การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบ ในการลดสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*)

Comparative Study on Efficiency of Two Protein Skimmer Models Used for Reduction of Nitrogen Compounds in Vannamei Shrimp Culture Pond

ฟาหัส หมัดกะเส็ม

สาขาวิชาเทคโนโลยีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
วิทยาลัยประมงติณสูลานนท์
สถาบันการอาชีวศึกษาเกษตรภาคใต้
ปีการศึกษา 2564

ใบรับรองโครงงาน

เทคโนโลยีบัณฑิต (ทล.บ.)

สาขาวิชาเทคโนโลยีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

เรื่อง **การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบในการลดสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม (*Penaeus vannamei*)**

Comparative Study on Efficiency of Two Protein Skimmer Models Used for Reduction of Nitrogen Compounds in Vannamei Shrimp Culture Pond

โดย **นายฟาหัส หมัดกะเส็ม**

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ

(นายกรีฑา ดิษโสภา)

..... กรรมการ

(นางพัชริดา ขำขจร)

..... ประธานหลักสูตร

(นางกฤษณี วงศ์วุฒิวัฒน์) ทำหน้าที่ กรรมการและเลขานุการ

วันที่ 29 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2564

วิทยาลัยประมงติณสูลานนท์

สถาบันการอาชีวศึกษาเกษตรภาคใต้

ปีการศึกษา 2564

เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบ ในการลดสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม
Comparative Study on Efficiency of Two Protein Skimmer Models Used for Reduction of Nitrogen Compounds in Vannamei Shrimp Culture Pond

โดย ฟาหัส หมัดกะเส็ม
สาขาวิชา เทคโนโลยีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา อนุสรณ์ ช่วยทอง

บทคัดย่อ

เนื่องจากในปัจจุบัน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำประสบกับปัญหาการที่มีปริมาณสัตว์น้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด เนื่องจากปัญหาการตายของสัตว์น้ำโดยสาเหตุมาจากสารประกอบไนโตรเจน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการดัดแปลงเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ เพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าว โดยงานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบ ในการลดสารประกอบไนโตรเจนในการบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง ประกอบด้วย เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป และโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป โดยทำการทดลองหนึ่งเครื่อง ซึ่งทำการทดลองในบ่อขนาด 3,000 ลิตร และชุดการทดลองที่ 2 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์ โดยทำการทดลองหนึ่งเครื่อง ซึ่งทำการทดลองในบ่อขนาด 3,000 ลิตร น้ำตัวอย่างจะนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ แอมโมเนีย และไนไตรท์ ทุก 3 วัน จากการศึกษา พบว่า แอมโมเนีย และไนไตรท์ของชุดการทดลองที่ 1 ในวันที่ 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, และ 30 มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 โดยทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สรุปว่า เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ทั้ง 2 รูปแบบ มีประสิทธิภาพในการลดสารประกอบไนโตรเจนไม่แตกต่างกัน จึงมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์ในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจน

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจากท่านอาจารย์อนุสรณ์ ช่วยทอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่กรุณาให้คำปรึกษา และให้กำลังใจ ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจ และความทุ่มเทของอาจารย์ที่ปรึกษา ตั้งแต่กระบวนการวางแผนการทดลองตลอดจนสิ้นสุดการทดลอง และสำเร็จลุล่วง ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยประมงติณสูลานนท์ อาคารเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกร่อย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และวัสดุอุปกรณ์ในการทดลองงานวิจัยในครั้งนี้

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงงานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านอยู่ไม่น้อยจึงขอมอบส่วนดีทั้งให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้รับประสิทธิ์ประสาทวิชา จนทำให้ผลงานเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านทุกท่าน ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ในการอบรมเลี้ยงดู ที่ได้ให้โอกาส และสนับสนุนทุนทรัพย์ในการศึกษาตลอดจนให้กำลังใจเสมอมา ร่วมทั้งสมาชิกในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจให้ความช่วยเหลือในการแก้ปัญหา อุปสรรคต่างๆ และสุดท้ายขอขอบพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามที่ได้ให้การช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้า จนทำให้โครงการวิจัยนี้ ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี และข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยน้อมรับผิดแต่เพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำชี้แนะจากทุกท่าน ที่เข้ามาศึกษาโครงงานวิจัยฉบับนี้ เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่อไป ขอขอบพระคุณ ณ ที่นี้

ฟาหัส หมัดกะเส็ม
สาขาวิชาเทคโนโลยีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
วิทยาลัยประมงติณสูลานนท์ สถาบันการอาชีวศึกษาเกษตรภาคใต้
ตุลาคม 2564

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	**(1)**
สารบัญตาราง	**(2)**
สารบัญภาพ	**(3)**
บทนำ	**1**
ที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	**3**
เอกสารวิชาการ	3
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
วิธีการดำเนินการ	**20**
วัสดุอุปกรณ์	20
การวางแผนการทดลอง	22
วิธีการทดลอง	22
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	**28**
ผลการทดลอง	28
วิจารณ์ผลการทดลอง	31
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	**33**
สรุปผลการทดลอง	33
ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	**34**
ภาคผนวก	**37**
ภาคผนวก ก ภาพเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบ	38
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ	40

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกุ้ง	17
2	แสดงวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในชุดการทดลอง	27
3	แสดงค่าแอมโมเนีย (ppm) จากการใช้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบ เป็นเวลา 30 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD)	29
4	แสดงค่าไนไตรท์ (ppm) จากการใช้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบ เป็นเวลา 30 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD)	30

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบ Air stone Protein Skimmer	13
2	เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบ Venturi Protein Skimmer	14
3	เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบ Needle wheel Protein Skimmer	15
4	ระบบบำบัดน้ำแบบไบโอฟลอค	15
5	ระบบบำบัดน้ำแบบ (Recirculating aquaculture systems (RAS))	16
6	เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป	23
7	เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์	24
8	การนำเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไปนำมาติดตั้งเข้ากับบ่อทดลอง	26
9	การนำเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์นำมาติดตั้งเข้ากับบ่อทดลอง	26

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศไทยได้มีการมุ่งเน้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิต ซึ่งในปัจจุบันการเพิ่มจำนวนของประชากรของโลกได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้มีความต้องการผลิตอาหารเพิ่มขึ้น เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการบริโภคของประชากร ซึ่งการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการเพิ่มอาหารทางด้านโปรตีน เพื่อเลี้ยงประชากรโลก การเพาะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมนั้นได้มีการพัฒนาไปอย่างมาก ทั้งในระบบการเลี้ยงและอาหารที่ใช้เลี้ยงการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เป็นที่นิยมเลี้ยงกันมากขึ้น โดยเฉพาะการเลี้ยงกุ้งบริเวณชายฝั่ง และมีความสำคัญเชิงเศรษฐกิจมาก จึงทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำหันมาเลี้ยงกุ้งกันมาก โดยมีรูปแบบการเลี้ยงกุ้งทั้งในระบบปิด และระบบเปิด การให้อาหารกุ้ง และการกินอาหารของกุ้ง กุ้งสามารถนำอาหารที่ได้รับไปใช้ได้บางส่วนเท่านั้นแต่ทว่า ส่วนที่เหลือก็ละลายสู่แหล่งน้ำที่ใช้เลี้ยง โดยจะก่อให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพน้ำ เช่น ปริมาณสารประกอบไนโตรเจน โดยเฉพาะแอมโมเนีย และไนไตรท์ ที่เพิ่มขึ้นจากการย่อยสลายโปรตีน โดยจำนวนมากของสารประกอบไนโตรเจน ดังกล่าวนั้นจะถูกขับออกทางเหงือกของสัตว์น้ำ และเกิดจากการย่อยเศษอาหารที่เหลือโดยจุลินทรีย์ ซึ่งแอมโมเนียและไนไตรท์มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ทำให้สัตว์น้ำอ่อนแอลง หรือทำให้สัตว์น้ำตายได้หากมีความเข้มข้นสูง ของเสียจากกิจการเพาะเลี้ยงกุ้ง ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหากมีการปล่อยน้ำเสียนั้นลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (กรมมลพิษ, 2551)

ปัญหาของเกษตรกรเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีมาอย่างยาวนาน นั่นคือปัญหาการตายของสัตว์น้ำ เนื่องจากน้ำมีสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต โดยสาเหตุหลักในเรื่องของคุณภาพน้ำ คือ สารประกอบไนโตรเจน โดยเฉพาะไนไตรท์ และแอมโมเนีย ซึ่งสารประกอบไนโตรเจนดังกล่าวมีต้นเหตุมาจากสารอินทรีย์ภายในบ่อที่เป็นของเสีย โดยที่สารอินทรีย์นั้นเกิดมาจากของเสียจากตัวสัตว์น้ำ หรืออาจจะเป็นอาหารที่หลงเหลือในบ่อล้วนก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าว (เกรียงศักดิ์, 2544) ซึ่งสาเหตุที่จำเป็นที่ต้องมีการป้องกันการเกิดแอมโมเนียและไนไตรท์เป็นเพราะว่าถ้าในแหล่งน้ำพบปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์สูงเป็นเวลานานจะมีผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง ส่งผลต่อสุขภาพสัตว์น้ำได้ ถ้าพบค่าแอมโมเนียสูงแสดงว่าคุณภาพน้ำไม่ดี เริ่มเน่าเสีย ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ การเลี้ยงสัตว์น้ำที่เน้นให้อาหารโปรตีนสูง อาจพบว่าค่าไนไตรท์สูงจนทำให้เกิดปัญหาต่อสัตว์น้ำได้ ดังนั้น จึงมีการคิดค้นนวัตกรรม ซึ่งมีประโยชน์ในการลดสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดสารประกอบไนโตรเจน โดยหนึ่งในนวัตกรรมดังกล่าว คือ เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์

ซึ่งเป็นเครื่องดังกล่าวมีประโยชน์อย่างมากในวงการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งเครื่องดังกล่าวมีประโยชน์ในการแยกของเสีย และสารอินทรีย์ออกจากน้ำในขณะที่ทำการเลี้ยง โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำบ่อยครั้งเกินไป ซึ่งเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ทำงานโดยการปล่อยอากาศที่เป็นฝอยขนาดเล็กให้ทำหน้าที่ดักจับอนุภาคขนาดเล็กของสารอินทรีย์ในน้ำ เพื่อแยกชั้นของน้ำ และอนุภาคของสารอินทรีย์ออกจากกัน โดยที่ฝอยอากาศจะเข้าไปจับตัวกับสารอินทรีย์แล้วลอยขึ้นสู่ผิวน้ำด้านบน ซึ่งเป็นที่เก็บส่วนน้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีการนำไปใช้งานต่อไป

จากการที่ผู้วิจัย ซึ่งเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี สถาบันการอาชีวศึกษาเกษตรภาคใต้ ได้เล็งเห็นถึงปัญหา เรื่องของสารประกอบไนโตรเจนที่มีผลกระทบสภาพแวดล้อมทางน้ำ และบริเวณชายฝั่งทะเล ที่เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งปล่อยน้ำเสียออกสู่ภายนอกฟาร์มกุ้งขาวแวนนาไม จึงมีแนวคิดในการใช้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ ในการลดสารประกอบไนโตรเจนในการบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้ง ต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบ ในการลดปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

การตรวจเอกสาร

เอกสารวิชาการ

การประมงในอดีตนับตั้งแต่เริ่มมีการจัดตั้งกรมรักษาสัตว์น้ำขึ้นในปีพ.ศ. 2469 จนถึงช่วงก่อนที่จะมีการจัดทำแบบพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติขึ้นใน ปี พ.ศ. 2504 ส่วนใหญ่เน้นด้านการประมงน้ำจืด ทั้งยังมีจุดประสงค์ ที่จะบำรุงรักษาพันธุ์สัตว์น้ำ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในช่วงนี้ยังไม่มีบทบาทสำคัญในทางเศรษฐกิจ ปี พ.ศ. 2492 มีการพัฒนาการเพาะเลี้ยงเริ่มเด่นชัดขึ้นในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจฉบับที่ 1 และ 2 ช่วงปี พ.ศ 2504-2514 ได้มีการศึกษาชีวประวัติของสัตว์น้ำกร่อยหลายชนิด มีการรวบรวมลูกพันธุ์ปลาทะเลมาทดลองเลี้ยง และส่งเสริมให้เกษตรกรเลี้ยงปลาในกระชังทำให้เกษตรกรมีอาชีพ และรายได้เพิ่มมากขึ้น ต่อมากรมประมงได้ทดลองศึกษา ค้นคว้าเทคนิค และวิธีการใหม่ๆ รวมทั้งสำรวจแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เพื่อขยายขอบเขตการเพาะเลี้ยง ปรับปรุงแหล่งน้ำ และพันธุ์สัตว์น้ำให้มีการใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสมถาวรตลอดไป โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งแถบทะเลอันดามัน และมหาสมุทรอินเดียในช่วง ปี พ.ศ. 2520-2529 การพัฒนาประมงทะเลมีความก้าวหน้าจนทรัพยากรสัตว์น้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติลดน้อยลง กรมประมงจึงกำหนดนโยบายที่จะเพิ่มปริมาณสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยงให้มากขึ้น ปัจจุบันพื้นที่บริเวณชายฝั่งที่คาดว่า มีศักยภาพในการประกอบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีประมาณกว่า 6 ล้านไร่ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในพื้นที่ชายฝั่ง หรือน้ำกร่อยส่วนใหญ่เป็นการเลี้ยง เพื่อยังชีพ หรือตามวิถีพื้นบ้าน ลักษณะการเลี้ยงมีหลากหลายรูปแบบตามแนวคิดของแต่ละถิ่น เช่น ใช้ไม้ไผ่ปัก กั้นคอกเลี้ยงหอย จนปัจจุบันมีการพัฒนามาใช้การเลี้ยงแบบหนาแน่นในบ่อดิน (Intensive Culture Technologies) จนประสบความสำเร็จมากในด้านรายได้ ซึ่งเน้นการผลิตปริมาณมาก เพื่อการส่งออกเป็นหลัก ชนิดสัตว์น้ำที่มีการเพาะเลี้ยงกันมาก ได้แก่ กุ้งกุลาดำ กุ้งขาว หอยแครง หอยแมลงภู่ หอยนางรม และปูทะเลส่วนการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็มอื่นๆ รวมทั้งสาหร่ายในประเทศไทยยังมีข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีการผลิต แต่ก็มีศักยภาพที่จะพัฒนาดีขึ้นกว่าในอดีตปัจจุบันการเพาะเลี้ยงมีความสำคัญสำหรับประเทศไทย เนื่องจากเป็นแหล่งผลิตสัตว์น้ำทดแทนสัตว์น้ำทะเลที่มีแนวโน้มลดลงที่สามารถพัฒนาเทคโนโลยีได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถตรวจสอบระบบการผลิตย้อนกลับได้ ซึ่งจะทำให้ผลผลิตสัตว์น้ำเป็นสินค้าส่งออกที่มีประสิทธิภาพเป็นที่ยอมรับของตลาดต่างประเทศ ชนิดสัตว์น้ำที่เลี้ยงสามารถเลือกได้ตามที่ตลาดมีความต้องการทำให้ขายได้ราคามีส่วนช่วยสนับสนุนอุตสาหกรรมต่อ เนื่องเพราะสามารถป้อนผลผลิตเข้าสู่ระบบได้อย่างต่อเนื่อง และคงที่เป็นการสร้างความมั่นคงทางอาหารให้กับชุมชนชายฝั่ง และธุรกิจเกษตร อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยจำกัดที่ทำให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของไทยยังไม่พัฒนาเท่าที่ควร

ได้แก่ ด้านต้นทุนผลิต ด้านปัญหาสิ่งแวดล้อม และด้านเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสม ซึ่งที่ผ่านมามีจำกัดอยู่เพียงบางชนิดของสัตว์น้ำเช่น กุ้ง เท่านั้นสถานการณ์ และในปัจจุบันของการเพาะเลี้ยงประเทศไทยมีปริมาณและมูลค่าการส่งออกสินค้าสัตว์น้ำมากว่าการนำเข้าสินค้าสัตว์น้ำจากต่างประเทศมีดุลการค้าจากการส่งออกสัตว์น้ำเพิ่มขึ้นทุกปี ในปีพ.ศ 2551 ประเทศไทยสามารถส่งออกสินค้าสัตว์น้ำ 228,217.6 ล้านบาท มีการนำเข้าสัตว์น้ำ 81,129 ล้านบาท มีดุลการค้า 147,089 ล้านบาท อย่างไรก็ตาม ส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ที่ส่งออกก็มาจากการแปรรูปสัตว์น้ำที่นำเข้ามาด้วยเช่นกัน พื้นที่การเพาะเลี้ยงชายฝั่งตามสถิติการประมงแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2546 มี 512,620 ไร่ จำนวนครัวเรือนที่ทำอาชีพเพาะเลี้ยงชายฝั่งเพียงอย่างเดียวประมาณ 35,711 ครัวเรือน (ปีพ.ศ. 2551) ผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงมีปริมาณเพิ่มขึ้นกว่า 10 เท่าในรอบ 20 ปี ที่ผ่านมา โดยในปีพ.ศ. 2527 มีผลผลิตสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยงชายฝั่ง 61.5 พันตัน และ 20 ปี ต่อมา ใน ปี พ.ศ. 2547 มีผลผลิตสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยงชายฝั่งเท่ากับ 736.3 พันตัน ในขณะที่ผลผลิตประมงโดยการจับมีปริมาณเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 1.4 เท่านั้นในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งชนิดสัตว์น้ำที่นิยมเพาะเลี้ยงได้แก่ กุ้ง ปลาทะเล และหอย เนื่องจากเป็นสัตว์น้ำที่ค่อนข้างมีราคา และเป็นที่ต้องการของตลาด ซึ่งกุ้งทะเล (ส่วนใหญ่เป็นกุ้งขาวแวนนาไม) เป็นสัตว์น้ำที่นิยมในการเพาะเลี้ยงและส่งออกมากที่สุด โดยเฉลี่ย ร้อยละ 80-85 ของปริมาณสัตว์น้ำทั้งหมดที่มีการส่งออกในปีพ.ศ. 2551 มีผลผลิตกุ้งประมาณ 460,000 ตัน ผลผลิตหอยซึ่งส่วนใหญ่เป็นหอยแมลงภู่ 382,920 ตัน และผลผลิตจากปลาทะเล 20,350 ตัน ในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศไทยยังพบปัญหาในหลายส่วน ได้แก่ ปัญหาด้านต้นทุนการผลิตที่สูง เนื่องจากระบบการเลี้ยงผูกขาดอยู่กับอาหารสำเร็จรูปซึ่งมีราคาแพง และค่าแรงงานสูง และปัญหาเรื่องโรคระบาดก็ทำให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำบางชนิดยังไม่ประสบความสำเร็จ (กรมประมง, 2552)

1. การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

กุ้งขาวแวนนาไมหรือกุ้งขาวแปซิฟิก (Pacific white shrimp) ถูกค้นพบโดย Boone ในปี ค.ศ.1931 มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Penaeus vannamei* ชื่อสามัญที่ FAO ได้รับรอง และใช้เรียกกันทั่วโลก คือ White leg shrimp หรือ Pacific white shrimp มีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในทวีปอเมริกาเหนือ และอเมริกาใต้ได้แก่เอกวาดอร์ เม็กซิโก บราซิล เป็นต้น ส่วนในทวีปเอเชียมีการเลี้ยงกุ้งชนิดนี้ในหลายประเทศได้แก่ไต้หวัน จีน อินโดนีเซีย เวียดนาม สำหรับประเทศไทยกรมประมงอนุญาตให้นำพ่อแม่พันธุ์กุ้งขาวที่ปลอดเชื้อ (Specific Pathogen Free, SPF) จากต่างประเทศเข้ามาทดลองเลี้ยงในปี พ.ศ. 2545 โดยอนุญาตให้นำเข้าพ่อแม่พันธุ์กุ้งขาวได้

จากแหล่งที่กรมประมงรับรองแล้วเท่านั้น ซึ่งในขณะนั้นการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในประเทศไทยกำลังประสบปัญหากุ้งโตช้า ไม่ได้ขนาดตัวที่ต้องการ และเกิดโรคระบาดเกษตรกรที่เลี้ยงกุ้งกุลาดำส่วนใหญ่ประสบปัญหาขาดทุน ในขณะเดียวกัน มีเกษตรกรบางส่วนทดลองเลี้ยงกุ้งขาวให้ผลค่อนข้างดี ทำให้เกษตรกรจำนวนมากหันมาเลี้ยงกุ้งขาวกันมากขึ้น (มาโนช และคณะ, 2562)

2. คุณภาพน้ำที่สำคัญในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

2.1 สารประกอบไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนของแหลงน้ำมีอยูหลายรูปแบบ ซึ่งมีความสำคัญแตกตางกันในดานการเพาะเลี้ยงสัตวน้ำ นิยมศึกษาใน 3 รูปแบบ คือ แอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรท โดยไนโตรเจน เปนสารประกอบหลักของโปรตีน ซึ่งเปนองคประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต แบคทีเรีย และพืชบางชนิดสามารถตรึงแกสไนโตรเจนจากอากาศไดโดยตรง พืชสีเขียวอาจใชไนโตรเจนที่อยูในสารประกอบ เชน แอมโมเนีย หรือไนเตรท สำหรับการสังเคราะหแสงเพื่อสรางโปรตีน เมื่อสิ่งมีชีวิตในแหลงน้ำตายลงสารประกอบโปรตีนในรางกายก็ถูกยอยสลายเปลี่ยนเปนสารประกอบอื่นๆ นอกจากนี้ ของเสียที่ถูกขับถายจากสัตวจะมีสารประกอบพวกโปรตีน หรืออินทรีย ไนโตรเจนที่ยังยอยไมหมด สารเหลานี้จะถูกแบคทีเรียยอยสลายเปนแอมโมเนีย แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกพืชนำไปใชประโยชน์ในการสรางโปรตีนใหมแตถามีปริมาณมากก็จะถูกออกกซิไดสโดยแบคทีเรียเปนสารประกอบพวกไนไตรท และไนเตรท ตามลำดับ ไนเตรทจะถูกพืชนำไปใชประโยชนตอไป สวนที่เหลือจะถูกชะลางลงหนาดิน ในสภาพไมมีออกซิเจน ไนเตรทอาจถูกทำปฏิกิริยา Reduction ใหกลับมาเปนไนไตรท และแอมโมเนีย มีแบคทีเรียบางชนิด เทานั้นที่สามารถทำปฏิกิริยาดังกลาวได และไนไตรทมักจะถูกเปลี่ยนเปนแกสไนโตรเจนมากกวา นอกจากการยอยสลายสิ่งมีชีวิตที่ลมตายลง ของเสียที่ปลอยทิ้งมาจากชุมชนที่อยูอาศัย และโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท จะมีสารประกอบของโปรตีน และไนโตรเจนอยูดวย จึงทำใหเกิดการยอยสลายโดยแบคทีเรียในน้ำเชนกัน ซึ่งถาหากมีปริมาณมากก็จะทำใหเกิดการขาดแคลนออกซิเจนได เนื่องจากขบวนการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนเปนแอมโมเนีย ไนไตรทและไนเตรทตองใชออกซิเจนที่กลาวมาแลว นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนชนิดตางๆ ยังสามารถใชเปนดัชนีใหเห็นถึงภาวะความเนาเสียที่เกิดขึ้น เชน หากตรวจพบวามีปริมาณแอมโมเนียมากแสดงวาแหล่งน้ำแหงนั้นจะเริ่มเนาเสีย และมีอันตรายตอสัตวน้ำ แตถาตรวจพบไนเตรทมากก็แสดงวาการเนาเสียไดเกิดขึ้นนานแลวจึงไมมีอันตรายตอสัตวน้ำอีกตอไป เปนตน แอมโมเนียโดยปกติเปนพิษตอปลา และกุง โดยเฉพาะในรูปของ Unionized Form หรือ NH_3 สวน Ionized Form หรือ NH_4^+ ไมมีพิษตอสัตวน้ำ เวนแตจะมีปริมาณสูง

การแตกตัวของแอมโมเนียขึ้นอยู่กับคา pH และอุณหภูมิของน้ำ หาก pH ลดลง เปอรเซ็นตการแตกตัวก็จะมีมากขึ้นทำให้ความเปนพิษลดลง ดังนั้นในบอปลาที่มีการให้อาหารประเภทเนื้อสัตวที่มีโปรตีนสูงของเสียที่เกิดขึ้น หรืออาหารที่เหลือก็จะทำให้ปริมาณแอมโมเนียสูงขึ้น และอาจเปนอันตรายตอสัตวน้ำ การวิเคราะหปริมาณแอมโมเนียในบอปลาบางครั้งจึงมีความจำเปนระดับความเขมขนของแอมโมเนียที่จะไมเปนอันตรายตอปลาไมควรเกิน 0.02 ppm ในรูปของ Unionized Form สวนกุงทะเลสามารถทนปริมาณแอมโมเนียได้สูงกวาที่ 0.4 – 0.6 ppm และทนได้สูงกวา 4 ppm ในชวงสั้นๆ หากกุงที่เลี้ยงในน้ำที่มีระดับแอมโมเนีย และไนไตรทสูงๆเปนเวลานาน กุงจะเริ่มกินอาหารนอยลง อัตราการเจริญเติบโตลดลง น้ำหนักตัวลดลงออนแอ และตายได้ในที่สุด ไนไตรทโดยปกติก็มีพิษตอสัตวน้ำได้เชนเดียวกับแอมโมเนีย แตมักจะเกิดขึ้นในปริมาณไมมากนักในแหลงน้ำธรรมชาติ เวนแตในบอเลี้ยงปลาที่มีการให้อาหารที่มีโปรตีนสูงดังกลาวมาแลวเพราะไนไตรท์จะเกิดขึ้นเปนปฏิกริยาระหวางกลาง ซึ่งจะถูกแบคทีเรียทำการเปลี่ยนรูปไปเปนไนเตรท ซึ่งไมมีพิษตอปลา แตจะเปนประโยชนตอการเจริญเติบโตของพืชน้ำ หรือสัตวน้ำเอง ในการลดความเปนพิษของแอมโมเนียและไนไตรทในบอเลี้ยงปลา จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการพบวาสารประกอบพวกคลอไรด์ โดยเฉพาะเกลือแกง (NaCl) สามารถลดความเปนพิษของสารประกอบดังกลาวได้ โดยใสในอัตราประมาณ 500 ppm หรือ 600 – 800 กิโลกรัมตอไร่ ซึ่งในทางปฏิบัติมักจะนิยมใสทีละนอยในอัตรา 200-250 กิโลกรัมตอไรทุก 1 – 2 สัปดาห สำหรับกุงทะเล ระดับไนไตรทเหมาะสมไมควรเกิน 0.1 ppm แตในการเลี้ยงจริง กุงทะเลสามารถทนระดับไนไตรทได้มากกวา 4 ppm แตสมควรรีบปรับคุณภาพน้ำโดยเร็ว เนื่องจากกุงจะมีอาการเชนเดียวกับการเลี้ยงที่ระดับแอมโมเนียสูงๆ เชนกัน สารประกอบไนโตรเจนในแตละรูปแบบมีผลกระทบตอทรัพยากรสัตวน้ำแตกตางกัน ซึ่งในการเปลี่ยนรูปแบบของสารประกอบนั้น อุณหภูมิ และระดับ pH ของน้ำมีอิทธิพลโดยตรง และขณะเดียวกันสารประกอบไนโตรเจนบางรูปแบบก็สามารถควบคุมระดับ pH ของน้ำได้ (ชนินทร์ และสิริ, 2541) สารประกอบไนโตรเจนที่มีพิษมี 2 รูปแบบ ดังนี้

2.1.1 แอมโมเนีย (Ammonia)

ในบอเลี้ยงสัตวน้ำ หรือแหลงน้ำธรรมชาติแอมโมเนียจะอยู่ในภาวะสมดุลยระหวางแอมโมเนียไมแตกตัว หรือแอมโมเนียอิสระ (Unionized ammonia, Free ammonia, NH_3) กับแอมโมเนียมอิออน (Ionized ammonium หรือ Ammonium ion, NH_4^+) ปฏิกิริยาสมดุลยของสารละลายแอมโมเนียสามารถเขียนได้ดังสมการ คือ $NH_3^+ H_3O^+ \longrightarrow NH_4^+ H_2O$ สมดุลยของสารละลายแอมโมเนียถูกควบคุมโดยพีเอชเปนหลัก เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นสมดุลยจะเปลี่ยนไปทางซ้าย หรือกลาวอีกนัยหนึ่งได้วา เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเขมขนของแอมโมเนียไมแตกตัวเพิ่มขึ้น พีเอชที่เพิ่มขึ้น 1 หนวย จะทำให้ความเขมข้นของแอมโมเนียไมแตกตัวเพิ่ม ขึ้น 10 เทา

สมดุลของสารละลายแอมโมเนียยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความแรงของอิออน (Ionic strength) ของสารละลาย ความเข้มข้นของแอมโมเนียรวม (ทั้งหมด) (Total ammonia, Tamm หรือ TA) หรือเรียกสั้นๆ ว่าแอมโมเนีย จึงเป็นผลรวมของความเข้มข้นของแอมโมเนียมอิออนกับแอมโมเนียไม่แตกตัว Total ammonia (Tamm) = NH_3^+ NH_4^+ เมื่อกล่าวถึงแอมโมเนียมักเขียน หรือพูดสั้นๆ ว่า แอมโมเนีย จึงเกิดความสับสนได้เพราะอาจหมายถึงแอมโมเนียมอิออน แอมโมเนียไม่แตกตัว (อิสระ) หรือแอมโมเนียรวมก็ได้ และยิ่งเพิ่มความสับสนขึ้นอีกจากสัญลักษณ หรือหน่วยที่แสดงความเข้มข้น เพราะสามารถเขียนได้ ดังนั้น ไม่ให้เกิดความสับสน และเข้าใจตรงกันจึงอธิบายการแสดง ความเข้มข้น และสัญลักษณที่ใช้แทนแอมโมเนีย ดังนี้

1) $NH_3^+NH_4^+$ (mg-N/l) หรือ $NH_3^+NH_4^+$ -N (ppm) หรือ TAN (ppm) หรือ TA (mg/l) สัญลักษณ และหน่วยแสดงความเข้มข้นของแอมโมเนียเหล่านี้มีความหมายเหมือนกัน หมายถึง แอมโมเนียรวม (หรือเรียกสั้นๆ ว่าแอมโมเนียดังกล่าวแล้วข้างต้น) นั่นคือรวมปริมาณแอมโมเนีย ทั้งแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และแอมโมเนียมอิออน (NH_4^+) และหน่วยแสดงความเข้มข้นคิดเฉพาะมวล ของไนโตรเจนเป็นมิลลิกรัมต่อปริมาตรน้ำ 1 ลิตร ปัจจุบันวิธีทดสอบต่างๆ ตลอดจนถึง TEST KIT วัดเป็นแอมโมเนียรวม และหน่วยแสดงความเข้มข้นข้างต้นสามารถใช้ในการรายงานผลการทดสอบได้ เช่น ผลการทดสอบแอมโมเนียจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแห่งหนึ่งด้วยวิธี Indophenol blue

2) NH_3 -N (ppm) หรือ NH_3 (mg-N/l) การเขียนสัญลักษณ์ และค่าของ ความเข้มข้นทั้งสองแบบนี้มีความหมายเหมือนกัน คือ แสดงผลการทดสอบเฉพาะแอมโมเนียไม่แตกตัว (NH_3) เท่านั้น และคิดเฉพาะมวลของไนโตรเจนเป็นมิลลิกรัมต่อปริมาตรน้ำ 1 ลิตร แอมโมเนียในรูปนี้ ไม่สามารถหาได้ แต่สามารถคำนวณได้ดังสมการ แอมโมเนียไม่แตกตัว = (a)TAN (สมการที่1) เมื่อ (a) = สัดส่วนโมลของแอมโมเนียไม่แตกตัว และ TAN = ความเข้มข้น แอมโมเนียรวม-ไนโตรเจน สัดส่วนโมลของแอมโมเนียไม่แตกตัวซึ่งขึ้นอยู่กับ pH และอุณหภูมิเป็นหลักนั้นสามารถคำนวณได้ เมื่อทราบความเข้มข้น ของแอมโมเนียรวมสามารถคำนวณความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่แตกตัวได้ เช่น ผลการทดสอบแอมโมเนียจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำแห่งหนึ่งได้ เท่ากับ 0.10 ppm ขณะเก็บตัวอย่าง มาทดสอบวัดอุณหภูมิ และพีเอชของน้ำได้ 30 องศาเซลเซียส และ 8.0 ตามลำดับ คำนวณความเข้มข้น ของแอมโมเนียไม่แตกตัวได้ ดังนี้ จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ และพีเอช 30 องศาเซลเซียส และ 8.0 แอมโมเนียไม่แตกตัวมีสัดส่วนโมลเท่ากับ 0.075 หมายความว่าที่อุณหภูมิ และพีเอชดังกล่าว ความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่แตกตัวที่มีค่าเพียง 7.5 เปอร์เซ็นต์ ของแอมโมเนียรวม (คำนวณได้จาก 0.075 x 100) ดังนั้น ความเข้มข้นของแอมโมเนียไม่แตกตัว

3) NH_3 (ppm) สัญลักษณ และหน่วยความเข้มข้นนี้แสดงเฉพาะแอมโมเนีย (NH_3) แตกต่างกันเฉพาะความเข้มข้น ซึ่งคิดรวมน้ำหนักไฮโดรเจนด้วย ดังนั้น เมื่อทราบความเข้มข้น

