



วิทยานิพนธ์

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดใน
การบำบัดน้ำในตู้ปลาทะเล

COMPARISON STUDY ON EFFICIENCY OF WATER
RECYCLING SYSTEM FOR TREAT OF ARTIFICIAL SEA
AQUARIUM

นายภคพงษ์ ตั้งชัยบุญญกุล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๕๑



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในการบำบัดน้ำในตู้ปลาทะเล

Comparison Study on Efficiency of Water Recycling System for Treat of Artificial Sea Aquarium

นามผู้วิจัย นายภักพงษ์ ตั้งชัยบุญญกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ดร.ณัฏฐ์ จิระเดชะ, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชราภรณ์ สุวรรณวิทยา, M.Appl.Sc.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชวเลข วณิชเวทิน, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, Dr.Ing.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในการบำบัดน้ำในตู้ปลาทะเล

Comparison Study on Efficiency of Water Recycling System for Treat of Artificial Sea Aquarium

โดย

นายภักพงษ์ ตั้งชัยภิญโญกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2551

ภักพงษ์ ตั้งชัยบุญญกุล 2551: การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด
ในการบำบัดน้ำในตู้ปลาทะเล ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
รองศาสตราจารย์ฉัตรนัย จิระเดชะ, Ph.D. 94 หน้า

การศึกษาเปรียบเทียบในรูปแบบของตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของของเสียกำหนดพบว่า ระบบกรอง
แบบ trickling filter มีความสามารถในการกำจัดของเสียกลุ่มแอมโมเนีย ในไตรท์ ในไตรท์ได้ดีที่สุดคือ ใช้เวลา
ในการกำจัดเพียง 7 ชม. 4 ชม. 4 ชม. ตามลำดับ ส่วนระบบที่สามารถบำบัดได้คือระบบ skimmer โดย
จะกำจัดของเสียทั้งหมดได้ในเวลา 9 ชม. และระบบสาหร่ายไม่สามารถกำจัดได้ ภายในเวลาที่กำหนด ส่วนใน
การทดลองโดยใช้การเลี้ยงในสภาพแวดล้อมจริงเพื่อกำจัดของเสียที่สัตว์ทดลองสร้างขึ้นมานั้น พบว่าค่า
แอมโมเนียในตู้ trickling filter ,skimmer และสาหร่าย มีค่า 0.096,0.323 และ 0.216 mg/l ตามลำดับ ค่าไนไตรท์
0.032,0.161 และ 0.013 mg/l ตามลำดับ ค่าไนไตรท์มีค่า 0.036,0.161,0.126 mg/l ตามลำดับ ค่าของแข็งละลายรวม
มีค่า 1275,1298 และ 1277 mg/l ค่า pH ของแต่ละตู้มีค่า 8.25,8.12 และ 8.24 ตามลำดับ โดยมีค่าปริมาณน้ำคงเหลือ
หลังการทดลอง 155.31,151.96 และ 157.61 ลิตร ตามลำดับในส่วนของผู้ที่ใช้ระบบ trickling filter จะเริ่มมีการ
สะสมของของเสียที่กำจัดไม่หมดในช่วงหลังวันที่ 16 ของการทดลอง ส่วนในอีก 2 ระบบจะเริ่มมีการสะสม
เพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 2-4 ของการทดลอง

เปรียบเทียบจากอัตราการตายของสัตว์ทดลองพบว่าในตู้ที่มีการใช้ระบบกรองจะมีอัตราการตายของ
สัตว์ทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่แตกต่างกัน โดย ตู้ที่ใช้ระบบ trickling filter มีอัตราการรอด เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 78 ของ
สัตว์ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดความยาวเพิ่มเฉลี่ยประมาณ 0.46 ซม.คิดเป็นร้อยละ 25 ของความยาวเริ่มต้น และ
น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยประมาณ 6.43 กรัมคิดเป็นร้อยละ 178.86 ของน้ำหนักเริ่มต้น ตู้ที่มีอัตราการรอดลงมาได้แก่ตู้ที่
ใช้ระบบสาหร่ายมีอัตราการรอดอยู่ที่ร้อยละ 65 ของสัตว์ที่ใช้ในการทดลอง มีความยาวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ
0.32 ซม.ร้อยละ 17.4 ของความยาวเริ่มต้น และน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยประมาณ 8.2 กรัมร้อยละ 232.27 ของขนาด
เริ่มต้น ซึ่งมีน้ำหนักเพิ่มมากที่สุดในทุกๆระบบ ในตู้ที่มีอัตราการรอดต่ำที่สุดได้แก่ตู้ที่ใช้ระบบ skimmer มีอัตรา
การรอดของสัตว์ทดลองอยู่ที่ร้อยละ 33 ของจำนวนสัตว์ทดลองที่ใช้ โดยในกลุ่มสัตว์ทดลองที่รอดจนวันสุดท้าย
มีขนาดความยาวเพิ่มขึ้น 0.28 ซม.และมีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 4.34 กรัมคิดเป็นร้อยละ 122.0 ของน้ำหนักเริ่มต้น
จากผลที่ได้จะเห็นได้ว่าตู้ที่ใช้ระบบกรองแบบ trickling filter จะมีความสามารถในการกำจัดของเสียที่เกิดจาก
ปลาได้ดีที่สุดและมีอัตราการรอดของปลาสูงสุด

Pakkapong Thangchaipinyokul 2008: Comparison Study on Efficiency of Water Recycling System for Treat of Artificial Sea Aquarium. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Chatdanai Jiradecha, Ph.D. 94 pages.

Reference to the comparative experiment of the designated waste concentration of water samples showed that the “trickling system” filter performed the best ability in removing Ammonia, Nitrite and Nitrate with the removing time of 7 hours, 4 hours and 4 hours respectively. Following with the “skimmer system” filter, the total removing time was 9 hours. However, the algae tank showed the inability to do so within the time limit. And according to the experiment with the real environment in order to remove the waste products from test living found that number of Ammonia in trickling filter system, skimmer filter systems and algae are 0.096, 0.323, 0.216 mg/L respectively. Numbers of Nitrite are 0.032, 0.061 and 0.013 mg/L respectively. Numbers of Nitrate are 0.036, 0.161 and 0.126 mg/L respectively. Numbers of dissolved solid in total are 1275, 1298 and 1277 mg/L. PH rate in each tanks are 8.25, 8.12 and 8.24 respectively. Volume of remain water after experiment are 155.31, 151.96 and 157.61 L respectively. Therefore, the waste that was left after the maximum performance of filter in ticking system started to coagulate after day 16 of the experiment. The same result appeared in the other tanks from the day 2 to 4.

The experiment also showed difference numbers of surviving test living too. There was average 78% surviving rate in trickling filter system tank with the average increased body length of 0.46 c.m., which was 25% from the beginning size. The average increased body weight was 6.43 g., which was 178.86% from the beginning weight. The algae tank was the second best with the average surviving rate of 65%. The average increased body length of approximately 0.32 c.m., which was 17.4% from the beginning length. The average increased body weight was 8.2 g., which was 232.27% from the beginning weight. Considering algae tank performed the best in average increased body weight. The skimmer system filter tank performed the poorest surviving rate of only 33%. The average increased body length of 0.28 c.m. and average increased body weight of 4.34 g. This experiment showed that the trickling system filter had the best ability in removing fish waste products and performed the highest fish surviving rate.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ฉัตรคนัย จิระเดชะ ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ภัชราภรณ์ สุวรรณวิทยา กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ชวเลข วนิชเวทิน กรรมการที่ปรึกษาวิชาการและผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงศ์เชษฐพิชิตกุล อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและทำการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการสถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล นายอนันต์ ต้นสุตะวานิช ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องระบบบำบัดต่างๆ คุณธนัญญา จงพิร์เพียร หัวหน้ากลุ่มงานวิจัยการจัดเขตการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลที่สนับสนุนสถานที่และช่วยติดต่อขอสัตว์ทดลองเพื่อนำมาวิจัยครั้งนี้คุณทวี วิพุทธานุมาศ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำจืดที่เอื้อเฟื้อดูแลทดลอง และ คุณวารินทร์ ธนาสมหวัง ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาครที่อนุเคราะห์ปลาการ์ตูนมาเพื่อการศึกษาวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนการศึกษาครั้งนี้และ พี่ๆน้องๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจให้การศึกษาครั้งนี้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ภักตพงษ์ ตั้งชัยกัญญ์ โญกุล

