนกลางนำมาจากแหล่งน้ำใต้ดิน (Stefanie/Stephanie spring) ที่มีความลึกประมาณ 520 เมตรในเหมืองแร่/แหล่งแร่ทองแดง (Kupferplatte mine) โดยตั้งอยู่ที่ยอชแบร์ก (Jochberg) รัฐทีโรล (Tirol) ประเทศออสเตรีย และถูกปรับสภาพ/ฟื้นฟูด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่พัฒนาโดยโยฮันน์ แกรนเตอร์ ด้วยแนวคิดของโยฮันน์ แกรนเตอร์ ที่ว่า “การถ่ายโอนข้อมูล” จากน้ำที่มีโครงสร้างภายในสูง (หมายเลข 2) ไปยังน้ำทั่วไป (หมายเลข 1) จะเกิดขึ้นเมื่อน้ำทั่วไป (หมายเลข 1) ผ่านเข้าสู่อิทธิพลของสนามแม่เหล็กที่ไม่สม่ำเสมอ (inhomogeneity) ซึ่งจะส่งผลทำให้โครงสร้างระดับนาโนในน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงตามกลไกการปรับสภาพน้ำด้วยสนามแม่เหล็ก (magnetic water treatment) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ Coey (2012)



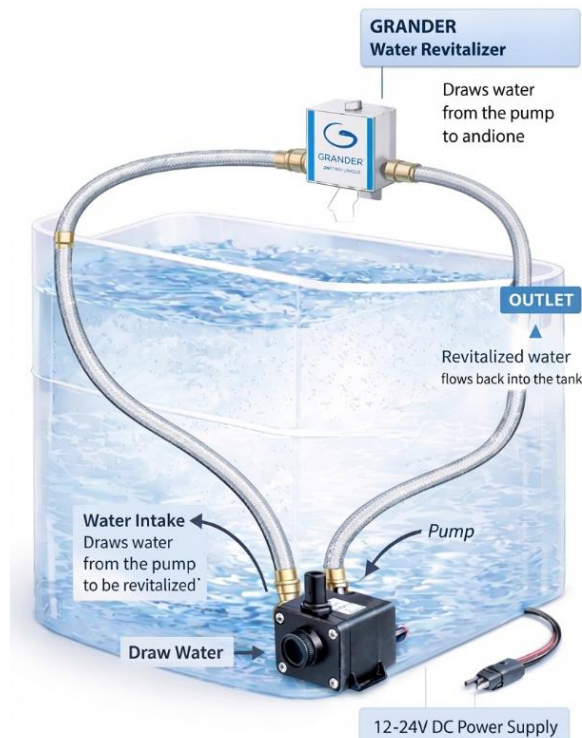
ภาพที่ 1 อุปกรณ์ฟื้นฟูน้ำ GRANDER®

(<https://www.grander.com/intl-en/international/grander-water/the-grander-effect>)

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างน้ำเค็มจากระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทะเลของ BIMS โดยจะเริ่มต้นด้วยการแบ่งน้ำเค็มที่เก็บมาจาก BIMS ออกเป็น 2 ถัง (ถังแรก เรียกว่า “ถังน้ำเค็มตัวอย่าง” ใช้สำหรับการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER® และ ถังที่สองจะเรียกว่า “ชุดควบคุม” (Control) จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำเค็มที่เวลาเริ่มต้น (0 ชั่วโมง) ก่อนเริ่มการหมุนเวียนน้ำด้วยเทคโนโลยี GRANDER® และหลังจากการหมุนเวียนน้ำด้วยเทคโนโลยี GRANDER® เป็นเวลา 48 และ 96 ชั่วโมงตามลำดับ ดังภาพที่ 2 โดยตัวอย่างน้ำเค็มที่ถูกเก็บจากทั้ง 2 ถัง คือ “ถังน้ำเค็มตัวอย่าง” ที่ใช้เทคโนโลยี GRANDER® (ผลิตโดย Grander Co., Ltd) และ “ชุดควบคุม” ที่ไม่มีการใช้เทคโนโลยี GRANDER® เพื่อเปรียบเทียบผลการลดจำนวนเชื้อ *Vibrio* spp. และการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ ตัวอย่างน้ำเค็มที่เก็บจะถูกนำมาวิเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำ (25 องศาเซลเซียส)



ภาพที่ 2 แผนผังแสดงระบบการหมุนเวียนน้ำเค็มที่ติดตั้งอุปกรณ์ปรับคุณภาพน้ำ GRANDER® ร่วมกับปั้มน้ำ โดยมีท่อทางเข้าและทางออกเพื่อให้ น้ำถูกดูดจากถังผ่านท่อทางเข้าของปั้ม จากนั้นถูกส่งผ่านท่อทางออกเข้าสู่อุปกรณ์ GRANDER® เพื่อปรับคุณภาพน้ำ ก่อนจะไหลกลับเข้าสู่ “ถังน้ำเค็มตัวอย่าง” ในลักษณะระบบหมุนเวียนแบบปิด. ปรับปรุงจาก <https://www.grander.com/intl-en/international/products-application/water-revitalisation-devices/homes-large-plants-drinking-water>



การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อ *Vibrio* spp.

การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อ *Vibrio* spp. ในตัวอย่างน้ำเค็มจะวิเคราะห์โดยใช้วิธีการ Spread Plate technique ตามมาตรฐานของ APHA (1992) โดยตัวอย่างน้ำเค็มถูกเจือจางและเพาะเชื้อบนอาหาร TSA ที่เติมเกลือ 2% เพื่อเลือกเชื้อแบคทีเรียที่ทนต่อความเค็ม โดยการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้น จะนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นบนจานเพาะเชื้อและรายงานผลเป็นจำนวนหน่วยโคโลนีต่อมิลลิลิตร (CFU/mL)

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่สำคัญในการศึกษานี้ ได้แก่ ความเค็ม, ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (Total Ammonia), ไนโตรต์ (NO_2^-), และ ไนเตรท (NO_3^-) วิเคราะห์ความเค็มโดยใช้เครื่องวัดความเค็มแบบพกพา (Model: YSI MODEL PRO2030) สำหรับค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียใช้วิธี Phenol-hypochlorite method (Grasshoff et al., 1983), ส่วนไนโตรต์ใช้วิธี Diazotization (Strickland & Parsons, 1972), และไนเตรทใช้วิธี Cadmium Reduction (Strickland & Parsons, 1972) ทั้งหมดนี้ ทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส)




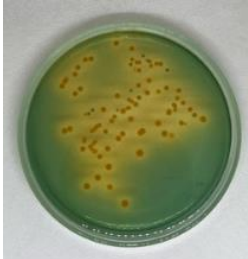

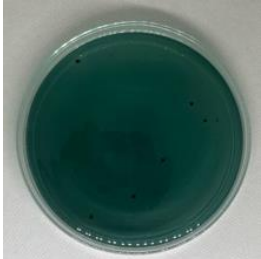
การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการบำบัด (0, 48 และ 96 ชั่วโมง) และชนิดของการบำบัด (GRANDER® vs. Control) กับจำนวน *Vibrio* spp. ที่พบในน้ำ โดยการวิเคราะห์จะช่วยให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของเทคโนโลยี GRANDER® ในการลดเชื้อ *Vibrio* spp. และเปรียบเทียบกับระบบควบคุมที่ไม่มีการใช้เทคโนโลยีนี้