ของแอมโมเนียไมแตกตัว (NH_3 -N (ppm) หรือ NH3 mg-N/l) แลวสามารถหาความเขมขนของ NH_3 หนวยเปน ppm ไดโดยคูณดวย 1.22 เชน จากข้อ 4.1.2 ความเขมขนของแอมโมเนียไมแตกตัว (NH_3) ไดเทากับ 0.0075 x 1.22 = 0.0092 ppm จากที่กลาวมาจะเห็นไดวาสัญลักษณ และหนวยแสดงความเขมขนของแอมโมเนียสามารถเขียนไดหลายแบบประเทศไทยรวมทั้งตางประเทศ ยังไมไดชี้ชัดวาตองเขียนแบบใดแบบหนึ่ง ดังนั้น ผูเกี่ยวของตองเขาใจถึงสัญลักษณ์ละหนวยแสดงความเขมขนเหลานั้นมิฉะนั้นแล้ว ทำใหเข้าใจผิดได สำหรับบทความนี้คำวาแอมโมเนีย หมายถึง แอมโมเนียไมแตกตัว (แอมโมเนียอิสระ) (NH_3^+) แอมโมเนียมีประจุ (NH_4^+) ในรูปของไนโตรเจนโดยมวล สัญลักษณที่ใชคือ TAN ยกเวนเมื่อไดระบุไวเปนอยางอื่นโดยแหลงที่มาและความสำคัญของแอมโมเนียในบอเลี้ยงสัตวน้ำแอมโมเนียไดจากการขับถายของสัตวน้ำเปนหลัก การขับถายของสารประกอบไนโตรเจนสวนใหญ (ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์) เกิดขึ้นโดยผานทางเหงือกในรูปของแอมโมเนียไมแตกตัว (NH_3) ซึ่งปริมาณแอมโมเนียไมแตกตัวที่ถูกขับถายออกมานั้นมีสัดสวนประมาณ 2.5-3 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอาหารที่กินเขาไปในแตละวัน แอมโมเนียในบอเลี้ยงสัตวน้ำยังไดจากสิ่งขับถายที่เปนของแข็งซึ่งสวนใหญจะถูกยอยสลาย อยางรวดเร็วโดยแบคทีเรีย แอมโมเนียอาจมาจากอาหารเหลือตกคาง พบวาสารอินทรียในบอเลี้ยงกุง 40-60 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากอาหารกุง เมื่อสารอินทรียเหลานี้ถูกยอยสลายโดยแบคทีเรียจะไดแอมโมเนียกลับคืนสูมวลน้ำ นอกจากนั้นน้ำที่ใชเลี้ยงสัตวน้ำก็มีแอมโมเนียปนเปอนอยูเชนกัน แตมีสัดสวนนอยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับแอมโมเนียที่ไดจากการขับถายของสัตวน้ำหรืออาหารที่เหลือตกคาง แอมโมเนียเปนสารประกอบไนโตรเจนที่มีทั้งประโยชน และโทษตอการเพาะเลี้ยงสัตวน้ำ โดยทั่วไปแพลงกตอนพืช หรือผูผลิตอื่นๆ ชอบใชแอมโมเนียเพื่อการเจริญเติบโตมากกวาไนเตรท เพราะสามารถเอาแอมโมเนีย (NH_3) ไปสรางกรดอะมิโนไดโดยตรงเมื่อความเขมขนของแอมโมเนียต่ำกวา 0.03 ppm แพลงกตอนพืช หรือผูผลิตจะใช้ไนเตรทเพื่อการเจริญเติบโต แอมโมเนียยังจำเปนตอการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบการเลี้ยงสัตวน้ำแบบน้ำหมุนเวียน กอนเลี้ยงสัตวน้ำในระบบน้ำหมุนเวียนจึงเปนตองเติมสารละลายแอมโมเนียลงไปในระบบเพื่อเรงการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ในการเลี้ยงสัตวน้ำแบบหนาแนนหากขาดการจัดการที่ดีแอมโมเนียสะสมถึงระดับที่อาจเปนอันตรายตอสัตวน้ำได แอมโมเนียเปนพิษตอสัตวน้ำในลักษณะ Sublethal มากกวาที่จะทำใหตายทันที ในการเพาะเลี้ยงสัตวน้ำ การสูญเสียทางเศรษฐกิจเนื่องจากความเปนพิษของแอมโมเนียนั้นเกิดจากสัตวน้ำสัมผัสกับระดับแอมโมเนียที่ต่ำเปนเวลานานมากกวาการสัมผัสกับความเขมขนของแอมโมเนียที่สูงมากๆ ที่ทำใหตายโดยทันที เมื่อแอมโมเนียในน้ำสูงเกินไปทำใหสัตวน้ำขับถายแอมโมเนียไดนอย และทำใหระดับแอมโมเนียในเลือด และเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้นเปนผลทำใหพีเอชของเลือดสูงขึ้น ซึ่งเปนผลเสียตอปฏิกิริยาตางๆ ของเอนไซม นอกจากนั้นเมื่อระดับแอมโมเนียในเลือด เนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น ยังมีผลเสีย เชน เซลลเม็ดเลือดแดง และเนื้อเยื่อ

ที่ทำหน่าที่ผลิตเซลลเม็ดเลือดแดงถูกทำลาย การลดความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนของเลือด เหงือกเสียหาย ทำให่เนื้อเยื่อมีความต่องการออกซิเจนเพิ่มขึ้น แตผลของแอมโมเนียตอสัตวน้ำที่รูกันทั่วไป คือ ทำให่สัตวน้ำกินอาหารลดลง ลดการเจริญเติบโต หรือลดความสามารถด่านภูมิคุ่มกันของสัตวน้ำ เปนตน (ชนินทร์, 2552)

2.1.2 ไนไตรท์ (Nitite)

ไนไตรท์ (Nitrite, NO_2) ระดับไนไตรท์ที่วัดได้โดยใช้ชุดทดสอบนั้น โดยปกติจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาวะการทำงานของระบบกรองชีวภาพ ว่าทำงานได้สมบูรณ์ หรือเพียงพอตามวัฏจักรไนโตรเจนหรือไม่ เพราะไนไตรท์เกิดจากการย่อยสลายแอมโมเนียโดยแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซออกซิเจน ในบางครั้งสาเหตุการเพิ่มระดับไนไตรท์ ยังอาจเกิดจากการเพิ่มจำนวนปลาเข้ามาเลี้ยงในบ่อจำนวนมาก ขณะที่แบคทีเรียไม่สามารถย่อยสลายไปเป็นไนเตรทได้ทัน ปริมาณที่จัดว่าปกติควรให้ไม่มี หรือมีค่าเป็นศูนย์ หากตรวจพบแสดงว่าแบคทีเรียยังทำงานได้ไม่สมบูรณ์ จากการเก็บข้อมูลจากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี ระบุว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติ มักจะพบค่าไนไตรท์อยู่ที่ 0.000 - 0.001 ppm โดยปกติสำหรับการเลี้ยงปลาสวยงาม จะกำหนดค่าไว้ที่ไม่เกิน 0.3 ppm ซึ่งจัดเป็นค่าต่ำสุดของเครื่องมือทั่วๆ ไปสามารถวัดได้ โดยผลต่อสัตว์น้ำ และความเป็นพิษของไนไตรท์ต่อปลาจะมีน้อยกว่าแอมโมเนีย แต่ก็ยังถือว่ามีผลต่อสัตว์น้ำรุนแรงพอสมควร คือ ไนไตรท์จะไปทำปฏิกิริยากับฮีโมโกบิน ได้เมทธิดมโกลบิน ส่งผลให้ไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนได้ ซึ่งผลที่ได้คือ เกิดอาการเลือดเป็นพิษ และจะทำลายระบบประสาทตับไตของปลากรณีแม้มีไนไตรท์ในระดับต่ำแต่มีอยู่เป็นระยะเวลานานๆ จะทำให้ขอบฝาปิดเหงือกของปลา โดยวิธีแก้ปัญหา เมื่อค่าเกินมาตรฐาน คือ ในระยะสั้นการลดปริมาณไนไตรท์ สามารถกระทำได้โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำ การเติมเกลือแต่ในระยะยาวผู้เลี้ยงจะต้องพยายามเพิ่มประสิทธิภาพของบ่อกรองให้สามารถควบคุมปริมาณให้ได้ด้วย (ศูนย์วิจัยประมงชายฝั่งจันทบุรี, 2552)

2.2 ความเป็นกรดด่าง (pH)

เป็นดัชนีแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนในน้ำ ในทางปฏิบัติจะแสดงถึงความเป็นกรดด่างของน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจะมีค่าความเป็นกรดด่างต่ำกว่า 7 น้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกลางจะมีค่าความเป็นกรดด่างเป็น 7 ในแหล่งน้ำกร่อยทั่วไปมีค่าความเป็นกรดด่าง 7-8 แพลงก์ตอนพืชส่วนใหญ่เจริญได้ดีในน้ำที่มีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 8-8.2 สำหรับกุ้งขาวแวนนาไมจะเจริญเติบโตได้ดี เมื่อค่าความเป็นกรดด่างของน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 6-9 จะมีการเจริญเติบโตช้า ถ้ามีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 4-6 และ 9-11 และจะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ถ้าค่าความเป็นกรดด่าง มีค่าต่ำกว่า 4 และสูงกว่า 11 ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นในเวลากลางวัน เนื่องจากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชในเวลากลางวัน

จะทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลง ส่งผลความเป็นด่างสูงขึ้น และในเวลากลางคืนมีค่าความเป็นกรดด่างของน้ำลดลง เนื่องจากกระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิตอยู่ในน้ำจะคายคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งจะทำให้น้ำมีความเป็นกรดมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างของน้ำในรอบวันมากเกินไปจะมีผลทำให้กุ้งขาวแวนนาไมเครียด มีผลต่อการเจริญเติบโต การแก้ปัญหาโดยการลดปริมาณแพลงก์ตอน หรือถ่ายน้ำมากขึ้นเพื่อลดความเข้มของสีน้ำ หรือในกรณีที่มีค่าความเป็นกรดด่างในน้ำต่ำ จำเป็นที่จะต้องมีการเติมวัสดุปูน เพื่อเพิ่มระดับค่าความเป็นกรดด่าง จะทำให้ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำตอนเช้า ตอนบ่ายเปลี่ยนแปลงน้อยลง ในกรณีที่ค่าความเป็นกรดด่างในน้ำตอนบ่ายสูงมาก เนื่องจากมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ไปในการสังเคราะห์ด้วยแสงมากขึ้น การเปิดเครื่องให้อากาศแบบเคล้าน้ำแทนการใช้ใบพัดตีน้ำจะทำให้การเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนไม่มากนัก ซึ่งมีผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำไม่สูงจนเกินไป

2.3 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen, DO)

ออกซิเจนเป็นปัจจัยที่นับว่ามีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต เนื่องจากสัตว์น้ำทุกชนิดจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในขบวนการต่างๆ ภายในร่างกาย เพื่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม มีความต้องการปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำตั้งแต่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไปถือว่าเป็นสภาวะที่ดีที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในรอบวัน ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นตั้งแต่ 8.00 นาฬิกา ไปจนถึง 15.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นค่าสูงสุด และมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่เวลา 18.00 นาฬิกา ไปเรื่อยๆ จนถึง 6.00 นาฬิกา ซึ่งจะเป็นค่าต่ำสุด ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิของน้ำ 25 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณออกซิเจนอิ่มตัวในประมาณที่ 8.24 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่ออุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณที่ออกซิเจนอิ่มตัวในน้ำ 7.54 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในน้ำทะเลที่ความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำประมาณ 6.39 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น หรือค่าความเค็มเพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะมีค่าลดลง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ มีผลต่อการดำรงชีวิตของกุ้งขาวแวนนาไม ถ้าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งขาวแวนนาไมอาจจะมีการเจริญเติบโตช้ากว่าปกติ กุ้งขาวแวนนาไม จะมีการเจริญเติบโตดีถ้ามีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมารออกซิเจนละลายน้ำ ได้แก่ แสงแดดการไหลเวียนของน้ำแพลงก์ตอนพืช และสัตว์น้ำ พืชน้ำความโปร่งแสง ความลึกของบ่อ และปริมาณจุลินทรีย์ สิ่งขับถ่ายรวมทั้งปริมาณอาหารที่เหลือ จากการกินอาหารของกุ้งขาวแวนนาไม มีปัญหาขาดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมจะพบในบ่อที่ปล่อยไปในปริมาณมาก หรือมีกุ้งขาวแวนนาไมติดมาก แต่มีเครื่องให้อากาศไม่เพียงพอ โดยเฉพาะในช่วงเดือนสุดท้าย ในบ่อที่มีกุ้งขาวแวนนาไมหนาแน่น

เมื่อมีการให้อาหารในปริมาณที่มากในแต่ละวันเศษอาหารที่เหลือ และของเสียที่กุ้งขาวแวนนาไมขับถ่ายออกมามากนั้น จะมีการดึงออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลายสิ่งเหล่านี้ รวมทั้งการหายใจของแพลงก์ตอนที่มีหนาแน่น และการหายใจของกุ้งขาวแวนนาไมที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในบ่อเลี้ยงจะมีผลทำให้ออกซิเจนในตอนเช้าลดต่ำลงมาก ถ้ามีกุ้งขาวแวนนาไมในปริมาณมาก เครื่องให้อากาศไม่เพียงพอกุ้งขาวแวนนาไมอาจจะลอยตามผิวน้ำตั้งแต่ตอนกลางคืนหลังเที่ยงคืนจนถึงเช้ามืด เมื่อออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 1.7-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออกซิเจนที่สูงกว่าระดับนี้กุ้งขาวแวนนาไมจะไม่ลอย แต่พบว่าถ้าออกซิเจนต่ำกว่า 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร กุ้งขาวแวนนาไมจะไม่แข็งแรง การกินอาหารจะลดต่ำลงกว่าปกติ ในช่วงที่กุ้งขาวแวนนาไมกำลังลอกคราบถ้าระดับออกซิเจนต่ำ จะลอกคราบแล้วตายได้ ดังนั้นควรจะวัดค่าออกซิเจนอย่างสม่ำเสมอเป็นประจำอย่างน้อยวันละครั้งในช่วงเช้า หรือวันละหลายๆ ครั้งสำหรับบ่อที่มีการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมอย่างหนาแน่น เพื่อเป็นข้อมูลในการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นแนวทางในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในรุ่นต่อๆ ไปการวัดค่าออกซิเจนควรจะวัดในบริเวณที่ลึกที่สุดของบ่อหรือก้นบ่อ เนื่องจากกุ้งขาวแวนนาไมใช้เวลาส่วนใหญ่หากินอาหารอยู่ที่บริเวณพื้นบ่อ

2.4 อุณหภูมิ (Temperature)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในน้ำมีผลทางตรง และอ้อมต่อสัตว์น้ำ ในทางตรงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ทำให้ขบวนการเมตาบอลิซึมภายในร่างกายสัตว์น้ำเพิ่มขึ้น 10 เท่า ทำให้สัตว์น้ำมีความต้องการอาหาร ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ส่วนทางอ้อมมีผลต่อกิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์สารของจุลินทรีย์ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง การละลายออกซิเจนในน้ำลดลงเช่นกัน สำหรับอุณหภูมิในน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไมในเขตร้อน คือ 28-33 องศาเซลเซียส ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำอย่างรวดเร็วของกุ้งขาวแวนนาไมเกิดอาการช็อกเกร็งได้ มีลักษณะคล้ายเป็นตะคริว

2.5 ความเค็ม (Salinity)

ดัชนีวัดปริมาณความเข้มข้นของอิออนที่ละลายในน้ำ แสดงหน่วยเป็นหนึ่งส่วนในพันส่วน (ppt) ค่าความเค็มของน้ำทะเลจะขึ้นอยู่กับปริมาณอิออนที่สำคัญ 7 ชนิด ได้แก่ โซเดียม (Sodium) โปแทสเซียม (Potassium) แคลเซียม (Calcium) แมกนีเซียม (Magnesium) คลอไรด์ (Chloride) ซัลเฟต (Sulfate) และไบคาร์บอเนต (Bicarbonate) ในน้ำทะเลทั่วไป จะมีความเค็มประมาณ 34 ppt ส่วนในบริเวณปากแม่น้ำ หรือน้ำกร่อยนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 2-30 ppt ขึ้นอยู่กับระยะทางจากปากแม่น้ำ และปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงมาในบริเวณนี้ ในการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมมีความเค็มอยู่ระหว่าง 25-35 ppt แต่ระดับที่เหมาะสมคือ 20-25 ppt ปัจจุบันเราพบว่าการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมที่ความเค็ม 3-10 ppt จะเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมได้ง่าย เนื่องจากมีปัญหา

เรื่องความเสียหายจากโรคกุ้งขาวแวนนาไมน้อยมาก โดยเฉพาะปัญหาจากโรคแบคทีเรียเรืองแสงในบ่อกุ้งขาวแวนนาไม เป็นต้น เกษตรกรหลายรายจึงได้หันมาเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมในระบบความเค็มต่ำมากขึ้น

2.6 ความเป็นด่าง (Alkalinity)

เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับปริมารความเข้มข้นของเบส (Bases) ที่ละลายน้ำ ได้แก่ อิออนของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และคาร์บอเนตมีหน่วยวัดเป็นปริมาณมิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ค่าความเป็นด่างที่เหมาะสำหรับการดำรงชีวิตของกุ้งขาวแวนนาไมควรมีค่าในช่วง 70-120 มิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต ค่าดัชนีชนิดนี้มีคุณสมบัติในการควบคุมค่าความเป็นกรดด่างของน้ำให้คงที่ ค่าความเป็นด่างในน้ำที่เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งขาวแวนาไม คือ 80-15 มิลลิกรัมต่อลิตร การปรับค่าความเป็นด่างมักใช้ปูนคาร์บอเนต (ชนินทร์, 2554)

3. การใช้งานนวัตกรรมในงานเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

นวัตกรรมเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มีความจำเป็นมากเพื่อให้ธุรกิจการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นไปอย่างยั่งยืน ช่วยลดต้นทุนการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน ความคิดสร้างสรรค์ความคิดเชิงวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีชีวภาพมีส่วนสำคัญในการผลักดันทำให้เกิดนวัตกรรมต่างๆ เช่น ปรับปรุงพันธุ์สัตว์น้ำ การผลิตสัตว์น้ำเพศเดี่ยวโดยไม่ใช้ฮอร์โมน การผลิตสัตว์น้ำให้มีคุณภาพได้มาตรฐานปลอดภัยต่อผู้บริโภค การจัดการโรคสัตว์น้ำเพื่อลดการใช้ยา และสารเคมี เทคโนโลยีอาหารสัตว์น้ำ ระบบการจัดการเลี้ยง และสิ่งแวดล้อม เพื่อให้การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด นวัตกรรมเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยแก้ปัญหาของเกษตรกรไทยให้มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น และส่งเสริมให้ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตสัตว์น้ำที่สำคัญของโลก (ชนกันต์, 2559) ซึ่งนวัตกรรมที่จำเป็น และสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่สุด คือ ระบบบำบัดน้ำเพราะจะเป็นตัวช่วยในการลดความเสี่ยงในการตายของสัตว์น้ำจากน้ำเสีย ยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้านอื่นๆ อีกด้วย โดยในปัจจุบันมีนวัตกรรมที่นิยมนำมาใช้ในการบำบัดน้ำในงานเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 3 ชนิด ดังนี้