เมษายน 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	45
ผลและวิจารณ์	51
สรุปผลการศึกษา	67
ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	70
ภาคผนวก	74
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	94

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 คุณสมบัติของน้ำทะเลบางประการที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง	6
2 วิธีการกำจัดไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ	24
3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของ nitrifying organisms และอัตราส่วนของ BOD_5/TKN	28
4 แสดงอัตราไหลของน้ำต่อพื้นที่ผิวจำเพาะ	36
5 ตารางแสดงความสามารถในการกำจัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ออกจากระบบของ เครื่องกรองแบบต่างๆ	51
6 แสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลองในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำชุดบำบัดน้ำหมุนเวียนและชุดควบคุม	54
7 อัตราการเจริญเติบโต อัตรารอด และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาการ์ตูนที่เลี้ยงในระบบการกรองน้ำ 3 แบบ	60
8 ตารางแสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย และคุณสมบัติบางประการของระบบกรอง	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค1 ตารางแสดงการทดสอบแบบ T-testของค่า แอมโมเนีย ในไทรท์ ในเตรท ของแฉ่ง ละลายและ pH	81
ค2 ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของ แอมโมเนีย ในไทรท์ ในเตรท ของแฉ่ง ละลายและ pH ด้วยวิธี ANOVA	81
ค3 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของปริมาณ แอมโมเนีย ของระบบกรอง 3ชนิด	82
ค4 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของไนโตรท์ของระบบกรองทั้ง 3 ชนิด	82
ค5 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของปริมาณไนเตรทของเครื่อง กรองทั้ง 3 ชนิด	83
ค6 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของปริมาณของแฉ่งละลาย ของ เครื่องกรองทั้ง 3 ชนิด	83
ค7 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มตามค่า pH อย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของเครื่องกรองทั้ง 3 ชนิด	84
ค8 ตารางแสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราอด ความยาวเฉลี่ยและ น้ำหนักเฉลี่ย ของเครื่องกรองทั้ง 3 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$)	84
ค9 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของอัตราอดของสัตว์ทดลอง จากเครื่องกรองทั้ง 3 ชนิด	85
ค10 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของความยาวเฉลี่ยสัตว์ทดลองที่ เหลือรอดจากเครื่องกรองทั้ง 3 ชนิด	85
ค11 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของน้ำหนักเฉลี่ยสัตว์ทดลองที่ เหลือรอดจากเครื่องกรองทั้ง 3 ชนิด	86

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนโดยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ	27
2	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอมโมเนียเปรียบเทียบ เครื่องกรอง 3 ระบบ	52
3	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนไตรท์เปรียบเทียบเครื่องกรอง 3 ระบบ	53
4	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทเปรียบเทียบเครื่องกรอง 3 ระบบ	53
5	กราฟแสดงการสะสมของแอมโมเนียในระบบ	55
6	กราฟแสดงการสะสมของไนไตรท์ในระบบ	56
7	กราฟแสดงการสะสมของไนเตรทในระบบ	57
8	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งละลาย	57
9	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ pH	58
10	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรน้ำของระบบ	59
11	เปรียบเทียบความขุ่นเฉลี่ยก่อน-หลังทดลอง	61
12	เปรียบเทียบน้ำหนักรวมเฉลี่ยก่อน-หลังทดลอง	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก1 ตารางแสดงส่วนประกอบของเกลือวิทยาศาสตร์	76
จ1 รูปแสดงขนาดของตู้ทดลองที่ใช้ในการเลี้ยงปลา	90
จ2 รูปภาพแสดงขนาดของถังปฏิกิริยาของเครื่องกรองแบบ trickling filter	90
จ3 รูปแสดงขนาดและภาพตัดขวางของเครื่องกรองแบบ skimmer	91
จ4 รูปแสดงภาพ 3 มิติของเครื่องกรองระบบ skimmer	92
จ5 รูปภาพแสดงขนาดและส่วนประกอบของเครื่องกรองระบบสาหร่าย	92
จ6 รูปแสดงภาพ 3 มิติของเครื่องกรองระบบสาหร่าย	93

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดในการบำบัดน้ำในตู้ ปลาทะเล

Comparison Study on Efficiency of Water Recycling System for Treat of Artificial Sea Aquarium

คำนำ

ปัจจุบันการเลี้ยงปลาทะเลสวยงามหรือที่เรียกกันว่า การเลี้ยงปลาตู้น้ำเค็มนั้นเริ่มมีคนสนใจกันมากขึ้น โดยมีตั้งแต่การเลี้ยงเป็นงานอดิเรกไปจนถึงการเลี้ยงในรูปแบบสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ และการเพาะเลี้ยงเพื่อการค้า พบว่าธุรกิจด้านการเลี้ยงปลาน้ำเค็มมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว แต่ผลกระทบที่ตามมาคือการทำลายทรัพยากรธรรมชาติตั้งแต่ การจับสัตว์น้ำ การทิ้งของเสียจากการเลี้ยงลงสู่แหล่งน้ำ เพราะผู้เลี้ยงส่วนใหญ่ยังไม่มีความรู้เกี่ยวกับการดูแลและความเข้าใจในสัตว์น้ำเค็ม

การเลี้ยงปลาน้ำเค็มในปัจจุบันเป็นการนำน้ำจากแหล่งธรรมชาติ หรือนำเกลือวิทยาศาสตร์ที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อการเลี้ยงสัตว์น้ำเค็มโดยเฉพาะ มาใช้แล้วมีการใส่อุปกรณ์และระบบต่างๆ เพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมให้ใกล้เคียงธรรมชาติมากที่สุด แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ การสะสมของ สารอาหารที่เหลือจากการกินของสัตว์น้ำ และของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำเอง ทำให้คุณภาพน้ำในตู้แสดงสัตว์น้ำนั้นเป็นพิษต่อการมีชีวิตของ สัตว์น้ำ จึงมีการคิดค้นวิธีที่จะกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นจากสัตว์น้ำ และปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตอยู่ได้

การใช้ระบบกรองในงานเลี้ยงสัตว์น้ำมีการประยุกต์ใช้มานานและมีการศึกษาวิจัยเป็นจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่จะเน้นไปทางด้านเกษตรกรรมจึงจำเพาะเจาะจงไปที่อัตราการรอดและผลผลิตได้ของการเพาะเลี้ยงมากกว่าที่จะเน้นไปทางด้านเพื่อความบันเทิงหรือเพื่องานสนันทนาการโดยสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำจะต้องการในส่วนที่มากกว่างานด้านการเพาะเลี้ยงคือ ความสะอาดและสวยงามอีกทั้งสุขภาพสีสันของสัตว์น้ำและยังต้องมีการดูแลที่ง่ายและใช้พื้นที่น้อยอีกทั้งยังต้องไม่มีสิ่งรบกวนสุนทรียภาพในการรับชมของผู้ที่มาเยี่ยมชมสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการและเก็บรวบรวมในส่วนของการของเสียที่เกิดจากการรวบรวมของระบบบำบัดอีกทั้งยังต้อง

สามารถเคลื่อนย้ายง่าย ทำให้ง่ายต่อการเก็บและดูแลรักษา อีกทั้งระบบยังต้องมีความประหยัดพลังงานเพื่อช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