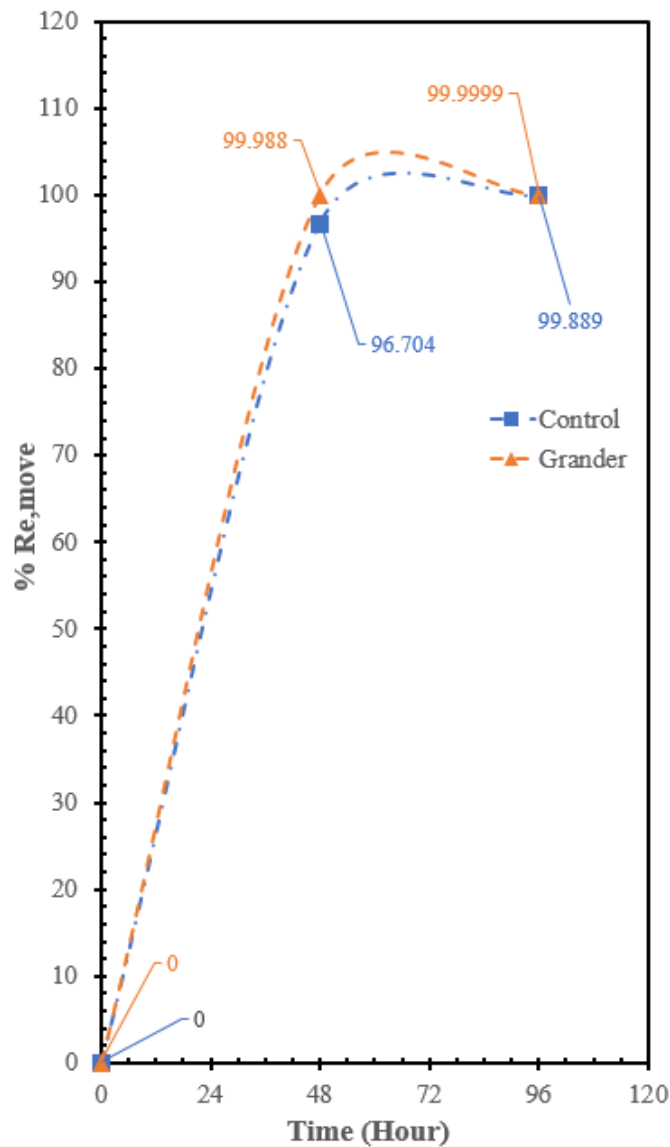
ผลการวิจัย

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ด้วยเทคโนโลยี GRANDER® ในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็มนั้น ได้เริ่มต้นการทดลองด้วยการควบคุมปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ให้มีค่าประมาณ $2.5-2.7 \times 10^7$ CFU/mL เพื่อแสดงให้เห็นว่าสภาพเริ่มต้นของน้ำเพาะเลี้ยงมีการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ในระดับสูงและอยู่ในสภาพที่เทียบเคียงกันได้ก่อนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี GRANDER® ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ก่อนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี GRANDER® มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ $2.5-2.7 \times 10^7$ CFU/mL และเมื่อเวลาผ่านไป 96 ชั่วโมง เชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ในชุดควบคุมมีปริมาณลดลงตามธรรมชาติจากระดับ $\sim 10^7$ CFU/mL เหลืออยู่ในระดับ $\sim 10^5-10^4$ CFU/mL ซึ่งแตกต่างกับการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER® เมื่อเวลาผ่านไป 96 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณเชื้อลงมาเหลือต่ำกว่า 30 CFU/mL โดยประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. จากเทคโนโลยี GRANDER® สามารถแสดงให้เห็นได้ดังแสดงในภาพที่ 3

ตารางที่ 1 ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ก่อนและหลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER®

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย <i>Vibrio</i> spp. (CFU/mL)	
	ชุดควบคุม (Control)	เทคโนโลยี GRANDER®
เริ่มต้น	2.7×10^7 	2.5×10^7 
48	8.9×10^5 	3×10^3 
96	3.0×10^4 	<30 

จากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการลดจำนวนเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ของเทคโนโลยี GRANDER® เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม เมื่อใช้เวลาในการบำบัดนาน 96 ชั่วโมง พบว่าเทคโนโลยี GRANDER® มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. สูงถึง 99.99% นอกจากนั้นในแต่ละช่วงเวลาก็ยังพบว่า การบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER® มีประสิทธิภาพมากกว่า 99% ทุกช่วงเวลาการบำบัด



ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพในการลดจำนวนเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. จากเทคโนโลยี GRANDER®

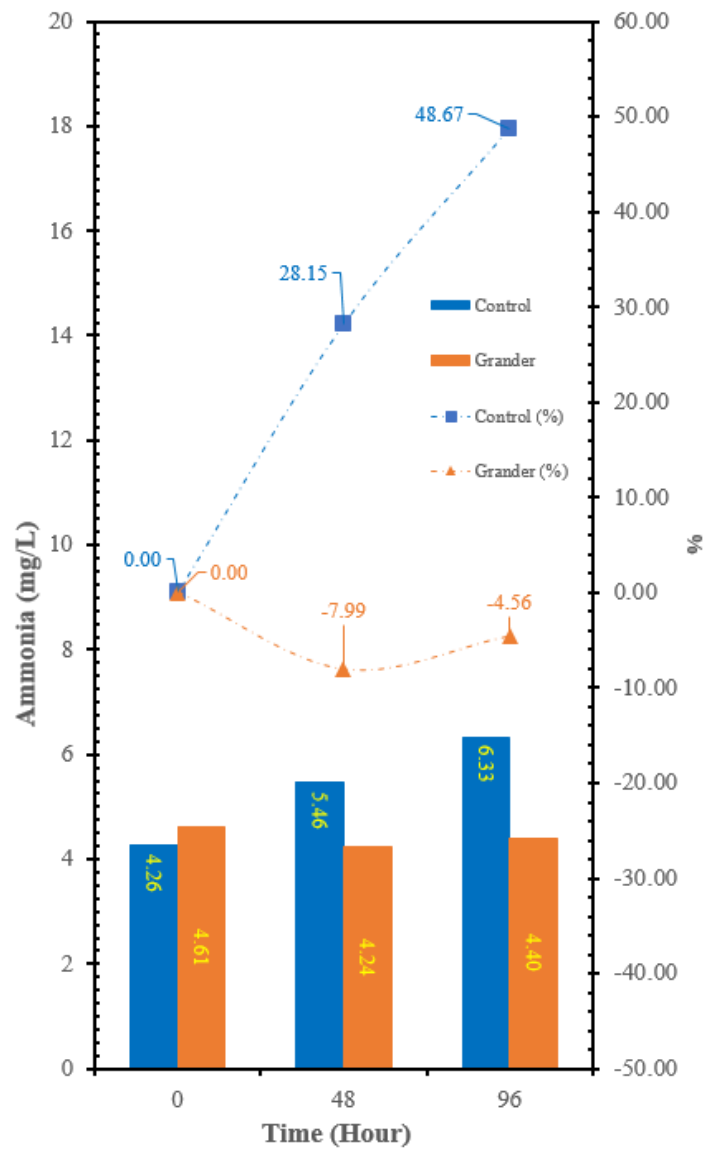
ประกอบกับเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการปรับข้อมูลปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ โดยแปลงค่าเป็น Log₁₀ (CFU/mL) เพื่อให้ข้อมูลมีการกระจายตัวใกล้เคียงปกติ ก่อนนำไปวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมด้วย One-Way Analysis of Variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และตามด้วยการเปรียบเทียบรายคู่ด้วยวิธี Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) Post-hoc Test เพื่อระบุกลุ่มที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าก่อนเริ่มการทดลองปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ในทั้ง 2 ชุดทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่เมื่อผ่านการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER® พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2