3.1 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์

สำหรับวงการเลี้ยงปลาไม่ว่าจะเป็นการเลี้ยงปลาสวยงาม หรือการเลี้ยงปลาเชิงพาณิชย์ นอกจากการให้อาหารที่เพียงพอเพื่อการเจริญเติบโตที่ดีของปลาแล้วการจัดการคุณภาพน้ำถือว่าเป็นเรื่องที่ผู้เลี้ยงต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่งโดยเฉพาะการหมั่นกำจัดของเสีย เช่น ขี้ปลา เศษอาหารที่หลงเหลือให้ออกไปจากระบบด้วยวิธีการเปลี่ยนถ่ายน้ำหรือหากเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำอาจใช้วิธีการกรองด้วยใยแก้วเป็นต้น แต่หากของเสียดังกล่าวเป็นเป็นพวกสารอินทรีย์ที่สามารถ

ละลายน้ำได้อาจต้องอาศัยอุปกรณ์เสริมอย่างโปตีนสกิมเมอร์เข้ามาเป็นตัวช่วยในการจัดการคุณภาพน้ำดังกล่าว ซึ่งโปรตีนสกิมเมอร์หมายถึงอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อขับอนุภาคที่เล็กของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำออกโดยใช้ฟองอากาศในการดักจับ หรือกล่าวสั้นๆ ว่าใช้โปรตีนสกิมเมอร์ในการแยกของแข็งออกจากของเหลว โดยจะใช้ละอองฝอยให้ทำหน้าที่ดักจับสารอินทรีย์ และลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ

3.1.1 ส่วนประกอบของโปรตีนสกิมเมอร์ แบ่งออกเป็นส่วนหลักๆ ได้ 3 ส่วน ดังนี้

- ตัวสกิม (The skimmer body) เป็นตำแหน่งที่น้ำได้ปะทะกับฟองอากาศ
- พื้นที่แยกโฟม (The foam separation area) เป็นพื้นที่ที่มีไว้ให้ฟองอากาศที่ดักอนุภาคของเสียได้แล้วสามารถแยกตัวออกจากน้ำ เพื่อรีดฟองอากาศออกจากน้ำ
- ถ้วยดักของเสีย (A collection cup) ถ้วยที่อยู่ยอดสุดจากพื้นที่แยกโฟมที่กักเก็บอนุภาคของเสียที่แยกตัวออกจากน้ำ ก่อนนำไปกำจัดทิ้ง และทำความสะอาด

3.1.2 หลักการทำงานของโปรตีนสกิมเมอร์

เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ละลายปะปนอยู่กับในน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Dissolved Organic Compounds) มีขนาดเล็กมาก ซึ่งตะกอนในน้ำเหล่านี้ มีขั้วที่จะจับกับน้ำ ซึ่งเรียกว่า Hydrophilic end ส่วนอีกขั้วนั้นจะเป็นด้านที่ไม่ชอบน้ำเรียกว่า Hydrophobic end หากเราต้องการเอาออกจากระบบ จึงต้องสร้างฟองอากาศที่เป็นฝอยเล็กละเอียด แล้วฉีดผสมเข้าไปกับมวลน้ำฟองอากาศยิ่งเล็กเท่าไร พื้นที่ผิวโดยรวมยิ่งมากขึ้น ทำให้ของเสียถูกกำจัดออกไปโดยล้นเข้าไปอยู่ในถ้วยเก็บของเสียของสกิมเมอร์มากขึ้น

3.1.3 รูปแบบของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ที่นิยมในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ

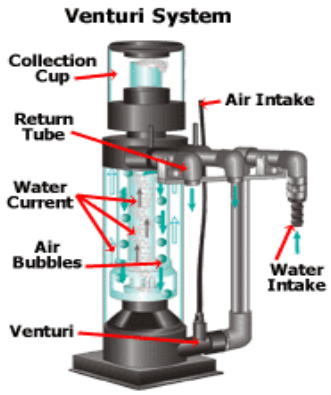
1) รูปแบบ Air Stone Protein Skimmer

โปรตีนสกิมเมอร์แบบใช้เทคนิคการนำโดยอากาศการทำงานที่ง่ายไม่ซับซ้อน คือ เพิ่มความดันเพื่ออัดอากาศผ่านตัว Diffuser สร้างฟองอากาศขนาดเล็กจึงมีประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาคของเสียได้ค่อนข้างดี

ภาพที่ 1 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบ Air Stone Protein Skimmer
ที่มา: Aleixpress (2564)

2) รูปแบบ Venturi Protein Skimmer

หลักการของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ รูปแบบดังกล่าวจะมีปั๊มน้ำ ซึ่งทำหน้าที่ดูดน้ำผ่านท่อ Venturi ซึ่งท่อ Venturi จะมีลักษณะเป็นท่อที่ถูกบีบให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้น้ำที่ไหลผ่านท่อ Venturi มีความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้ความดันในท่อลดลง ซึ่งในท่อ Venturi นั้นจะมีการต่อท่ออากาศเพื่อให้อากาศภายนอกไหลเข้ามาภายในกระบอกของ Skimmer ซึ่งของเสียที่อยู่ในน้ำก็จะติดมากับฟองอากาศแล้วถูกแยกออกมาได้ ดังรูปภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 2 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบ Venturi Protein Skimmer
ที่มา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง (2561)

3) รูปแบบ Needle Wheel Protein Skimmer

ใช้ปั๊มปั่นสร้างฟองอากาศขนาดเล็กเป็นที่นิยมกันมากในหมู่คนที่ชื่นชอบในการเลี้ยงปลาทะเล เนื่องจากสามารถสร้างฟองที่มีขนาดเล็กได้ในปริมาณมากทำให้กำจัดของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้ว่าโปรตีนสกิมเมอร์จะถูกออกแบบมาเพื่อเป็นตัวช่วยในการกำจัดของเสียที่ละลายน้ำระหว่างการเลี้ยงสัตว์น้ำแต่ในบางครั้ง เมื่อมีการใช้งานไปนานๆ ประสิทธิภาพอาจจะลดลงได้ ฉะนั้น จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาสกิมเมอร์ การทำความสะอาดคราบฟองสกปรกคล้ายฟองกาแฟนุ่มๆ ลอยขึ้นมาจนล้นถ้วยดักของเสียด้วย (ไวทัศน์, 2558)

ภาพที่ 3 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบ Needle Wheel Protein Skimmer
ที่มา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง (2561)

3.2 รูปแบบระบบไบโอฟลอค (Bio floc)

Bio floc Technology คือ ใช้หลักการนำตะกอนจุลินทรีย์มาช่วยย่อยสลายของเสียในบ่อ (แอมโมเนีย) ใช้จุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำ เปลี่ยนของเสียให้กลายเป็นของดีที่มีประโยชน์ต่อสัตว์น้ำไม่ต้องเปลี่ยนน้ำ ไม่ต้องมีแหล่งน้ำตามธรรมชาติ แต่ต้องเป็นน้ำที่นำมาใส่ในระบบมีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง กระบวนการทำงานของไบโอฟลอค เมื่อเติมสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตลงไปมันจะไปกระตุ้นให้ไบโอฟลอคดึงไนโตรเจน (แอมโมเนีย) มาใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่มากขึ้น จำนวนจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มมากขึ้น ปริมาณแอมโมเนียในน้ำก็จะลดลง ซึ่งเนื้อเซลล์ใหม่ที่ว่านี้ก็คือ สารพวกโปรตีนสัตว์น้ำกินจุลินทรีย์รวมตัวเป็นฟลอคเข้าไปก็เท่ากับว่าสัตว์น้ำได้กินอาหารที่มีโปรตีน การใช้กลุ่มฟลอคในการกำจัดแอมโมเนีย เร็วกว่าการเกิดกระบวนการไนตริฟิคเคชั่น ทำให้น้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำมีคุณภาพดี การเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยลงและส่งผลให้สัตว์มีสุขภาพดี

ภาพที่ 4 ระบบบำบัดน้ำแบบไบโอฟลอค
ที่มา: นเรศ (2561)

3.3 รูปแบบระบบ Recirculating aquaculture systems (RAS)

เทคโนโลยีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำรูปแบบระบบ Recirculating Aquaculture Systems (RAS) เป็นลักษณะการทำประมงหมุนเวียนมีการพัฒนาใช้งานอย่างแพร่หลายในยุโรป และอเมริกา สามารถเลี้ยงสัตว์น้ำได้หลากหลายชนิด ไม่ว่าเป็นแบบชนิดเดียว หรือแบบหลายๆ ชนิดรวมกัน RAS

หลักการทำงานของระบบ RAS (ขวัญชนก, 2562)

1) การเอาของเสียจากการขับถ่าย และอาหารที่ปลากินไม่หมด รวมทั้งวัตถุขนาดเล็กที่มาจากกิจกรรมในชีวิตของปลา โดยการกรองทางกลด้วยดรัมฟิลเตอร์ หรือ Drum Filter และสกิมเมอร์

2) ลดปริมาณแบคทีเรียมีชีวิตในน้ำด้วยการเติมโอโซน

3) ช่วยการสลายตัวของสารอินทรีย์ต่างๆ และกรองแยกด้วยไบโอฟิลเตอร์

4) แปลงแอมโมเนียที่เป็นพิษไปเป็นไนเตรต

5) แยก CO_2 หรือคาร์บอนไดออกไซด์ ออกด้วยไบโอฟิลเตอร์

6) เพิ่มออกซิเจนในน้ำด้วยไบโอฟิลเตอร์

ภาพที่ 5 ระบบบำบัดน้ำรูปแบบ (Recirculating aquaculture systems (RAS))
ที่มา: Aquaculture (2564)

ตารางที่ 1 แสดงค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเล

ค่าดัชนีคุณภาพน้ำ	**หน่วย**	**ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง**
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5-9.0
บีโบดี (Biochemical Oxygen Demand)	ppt	ไม่เกิน 20
สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ppt	ไม่เกิน 70
แอมโมเนียอิสระ (NH_3-N)	ppt	ไม่เกิน 1.1
ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus)	ppt	ไม่เกิน 0.4
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	ppt	ไม่เกิน 0.01
ไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen) คือ ผลรวมไนโตรเจนละลาย (Total Dissolved Nitrogen) และไนโตรเจนแขวนลอย (Total Particulate Nitrogen)	ppt	ไม่เกิน 4.0
ความเค็ม (ppt)	-	จะมีค่าสูงกว่าความเค็มของแหล่งรองรับน้ำทิ้งในขณะนั้นได้ไม่เกินร้อยละ 50

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จรียา และสุรินทร (2556) ศึกษาศักยภาพการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์สำหรับการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม การศึกษาครั้งนี้ นำระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม และหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ใหม่ เป็นการลดการใช้ทรัพยากรน้ำ การศึกษาประกอบด้วยชุดทดลองจำนวน 2 ชุด ได้แก่ 1 ชุดควบคุม (CAS) ประกอบไปด้วยบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม โดยใช้น้ำประปา จำนวน 3 บ่อ และ 2 ชุดทดลอง (RAS) ประกอบไปด้วยบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม 4 บ่อ โดยใช้น้ำที่ผ่านระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบ ผสมระหว่างแบบไหลใต้ผิวแบบไหลผ่านพื้นผิว (SF-FWS) ทำการเดินระบบภายใต้สภาวะอัตราภาระ รับน้ำทางชลศาสตร์ 0.32 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อวัน ผลการศึกษาพบว่าระบบ SF-FWS มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ ในรูป BOD5 COD TKN และ TP ค่าคุณภาพน้ำที่หมุนเวียนออกจากระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ยกเว้น ค่าแอมโมเนีย และ TP ค่าคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม ทั้งแบบ CAS และ RAS มีค่าไม่แตกต่างกัน

กัตตินา และคณะ (2560) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองทรายแบบประยุกต์ เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองทรายแบบประยุกต์ เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียน ใช้ถังกรองแบบใช้แรงดันระบบปิด ออกแบบถังกรองให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ความสูง 120 เซนติเมตร ถังกรองทรายแบบอัตราการกรอง เร็วใช้ทรายขนาด 1 มิลลิเมตร ความสูงของชั้นทราย 100 เซนติเมตร ระยะน้ำล้น 20 เซนติเมตร และมีอัตราการกรอง 6 เมตรต่อชั่วโมง ถังกรองทรายแบบอัตราการกรองสูงใช้ทรายขนาด 2 มิลลิเมตร ความสูงของชั้นทราย 80 เซนติเมตร ระยะน้ำล้น 40 เซนติเมตร และมีอัตราการกรอง 24 เมตรต่อชั่วโมง ทำการศึกษาโดยใช้น้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงปลานิล จากการศึกษาพบว่า ถังกรองทรายแบบอัตราการเร็วมีศักยภาพในการกำจัดปริมาณความขุ่น ของแข็งแขวนลอย แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรทได้ดี และถังกรองทรายแบบอัตราการกรองสูงมีศักยภาพในการกำจัดปริมาณความขุ่น ของแข็งแขวนลอย แอมโมเนียได้แต่สามารถกำจัดปริมาณไนไตรท์ และไนเตรทได้น้อย เมื่อนำถังกรองทรายแบบอัตราการกรองเร็ว และแบบอัตราการกรองสูงมาใช้ร่วมกัน ส่งผลให้คุณภาพน้ำโดยรวมในบ่อเพาะเลี้ยงเป็นไปตามคุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงปลานิล

เจษฎา และคณะ (2561) ศึกษาประสิทธิภาพของเทคนิคการดักตะกอนของแข็งในระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ กรณีศึกษา: ดุลออกซิเจนของการเลี้ยงปลานิลแดง ในระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบำบัด

โดยใช้โปรตีนสกิมเมอร์ต่างกัน 2 ชนิด คือ โปรตีนสกิมเมอร์สำเร็จรูป และโปรตีนสกิมเมอร์ผลิตเอง เทียบกับระบบที่ไม่ใช้โปรตีนสกิมเมอร์ในระบบน้ำหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ต่อดุลออกซิเจนภายในบ่อเลี้ยงปลานิลแดง พบว่าทุกชุดการทดลองสามารถรองรับอัตราการปล่อยปลาได้ต่ำกว่าอัตราการปล่อยปลาที่ทดสอบ แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดในรูปแบบต่างๆ ไม่ได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบการเลี้ยงแบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ในครั้งนี้ได้เลย เมื่อเทียบกับรูปแบบการเลี้ยงที่ไม่มีระบบบำบัด

สุธาทิพย์ (2550) ศึกษาประสิทธิภาพเครื่องกรองแบบแยกโฟมแบบอนุกรมสำหรับเลี้ยงปลานิล การศึกษานี้ แบ่งเป็น 2 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 ศึกษาการแยกสารประกอบแขวนลอยต่อประสิทธิภาพของเครื่องกรองแบบแยกโฟมที่ต่อแบบอนุกรม ผลการศึกษาพบว่าเครื่องกรองแบบแยกโฟมตัวเดียวประสิทธิภาพในการแยกสารประกอบแขวนลอย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ รูปแบบที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกรองแบบแยกโฟมในการเลี้ยงปลานิล เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีเครื่องกรอง โดยเลี้ยงปลานิล 20 ตัว ผลการทดลองพบว่าระบบที่มีเครื่องกรองแบบแยกโฟมสามารถช่วยลดสารประกอบแขวนลอย 36.629. ลดค่าแอมโมเนีย 61.75 เปอร์เซ็นต์ ในไตรท์ เพิ่มขึ้น 8.28 เปอร์เซ็นต์ ไนเตรทเพิ่มขึ้น 7.14 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองสามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้เครื่องกรองแบบแยกโฟมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่นได้

พรรณทภรณ์ และคณะ (2558) ศึกษาการควบคุมความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนและอัตราการบำบัดแอมโมเนีย โดยตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงความสามารถของตะกอนที่เกิดขึ้นเองในระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด ในการบำบัดสารอนินทรีย์ไนโตรเจน โดยเฉพาะแอมโมเนีย และไนไทรต์ การทดลองนี้ทำการเลี้ยงปลานิลที่ความหนาแน่นเริ่มต้นที่ 3.0 กิโลกรัมต่อลูกบาตรเมตร โดยไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และแยกตะกอนออกจากบ่อเลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน ผลการทดลองพบว่าการควบคุมปริมาณตะกอนแขวนลอยให้อยู่ในช่วง 200 ถึง 800 มิลลิกรัม ของแข็งแขวนลอยลิตร ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณของเสียไนโตรเจนในช่วง 2.9 ถึง 9.6 มิลลิกรัม ไนโตรเจนต่อลิครต่อวัน สามารถควบคุมความ เข้มข้นของแอมโมเนียและไนไทรต์ในน้ำให้ต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัม ไนโตรเจนต่อลิตร

วิธีการดำเนินการ

การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบในการบำบัดน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยทำการทดลองในบ่อปูนซีเมนต์สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดปริมาตร 3,000 ลิตร และมีการปล่อยกุ้งขาวแวนนาไม ในบ่อทดลองเพื่อสร้างของเสีย และสารอินทรีย์ เพื่อที่จะให้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ทำงานได้ และสามารถทดสอบค่าคุณภาพน้ำต่างๆ ได้ เป็นระยะเวลา 30 วัน มีวัสดุอุปกรณ์ การวางแผนการทดลอง และวิธีการทดลอง ดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์

1. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป

1) ท่อพีวีซี ขนาด 8 นิ้ว	จำนวน 1 เส้น
2) ข้อลดขนาด 8 นิ้วเหลือสามนิ้ว	จำนวน 1 ชิ้น
3) ฝาปิดท่อขนาด 8 นิ้ว	จำนวน 1 ชิ้น
4) ท่อพีวีซีขนาด 4 หุน	จำนวน 2 เส้น
5) หัวโอทูบับเบิลขนาดยาว 2 เมตร	จำนวน 1 เส้น
6) เครื่องเจียร	จำนวน 1 เครื่อง
7) สว่านไฟฟ้า	จำนวน 1 เครื่อง
8) ข้อต่อต่างๆของท่อพีวีซีขนาด 4 หุน	จำนวน 10 ชิ้น
9) เครื่องปั๊มน้ำขนาด 220 วัตต์ การปั๊มน้ำ 5,500 ลิตรต่อนาที	จำนวน 1 เครื่อง
10) เครื่องให้อากาศ ขนาด 100 วัตต์ ให้อากาศ 150 ลิตรต่อนาที	จำนวน 1 เครื่อง

2. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์

1) ถังพลาสติก ขนาด 60 ลิตร	จำนวน 1 ใบ
2) ท่อพีวีซีขนาด 4 หุน	จำนวน 2 เส้น
3) สายโอทูบับเบิล ขนาดยาว 2 เมตร	จำนวน 1 เส้น
4) หัวทราย	จำนวน 1 หัว
5) กาวติดท่อพีวีซี	จำนวน 1 กระป๋อง

6) เครื่องเจียร จำนวน 1 เครื่อง
7) สว่าน จำนวน 1 เครื่อง
8) เครื่องปั๊มน้ำ 220 วัตต์ การปั๊มน้ำ 5,500 ลิตร ต่อนาที จำนวน 1 เครื่อง
9) เครื่องให้อากาศขนาด 100 วัตต์ ให้อากาศ 150 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 เครื่อง
10) ข้อต่อของท่อพีวีซีขนาด4 หุน จำนวน 10 ชิ้น

3. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์คำนวณ และทำรายงาน

1) คอมพิวเตอร์
2) เครื่องพิมพ์เอกสาร
3) กล้องถ่ายรูป (โทรศัพท์มือถือ)
4) เครื่องคิดเลข

4. อุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ

1) เครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำ: ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ
2) ชุดทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

5. อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

1) ชุดเครื่องแก้วห้องวิทยาศาสตร์
2) สารเคมีชนิดต่าง ๆ
3) ปิเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร
4) ลูกยางปิเปต (ใช้กับปิเปต 1 มิลลิลิตร)
5) เครื่อง Spectrophotometer
6) กระดาษกรอง เบอร์ 1
7) ถุงมือพลาสติก (ขนาดเบอร์ L)

การวางแผนการทดลอง

ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการลดสารประกอบไนโตรเจนในการเลียงกุ้งขาวแวนนาไมในบ่อปูนซีเมนต์ ซึ่งมีการเก็บข้อมูลของคุณภาพน้ำที่ระยะเวลา 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 และ 30 วัน โดยคุณภาพน้ำที่ศึกษา ได้แก่ แอมโมเนีย และไนไตรท์ (ppm) โดยแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง (treatment) ในแต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ (replication) ดังต่อไปนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป ปริมาตรน้ำที่ใช้ในการทดลอง 3,000 ลิตร ปล่อยกุ้งขาวแวนนาไมระยะโพสต์ลาวา (PL12) จำนวน 15,000 ตัว ในแต่ละซ้ำ

ชุดการทดลองที่ 2 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์ ปริมาตรน้ำที่ใช้ในการทดลอง 3,000 ลิตร ปล่อยกุ้งขาวแวนนาไมระยะโพสต์ลาวา (PL12) จำนวน 15,000 ตัว ในแต่ละซ้ำ

วิธีการทดลอง

1. ประกอบเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ทั้ง 2 รูปแบบ

1.1 จัดทำเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป โดยมีวิธีการ ดังต่อไปนี้

1) เริ่มต้นด้วยการนำท่อพีวีซีขนาด 8 นิ้ว มาตัดให้ได้ขนาด 160 เซนติเมตร

2) นำสายโอทูบับเบิลมาตัดให้ได้ขนาดยาวประมาณ 50 เซนติเมตร

3) ขดสายโอทูบับเบิลเป็นวงกลม และนำไปติดกับฝาปิดท่อขนาด 8 นิ้ว

4) ต่อสายทูบับเบิลด้วยสามทาง และทำการเจาะรูที่ฝาปิดเพื่อที่จะใส่สายให้อากาศ

5) นำฝาปิดมาปิดท่อแต่ต้องต่อสายเหลือไว้ และปิดฝากลับเข้าไปที่ท่อพีวีซี

6) ทำการเจาะท่อพีวีซีขนาดรูประมาณสี่หุน

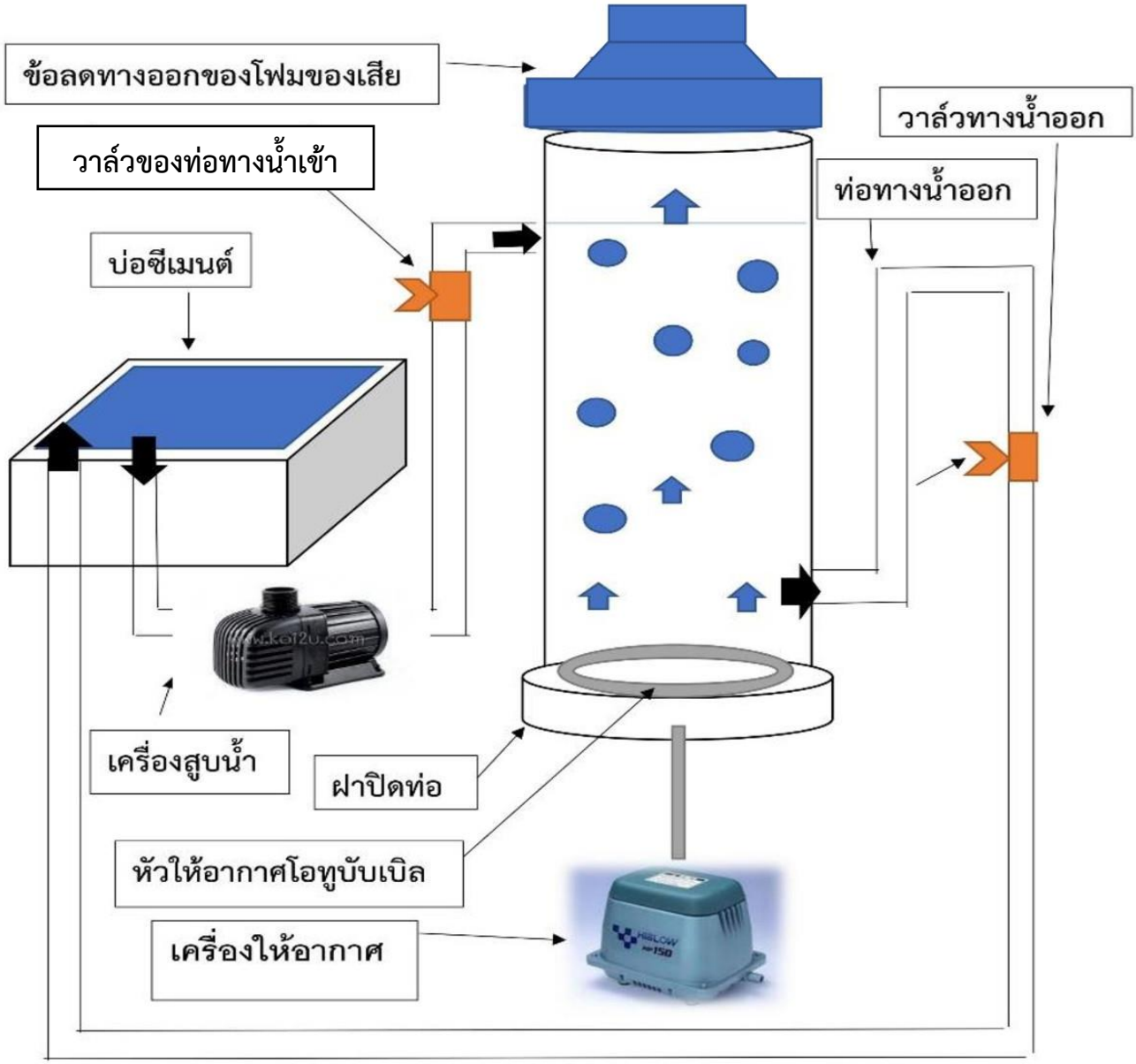
- รูแรกเจาะเพื่อเอาน้ำเข้าวัดจากขอบบนของท่อพีวีซีลงมาประมาณ 10 เซนติเมตร
- รูที่สองจะอยู่ด้านตรงกันข้ามกับรูแรกแต่จะวัดจากฝาปิดด้านล่างขึ้นมา 5 เซนติเมตร

7) นำข้อลดมาสวมด้านบนเพื่อเป็นทางออกของโฟมสารอินทรีย์ต่างๆ

8) นำท่อพีวีซีขนาดสี่หุนใส่ในรูที่เจาะไว้โดยเสียบท่อพีวีซีเข้าไปประมาณ 3 เซนติเมตร

9) เมื่อนำท่อพีวีซีติดตั้งเข้ากับทุกรูแล้วก็ให้ใช้กาว์วทาท่อพีวีซีมาทา เพื่อไม่ให้มีรูรั่ว

10) ทำการติดตั้งเข้ากับเครื่องให้อากาศและเครื่องปั๊มน้ำ ดังรูปต่อไปนี้



ภาพที่ 6 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป

1.2 จัดทำเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์ โดยมีวิธีการ ดังต่อไปนี้

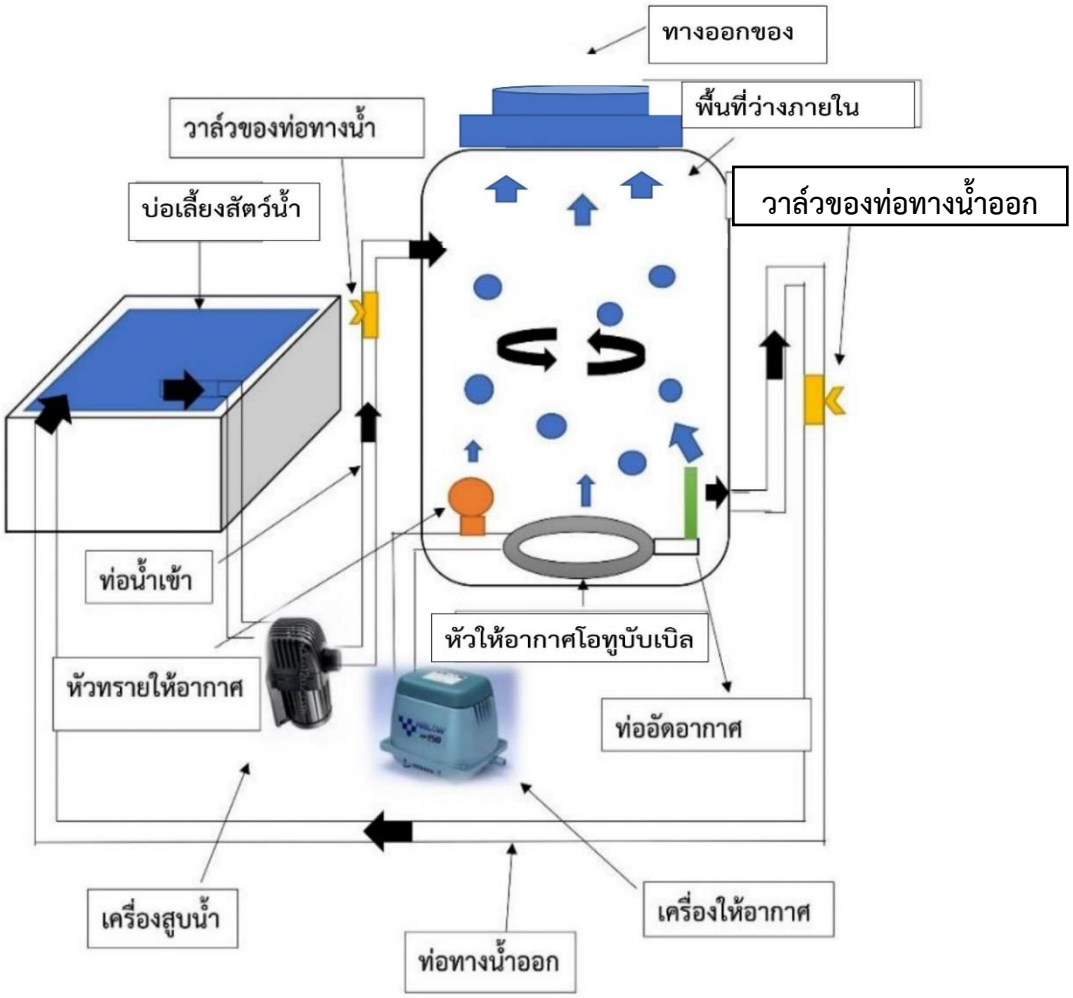
1) นำถังพลาสติกที่ได้มาส่วนฝาเจาะเป็นช่องเพื่อเป็นทางออกของฟองสารอินทรีย์

2) ต่อมานำถังมาเจาะเพื่อต่อท่อจำนวนสามที่ดังนี้

- รูแรก คือ รูน้ำเข้า โดยวัดลงมาจากปากถังประมาณ 10 เซนติเมตร
- รูที่สองเป็นรูทางน้ำออก จะวัดจากก้นถังขึ้นมาประมาณ 5 เซนติเมตร
- รูสุดท้ายเป็นรูที่ใส่สายให้อากาศ จะอยู่ระนาบเดียวกับก้นถัง

3) จัดทำระบบให้อากาศซึ่งในระบบนี้จะมี 3 ส่วนดังนี้

- หัวทรายเพิ่มออกซิเจน
- สายโอทูบับเบิลเพื่อสร้างละอองฝอย
- ท่ออัดอากาศเพื่อทำให้น้ำภายในถังมีการวน



ภาพที่ 7 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์

2. การเตรียมบ่อทดลอง

เตรียมบ่อปูนซีเมนต์ขนาดความจุน้ำ 3,000 ลิตร จำนวน 3 บ่อ ทำการทดลองในโรงเพาะพักสัตว์น้ำกร่อย (วิทยาลัยประมงติณสูลานนท์) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในบ่อปูนซีเมนต์ หลังจากนั้นนำน้ำซึ่งมีความเค็ม 15 ppt ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วเติมลงในบ่อปูนซีเมนต์

3. การเตรียมลูกกุ้งและการปล่อยลงเลี้ยง

นำกุ้งขาวแวนนาไมระยะโพสต์ลาวาร์ (PL12) มาปรับความเค็มให้ได้เท่ากับ 15 ppt ปรับอุณหภูมิให้ใกล้เคียงกันใช้เวลาประมาณ 15 นาที จึงทำการปล่อยลงเลี้ยงในบ่อปูนซีเมนต์ โดยมีการปล่อยลูกกุ้งขาวแวนนาไมจำนวน 15,000 ตัวต่อบ่อ ตามที่กำหนดไว้ในแต่ละชุดการทดลอง

4. การประกอบเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ทั้ง 2 รูปแบบเข้าระบบลม และระบบน้ำเพื่อทำงานกับบ่อทดลองโดยมีวิธีติดตั้งใกล้เคียงกัน ดังนี้

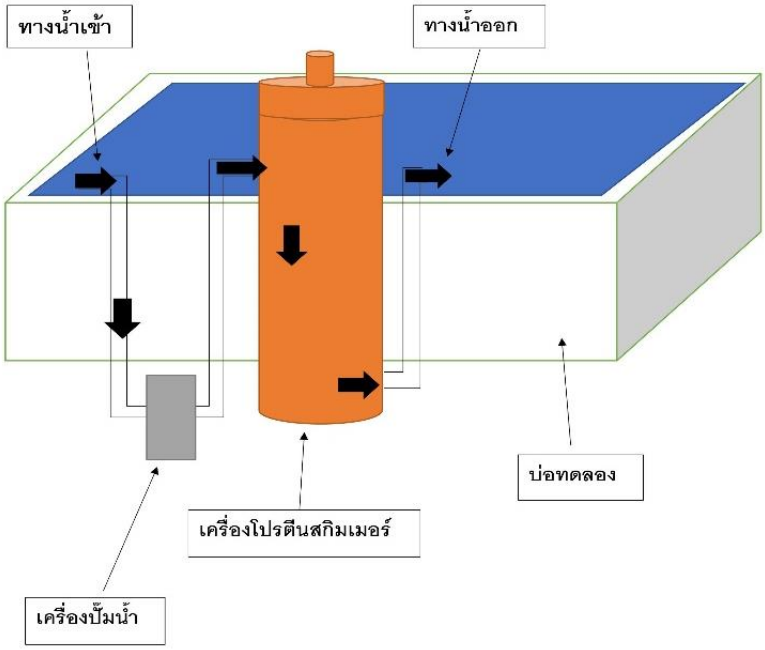
1) นำเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ที่เตรียมไว้นำมาต่อเข้ากับระบบน้ำโดยต่อเข้ากับปั๊มน้ำที่สูบน้ำจากบ่อเข้าสู่ตัวเครื่อง

2) นำเครื่องให้อากาศที่ต่อท่อไว้แล้วมาประกอบเข้ากับตัวเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์