โกวิท (2549) ได้ทำการศึกษาการเลี้ยงปลาการ์ตูน 2 ชนิด ในน้ำทะเลและน้ำทะเลผสม ปลาการ์ตูนทั้งสองชนิดที่ศึกษา คือปลาการ์ตูนส้มขาว (*Amphiprion ocellaris* Cuvier, 1830) และปลาการ์ตูนอานม้า (*Amphiprion polymnus* Linnaeus, 1758) โดยเลี้ยงในน้ำทะเล น้ำน้ำเกลือผสมน้ำจืด และเกลือวิทยาศาสตร์ผสมน้ำจืด ระยะเวลา 8 สัปดาห์ ปลาการ์ตูนทั้งสองชนิดที่เริ่มทดลองเลี้ยง มีขนาดและน้ำหนักคือ ความยาว 1.749 ± 0.26 , 2.077 ± 0.21 ซม. น้ำหนัก 0.1813 ± 0.06 , 0.3080 ± 0.01 กรัม ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าการเจริญเติบโต (ความยาว) ของปลาการ์ตูนส้มขาว ปลาการ์ตูนอานม้า ที่เลี้ยงในน้ำทะเล น้ำน้ำเกลือผสมน้ำจืด และเกลือวิทยาศาสตร์ผสมน้ำจืด เป็นดังนี้คือ 4.23 ± 0.35 , 4.15 ± 0.25 , 4.20 ± 0.32 , และ 5.41 ± 0.38 , 5.32 ± 0.30 , 5.36 ± 0.35 ซม. และน้ำหนักตัว 1.67 ± 0.56 , 1.62 ± 0.45 , 1.65 ± 0.49 , และ 3.36 ± 0.67 , 3.26 ± 0.45 , 3.29 ± 0.56 กรัม ตามลำดับ อัตราการรอดตาย 100.00, 100.00 และ 98.33 ± 1.65 , 96.67 ± 2.89 และ 96.67 ± 2.89 % ตามลำดับ ปลาการ์ตูนทั้งสองชนิดที่เลี้ยงมีการเจริญเติบโต (ความยาว) น้ำหนักตัว และอัตราการรอดตาย มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในการเลี้ยงปลาการ์ตูนคู่เลี้ยงปลาจะต้องมีการเตรียมระบบกรองน้ำ เตรียมมีความเต็ม 30 ppt เติมน้ำลงในตู้กระจกก่อนการเลี้ยงปลาการ์ตูนล่วงหน้าเป็นระยะเวลา 1 เดือน เพื่อให้ระบบ Biological filtration ภายในตู้ทำงาน และควบคุมคุณภาพน้ำ มีการเลี้ยง benthos animal (หอยนมสาว (*Trochus niloticus*) และกุ้งมดแดง (*Rhynchocinetes uritai*) เพื่อช่วยในเก็บเศษอาหารและสาหร่าย

Brown (2003, อ้างตาม Lichtenbert, 2000) กล่าวว่า การเลี้ยงปลาในตู้มักประสบปัญหาเรื่องโรค และปรสิต ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มระบบ bio-filtration ในตู้ ระบบ biological filtration ของสารประกอบ nitrogenous, nitrification, denitrification โดยแบคทีเรียในน้ำตาม วัสดุต่าง ๆ และในระบบกรอง (Spotte, 1970) ปลาเป็นโรคเกิดจากระบบภูมิคุ้มกัน ความเครียดจากสิ่งแวดล้อม (Lom, 1969) หากปลาเป็นโรคจำเป็นต้องรักษาโรคปลาและสิ่งต่าง ๆ ที่ส่งลงไปในตัวปลา (Reichenbach and Elkan, 1965; Johnson, 1968) Spotte (1970) กล่าวว่า การควบคุมสิ่งแวดล้อมสามารถป้องกันการเป็นโรคได้ ปัจจัยที่ช่วยควบคุมการเกิดโรคของสัตว์น้ำคือการควบคุมอุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ และแอมโมเนีย การเลี้ยงปลาทะเลในตู้กระจกจำเป็นต้องสร้างระบบให้สมดุล โดยใส่เปลือกหอย กรวดทราย ซากปะการัง หนา 2-3 นิ้ว เติมน้ำทะเลทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือน

จะเกิด algae, micro algae และ micro bacteria (anaerobic bacteria และ aerobic bacteria) ในระบบตู้เลี้ยงปลา

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดแอมโมเนีย ในไตรท ในเตรท ของระบบกรองทั้ง3 ชนิด
2. ศึกษาคุณภาพน้ำบางประการของผู้เลี้ยงปลาทะเล
3. ศึกษาถึงข้อดี ข้อเสียของระบบบำบัดทั้ง 3 แบบเพื่อที่จะนำมาเลือกใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำในสถานการณ์ที่มีปัจจัยบังคับในด้านต่างๆ
4. ประเมินต้นทุนของการเลือกใช้ระบบบำบัดให้สอดคล้องกับภาคธุรกิจที่จะเกิดขึ้นกับการเติบโตของธุรกิจสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ

ขอบเขตการวิจัย

1. การศึกษานี้เป็นการศึกษาตู้ปลาทะเลในระบบปิด ไม่มีการเติมน้ำเข้าสู่ระบบตลอดการทดลอง
2. สัตว์ทดลองที่ใช้ในการศึกษาเป็นปลาการ์ตูนส้มขาว *Amphiprion Ocellaris* ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงมีขนาดและอายุตามที่กำหนด ไม่มีโรคและปรสิต
3. เครื่องกรองที่ใช้ในการศึกษาเป็นเครื่องกรองที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปซึ่งสามารถหาซื้อได้ในร้านขายอุปกรณ์เลี้ยงปลาสวยงาม
4. ผลการทดลองที่ได้วัดจากการเลี้ยงที่สัตว์ทดลองตายจากการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ในไตรท และในเตรท ไม่นับรวมค่าที่มาจากการตายจากโรคระบาดหรืออุบัติเหตุ

การตรวจเอกสาร

1. การเลี้ยงปลาทะเล

โดยทั่วไปจะมีการนำน้ำจากทะเลมาใช้โดยตรงแต่ในปัจจุบันพบว่าการปนเปื้อนของสิ่งต่างๆลงสู่น้ำทะเล ทำให้คุณสมบัติของน้ำทะเลในบริเวณชายฝั่งเสื่อมโทรมลงไปมาก และในบางฤดูการอาจมีปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ทำให้ไม่สามารถนำน้ำทะเลนั้นมาใช้ได้ โดยน้ำทะเลที่นำมาใช้ในการเลี้ยงนั้นควรเป็นน้ำสะอาด มีคุณภาพดี ไม่มีสารพิษตกค้างหรือเจือปน มีปริมาณออกซิเจนละลายสูง

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำทะเลบางประการที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง

คุณสมบัติของน้ำทะเลที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง	
คุณสมบัติ	ค่ามาตรฐาน
ความเค็ม	30-35 ppt
ความถ่วงจำเพาะ	1.020-1.021(แปรผันตามอุณหภูมิและความเค็ม)
pH	8.0-8.3

นอกจากนี้ความเป็นพิษของสารบางชนิดที่มีผลต่อคุณสมบัติของน้ำทะเลที่ใช้ในการเลี้ยงก็มีความสำคัญที่ต้องพิจารณา เพราะระดับแอมโมเนีย ไนโตรท ไนเตรท หากมีเกินระดับที่พอเหมาะ จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำอื่นๆ โดยแอมโมเนียมีพิษมากที่สุด ระดับของแอมโมเนียในน้ำเค็ม ควรต่ำกว่า 0.01 ppm ส่วนระดับไนโตรทและไนเตรทควรต่ำกว่า 0.1 และ 20.0 ppm ตามลำดับ ส่วนสารพิษอีกตัวหนึ่งคือ คอปเปอร์ ซึ่งมักพบตกค้างอยู่ในด้านก้นตู้ หากมีสะสมไว้มากๆก็จะเกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้

ในปัจจุบันมีการใช้น้ำทะเลเทียมในการเลี้ยงอย่างแพร่หลาย โดยจะเป็นน้ำที่เตรียมขึ้นมาจากด้วยสารเคมี แต่จะมีข้อเสียคือใช้ค่าใช้จ่ายสูงในการเตรียม

การรักษาความสะอาดในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำเค็มจะต้องมีการดูแลที่ยุ่งยากกว่าน้ำจืดมาก เพราะของเสียที่มีปริมาณมากและการทำงานของจุลชีพที่ทนต่อความเค็มได้ไม่ดี อีกทั้งสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่เติบโตอย่างรวดเร็ว