ตารางที่ 2 ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ก่อนและหลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER®

LOG 10 <i>Vibrio</i> spp. (CFU/mL)		
เวลา (ชั่วโมง)	ชุดควบคุม (Control)	เทคโนโลยี GRANDER®
เริ่มต้น	7.43 ^a	7.40 ^a
48	5.95 ^b	3.48 ^a
96	4.48 ^c	1.48 ^a

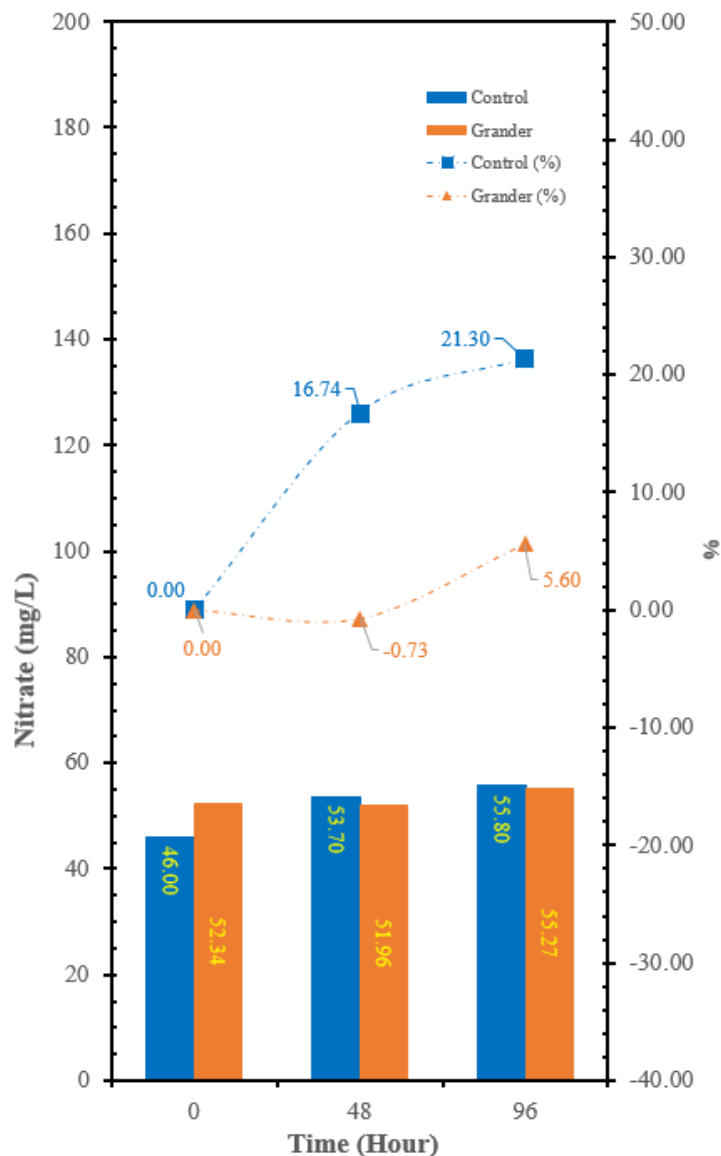
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว (ระหว่างกลุ่ม) แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตามการวิเคราะห์ One-Way ANOVA และ Tukey's HSD Post-hoc Test