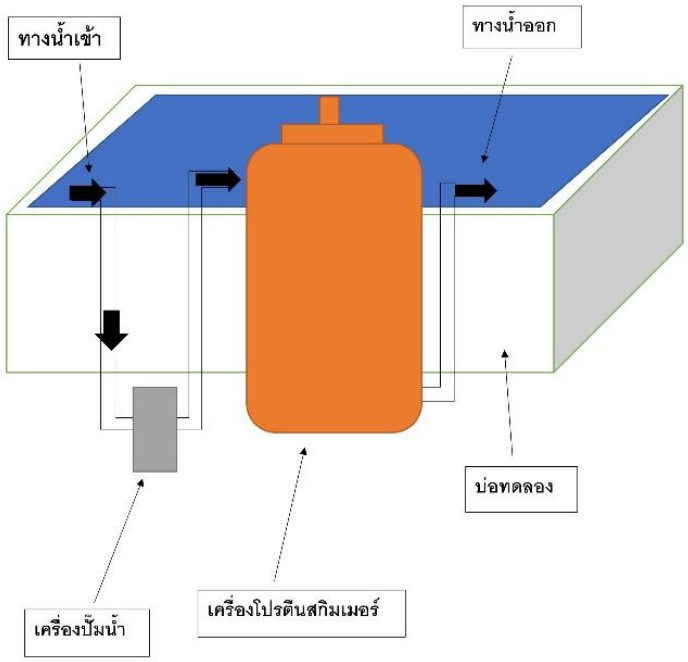
3) นำเครื่องโปรตีสกิมเมอร์ทั้งสองรูปแบบมาตั้งบริเวณข้างบ่อทดลองด้านนอก และนำท่อพีวีซีที่เป็นท่อทางน้ำเข้าใส่ลงไปในบ่อทดลองโดยจะต่อท่อลงไปในน้ำโดยปากท่อสูงจากก้นบ่อประมาณ 10 เซนติเมตร

4) ต่อท่อทางนำออกโดยจะต่อท่อประมาณผิวน้ำของน้ำในบ่อ

5) เมื่อติดตั้งเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ทั้งสองรูปแบบเข้ากับบ่อทดลองแล้วทำการทดสอบเครื่องให้อากาศ เครื่องปั๊มน้ำว่าทำงานปกติหรือไม่ หากทุกอย่างทำงานปกติก็สามารถทำการทดลอง



ภาพที่ 8 การนำเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไปนำไปติดตั้งเข้ากับบ่อทดลอง



ภาพที่ 9 การนำเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์นำไปติดตั้งเข้ากับบ่อทดลอง

5. การดูแลระหว่างการเลี้ยง

ให้อาหารวันละ 4 มื้อ คือ เช้า เที่ยง เย็น และช่วงกลางคืน (เวลา 08.00, 12.00, 16.00 และ 20.00) อาหารกุ้งที่ให้เริ่มจากอาหารกุ้งเม็ดเล็ก และค่อยเปลี่ยนไปให้มีขนาดเม็ดโตขึ้นตามขนาดและน้ำหนักของตัวของกุ้ง

6. การเก็บข้อมูล

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละชุดการทดลอง และในแต่ละซ้ำ นำน้ำทดลองที่ได้มาตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่าแอมโมเนีย และไนไตรท์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิน้ำ ความเค็ม อัลคาไลนิตี้ และออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ตามระยะเวลา ดังนี้ คือ วันที่ 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 และ 30 ด้วยวิธีการดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในชุดการทดลอง

พารามิเตอร์	**วิธีวิเคราะห์**
แอมโมเนียอิสระ	Phenol-hypochlorite Method
ไนไตรท์	Colorimetric Method
ความเป็นกรด-ด่าง	pH test kit
อุณหภูมิน้ำ	Thermometer
ความเค็ม	Refractrometer
อัลคาไลนิตี้	Alkalinity test kit
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	Azide Modification of Iodometric Method

7. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยหาหาค่าความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Anova) เพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละทรีตเมนต์ จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีตเมนต์ โดยวิธีการของ Duncan's Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลอง

1. การศึกษาคุณภาพน้ำ

การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบ ในการลดสารประกอบไนโตรเจนในการบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมเป็นการศึกษาเชิงทดลองโดยแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1 ใช้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป และชุดการทดลองที่ 2 ใช้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์ ซึ่งน้ำตัวอย่างจะนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ที่ระยะเวลาวันที่ 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 และ 30 วัน ภายหลังการติดตั้งเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ทั้ง 2 รูปแบบ ภายในบ่อเรียบร้อยแล้ว โดยคุณภาพน้ำที่ศึกษา ได้แก่ แอมโมเนีย และไนไตรท์ ผลการศึกษามีรายละเอียด ดังนี้

1.1 แอมโมเนีย (ppm)

จากผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบ ในการลดสารประกอบไนโตรเจน ในการบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม พบว่า แอมโมเนียของชุดการทดลองที่ 1 มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 โดยที่ชุดการทดลอง 1 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไปในช่วงวันเริ่มต้นของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.025±0.005 ppm และเริ่มมีค่าการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในวันที่ 6, 9, 12, 15 และ 18 ของการทดลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.127±0.003, 0.154±0.006, 0.213±0.020, 0.265±0.019 และ 0.343±0.017 ppm ตามลำดับ และมีค่าลดลงในวันที่ 21 ในชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.308±0.014 ppm และมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 24, 27 และ 30 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.325±0.018 0.387±0.017 และ 0.448±0.029 ppm และในชุดการทดลองที่ 2 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์ในช่วงวันเริ่มต้นของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.031±0.002 และเริ่มมีค่า การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในวันที่ 6, 9, 12, 15 และ 18 ของการทดลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.135±0.008, 0.147±0.005, 0.224±0.005, 0.294±0.006 และ 0.355±0.011 ppm ตามลำดับ และมีค่าลดลงในวันที่ 21 และ 24 ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.327±0.011 และ 0.324±0.037 ppm และมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 27 และ 30 ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.419±0.023 และ 0.453±0.027 ppm ซึ่งค่าแอมโมเนียทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าแอมโมเนียจากการทดลองใช้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ทั้ง 2 รูปแบบ ในการบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เป็นเวลา 30 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD)

ชุดการทดลอง	วันที่									
	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21	วันที่ 24	วันที่ 27	วันที่ 30
ชุดการทดลอง 1	0.025±0.005	0.127±0.003	0.154±0.006	0.213±0.020	0.265±0.019	0.343±0.017	0.308±0.014	0.325±0.018	0.387±0.017	0.448±0.029
ชุดการทดลอง 2	0.031±0.002	0.135±0.008	0.147±0.005	0.224±0.005	0.294±0.006	0.355±0.011	0.327±0.011	0.324±0.037	0.419±0.023	0.453±0.027
ผลการวิเคราะห์	0.190	0.200	0.181	0.410	0.069	0.367	0.157	0.969	0.135	0.841

1.2 ไนไตรท์ (ppm)

จากผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบ ในการลดสารประกอบไนโตรเจน ในการบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม พบว่าไนไตรท์ของชุดการทดลองที่ 1 มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 โดยที่ชุดการทดลอง 1 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไปในช่วงวันเริ่มต้นของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.032±0.004 ppm และเริ่มมีค่าการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในวันที่ 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 และ 30 ของการทดลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.032±0.004, 0.412±0.022, 0.445±0.021, 0.544±0.017, 0.567±0.038, 0.568±0.022, 0.584±0.009, 0.612±0.012, 0.638±0015 และ 0.714±0.014 ppm ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ 2 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์ในช่วงวันเริ่มต้นของการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.040±0.001 ppm และเริ่มมีค่าการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในวันที่ 6, 9, 12, 15 และ 18 ของการทดลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.426±0.010, 0.446±0.037, 0.586±0.023, 0.603±0.017 และ 0.614±0.017 ppm ตามลำดับ และมีค่าลดลงในวันที่ 21 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.603±0.012 ppm และมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 24, 27 และ 30 ของการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.611±0.015, 0.653±0.011 และ 0.735±0.020 ซึ่งค่าไนไตรท์ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่าไนไตรท์จากการทดลองใช้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ทั้ง 2 รูปแบบ ในการบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม เป็นเวลา 30 วัน (ค่าเฉลี่ย±SD)

ชุดการทดลอง	วันที่									
	วันที่ 3	วันที 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 18	วันที่ 21	วันที่ 24	วันที่ 27	วันที่ 30
ชุดการทดลอง 1	0.032±0.004	0.412±0.022	0.445±0.021	0.544±0.017	0.567±0.038	0.568±0.022	0.584±0.009	0.612±0.012	0.638±0015	0.714±0.014
ชุดการทดลอง 2	0.040±0.001	0.426±0.010	0.446±0.037	0.586±0.023	0.603±0.017	0.614±0.017	0.603±0.012	0.611±0.015	0.653±0.011	0.735±0.020
ผลการวิเคราะห์	0.056	0.387	0.970	0.065	0.215	0.049	0.102	0.957	0.254	0.230

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบ ในการบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ซึ่งประกอบด้วย เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป และเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์ เนื่องจากเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์เหล่านี้มีคุณสมบัติในการดักจับสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ มีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ และควบคุมแอมโมเนียและไนไตรท์ ในบ่อเลี้ยงกุ้ง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ เครื่องปรตีนสกิมเมอร์ทั้ง 2 รูปแบบมีประสิทธิภาพในการลดสารประกอบไนโตรเจนไม่แตกต่างกัน

ปริมาณแอมโมเนียหลังจากการใช้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ทั้ง 2 รูปแบบมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีค่าที่ต่ำในวันที่ 3 แล้วค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 6, 9, 12, 15 และ 18 โดยค่าที่เพิ่มขึ้นอาจจะเกิดจากการที่มีสารอินทรีย์ภายในบ่อ ที่เกิดจากอาหารที่เหลือ การขับถ่ายของเสียจากสัตว์น้ำ และมีค่าลดลงในวันที่ 21 ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ pH และอุณหภูมิในน้ำกลับเพิ่มขึ้นในวันที่ 24, 27 และ 30 ของการทดลอง ($P>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับสุภาวดี และเจษฎา (2561) มีการศึกษาประสิทธิภาพของเทคนิคการจัดการตะกอนแบบต่างๆ ในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลานิลแดงระบบน้ำหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ เปรียบเทียบระหว่างระบบการใช้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์กับระบบที่ไม่ใช้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าแอมโมเนีย (ppm) และขัดแย้งกับ สุธาทิพย์ (2550) ศึกษาประสิทธิภาพเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์แบบแยกโฟมสำหรับเลี้ยงปลานิล พบว่า ระบบที่มีเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์แบบแยกโฟมสามารถช่วยลดสารประกอบแขวนลอย และลดค่าแอมโมเนีย 61.75 เปอร์เซ็นต์ ค่าแอมโมเนียที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรเกิน 0.1 ppm (จรียา และสุรินทร, 2556) จากผลการทดลองสามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่นได้ และรูปแบบการจัดการระหว่างการเลี้ยงอื่นๆ ร่วมด้วย

ปริมาณไนไตรท์หลังจากการใช้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ทั้ง 2 รูปแบบ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในชุดการทดลองที่ 2 ในวันที่ 21 มีค่าลดลง และเพิ่มขึ้นในวันที่ 24, 27 และ 30 ของการทดลอง ($P>0.05$) ไนไตรท์ เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ซึ่งจะอยู่ในรูปที่เป็นพิษ หรือไม่ขึ้นอยู่กับค่า pH และอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ไม่ควรมีไนไตรท์เกิน 0.1 และ 0.25 ppm ซึ่งจะควบคุมโดยการควบคุมอาหาร ค่า pH การเปลี่ยนถ่ายน้ำ และการให้อากาศเพียงพอ โดยค่าไนไตรท์สูงกว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่อย่างไรก็ตามค่าไนไตรท์ที่สูงไม่ส่งผลกระทบจนทำให้กุ้งตายได้ (สุฤทธิ์ และประจวบ, 2556) ไนไตรท์เป็นสารตัวกลางที่ได้จากขบวนการ Nitrification ของแอมโมเนีย โดยมีแบคทีเรียชนิด *Nitrosomonas* sp. และ *Nitrobactor* sp. เป็นสารที่มีพิษต่อสัตว์น้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งทะเล ไนไตรท์มีค่าไม่ควรเกิน 0.1 ppm (สมพร , 2552) และสุภาวดี และจริยา (2549) และจรียา และสุรินทร (2556) ได้รายงานว่าค่าของไนไตรท์ที่เหมาะสม

สำหรับเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต้องมีค่าไม่เกิน 0.1 ppm สุธาทิพย์ (2550) ที่ศึกษาประสิทธิภาพเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์แบบแยกโฟมสำหรับเลี้ยงปลานิล พบว่า ระบบที่มีเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์แบบแยกโฟมสามารถช่วยลดปริมาณไนไตรท์เพิ่มขึ้นถึง 8.28 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองสามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่นได้ และรูปแบบการจัดการระหว่างการเลี้ยงอื่นๆ ร่วมด้วย

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบ ในการลดสารประกอบไนโตรเจน ในการบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ดังนี้ ชุดการทดลองที่ 1 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป และชุดการทดลองที่ 2 เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์ โดยทำการทดลองในบ่อปูนซีเมนต์ขนาดความจุน้ำ 3,000 ลิตร ปล่อยกุ้งขาวแวนนาไม ระยะโพสต์ลาวาร์ (PL12) จำนวน 15,000 ตัวต่อบ่อ เป็นระยะเวลา 30 วัน ซึ่งนำน้ำจากบ่อทดลองนำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำหาค่าสารประกอบไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย และไนไตรท์ ทุก 3 วัน พบว่า แอมโมเนีย และไนไตรท์ ของชุดการทดลองที่ 1 ในวันที่ 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 และ 30 มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองที่ 2 ทั้ง 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สรุปว่า เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบคือ เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป และเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์ มีประสิทธิภาพในการลดสารประกอบไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์มาใช้ในการบำบัดสารประกอบไนโตรเจน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มระยะเวลาในการทดลองให้มากกว่า 30 วัน ทั้งนี้เพื่อจะให้เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์สามารถบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม ได้เพิ่มมากขึ้น ถ้าเพิ่มระยะเวลาให้นาน จะทำให้ทราบระยะเวลาการบำบัดที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดด้วย

2. ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องโปรตีนสกิมมอร์ ในการบำบัดน้ำจากแหล่งอื่นด้วย เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบ

3. จากการศึกษาควรนำเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ ไปใช้กับสถานที่จริงที่ทำการศึกษา เพื่อที่จะศึกษาว่ามีผลต่อการทดลองเหมือน หรือสอดคล้องกับการศึกษาในห้องปฏิบัติการ และสามารถใช้งานได้จริง

เอกสารอ้างอิง

กรมประมง. 2552. การประมงและสัตว์น้ำทางทะเล. (ออนไลน์) สืบค้น https://sites.google.com/site/adecmju. [17 กันยายน 2564].

กรมมลพิษ. 2551. นโยบายสิ่งแวดล้อม. (ออนไลน์) สืบค้นจาก https://www.pc d.go.th/iso. (14 กันยายน 2564).

กัตตินา สกุลสวัสดิพันธ์ นิคม อ่อนสี และเอนก สาวะอินทร. 2560. ประสิทธิภาพของระบบกรองทรายแบบประยุกต์เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียน. (ออนไลน์) สืบค้นจาก. https://riss.rmutsv.ac.th (10 กันยายน 2564).

เกรียงศักดิ์ พูนสุข. 2544. จุลินทรีย์กับการเพาะเลี้ยงกุ้ง. (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://Nicaonline.com. (12 กันยายน 2564).

ขวัญชนก พุทธจันทร์. 2562. เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบ Recirculating aquaculture systems (RAS). (ออนไลน์) สืบค้นจาก. https://www.lib.ku.ac.th/2019/index.php. (18 กันยายน 2564).

จรียา ยิ้มรัตนบวร และสุรินทร บุญอนันธนสาร. 2556. ศักยภาพการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ของระบบพื้นที่ชุ่มน้ำบึงประดิษฐ์สำหรับการเพาะเลี้ยงปลาดุกลูกผสม. (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream. (21 กันยายน 2564).

เจษฎา อิสเหาะ สุภาวดี โกยดุลย์ และวราห์เทพ พาหุดี. 2561. ประสิทธิภาพของเทคนิคการดักตะกอนของแข็งในระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ กรณีศึกษา: ดุลออกซิเจนของการเลี้ยงปลานิลแดงในระบบหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่. (ออนไลน์) สืบค้นจาก. https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2561 (8 กันยายน 2564).

ชนกันต จิตมนัส. 2559. นวัตกรรมเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตวน้ำ. (ออนไลน์) สืบค้นจาก https://paj.rmu.ac.th. (19 กันยายน 2564).

ชนินทร์ แสงรุ่งเรือง และ สิริ ทุกข์วินาศ. 2541. การศึกษาวิจัยบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาด้วยระบบ Bio-filter: เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 1 จันทบุรี: กรมประมง กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ศูนย์ศึกษาการพัฒนาประมงอ่าวคุ้งกระเบน. 6 หน้า.

ชนินทร์ อัมพรสถิร. 2552. ผลของโอโซนต่อการตรึงไนโตรเจน ของแบคทีเรียในระบบรากของถั่วพุ่ม. (ออนไลน์) สืบค้นจาก. http://dric.nrct.go.th/Search/SearchDetail/220492. (19 กันยายน 2564).

นเรศ ใหม่ดี. 2561. เลี้ยงปลาระบบ Biofloc. (ออนไลน์) สืบค้นจาก.https://www.kasetkaoklai.com (22 กันยายน 2564).

พรรณทภรณ์ สิทธิ์พลางกูร วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี และกษิดิศ หนูทอง. (2557) การควบคุมความเข้มข้นของสารอนินทรีย์ไนโตรเจนและอัตราการบำบัดแอมโมเนีย โดยตะกอนชีวภาพจากระบบเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด. (ออนไลน์) สืบค้นจาก. http://researchconference.kps.ku.ac.th (22 กันยายน 2564)

ภรัณยู ถมพลกรัง ไวทัศน หนูกลำ และอนุสรา แกนทอง. 2560. โปรตีนสกิมเมอรสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตวน้ำเชิงพาณิชย์. (ออนไลน์) สืบค้นจาก http://www.nicaonline.com. (21 กันยายน 2564).