1.1 ระบบกรองน้ำที่นิยมใช้

ระบบกรองใต้ทราย เป็นระบบกรองภายในตู้ที่ใช้หลักการง่ายๆ โดยใช้ทรายเป็นตัวกรองแล้วมีแผ่นพลาสติกวางกันไว้ใต้ทรายเพื่อเป็นที่เก็บกักของเสีย โดยระบบกรองจะใช้งานได้ดีกรวดหรือทรายจะต้องหนา 3-5 ซม. เป็นอย่างน้อย ทับแผ่นกรองไว้ แต่มีข้อเสียคือจะมีการหมักหมมของเชื้อครกอยู่ใต้แผ่นกรอง

ระบบหม้อกรองภายในตู้ เป็นการทำงานของระบบกรองที่ใช้การสูบน้ำเข้าหม้อกรองที่อยู่ภายในตู้ปลาแล้วมีชั้นของใยแก้วและ ตัวกลาง ที่ช่วยในการกำจัดสิ่งสกปรกออกไป

ระบบกรองน้ำภายนอกตู้ ระบบนี้จำเป็นจะต้องใช้การสูบน้ำออกไปสู่เครื่องกรองน้ำที่อยู่ภายนอกตู้ โดยมีตัวกลางและใยแก้ว โดยอาจมีการใช้ ถ่านกัมมันต์ร่วมด้วย เป็นระบบที่เหมาะสมกับตู้ปลาขนาดใหญ่หรือบ่อปลา แต่จะมีค่าใช้จ่ายที่สูง

1.2 อุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ร่วมกับการบำบัดน้ำ

protein skimmer เป็นเครื่องฟอกไล่ฟองที่เกิดขึ้นในน้ำ โดยต้องการไล่สิ่งสกปรกหรือสารอินทรีย์ออกจากน้ำได้ด้วยการทำงานที่ว่า เมื่อสารอินทรีย์ (โปรตีนและกรดอะมิโน) และสารพิษบางชนิดผสมในน้ำมากขึ้นความตึงผิวจะมากขึ้น ทำให้เกิดฟองอากาศ แต่ถ้าทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กมากๆ แล้วถ่ายเทฟองนี้ออกไปสู่ภายนอกตู้ก็จะกำจัดสารอินทรีย์พวกนี้ไปได้ระดับหนึ่ง เครื่องนี้สามารถทำงานโดยใช้เครื่องเติมอากาศให้เป็นฟองเล็กๆ แล้วมีถ้วยรองรับของเหลวเหนียวที่เกิดจากฟอง อีกทั้งเป็นการเพิ่มออกซิเจนลงไปในน้ำได้อีกทางหนึ่ง

เครื่องผลิตโอโซน เป็นเครื่องผลิตก๊าซโอโซนจากอากาศโดยใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มความกดอากาศแรงให้ออกซิเจนในอากาศแตกตัวไปจับกับออกซิเจนธรรมดาเกิดเป็น โอโซน แต่การให้

โอโซนไม่ควรใส่ไปโดยตรงเนื่องจากโอโซนมีความสามารถในการกัดกร่อนและเป็นออกซิไดซิงเอเจนต์อย่างแรง และมีคุณสมบัติในการทำลายเชื้อโรคได้ดี

แสงยูวี เป็นเครื่องที่ใช้ในการผลิตแสง ยูวี เพื่อทำลายเชื้อโรคในน้ำ และบำบัดน้ำที่คุณภาพค่อนข้างต่ำ ออกซิเจนน้อย การทำงานจะใช้การแปลงกระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้นเพื่อให้เกิดรังสี ยูวี โดยหลอดจะหุ้มด้วยควอทซ์ เพื่อป้องกันไม่ให้หลอดสัมผัสในน้ำ เมื่อจะทำงานจะใช้คู่กับถังกรองน้ำ โดยให้เครื่องกรองคุณภาพมากรองตะกอนและสารแขวนลอยออกก่อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของ ยูวี

2. คุณภาพน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้น ได้มีนักวิชาการจากหลายสถาบัน จากหลายประเทศพยายามกำหนดเกณฑ์ต่าง ๆ แต่เนื่องจากสัตว์เลี้ยงมีมากมายหลายชนิด ทั้งในเขตอบอุ่นและเขตร้อน ความคงทนต่อสภาพแวดล้อมของสัตว์แต่ละชนิดแต่ละวัยแตกต่างกัน จึงทำให้เกณฑ์ต่าง ๆ ที่กำหนดนั้นต้องยืดหยุ่นผันแปรไปตามท้องถิ่น อย่งไรก็ตาม ดัชนีคุณภาพน้ำที่ควรแก่การศึกษา เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนั้น อาจจำแนกได้ 3 ลักษณะ คือ

ลักษณะทางกายภาพ หมายถึง ดัชนีคุณภาพน้ำที่ผันแปร อันเกิดจากลักษณะกายภาพที่สามารถตรวจวัดได้ และมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต ในทางตรงหรือทางอ้อม เช่น

- สี (colour)
- ความขุ่น (turbidity)
- อุณหภูมิ (temperature)
- ความนำไฟฟ้า (conductivity)
- ปริมาณสารแขวนลอย (suspended solids) ฯลฯ เป็นต้น

ลักษณะทางเคมีภาพ หมายถึง ดัชนีคุณภาพน้ำที่ผันแปรอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมีที่สามารถตรวจวัดได้ และมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น

- ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

- ความเป็นกรด (acidity)
 - ความเป็นด่าง (alkalinity)
 - ความกระด้าง (hardness)
 - ปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen)
 - ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ (free carbondioxide)
 - ไนโตรเจน (nitrogen)
 - ฟอสฟอรัส (phosphorus)
 - คลอไรด์ (chloride)
 - ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulphide)
 - ความเค็ม (salinity)
 - โลหะหนัก (heavy metals)
 - สารพิษ (pesticides)
- ฯลฯ

ลักษณะทางชีวภาพ หมายถึง ดัชนีคุณภาพน้ำที่ผันแปรเนื่องจากสิ่งมีชีวิตในน้ำอันมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทั้งทางตรงและอ้อม เช่น

- แพลงก์ตอนพืชและสัตว์ (plankton)
- แบคทีเรีย (bacteria)
- พืชน้ำ (aquatic macrophytes)
- เชื้อโรค (pathogens)

จะเห็นได้ว่าดัชนีคุณภาพน้ำทั้ง 3 ลักษณะมีดัชนีอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งล้วนเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตและกระบวนการต่าง ๆ ในน้ำทั้งสิ้น ในที่นี้ จะกล่าวเฉพาะดัชนีคุณภาพน้ำ ที่สำคัญและมีผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำบางลักษณะ เท่านั้น

2.1 สี (colour)

สีของน้ำเกิดจากการสะท้อนแสงของสิ่งที่อยู่ในน้ำ ทั้งสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต สีของน้ำอาจบ่งบอกถึงสภาพแวดล้อม และสารแขวนลอย ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำนั้น ๆ หรืออาจใช้ในการประเมินกำลังผลิตอย่างประมาณได้ สีของน้ำจำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ

สีปรากฏ (apparent colour) หมายถึง สีของน้ำที่ปรากฏให้เห็นแก่สายตาเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเกิดจากการสะท้อนแสง จากสารแขวนลอยในน้ำ พื้นท้องน้ำหรือจากท้องฟ้า

สีจริง (true colour) หมายถึง สีของน้ำที่เกิดจากสารละลายชนิดต่าง ๆ อาจเป็นสารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ ซึ่งจะทำให้เกิดสีของน้ำต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารเหล่านี้

แหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไปจะมีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล อาจเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อม ชนิด ปริมาณ และความเข้มข้นของสารละลายหรือสารแขวนลอย ตลอดจนคุณภาพของแสงด้วย สีของน้ำจึงเปลี่ยนไปตามชนิดของสารที่มีอยู่ในน้ำ เช่น ถ้ามีหินปูนมากจะมีสีเขียว ถ้ามีถ่านมากจะมีสีเขียวอมเหลือง เหล็กออกไซด์ปะปนมากจะมีสีแดง เป็นต้น ในบางครั้งมีชีวิตขนาดเล็กในน้ำ ก็ทำให้สีน้ำเปลี่ยนไปเช่นกัน เป็นต้นว่า ไดอะตอมทำให้น้ำมีสีเหลืองหรือน้ำตาล สาหร่ายเขียวแกมน้ำเงินทำให้น้ำสีเขียวเข้ม แพลงก์ตอนสัตว์ทำให้น้ำมีสีแดง และอิวมัสทำให้น้ำมีสี น้ำตาลอมเหลือง น้ำที่มีสีเหลืองหรือน้ำตาล มักมีความอุดมสมบูรณ์ และให้กำลังผลิตสูง เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมาก ส่วนแหล่งน้ำที่มีค่อนข้างเขียวไปจนถึงสีน้ำเงินจะให้กำลังผลิตต่ำ เนื่องจากมีอินทรีย์สารน้อย ทั้งนี้มิได้พิจารณาเกี่ยวกับปริมาณแพลงก์ตอนพืช ซึ่งเป็นตัวการที่ทำให้น้ำมีสีเขียว

2.2 ความขุ่น (turbidity)

ความขุ่นของน้ำ หมายถึง ความสามารถของน้ำที่สกัดกั้นหรือดูดซับปริมาณแสงที่ส่องผ่านไว้ได้ ความขุ่นของน้ำแสดงถึงความสามารถของสารแขวนลอยในน้ำ ที่จะขัดขวางสะท้อนแสง และดูดซับแสงเอาไว้ สิ่งที่ทำให้น้ำขุ่น ได้แก่ อินทรีย์และอนินทรีย์สารในน้ำ ตลอดจนสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ โดยปรากฏอยู่ในลักษณะสารแขวนลอย เช่น อนุภาคของดิน ทราย แพลงก์ตอน แบคทีเรีย เป็นต้น

ความขุ่นและสารแขวนลอยในน้ำ อาจมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ดังนี้

1. ลดผลผลิตขั้นปฐมภูมิ น้ำที่มีความขุ่นมาก จะขัดขวางมิให้แสงส่องถึงลงไปใต้น้ำเป็นการจำกัดปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงอันเกิดจากแพลงก์ตอนพืช ซึ่งเป็นผลผลิตขั้นปฐมภูมิ ทำให้ปริมาณอาหารธรรมชาติในแหล่งน้ำลดลง
2. เป็นอันตรายต่อระบบหายใจของสัตว์น้ำ น้ำขุ่นที่มีปริมาณสารแขวนลอยมาก จะขัดขวางการทำงานของช่องเหงือก ทำให้การหายใจติดขัด อาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้
3. ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น น้ำที่มีความขุ่นมากจะมีการดูดซับความร้อนที่บริเวณผิวน้ำทำให้อุณหภูมิสูงกว่าปกติ จึงเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำโดยตรง และมีผลทางอ้อมให้ออกซิเจนละลายในน้ำได้จำกัด
4. ชะงักการเจริญเติบโต น้ำที่มีความขุ่นมีปริมาณอินทรีย์สารในระดับสูง ทำให้การดูดซับแลกเปลี่ยนสารจากภายในและภายนอกของไขปลาในขณะที่ฟักตัวชะงัก และทำให้สัตว์น้ำกินอาหารได้น้อยลง มีผลให้การเจริญเติบโตเป็นไปอย่างเชื่องช้า
อย่างไรก็ตาม สัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความทน ต่อระดับความขุ่นแตกต่างกัน น้ำธรรมชาติจะมีความขุ่นอยู่เสมอ น้ำใสจะมีความขุ่นไม่เกิน 25 หน่วย น้ำขุ่นปานกลางมีความขุ่นระหว่าง 25 – 100 หน่วย และน้ำขุ่นมากจะมีความขุ่นเกิน 100 หน่วย

2.3 ไนโตรเจน (Nitrogen)

สารประกอบไนโตรเจนของแหล่งน้ำมีอยู่หลายรูปแบบ ซึ่งมีความสำคัญแตกต่างกันในด้านการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำนิยมศึกษาใน 3 รูปแบบ คือ แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ไนโตรเจนเป็นสารประกอบหลักของโปรตีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต แบคทีเรีย และพืชบางชนิดสามารถตรึงแก๊สไนโตรเจนจากอากาศได้โดยตรง พืชสีเขียวอาจใช้ไนโตรเจนที่อยู่ในสารประกอบ เช่น แอมโมเนีย หรือไนเตรท สำหรับการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างโปรตีนเมื่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำตายลง สารประกอบโปรตีนในร่างกายก็ถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นสารประกอบอื่นๆ นอกจากนี้ของเสียที่ถูกขับถ่ายจากสัตว์จะมีสารประกอบพวกโปรตีน หรืออินทรีย์ไนโตรเจนที่ยังย่อยไม่หมด สารเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายเป็นแอมโมเนีย

แอมโมเนียที่เกิดขึ้น จะถูกพืชนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างโปรตีนใหม่ แต่ถ้ามีปริมาณมาก ก็จะถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรีย เป็นสารประกอบพวกไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับไนเตรทจะถูกพืชนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ส่วนที่เหลือจะถูกชะล้างลงหน้าดิน ในสภาพไม่มีออกซิเจน ไนเตรทอาจ

ถูกทำปฏิกิริยา reduction ให้กลับมาเป็นไนไตรท์ และแอมโมเนีย มีแบคทีเรียบางชนิดเท่านั้นที่สามารถทำปฏิกิริยาดังกล่าวได้ และไนไตรท์มักจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สไนโตรเจนมากกว่า

นอกจากการย่อยสลายสิ่งมีชีวิตที่ล้มตายลง ของเสียที่ปล่อยทิ้งมาจากชุมชนที่อยู่อาศัยและโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท จะมีสารประกอบของโปรตีนและไนโตรเจนอยู่ด้วย จึงทำให้เกิดการย่อยสลายโดยแบคทีเรียในน้ำเช่นกัน ซึ่งถ้าหากมีปริมาณมากก็จะทำให้เกิดการขาดแคลนออกซิเจนได้ เนื่องจากขบวนการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนเป็นแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรตต้องใช้ใช้ออกซิเจนที่กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนชนิดต่าง ๆ ยังสามารถใช้เป็นดัชนีให้เห็นถึงภาวะ ความเน่าเสียที่เกิดขึ้น เช่น หากตรวจพบว่าปริมาณแอมโมเนียมาก แสดงว่าน้ำแห่งนั้นจะเริ่มเน่าเสีย และมีอันตรายต่อสัตว์น้ำ แต่ถ้าตรวจพบไนเตรตมากก็แสดงว่าการเน่าเสียได้เกิดขึ้นนานแล้ว จึงไม่มีอันตรายต่อสัตว์น้ำอีกต่อไป เป็นต้น

แอมโมเนียโดยปกติเป็นพิษต่อปลา โดยเฉพาะในรูปของ Unionized Form หรือ NH_3 ส่วน Ionized Form หรือ NH_4^+ ไม่มีพิษต่อสัตว์น้ำ เว้นแต่จะมีอยู่ในปริมาณสูงมาก ๆ การแตกตัวของแอมโมเนียขึ้นอยู่กับค่า pH และอุณหภูมิของน้ำ หาก pH ลดลง เปอร์เซ็นต์การแตกตัวก็จะมีมากขึ้น ทำให้ความเป็นพิษลดลง ดังนั้นในบ่อปลาที่มีการให้อาหารประเภทเนื้อสัตว์ที่มีโปรตีนสูง ของเสียที่เกิดขึ้นหรืออาหารที่เหลือก็จะทำให้ปริมาณแอมโมเนียสูงขึ้น และอาจเป็นอันตรายแก่สัตว์น้ำเองได้ ในที่สุด การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียในบ่อปลาบางครั้งจึงมีความจำเป็น ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่จะไม่เป็นอันตรายต่อปลาไม่ควรเกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของ Unionized Form