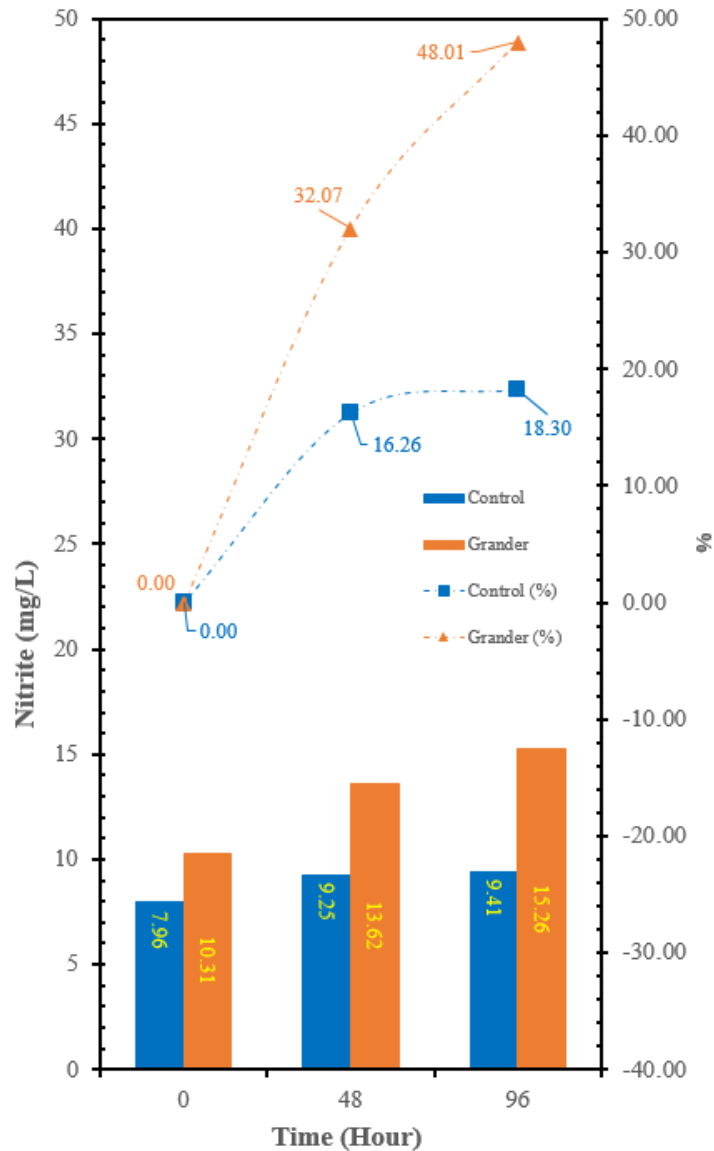
ภาพที่ 4 ความเข้มข้นของแอมโมเนีย (NH_3) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER®



สำหรับการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำทางเคมีของตัวอย่างน้ำจากระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม หลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER[®] พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย (NH_3 / NH_4^+) ลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง ในทางตรงกันข้ามพบว่าชุดควบคุมกลับมีการสะสมแอมโมเนียเพิ่มขึ้นถึง 48.67% ดังแสดงในภาพที่ 4 และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของไนเตรท (NO_3^-) กลับพบว่าค่าไนเตรทมีการเพิ่มขึ้นเพียง 5.60% ซึ่งต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างชัดเจน โดยชุดควบคุมมีค่าไนเตรทเพิ่มขึ้นถึง 21.30% ดังแสดงในภาพที่ 5 และเมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของไนไตรท์พบว่า การบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER[®] มีการเพิ่มขึ้นของค่าไนไตรท์ถึง 48.01% ดังภาพที่ 6