มาโนช ขาเจริญ วัฒนา วัฒนกุล และกันย์สินี พันธ์วนิชดำรง. 2662. การเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมร่วมกับกุ้งกุลาดำ. (ออนไลน์) สืบค้นจาก. http://203.158.177.175/upload/doc. (19 กันยายน 2564).

ศูนย์วิจัยประมงชายฝั่ง จันทบุรี. 2552. คุณภาพของน้ำ. (ออนไลน์) สืบค้นจาก. www.ideabyidea.com (23 กันยายน 2564).

ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมสัตว์น้ำชายฝั่ง. 2561. เรื่องน่ารู้ของโปรตีนสกิมเมอร์. (ออนไลน์) สืบค้นจาก. Nicaonline.com. (29 กันยายน 2564).

สมพร ยีสมัน. 2552. การศึกษาคุณภาพน้ำที่เหมาะสมตลอดระยะการเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไมแบบพัฒนาในบ่อปูพื้นด้วยโพลีเอททีลีน (Polyethylene) ในฤดูกาลที่ต่างกัน. (ออนไลน์) สืบค้นจาก. https://chumphon.mju.ac.th/goverment (18 กันยายน 2564).

สารานุกรมเสรี. 2564. น้ำเสีย. (ออนไลน์) สืบค้นจาก. https://th.Wikipedia.org/wiki, (8 กันยายน 2564).

สุธาทิพย์ เกิดทอง. 2550. ประสิทธิภาพเครื่องกรองแบบแยกโฟมแบบอนุกรมสำหรับเลี้ยงปลานิล. (ออนไลน์) สืบค้นจาก. https://webopac.lib.buu.ac.th. (19 กันยายน 2564).

สุภาวดี โกยดุลย์ และเจษฎา อิสเหาะ. 2561. ประสิทธิภาพของเทคนิคกำจัดตะกอนแบบต่างๆในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลานิลแดงระบบหมุนเวียนสัตว์น้ำกลับมาใช้ใหม่. (ออนไลน์) สืบค้นจาก. https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2561/research.rmutsb-2561-2019122315265599.pdf. (19 กันยายน 2564).

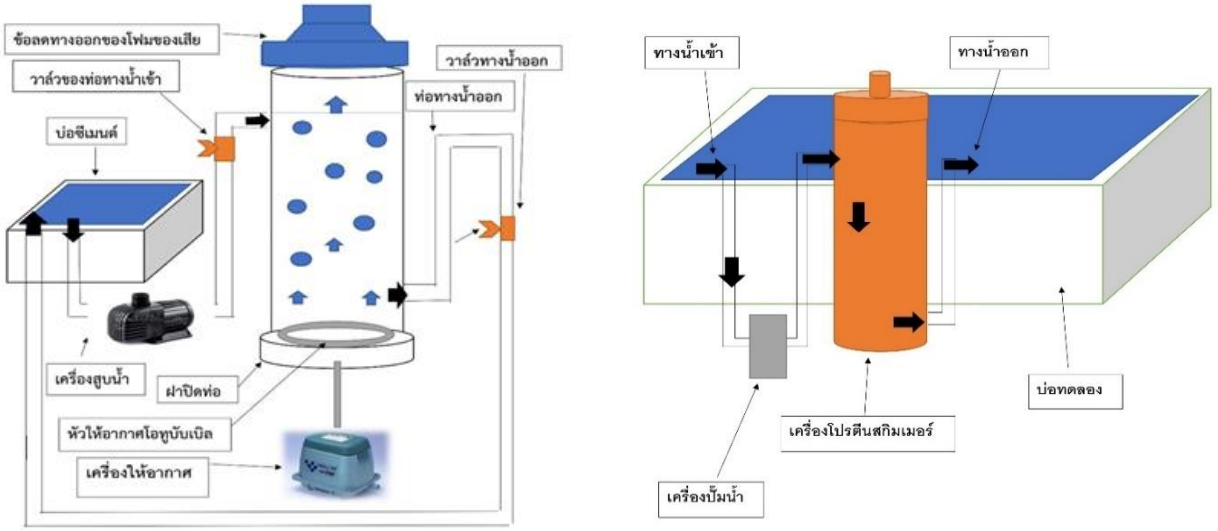
สุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย และ ประจวบ ฉายบุ. 2556. การศึกษาความหนาแน่นของการเลี้ยงปลากดหลวง ระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์เพื่อสร้างอาหารปลอดภัยและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม. (ออนไลน์) สืบค้นจาก. http://webpac.library.mju.ac.th. (8 กันยายน 2564).

Aleixpress. 2564. Mini พลาสติก aquarium marine fish. (ออนไลน์) สืบค้นจาก. Aleixpress. com. (18 ตุลาคม 2564).

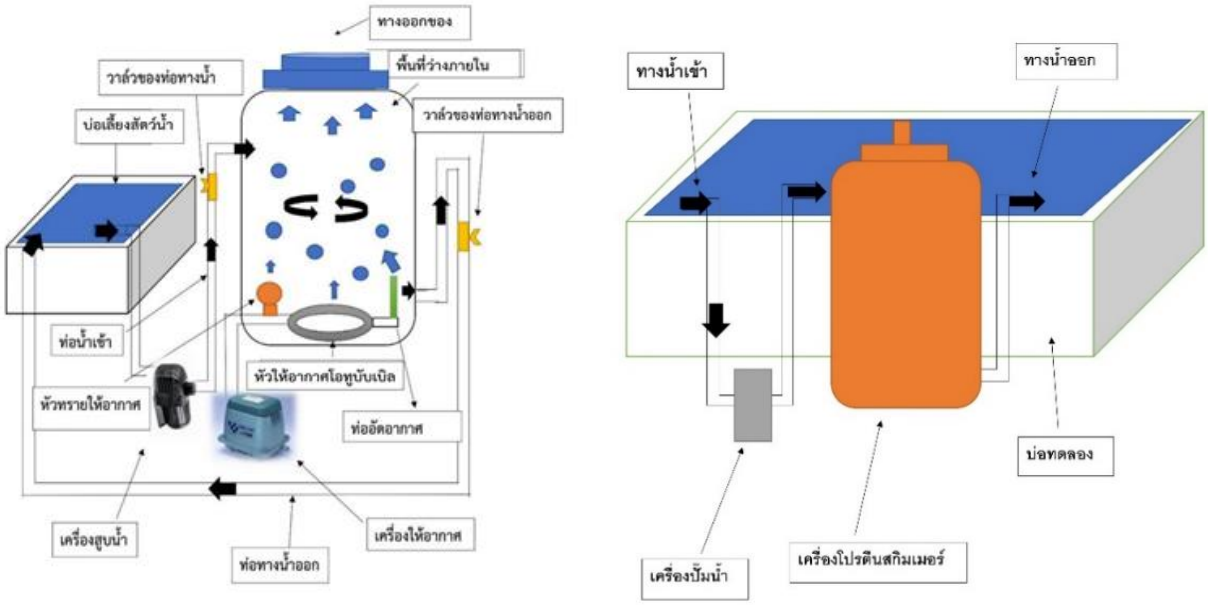
Aquaculture. 2564. ระบบบำบัดน้ำรูปแบบ Intensive Recirculating Aquaculture Systems (RAS). (ออนไลน์) สืบค้นจาก.http://www.lbaaf.co.nz/land-based-aquaculture/intensive-recirculating-aquaculture-systems-ras-/.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ภาพเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์ 2 รูปแบบ



เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป



เครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์

ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลคุณภาพน้ำเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป																					
วันที่	DO			PH			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อัลคาไลนิตี้ (ppm)			ความเค็ม (PPT)			แอมโมเนีย (PPM)			ไนไตรท์ (PPM)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1	6.3	6.4	6.4	7.5	7.5	7.5	27	27	27	170	178	170	15	15	15						
2	6.4	6.5	6.5	7.5	7.5	7.5	27	27	27	170	178	170	15	15	15						
3	6.2	6.2	6.3	8.0	8.0	8.0	26	26	26	170	178	170	15	15	15	0.024	0.021	0.032	0.031	0.029	0.038
4	6.2	6.1	6.3	8.0	8.0	8.0	27	27	27	170	178	170	15	15	15						
5	6.1	6.2	6.2	8.0	8.0	8.0	26	26	26	193	186	190	15	15	15						
6	6.4	6.4	6.5	8.5	8.5	8.5	26	26	26	193	186	190	15	15	15	0.124	0.128	0.13	0.391	0.412	0.435
7	6.3	6.2	6.2	8.0	8.0	8.0	26	26	26	193	186	190	15	15	15						
8	6.5	6.4	6.5	8.0	8.0	8.0	28	28	28	208	201	203	15	15	15						
9	6.4	6.2	6.4	7.5	7.5	7.5	27	27	27	208	201	203	15	15	15	0.154	0.149	0.161	0.42	0.454	0.461
10	6.3	6.3	6.4	7.5	7.5	7.5	27	27	27	208	201	203	15	15	15						
11	6.6	6.5	6.5	8.0	8.0	8.0	26	26	26	190	186	190	15	15	15						
12	6.5	6.5	6.5	8.0	8.0	8.0	27	27	27	190	186	190	15	15	15	0.208	0.197	0.236	0.528	0.562	0.543
13	6.5	6.4	6.5	8.5	8.5	8.5	27	27	27	190	186	190	15	15	15						
14	6.5	6.5	6.4	8.5	8.5	8.5	28	28	28	170	168	168	15	15	15						
15	6.4	6.5	6.4	8.0	8.0	8.0	27	27	27	170	166	168	15	15	15	0.263	0.248	0.286	0.55	0.612	0.541
16	6.5	6.5	6.5	7.5	7.5	7.5	27	27	27	170	168	168	15	15	15						
17	6.5	6.5	6.5	7.5	7.5	7.5	26	26	26	196	190	190	15	15	15						
18	6.3	6.3	6.3	7.5	7.5	7.5	26	26	26	196	190	190	15	15	15	0.324	0.357	0.349	0.575	0.543	0.587
19	6.4	6.5	6.4	7.5	7.5	7.5	26	26	26	196	190	190	15	15	15						
20	6.2	6.2	6.2	8.0	8.0	8.0	27	27	27	170	170	168	15	15	15						
21	6.4	6.4	6.5	8.0	8.0	8.0	27	27	27	170	170	168	15	15	15	0.304	0.297	0.325	0.586	0.592	0.574
22	6.5	6.5	6.5	8.5	8.5	8.5	27	27	27	170	170	168	15	15	15						
23	6.5	6.5	6.5	7.5	7.5	7.5	28	28	28	190	186	190	15	15	15						
24	6.3	6.4	6.4	7.5	7.5	7.5	26	26	26	190	186	190	15	15	15	0.318	0.346	0.311	0.615	0.598	0.623
25	6.5	6.6	6.5	7.5	7.5	7.5	26	26	26	190	186	190	15	15	15						
26	6.5	6.5	6.4	8.0	8.0	8.0	25	25	25	186	178	186	15	15	15						
27	6.2	6.2	6.3	8.0	8.0	8.0	26	26	26	186	178	186	15	15	15	0.394	0.367	0.401	0.637	0.624	0.655
28	6.4	6.2	6.4	8.5	8.5	8.5	26	26	26	190	190	186	15	15	15						
29	6.5	6.4	6.4	8.0	8.0	8.0	27	27	27	190	186	190	15	15	15						
30	6.5	6.4	6.3	7.5	7.5	7.5	26	26	26	190	186	186	15	15	15	0.427	0.482	0.435	0.716	0.699	0.728

ข้อมูลการเจริญเติบโตของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป												
วันที่	จำนวนกุ้งเฉลี่ย (ตัว)			น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)			ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)			ปริมาณอาหาร (กิโลกรัม)		
	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3
1	15000	15000	15000	0.014	0.015	0.015	1.13	1.13	1.14			
15				0.061	0.062	0.064	1.84	1.83	1.86			
30	12463	13104	12578	0.297	0.295	0.294	2.81	2.79	2.81	3.65	3.64	3.72

ข้อมูลคุณภาพน้ำของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์																					
วันที่	DO			PH			อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			อัลคาไลนิตี้ (ppm)			ความเค็ม (ppt			แอมโมเนีย (ppm)			ไนไตรท์(ppm)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
1	6.4	6.4	6.4	7.5	7.5	7.5	27	27	27	176	176	177	15	15	15						
2	6.5	6.5	6.5	7.5	7.5	7.5	27	27	27	170	178	178	15	15	15						
3	6.5	6.2	6.3	8	8	8	26	26	26	176	178	176	15	15	15	0.03	0.03	0.034	0.039	0.042	0.04
4	6.4	6.1	6.3	8	8	8	27	27	27	176	178	176	15	15	15						
5	6.4	6.2	6.2	8	8	8	26	26	26	190	186	186	15	15	15						
6	6.5	6.4	6.5	8.5	8.5	8.5	26	26	26	190	186	187	15	15	15	0.13	0.15	0.129	0.428	0.415	0.44
7	6.4	6.2	6.2	8	8	8	26	26	26	190	186	167	15	15	15						
8	6.3	6.4	6.5	8	8	8	28	28	28	190	186	178	15	15	15						
9	6.5	6.2	6.4	7.5	7.5	7.5	27	27	27	206	205	206	15	15	15	0.15	0.14	0.152	0.432	0.489	0.42
10	6.5	6.3	6.4	7.5	7.5	7.5	27	27	27	206	205	168	15	15	15						
11	6.6	6.5	6.5	8	8	8	26	26	26	206	201	178	15	15	15						
12	6.6	6.5	6.5	8	8	8	27	27	27	196	196	186	15	15	15	0.22	0.23	0.22	0.586	0.563	0.61
13	6.6	6.4	6.5	8.5	8.5	8.5	27	27	27	196	196	167	15	15	15						
14	6.3	6.5	6.4	8.5	8.5	8.5	28	28	28	196	196	187	15	15	15						
15	6.3	6.5	6.4	8	8	8	27	27	27	190	188	167	15	15	15	0.29	0.29	0.301	0.59	0.623	0.6
16	6.6	6.5	6.5	7.5	7.5	7.5	27	27	27	190	186	186	15	15	15						
17	6.5	6.5	6.5	7.5	7.5	7.5	26	26	26	190	188	188	15	15	15						
18	6.5	6.3	6.3	7.5	7.5	7.5	26	26	26	196	190	190	15	15	15	0.35	0.37	0.35	0.615	0.597	0.63
19	6.4	6.5	6.4	7.5	7.5	7.5	26	26	26	196	190	190	15	15	15						
20	6.4	6.2	6.2	8	8	8	27	27	27	196	190	196	15	15	15						
21	6.5	6.4	6.5	8	8	8	27	27	27	186	176	186	15	15	15	0.33	0.34	0.315	0.607	0.614	0.59
22	6.5	6.5	6.5	8.5	8.5	8.5	27	27	27	186	176	186	15	15	15						

23	6.5	6.5	6.5	7.5	7.5	7.5	28	28	28	196	196	196	15	15	15						
24	6.6	6.4	6.4	7.5	7.5	7.5	26	26	26	196	196	196	15	15	15	0.32	0.29	0.364	0.615	0.625	0.59
25	6.5	6.6	6.5	7.5	7.5	7.5	26	26	26	196	196	196	15	15	15						
26	6.3	6.5	6.4	8	8	8	25	25	25	186	188	186	15	15	15						
27	6.4	6.2	6.3	8	8	8	26	26	26	186	186	186	15	15	15	0.42	0.4	0.442	0.654	0.642	0.66
28	6.4	6.2	6.4	8.5	8.5	8.5	26	26	26	196	190	190	15	15	15						
29	6.5	6.4	6.4	8	8	8	27	27	27	196	196	196	15	15	15						
30	6.5	6.4	6.3	7.5	7.5	7.5	26	26	26	190	196	190	15	15	15	0.45	0.48	0.426	0.738	0.713	0.75

ข้อมูลการเจริญเติบโตของเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์

วันที่	จำนวนกุ้งเฉลี่ย (ตัว)			น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)			ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)			ปริมาณอาหาร (กิโลกรัม)		
	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3
1	15000	15000	15000	0.015	0.014	0.014	1.14	1.13	1.14			
15				0.063	0.058	0.06	1.79	1.81	1.78			
30	12459	12986	12631	0.286	0.286	0.295	2.76	2.8	2.75	3.6	3.72	3.85