ไนไตรท์ โดยปกติ ก็มีพิษต่อสัตว์น้ำได้เช่นเดียวกับแอมโมเนีย แต่มักจะเกิดขึ้นในปริมาณไม่มากนักในแหล่งน้ำธรรมชาติ เว้นแต่ในบ่อเลี้ยงปลาที่มีการให้อาหารที่มีโปรตีนสูงดังกล่าวมาแล้ว เพราะไนไตรท์จะเกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาระหว่างกลางซึ่งจะถูกแบคทีเรียทำการเปลี่ยนรูปไปเป็นไนเตรต ซึ่งไม่มีพิษต่อปลา แต่จะเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชน้ำ หรือสัตว์น้ำเอง

ในการลดความเป็นพิษของแอมโมเนียและไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงปลา จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่าสารประกอบพวกคลอไรด์ โดยเฉพาะเกลือแกง (NaCl) สามารถลดความเป็นพิษของสารประกอบดังกล่าวได้ โดยใส่ในอัตราประมาณ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 600 – 800 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งในทางปฏิบัติ มักจะนิยมใส่ที่ละน้อยในอัตรา 200-250 กิโลกรัมต่อไร่ ทุก ๆ 1 – 2 สัปดาห์

สารประกอบไนโตรเจนในแต่ละรูปแบบ มีผลกระทบต่อทรัพยากรสัตว์น้ำแตกต่างกัน ซึ่งในการเปลี่ยนรูปแบบของสารประกอบนั้น อุณหภูมิและระดับ pH ของน้ำ มีอิทธิพลโดยตรงและขณะเดียวกันสารประกอบไนโตรเจนบางรูปแบบก็สามารถควบคุมระดับ pH ของน้ำได้

2.4 ความเค็ม (Salinity)

ความเค็มของน้ำ หมายถึง ปริมาณของของแข็ง หรือเกลือแร่ต่าง ๆ โดยเฉพาะโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยนิยามคิดเป็นหน่วยน้ำหนักของสารดังกล่าวเป็นกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำ หรือส่วนในพัน (parts per thousand, ppt) ทั้งนี้หลังจากที่พวกเกลือ คาร์บอเนต ถูกเปลี่ยนเป็นออกไซด์ และพวกเกลือโบไมด์ และไอโอไดด์ ถูกแทนที่โดยคลอไรด์ และอินทรีย์วัตถุ ถูกออกซิไดส์ไปทั้งหมด

ค่าความเค็มของน้ำ จะสัมพันธ์กับค่าคลอรีนิตี (chlorinity) ซึ่งหมายถึงปริมาณคลอไรด์ โบโรไมด์ และไอโอไดด์ ที่มีอยู่ในน้ำหนักหนึ่งกิโลกรัม ค่าที่มีความหมายใกล้เคียงกันอีกค่าหนึ่งคือ คลอโรซิตี (chlorosity) ซึ่งหมายถึงค่า chlorinity คูณด้วยค่าความหนาแน่นของน้ำ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จากความสัมพันธ์ดังกล่าวมานี้ จึงสามารถคำนวณค่าความเค็มจากค่า คลอรีนิตี ได้ดังสมการ

$$\text{salinity (ppt)} = 0.03 + 1.805 \text{ chlorinity (ppt)}$$

ความเค็มของน้ำจะมีค่าแตกต่างกันไป แล้วแต่สถานที่และประเภทของดิน สำหรับน้ำจืดมีค่าความเค็มประมาณศูนย์ ส่วนน้ำทะเลมีค่าความเค็มโดยเฉลี่ยประมาณ 35 ส่วนในพัน ในด้านการประมง ได้มีผู้แบ่งประเภทของน้ำออกตามระดับความเค็มดังนี้ คือ

- น้ำจืด (fresh water) มีความเค็มระหว่าง 0 – 0.5 ส่วนในพัน
- น้ำกร่อย (brackish water) มีความเค็มระหว่าง 0.5 – 30.0 ส่วนในพัน
- น้ำเค็ม (sea water) มีค่าความเค็มมากกว่า 30 ส่วนในพันขึ้นไป

ความเค็มของน้ำมีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยเฉพาะระบบการควบคุมปริมาณน้ำภายในร่างกาย (water regulatory system) ซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของแรงดัน osmotic ระหว่างภายในตัวสัตว์น้ำและน้ำภายนอก สัตว์น้ำจืดจะมีแรงดัน osmotic ภายในตัวสูงกว่าน้ำที่อยู่ภายนอก ดังนั้นน้ำภายนอกจึงสามารถแทรกซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย สัตว์น้ำจืดจึงต้องพยายามขจัดเอาน้ำส่วนเกินเหล่านี้ออกไป ในทางตรงกันข้าม สัตว์น้ำเค็มที่อาศัยอยู่ในทะเลจะมีแรงดัน osmotic ต่ำกว่าน้ำทะเล ดังนั้น น้ำภายในตัวก็จะออกนอกร่างกายได้ง่าย สัตว์ทะเลจึงต้องพยายามเก็บรักษาปริมาณน้ำไว้ให้มาก สำหรับสัตว์น้ำบางชนิด โดยเฉพาะสัตว์น้ำกร่อยที่อาศัยอยู่บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มมาก จะมีความสามารถในการปรับตัวและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน osmotic ดังกล่าวได้ดี อย่างไรก็ตาม สัตว์น้ำทั่ว ๆ ไปสามารถปรับตัวได้เข้ากับสภาพความเค็มของน้ำที่เปลี่ยนแปลงได้ แต่ทั้งนี้ต้องค่อย ๆ เป็นไปอย่างช้า ๆ โดยปกติ สัตว์น้ำจืดจะมีเลือดที่มีความเข้มข้นสูงกว่าน้ำภายนอกประมาณ 6 เท่าของแรงดัน osmotic หรือเท่ากับความเข้มข้นประมาณ 7 ส่วนในพัน ของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ดังนั้นสัตว์น้ำจืดโดยทั่วไปจะสามารถอยู่ในน้ำที่มีความเค็มประมาณ 7 ส่วนในพันได้ และบางชนิดจะอาศัยอยู่ในน้ำที่มีความเค็มสูงกว่านี้ได้ แต่ต้องให้เปลี่ยนแปลงทีละน้อยดังที่กล่าวมาแล้ว สำหรับปลาทะเลหรือสัตว์น้ำเค็มก็เช่นเดียวกัน มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของความเค็มที่ลดต่ำลงไม่เท่ากันในแต่ละชนิด

3. ปลาการ์ตูน

ปลาการ์ตูนส้มขาว clown anemonefish, *Amphiprion. ocellaris* ชีววิทยาปลาการ์ตูนเป็นปลาที่ถูกจัดอยู่ในครอบครัวปลาสลิคหิน (damselfishes, family pomacentridae) ปัจจุบันปลาการ์ตูนทั่วโลกที่สำรวจพบและได้รับการจำแนกแล้วมี 28 ชนิด เป็นสกุล (genus) *Amphiprion* จำนวน 27 ชนิด และ สกุล *Premnas* อีก 1 ชนิด คือ Spinecheek Anemonefish, *Premnas biaculeatus* ซึ่งลักษณะที่ใช้แยกปลาสกุลนี้ออกมาคือ มีหนามขนาดใหญ่ (enlarged spine) บริเวณใต้ตา ปลาการ์ตูนที่พบในน่านน้ำไทยมี 7 ชนิด แบ่งเป็นฝั่งอันดามัน 5 ชนิด ได้แก่ ปลาการ์ตูนส้มขาว ปลาการ์ตูนอินเดียน ปลาการ์ตูนลายปล้อง ปลาการ์ตูนลายปล้องหางเหลือง และปลาการ์ตูนแดงดำ ส่วนปลาการ์ตูนที่พบในอ่าวไทยมี 2 ชนิด คือ ปลาการ์ตูนหลังอาน และปลาการ์ตูนอินเดียนแดง