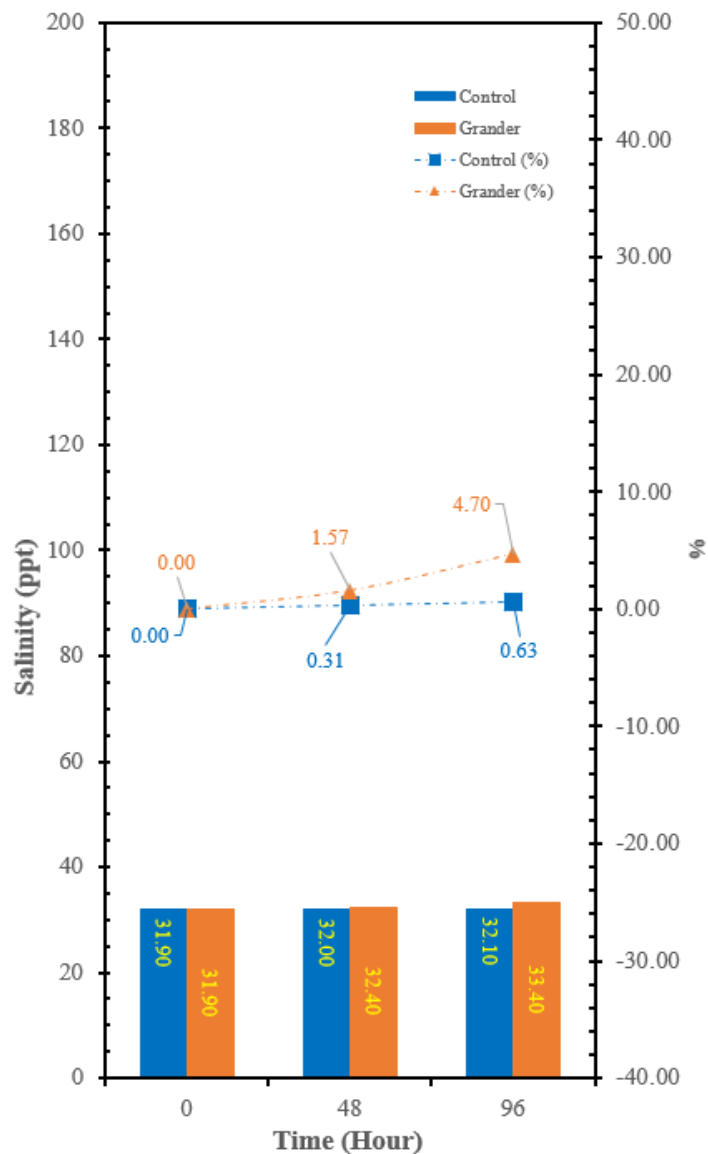


ภาพที่ 5 ความเข้มข้นของไนเตรท (NO_3^-) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER[®]



ภาพที่ 6 ความเข้มข้นของไนไตรท์ (NO_2^-) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER®

สำหรับค่าความเค็ม (Salinity) ที่เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำเค็มคือ 30-35 ppt จากผลการศึกษาพบว่าค่าความเค็มของชุดควบคุมไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยชุดควบคุมมีค่าความเค็มเริ่มต้นที่ 31.9 ppt ส่วนถึงน้ำเค็มก่อนบำบัดที่เวลาเริ่มต้น (0 ชั่วโมง) มีค่าความเค็ม 31.90 ppt เช่นกัน แต่ภายหลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER® พบว่าค่าความเค็มมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 32.40 ppt และ 33.40 ppt เมื่อเวลาในการบำบัดผ่านไป 48 ชั่วโมง และ 96 ชั่วโมงตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความเค็ม (Salinity) ก่อนและหลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER®

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของเทคโนโลยี GRANDER® ในการควบคุมเชื้อ *Vibrio* spp. ในตัวอย่างน้ำเค็มจาก BIMS พบว่าเทคโนโลยี GRANDER® มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนเชื้อ *Vibrio* spp. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยในช่วงเริ่มต้นการทดลองมีการควบคุมปริมาณเชื้อให้มีค่าอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ($2.5-2.7 \times 10^7$ CFU/mL) แสดงถึงความสม่ำเสมอของสถานะตั้งต้น อย่างไรก็ตามหลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER® เป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบว่าปริมาณเชื้อ *Vibrio* spp. ลดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพถึง 99.99–100% ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Li et al., (2022) ที่พบว่าเทคโนโลยีบำบัดน้ำด้วยสนามแม่เหล็กสามารถลดแบคทีเรียในน้ำได้มากกว่า 80–98% ในขณะที่ชุดควบคุมเมื่อเวลาผ่านไป 96 ชั่วโมง เช่นกันเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. มีปริมาณลดลงตามธรรมชาติจากระดับ $\sim 10^7$ CFU/mL เหลือ $\sim 10^5-10^4$ CFU/mL ซึ่งปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ในระดับดังกล่าวยังคงถือว่าสูงเมื่อเทียบกับ “เกณฑ์แนะนำ” ที่ Alune. (2021) ได้แนะนำสำหรับการควบคุมการเกิดโรคในสัตว์น้ำ โดยเฉพาะใน



ระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็มแบบเข้มข้น (intensive system) โดยทั่วไปในกรณีที่ระบบเพาะเลี้ยงมีเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ในระดับสูง $\sim 10^7$ CFU/mL มักทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอหรือเสียชีวิต ส่วนระดับ $\sim 10^5$ – 10^4 CFU/mL มักจะไม่ก่อโรครุนแรงแต่อาจทำให้เริ่มแสดงอาการผิดปกติ หรือเสี่ยงต่อการเกิดโรครุนแรง ดังนั้นการที่เทคโนโลยี GRANDER[®] สามารถลดปริมาณเชื้อ *Vibrio* spp. ลดลงจนเหลือต่ำกว่า 30 CFU/mL แสดงให้เห็นถึง “การฟื้นฟูคุณสมบัติของน้ำ” ด้วยการถ่ายโอนคุณสมบัติทางกายภาพระดับโครงสร้างของน้ำผ่านสถานะที่ไม่เกี่ยวข้องกับสารเคมี หรือพลังงานไฟฟ้าโดยตรงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างน้ำที่สามารถลดความสามารถในการเจริญของแบคทีเรียก่อโรคในระบบเพาะเลี้ยงได้ ในส่วนของคุณภาพน้ำจะสามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรด้านเคมี ซึ่งหลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER[®] พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียหลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER[®] ลดลงถึง 4.56–7.99% ในขณะที่ชุดควบคุมมีแอมโมเนียเพิ่มขึ้นถึง 48.67% สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเทคโนโลยี GRANDER[®] และบ่งชี้ถึงการเร่งกระบวนการเปลี่ยนรูปแอมโมเนีย ในระบบเพาะเลี้ยงจากปรากฏการณ์ที่แอมโมเนียลดลงหลังการบำบัดด้วยเทคโนโลยี GRANDER[®] เมื่อพิจารณาร่วมกับความเข้มข้นของไนโตรเจนพบว่าสอดคล้องกับค่าไนโตรเจนที่เพิ่มสูงขึ้น โดยค่าไนโตรเจนที่มีค่าเพิ่มขึ้นถึง 48.01% แสดงให้เห็นได้ว่าเทคโนโลยี GRANDER[®] มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปแอมโมเนียไปเป็นไนโตรเจนจึงทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและเป็นตัวบ่งชี้ สำคัญของการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยด้านการปรับโครงสร้างน้ำด้วยสนามแม่เหล็กและระบบกระตุ้นโครงสร้างน้ำที่รายงานโดย Moussa et al., (2024) ว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ในกลุ่มไนตริไฟอิงแบคทีเรียได้ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาร่วมกับความเข้มข้นของไนเตรท (NO_3^-) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปลายทางของกระบวนการไนตริฟิเคชัน พบว่าเทคโนโลยี GRANDER[®] ทำให้ไนเตรทเพิ่มขึ้นเพียง 5.60% ซึ่งต่ำกว่าชุดควบคุมที่มีค่าเพิ่มขึ้นถึง 21.30% อย่างชัดเจน ปรากฏการณ์ดังกล่าวบ่งชี้ว่าระบบบำบัดน้ำด้วยเทคโนโลยี GRANDER[®] อาจมีการกระตุ้นให้เกิดการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) จึงทำให้ไนเตรทถูกเปลี่ยนกลับเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) และระเหยออกจากระบบส่งผลให้ระดับไนเตรทในน้ำไม่เกิดการสะสม ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของไบโอฟิล์ม ดีไนตริฟิเคชัน (biofilm-based denitrification) ดังนั้นการเกิดไนเตรทเพียงเล็กน้อยบ่งชี้ว่าปฏิกิริยารีดิวซ์ไนเตรตที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปของไนเตรทไปเป็นก๊าซไนโตรเจนตามลำดับขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกไนโตรเจนจะรับอิเล็กตรอนจากตัวให้อิเล็กตรอนในปฏิกิริยาและเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และก๊าซไนโตรเจนตามลำดับ ประกอบกับการที่ไนเตรทบางส่วนถูกเปลี่ยนกลับเป็นก๊าซไนโตรเจนจึงเป็นผลดีต่อระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม ในเชิงความปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิตและเสถียรภาพของคุณภาพน้ำ เนื่องจากในกรณีที่ค่าไนเตรทอยู่ในระดับต่ำกว่า 100 mg/L จะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในระบบเพาะเลี้ยง แต่จะไปช่วยการเจริญของสาหร่ายหรือแพลงก์ตอนพืช ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Schrader et al., (2013) ที่ได้กล่าวถึงการควบคุมระดับไนเตรทในระบบเพาะเลี้ยงมักจะควบคุมให้อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 100 mg/L เพื่อให้ระบบยังอยู่ในสภาพสมดุลและลดโอกาสในการเกิดปัญหาทั้งทางชีวภาพและคุณภาพน้ำ นอกจากนี้ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยี GRANDER[®] มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม โดยเฉพาะในด้านการลดความเสี่ยงการเกิดโรคจากเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. และช่วยในการปรับเสถียรภาพคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำผ่านกลไกการปรับสมดุลของระบบไนโตรเจน ทำให้คุณสมบัติของระบบน้ำโดยรวมมีความเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ



ข้อเสนอแนะ

เทคโนโลยี GRANDER® แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการปรับสภาพน้ำให้มีเสถียรภาพมากขึ้น ทั้งทางด้านจุลินทรีย์และวัฏจักรไนโตรเจน ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงจากเชื้อก่อโรคและปรับปรุงคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็มได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นควรทดลองใช้เลี้ยงสัตว์น้ำเค็มจริง ๆ (ในห้องปฏิบัติการหรือแปลงทดลองขนาดเล็ก) โดยใช้เวลาทดลองที่นานกว่า 96 ชั่วโมงก่อนต่อยอดสู่การใช้งานจริงในระบบเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์

เอกสารอ้างอิง

- Alune. (2021). Reducing the risks of bacterial-borne diseases in shrimp farms. The Fish Site. <https://thefishsite.com/articles/reducing-the-risks-of-bacterial-borne-diseases-in-shrimp-farms-vibrio-indonesia-alune>
- APHA. (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater (18th ed.). American Public Health Association.
- Coey, J.M.D. (2012) Magnetic Water Treatment - How Might It Work. Philosophical Magazine, 92, 3857-3865. <https://doi.org/10.1080/14786435.2012.685968>
- GRANDER Wasserbelebung Gesellschaft m.b.H. (2026, April 19). GRANDER Inline Units. <https://www.grander.com/intl-en/international/products-application/water-revitalisation-devices/homes-large-plants-drinking-water>
- GRANDER Wasserbelebung Gesellschaft m.b.H. (2026, April 19). Structure & proven effects of GRANDER Water Revitalization. <https://www.grander.com/intl-en/international/grander-water/the-grander-effect>
- Grasshoff, K., Ehrhardt, M., & Kremling, K. (1983). Methods of seawater analysis (2nd ed.). Verlag Chemie.
- Li, S., Zhao, X., Li, Y., Guo, P., Zhou, Y., Zhao, Z., & Cai, Y. (2022). Investigation of scale inhibition effect and mechanism of S-HGMF in the clean recirculating cooling water system. Science of the Total Environment, 845, 157156.
- Mahmoud, B., Yosra, M., & Nadia, A. (2016). Effects of magnetic treatment on scaling power of hard waters. Separation and Purification Technology, 171, 88-92.
- Moussa, M., Zarai, B., & Hachicha, M. (2024). Magnetic water treatment: theory and effects on treated water a systematic review. Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration.
- Piyadasa, C., Yeager, T. R., Gray, S. R., Stewart, M. B., Ridgway, H. F., Pelekani, C., & Orbell, J. D. (2016). The effect of electromagnetic fields, from two commercially available water treatment devices, on bacterial culturability. Water Science & Technology, 73, 1371-1377.
- Schrader, K.K., Davidson, J.W., & Summerfelt, S.T. (2013). Evaluation of the impact of nitrate-nitrogen levels in recirculating aquaculture systems on concentrations of



- the off-flavor compounds geosmin and 2-methylisoborneol in water and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquacultural Engineering*, 57, 126-130.
- Strickland, J. D. H., & Parsons, T. R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis* (2nd ed.). Fisheries Research Board of Canada.
- Summerfelt, S. T. (2003). Ozonation and UV irradiation an introduction and examples of current applications. *Aquacultural Engineering*, 28, 21-36.
- Vetterl, V., Fojt, L., Strasak, L., & Smarda, J. (2004). Comparison of the low-frequency magnetic field effects on bacteria *Escherichia coli*, *Leclercia adecarboxylata* and *Staphylococcus aureus*. *Bioelectrochemistry*, 63, 337– 341.
- WETSUS – European Centre of Excellence for Sustainable Water Technology. (2026, April 6). About WETSUS. <https://www.wetsus.nl/about-wetsus>