แอมโมเนีย									
Descriptives									
			Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
		N				Lower Bound	Upper Bound		
วันที่3	1.00	3	0.0257	0.00569	0.00328	0.0115	0.0398	0.02	0.03
	2.00	3	0.0313	0.00252	0.00145	0.0251	0.0376	0.03	0.03
	Total	6	0.0285	0.00501	0.00205	0.0232	0.0338	0.02	0.03
วันที่6	1.00	3	0.1273	0.00306	0.00176	0.1197	0.1349	0.12	0.13
	2.00	3	0.1353	0.00850	0.00491	0.1142	0.1565	0.13	0.15
	Total	6	0.1313	0.00720	0.00294	0.1238	0.1389	0.12	0.15
วันที่9	1.00	3	0.1547	0.00603	0.00348	0.1397	0.1696	0.15	0.16
	2.00	3	0.1470	0.00557	0.00321	0.1332	0.1608	0.14	0.15
	Total	6	0.1508	0.00668	0.00273	0.1438	0.1578	0.14	0.16
วันที่12	1.00	3	0.2137	0.02011	0.01161	0.1637	0.2636	0.20	0.24
	2.00	3	0.2247	0.00503	0.00291	0.2122	0.2372	0.22	0.23
	Total	6	0.2192	0.01443	0.00589	0.2040	0.2343	0.20	0.24
วันที่15	1.00	3	0.2657	0.01914	0.01105	0.2181	0.3132	0.25	0.29
	2.00	3	0.2943	0.00611	0.00353	0.2792	0.3095	0.29	0.30
	Total	6	0.2800	0.02020	0.00825	0.2588	0.3012	0.25	0.30
วันที่18	1.00	3	0.3433	0.01721	0.00994	0.3006	0.3861	0.32	0.36
	2.00	3	0.3553	0.01102	0.00636	0.3280	0.3827	0.35	0.37
	Total	6	0.3493	0.01450	0.00592	0.3341	0.3646	0.32	0.37
วันที่21	1.00	3	0.3087	0.01457	0.00841	0.2725	0.3449	0.30	0.33
	2.00	3	0.3273	0.01159	0.00669	0.2985	0.3561	0.32	0.34
	Total	6	0.3180	0.01559	0.00637	0.3016	0.3344	0.30	0.34
วันที่24	1.00	3	0.3250	0.01852	0.01069	0.2790	0.3710	0.31	0.35
	2.00	3	0.3240	0.03736	0.02157	0.2312	0.4168	0.29	0.36
	Total	6	0.3245	0.02638	0.01077	0.2968	0.3522	0.29	0.36
วันที่27	1.00	3	0.3873	0.01795	0.01037	0.3427	0.4319	0.37	0.40
	2.00	3	0.4193	0.02354	0.01359	0.3608	0.4778	0.40	0.44
	Total	6	0.4033	0.02565	0.01047	0.3764	0.4303	0.37	0.44
วันที่30	1.00	3	0.4480	0.02972	0.01716	0.3742	0.5218	0.43	0.48
	2.00	3	0.4530	0.02751	0.01589	0.3847	0.5213	0.43	0.48
	Total	6	0.4505	0.02576	0.01052	0.4235	0.4775	0.43	0.48

ANOVA								
				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ครั้งที่ 1	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000	2.491	0.190
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000	2.491	0.190
	Within Groups			0.000	4	0.000		
	Total			0.000	5			
ครั้งที่ 2	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000	2.351	0.200
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000	2.351	0.200
	Within Groups			0.000	4	0.000		
	Total			0.000	5			
ครั้งที่ 3	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000	2.619	0.181
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000	2.619	0.181
	Within Groups			0.000	4	0.000		
	Total			0.000	5			
ครั้งที่ 4	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000	0.845	0.410
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000	0.845	0.410
	Within Groups			0.001	4	0.000		
	Total			0.001	5			
ครั้งที่ 5	Between Groups	(Combined)		0.001	1	0.001	6.107	0.069
		Linear Term	Contrast	0.001	1	0.001	6.107	0.069
	Within Groups			0.001	4	0.000		
	Total			0.002	5			
ครั้งที่ 6	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000	1.034	0.367
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000	1.034	0.367
	Within Groups			0.001	4	0.000		
	Total			0.001	5			
ครั้งที่ 7	Between Groups	(Combined)		0.001	1	0.001	3.015	0.157

		Linear Term	Contrast	0.001	1	0.001	3.015	0.157
	Within Groups			0.001	4	0.000		
	Total			0.001	5			
ครั้งที่ 8	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000	0.002	0.969
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000	0.002	0.969
	Within Groups			0.003	4	0.001		
	Total			0.003	5			
ครั้งที่ 9	Between Groups	(Combined)		0.002	1	0.002	3.504	0.135
		Linear Term	Contrast	0.002	1	0.002	3.504	0.135
	Within Groups			0.002	4	0.000		
	Total			0.003	5			
ครั้งที่ 10	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000	0.046	0.841
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000	0.046	0.841
	Within Groups			0.003	4	0.001		
	Total			0.003	5			

ไนไตรท์

Descriptives

			Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
		N				Lower Bound	Upper Bound		
ครั้งที่ 1	1.00	3	0.0327	0.00473	0.00273	0.0209	0.0444	0.03	0.04
	2.00	3	0.0403	0.00153	0.00088	0.0365	0.0441	0.04	0.04
	Total	6	0.0365	0.00524	0.00214	0.0310	0.0420	0.03	0.04
ครั้งที่ 2	1.00	3	0.4127	0.02201	0.01271	0.3580	0.4673	0.39	0.44
	2.00	3	0.4263	0.01060	0.00612	0.4000	0.4527	0.42	0.44
	Total	6	0.4195	0.01717	0.00701	0.4015	0.4375	0.39	0.44
ครั้งที่ 3	1.00	3	0.4450	0.02193	0.01266	0.3905	0.4995	0.42	0.46
	2.00	3	0.4460	0.03799	0.02193	0.3516	0.5404	0.42	0.49

	Total	6	0.4455	0.02775	0.01133	0.4164	0.4746	0.42	0.49
ครั้งที่ 4	1.00	3	0.5443	0.01704	0.00984	0.5020	0.5867	0.53	0.56
	2.00	3	0.5860	0.02300	0.01328	0.5289	0.6431	0.56	0.61
	Total	6	0.5652	0.02913	0.01189	0.5346	0.5957	0.53	0.61
ครั้งที่ 5	1.00	3	0.5677	0.03866	0.02232	0.4716	0.6637	0.54	0.61
	2.00	3	0.6037	0.01721	0.00994	0.5609	0.6464	0.59	0.62
	Total	6	0.5857	0.03324	0.01357	0.5508	0.6206	0.54	0.62
ครั้งที่ 6	1.00	3	0.5683	0.02274	0.01313	0.5118	0.6248	0.54	0.59
	2.00	3	0.6143	0.01701	0.00982	0.5721	0.6566	0.60	0.63
	Total	6	0.5913	0.03094	0.01263	0.5589	0.6238	0.54	0.63
ครั้งที่ 7	1.00	3	0.5840	0.00917	0.00529	0.5612	0.6068	0.57	0.59
	2.00	3	0.6033	0.01290	0.00745	0.5713	0.6354	0.59	0.61
	Total	6	0.5937	0.01457	0.00595	0.5784	0.6090	0.57	0.61
ครั้งที่ 8	1.00	3	0.6120	0.01277	0.00737	0.5803	0.6437	0.60	0.62
	2.00	3	0.6113	0.01582	0.00913	0.5720	0.6506	0.59	0.63
	Total	6	0.6117	0.01286	0.00525	0.5982	0.6252	0.59	0.63
ครั้งที่ 9	1.00	3	0.6387	0.01557	0.00899	0.6000	0.6773	0.62	0.66
	2.00	3	0.6533	0.01102	0.00636	0.6260	0.6807	0.64	0.66
	Total	6	0.6460	0.01449	0.00592	0.6308	0.6612	0.62	0.66
ครั้งที่ 10	1.00	3	0.7143	0.01457	0.00841	0.6781	0.7505	0.70	0.73
	2.00	3	0.7350	0.02066	0.01193	0.6837	0.7863	0.71	0.75
	Total	6	0.7247	0.01959	0.00800	0.7041	0.7452	0.70	0.75

ANOVA

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ครั้งที่ 1	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000	7.149	0.056
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000	7.149	0.056
	Within Groups			0.000	4	0.000		
	Total			0.000	5			
ครั้งที่ 2	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000	0.939	0.387
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000	0.939	0.387
	Within Groups			0.001	4	0.000		
	Total			0.001	5			

ครั้งที่ 3	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000	0.002	0.970
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000	0.002	0.970
	Within Groups			0.004	4	0.001		
	Total			0.004	5			
ครั้งที่ 4	Between Groups	(Combined)		0.003	1	0.003	6.357	0.065
		Linear Term	Contrast	0.003	1	0.003	6.357	0.065
	Within Groups			0.002	4	0.000		
	Total			0.004	5			
ครั้งที่ 5	Between Groups	(Combined)		0.002	1	0.002	2.171	0.215
		Linear Term	Contrast	0.002	1	0.002	2.171	0.215
	Within Groups			0.004	4	0.001		
	Total			0.006	5			
ครั้งที่ 6	Between Groups	(Combined)		0.003	1	0.003	7.869	0.049
		Linear Term	Contrast	0.003	1	0.003	7.869	0.049
	Within Groups			0.002	4	0.000		
	Total			0.005	5			
ครั้งที่ 7	Between Groups	(Combined)		0.001	1	0.001	4.479	0.102
		Linear Term	Contrast	0.001	1	0.001	4.479	0.102
	Within Groups			0.001	4	0.000		
	Total			0.001	5			
ครั้งที่ 8	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000	0.003	0.957
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000	0.003	0.957
	Within Groups			0.001	4	0.000		
	Total			0.001	5			
ครั้งที่ 9	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000	1.775	0.254
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000	1.775	0.254
	Within Groups			0.001	4	0.000		
	Total			0.001	5			
ครั้งที่ 10	Between Groups	(Combined)		0.001	1	0.001	2.004	0.230

		Linear Term	Contrast	0.001	1	0.001	2.004	0.230
	Within Groups			0.001	4	0.000		
	Total			0.002	5			

ค่าคุณภาพน้ำ

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
DO	1.00	3	6.3900	0.01000	0.00577	6.3652	6.4148	6.38	6.40
	2.00	3	6.4133	0.04163	0.02404	6.3099	6.5168	6.38	6.46
	Total	6	6.4017	0.02994	0.01222	6.3702	6.4331	6.38	6.46
pH	1.00	3	7.8800	0.00000	0.00000	7.8800	7.8800	7.88	7.88
	2.00	3	7.8800	0.00000	0.00000	7.8800	7.8800	7.88	7.88
	Total	6	7.8800	0.00000	0.00000	7.8800	7.8800	7.88	7.88
อุณหภูมิ	1.00	3	26.6000	0.00000	0.00000	26.6000	26.6000	26.60	26.60
	2.00	3	26.6000	0.00000	0.00000	26.6000	26.6000	26.60	26.60
	Total	6	26.6000	0.00000	0.00000	26.6000	26.6000	26.60	26.60
Alkality	1.00	3	184.1467	1.45246	0.83858	180.5386	187.7548	182.97	185.77
	2.00	3	189.9000	1.13221	0.65368	187.0874	192.7126	189.13	191.20
	Total	6	187.0233	3.35959	1.37155	183.4977	190.5490	182.97	191.20
ความเค็ม	1.00	3	15.0000	0.00000	0.00000	15.0000	15.0000	15.00	15.00
	2.00	3	15.0000	0.00000	0.00000	15.0000	15.0000	15.00	15.00
	Total	6	15.0000	0.00000	0.00000	15.0000	15.0000	15.00	15.00

ANOVA

				Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DO	Between Groups	(Combined)		0.001	1	0.001	0.891	0.399
		Linear Term	Contrast	0.001	1	0.001	0.891	0.399
	Within Groups			0.004	4	0.001		
	Total			0.004	5			

pH	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000		
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000		
	Within Groups			0.000	4	0.000		
	Total			0.000	5			
อุณหภูมิ	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000		
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000		
	Within Groups			0.000	4	0.000		
	Total			0.000	5			
Alkality	Between Groups	(Combined)		49.651	1	49.651	29.280	0.006
		Linear Term	Contrast	49.651	1	49.651	29.280	0.006
	Within Groups			6.783	4	1.696		
	Total			56.434	5			
ความเค็ม	Between Groups	(Combined)		0.000	1	0.000		
		Linear Term	Contrast	0.000	1	0.000		
	Within Groups			0.000	4	0.000		
	Total			0.000	5			

DO	
ชุดการทดลอง	ค่าเฉลี่ย
t1r1	6.393
t1r2	6.380
t1r3	6.403
t2r1	6.463
t2r2	6.380
t2r3	6.403

pH	
ชุดการทดลอง	ค่าเฉลี่ย
t1r1	7.883
t1r2	7.883
t1r3	7.883
t2r1	7.883
t2r2	7.883

t2r3	7.883

ความเค็ม	
ชุดการทดลอง	ค่าเฉลี่ย (ppt)
t1r1	15.000
t1r2	15.000
t1r3	15.000
t2r1	15.000
t2r2	15.000
t2r3	15.000

อุณหภูมิ	
ชุดการทดลอง	ค่าเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)
t1r1	26.600
t1r2	26.600
t1r3	26.600
t2r1	26.600
t2r2	26.600
t2r3	26.600

alkalinity	
ชุดการทดลอง	ค่าเฉลี่ย
t1r1	185.767
t1r2	182.967
t1r3	183.700
t2r1	191.200
t2r2	189.367
t2r3	189.133

การเจริญเติบโต

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่ม	น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย	น้ำหนักที่เพิ่ม	ความยาวเฉลี่ยเริ่มต้น	ความยาวเฉลี่ยสุดท้าย	ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น
T1r1	0.01	0.30	0.28	1.13	2.81	1.68
T1r2	0.02	0.30	0.28	1.13	2.79	1.66
T1r3	0.02	0.29	0.28	1.14	2.81	1.67
T2r1	0.02	0.29	0.27	1.14	2.76	1.62
T2r2	0.01	0.29	0.28	1.13	2.8	1.67
T2r3	0.01	0.30	0.28	1.14	2.75	1.61

Descriptives									
			Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
		N				Lower Bound	Upper Bound		
น้ำหนักเฉลี่ยเริ่ม	1.000	3	0.017	0.006	0.003333	0.00232	0.03101	0.010	0.020
	2.000	3	0.013	0.006	0.003333	-0.00101	0.02768	0.010	0.020
	Total	6	0.015	0.005	0.002236	0.00925	0.02075	0.010	0.020
น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย	1.000	3	0.297	0.006	0.003333	0.28232	0.31101	0.290	0.300
	2.000	3	0.293	0.006	0.003333	0.27899	0.30768	0.290	0.300
	Total	6	0.295	0.005	0.002236	0.28925	0.30075	0.290	0.300
น้ำหนักที่เพิ่ม	1.000	3	0.280	0.000	0.000000	0.28000	0.28000	0.280	0.280
	2.000	3	0.277	0.006	0.003333	0.26232	0.29101	0.270	0.280
	Total	6	0.278	0.004	0.001667	0.27405	0.28262	0.270	0.280
ความยาวเฉลี่ยเริ่มต้น	1.000	3	1.133	0.006	0.003333	1.11899	1.14768	1.130	1.140
	2.000	3	1.137	0.006	0.003333	1.12232	1.15101	1.130	1.140
	Total	6	1.135	0.005	0.002236	1.12925	1.14075	1.130	1.140
ความยาวเฉลี่ยสุดท้าย	1.000	3	2.803	0.012	0.006667	2.77465	2.83202	2.790	2.810
	2.000	3	2.770	0.026	0.015275	2.70428	2.83572	2.750	2.800
	Total	6	2.787	0.026	0.010541	2.75957	2.81376	2.750	2.810
ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น	1.000	3	1.670	0.010	0.005774	1.64516	1.69484	1.660	1.680
	2.000	3	1.633	0.032	0.018559	1.55348	1.71319	1.610	1.670
	Total	6	1.652	0.029	0.011949	1.62095	1.68238	1.610	1.680

ชุดการทดลอง	น้ำหนักเฉลี่ยเริ่ม	น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย	น้ำหนักที่เพิ่ม	ความยาวเฉลี่ยเริ่มต้น	ความยาวเฉลี่ยสุดท้าย	ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น
ชุดการทดลอง 1	0.016±0.005	0.296±0.005	0.280±0.000	1.133±0.005	2.80±0.011	1.670±0.010
ชุดการทดลอง 2	0.013±0.005	0.293±0.005	0.276±0.005	1.136±0.005	2.770±0.026	1.633±0.032
ผลการวิเคราะห์	**0.519**	**0.519**	**0.374**	**0.519**	**0.116**	**0.132**

1.ราคาของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบทั่วไป

1. ท่อพีวีซี ขนาด 8 นิ้ว	ราคา 450 บาท
2. ข้อลดขนาด 8 นิ้วเหลือสามนิ้ว	ราคา 220 บาท
3. ฝาปิดท่อขนาด 8 นิ้ว	ราคา 290 บาท
4. ท่อพีวีซีขนาด 4 หุน	ราคา 50 บาท
5. สายยางโอทูบับเบิล	ราคา 1,200 บาท
6. เครื่องเจียร	ราคา 400 บาท
7. สว่านไฟฟ้า	ราคา 390 บาท
8. ข้อต่อต่างๆของท่อพีวีซีขนาด 4 หุน	ราคา 100 บาท
9. เครื่องปั๊มน้ำขนาด 220 วัตต์ การปั๊มน้ำ 5,500 ลิตรต่อนาที	ราคา 890 บาท
10. เครื่องให้อากาศ ขนาด 100 วัตต์ ให้อากาศ 150 ลิตรต่อนาที	ราคา 1,100 บาท
รวมทั้งหมด	ราคา 5,090 บาท
ราคาตัวเครื่อง	ราคา 1,690 บาท

2. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเครื่องโปรตีนสกิมเมอร์รูปแบบประยุกต์

1. ถังพลาสติก ขนาด 60 ลิตร	ราคา 160 บทท
2. ท่อพีวีซีขนาด 4 หุน	ราคา 50 บาท
3. สายโอทูบับเบิล	ราคา 1,200 บาท
4. หัวทราย	ราคา 20 บาท
5. กาวติดท่อพีวีซี	ราคา 40 บาท
6. เครื่องเจียร	ราคา 400 บาท
7. สว่าน	ราคา 390 บาท
8. เครื่องปั๊มน้ำ 220 วัตต์ การปั๊มน้ำ 5,500 ลิตร ต่อนาที	ราคา 890 บาท
9. เครื่องให้อากาศขนาด 100 วัตต์ ให้อากาศ 150 ลิตรต่อนาที	ราคา 1,100 บาท
10. ข้อต่อของท่อพีวีซีขนาด4หุน	ราคา 100 บาท
รวมทั้งหมด	ราคา 4,350 บาท
ราคาตัวเครื่อง	ราคา 970 บาท