ปลาการ์ตูนลายปล้องสามารถพบได้ทั้งฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน นอกจากนั้นยังพบปลาการ์ตูนส้มขาว และ ปลาการ์ตูนอินเดียนที่เกาะโลซิน จังหวัดนราธิวาส (อ่าวไทย) อีกด้วย ปลาการ์ตูนพบได้เฉพาะในเขตมหาสมุทรอินเดีย และมหาสมุทรแปซิฟิกบางส่วน ในธรรมชาติปลา

การร่อนจะอยู่ไม่ได้ถ้าปราศจากดอกไม้ทะเล ดังนั้นเราจะพบปลาการ์ตูนได้ก็ต่อเมื่อได้พบดอกไม้ทะเลเท่านั้น แม้ว่าดอกไม้ทะเลจะมีเข็มพิษแต่กลับไม่ทำอันตรายต่อปลาการ์ตูน ทำให้ปลาการ์ตูนอาศัยอยู่อย่างปลอดภัยในดอกไม้ทะเล จากการสำรวจพบว่า ปลาการ์ตูนแต่ละชนิดจะจำเพาะเจาะจงต่อชนิดของดอกไม้ทะเลที่จะอาศัยอยู่ด้วย แต่ก็มีปลาการ์ตูนอีกหลายชนิดที่สามารถอาศัยอยู่กับดอกไม้ทะเลได้หลายชนิด

ปลาการ์ตูนแต่ละชนิดจะมีรูปแบบสีที่เป็นเอกลักษณ์ ซึ่งปกติจะประกอบไปด้วยสีส้ม แดง ดำ เหลือง และส่วนใหญ่จะมีแถบสีขาวพาดขวางลำตัว 1-3 แถบ ซึ่งถือเป็นเอกลักษณ์ของปลาการ์ตูนก็ว่าได้ อย่างไรก็ตามแม้จะเป็นปลาการ์ตูนชนิดเดียวกันแต่ก็จะมีส่วนที่มีสีแตกต่างกันอยู่เสมอ ซึ่งน่าจะเป็นส่วนที่ทำให้ปลาการ์ตูนจำคู่ของมันได้นอกจากนั้นปลาที่อาศัยต่างสถานที่กันอาจมีสีที่แตกต่างกันได้เรียกว่าความผันแปรของสี (colour variation) โดยปกติปลาการ์ตูนจะอยู่กันเป็นคู่ ๆ และอาจมีปลานขนาดเล็กอาศัยรวมอยู่ด้วย แต่ในดอกไม้ทะเลดอกหนึ่งจะมีปลาตัวผู้และตัวเมียอย่างละตัวเท่านั้นปลาตัวเมียจะมีขนาดโตกว่าตัวผู้และตัวอื่นๆอย่างเห็นได้ชัดและทำหน้าที่เป็นผู้นำคอยปกป้องอาณาเขตที่เป็นที่อาศัยของมันถ้าปลาตัวเมียตายไปจะมีปลาตัวใหม่เจริญเติบโตขึ้นมาอย่างรวดเร็วและกลายเป็นตัวเมียแทนหรือหมายความว่าปลาการ์ตูนสามารถเปลี่ยนเพศจากเพศผู้เป็นเพศเมียได้และวางไข่ครั้งละหลายร้อยฟองบริเวณฐานของดอกไม้ทะเล ซึ่งมีหนวดของดอกไม้ทะเลปกคลุมทำให้ไข่มีความปลอดภัยพอปลาจะคอยดูแลไข่หลังจากนั้น 6-7 วัน ไข่จะฟักเป็นตัวและล่องลอยไปตามน้ำใช้ระยะเวลา 1-2 สัปดาห์จากนั้นปลาต้องหาดอกไม้ทะเลเพื่อเป็นที่อยู่ไม่อย่างนั้นปลาจะตายเนื่องจากอดอาหารหรือถูกกิน

3.1 ลักษณะทางกายภาพ

ลำตัวมีสีส้มเข้ม มีแถบสีขาว 3 แถบ พาดบริเวณส่วนหัว ลำตัวและบริเวณหาง ขอบของแถบสีขาวเป็นสีดำขอบนอกของครีบทับเป็นสีขาวและขอบในเป็นสีดำ อาศัยในที่ลึกตั้งแต่ 1-15 เมตร ขนาดตัวโตที่สุดประมาณ 10 เซนติเมตร อาศัยอยู่กับดอกไม้ทะเลชนิด *Heteractis magnifica* และ *Stichodactyla gigantea* เป็นต้น ปลาการ์ตูนส้มขาวพบได้บ่อยที่สุดในทะเลอันดามัน อ่าวไทยพบได้ที่เกาะโลซิน จังหวัดนราธิวาส อาศัยอยู่เป็นครอบครัวใหญ่ในดอกไม้แต่ละกออาจพบปลาการ์ตูนชนิดนี้อยู่ด้วยกัน 6-8 ตัว

3.2 การเตรียมถังอนุบาล

ใช้ถังไฟเบอร์กลาสสีน้ำตาล หรือ ถัง PE สีดำ ขนาดความจุ 500 ลิตร ใช้เป็นถังฟักและอนุบาลลูกปลาตั้งแต่แรกเกิดไปจนถึงอายุ 15 วัน หลังจากนั้นจึงย้ายลูกปลาไปอนุบาลต่อในคอกในบ่อดิน(คอกทำด้วยวนในล่อน ขนาดตาละเอียด หรือเลือกขนาดตาที่เหมาะสมที่ปลาไม่สามารถหนีออกไปได้) การอนุบาลในช่วง 5 วันแรก ควรปิดปากถังด้วยผ้าพรางแสงสีดำ 1 ชั้น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแสงในบ่ออย่างรวดเร็ว และป้องกันสิ่งสกปรกอื่น ๆ

3.3 น้ำและการจัดการ

การอนุบาลในถังควรเปลี่ยนถ่ายน้ำประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ วันเว้นวัน พร้อมกับดูดตะกอนก้นถัง การดูดตะกอนจะเริ่มทำเมื่อปลาอายุประมาณ 5-6 วัน หรือเห็นว่าพื้นถังเริ่มสกปรก การถ่ายน้ำและการดูดตะกอนต้องทำอย่างนิ่มนวล เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันในถังอนุบาล ซึ่งจะทำให้ปลาช็อกได้

3.4 อาหารและการให้อาหาร

ปลาอายุแรกฟักถึง 7 วัน ใช้โรติเฟอร์เป็นอาหารความหนาแน่นประมาณ 5-15 ตัว/มล. พร้อมกับเติมคลอริลลาให้น้ำมีสีเขียวอ่อนๆ เพื่อเป็นอาหารของโรติเฟอร์ควรเช็ความหนาแน่นของโรติเฟอร์วันละ 2-3 ครั้ง เริ่มฝึกให้ปลากินอาร์ทีเมียแรกฟักเมื่อลูกปลาอายุ 5 วัน เมื่อลูกปลากินอาร์ทีเมียได้ดีแล้วจึงหยุดให้โรติเฟอร์ อายุ 15 วันย้ายไปอนุบาลในคอกถ้าไม่มีคอกอาจจะอนุบาลต่อในถังหรือบ่อซีเมนต์ขนาดใหญ่ขึ้นก็สามารถทำได้ โดยให้มีความหนาแน่นลูกปลาประมาณ 0.5-2 ตัว/ลิตรแต่การอนุบาลในคอกจะลดการทำงานในส่วนของการถ่ายน้ำและมีต้นทุนที่ต่ำกว่าหลังจากย้ายลูกปลาลงไปอนุบาลในคอกแล้วยังต้องให้อาร์ทีเมียตัวเล็กเป็นอาหารอีกประมาณ 5 วัน จึงฝึกให้กินไรแดงแช่แข็งและเนื้อปลาคบละเอียด วันละ 2-3 ครั้ง ถ้าสามารถจัดหาอาร์ทีเมียตัวใหญ่เป็นอาหารลูกปลาได้จะช่วยให้ลูกปลาโตเร็วขึ้น ใช้เวลาอนุบาลลูกปลาในคอกประมาณ 40-45 วัน จะได้ลูกปลาขนาด 1 นิ้ว สามารถจำหน่ายได้หรือเลี้ยงให้โตกว่านี้ก็จะได้ราคาที่สูงขึ้น

4. ของเสียจากการจับถ่ายของสัตว์น้ำ

สัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง ส่วนใหญ่อวัยวะขับถ่ายของสัตว์โตเต็มวัยแล้ว ได้แก่ ไต (Kidney) และยังมีอวัยวะพิเศษที่ช่วยในการขับถ่าย เช่น กบ จะขับน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ออกทางผิวหนัง ปลากระดูกแข็งจะขับยูเรียและแอมโมเนียผ่านทางเหงือก อวัยวะอีกชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ในการขับถ่ายด้วย คือ ตับ กล่าวคือ เมื่อเซลล์เม็ดเลือดแดงสิ้นสุดช่วงอายุ มันจะแยกออกจากระบบหมุนเวียน เซลล์แตกออกมีสาร Porphyrin ที่เป็นโมเลกุลของฮีโมโกลบิน จะเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบเม็ดสีที่ถ่วงน้ำดี โดยตับเป็นผู้เปลี่ยนจะขับจากถุงน้ำดีเข้าไปในลำไส้ และกำจัดออกพร้อมอุจจาระ หน้าที่หลักของตับมีบทบาทสำคัญที่สุดในขบวนการเมตาบอลิซึม และลดความเป็นพิษของสารที่แปลกปลอมและมีบทบาทรองลงมา คือ การขับถ่าย

การขับออกจากท่อไต (Tubular secretion) ปกติการกรองและการดูดกลับมีมากถึง 99% เพียง 1% ที่ขับออกมา เมื่อสัตว์มีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัยใหม่ หรือเปลี่ยนพฤติกรรมการกินอาหาร ทำให้การทำงานของไตเปลี่ยนแปลงได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปลาตามถิ่นที่อยู่อาศัย ดังนี้

ปลากระดูกแข็งน้ำจืด ส่วนประกอบของไตเพิ่มขึ้น 3 ส่วน คือ Second proximal segment, Intermediate segment และ Distal tubule เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่มันอาศัยอยู่มีสภาพเป็นน้ำจืด ปลาที่อาศัยอยู่จึงเป็น Hyperosmotic regulation ไตจึงต้องทำงานมากในการควบคุมสรีระการขับถ่ายให้มีประสิทธิภาพ และมันสามารถใช้ประโยชน์ในการปรับเมื่อมันเคลื่อนย้ายขึ้นมายู่บนบก คล้ายท่อไตของสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ

ปลากระดูกอ่อนในทะเล ส่วนประกอบไตเหมือนปลากระดูกแข็งน้ำจืด เนื่องจากมีวิวัฒนาการคู่ขนานมากกับพวกปลากระดูกแข็งน้ำจืด ไตของปลากระดูกอ่อนจะซับซ้อนใกล้เคียงปลากระดูกแข็งน้ำจืดมาก ตัวอย่างเช่น ปลาฉลาม มีอัตราการกรองและอัตราการไหลของยูรีนสูงเช่นกัน รวมทั้งมีการดูดกลับพวกไอออนวาลেনซีนหนึ่ง ไตของปลากระดูกอ่อนจึงมีขนาดใหญ่ ที่ประกอบด้วย First and second proximal segment ให้ทำงานเกี่ยวกับการดูดกลับยูเรียและสาร TMAO ส่วน Distal tubule มีไว้เพื่อการดูดกลับโซเดียมขณะที่อยู่ในน้ำจืด ขณะอยู่ในน้ำทะเลซึ่งมีโซเดียมปริมาณมาก มักจะขจัดโดยมี Rectal gland ช่วยขับถ่าย

ปลากระดูกแข็งในทะเล ส่วนประกอบของไตพบว่าบางชนิดมีส่วนของไกลเมอรูลัส แต่ไม่มี Distal segment และ Intermediate segment เนื่องจากมันไม่ใช้งาน และจะเสื่อมหายไปในปลาบาง

ชนิดจะยังคงเหลือเพียง First and second proximal segment และ Collecting tubule เท่านั้น เพื่อทำหน้าที่ขับสารพวกไอออนวาลีนสองปลาทะเลจะลดความเข้มข้นของไต เพราะเป็น Hypoosmotic regulation กับสภาพแวดล้อมที่มันอาศัยอยู่ ปลาทะเลบางชนิดไม่มีส่วนโกลเมอรูลัส เช่น ปลาไหล Moray eel และปลา Goosefish จะเหลือเพียงส่วน Second proximal segment และ Collecting tubule เพียง 2 ส่วนเท่านั้น

4.1 การทำงานของไตปลา ตามสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัย

การทำงานของไตปลากระดูกแข็งน้ำทะเล จะมีเส้นเลือดจากทางด้านหางเข้าทางปลายสุดของไต มีเส้นเลือดแดงหล่อเลี้ยงเล็กน้อย การศึกษาการทำงานที่ท่อไตในปลาทะเลน้ำจืดจะยากมาก ส่วนใหญ่ศึกษาในห้องปฏิบัติการภายหลังที่จับปลาได้ การกรองที่โกลเมอรูลัส ปลาทะเลน้ำจืดบางชนิดมีโกลเมอรูลัส บางชนิดจะไม่มี โดยเฉพาะปลาทะเลที่เป็น Stenohaline พบว่าส่วนของโกลเมอรูลัสจะเสื่อมสภาพไป พวกที่มีโกลเมอรูลัสจะมีการพัฒนาการน้อยกว่าปลากระดูกแข็งน้ำจืด อัตราการกรองจะน้อยกว่าจุดเด่นเพื่อขับไอออนวาลีนสอง ได้แก่ แมกนีเซียมและซัลเฟต เมื่อปลาทะเลกลืนน้ำทะเลเข้าไป ระยะแรกจะมีการสูญเสียน้ำทะเลไปทางผิวหนัง และมีแร่ธาตุไอออนวาลีนสองถูกกลืนเข้าไปด้วยประมาณ 20% จะเข้าไปในลำไส้และเข้าสู่กระแสเลือดและขับออกที่ไต จากการศึกษาส่วนประกอบของยูรีน พบว่ามีแมกนีเซียมไอออนและคลอไรด์ไอออน ส่วนซัลเฟตมีความเข้มข้นเป็นครั้งหนึ่งของแมกนีเซียม ที่เป็นเช่นนี้เพราะแมกนีเซียมสามารถซึมเข้าไปในชั้นของลำไส้เร็วกว่าซัลเฟตจะพบโซเดียมและโพแทสเซียมไอออนในยูรีนต่ำ

สำหรับปลาทะเลที่ไม่มีโกลเมอรูลัส ปริมาณยูรีนที่เกิดมาจากน้ำที่แพร่ผ่านท่อไตส่วนที่สอง (Second proximal segment) เพื่อขับไอออนวาลีนสอง มีการทดลองฉีดฟอสเฟตเข้าเส้นเลือดและกล้ามเนื้อ การขับฟอสเฟตจะไม่มากขึ้น ถึงแม้ว่าในเลือดมีฟอสเฟตสูงถึง 3 เท่า แสดงว่าปลาที่ไม่มีโกลเมอรูลัสไม่สามารถขับฟอสเฟตได้ และจะพบโซเดียมและโพแทสเซียมในยูรีนด้วย

การดูดกลับที่ท่อไตของปลากระดูกแข็งน้ำทะเลพบว่า กลูโคส โซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์ ทั้งปลาที่มีและไม่มีโกลเมอรูลัสจะดูดกลับมากกว่าปริมาณการขับแมกนีเซียมซัลเฟตออกไปที่น่าสนใจ คือ ปลาทะเลที่ไม่มีโกลเมอรูลัสจะขับพวกไอออนวาลีนสอง พร้อมกับมีการรั่วเข้ามาของโซเดียมคลอไรด์ ทำให้มันผลิตยูรีนสภาพ Hyperosmotic urine เพราะน้ำจะถูกดูดกลับจากท่อไตส่วนที่สอง ถ้าน้ำไม่ถูกดูดกลับทำให้ยูรีนมีสภาพเป็น Isosmotic urine กับเลือด

4.2 การขับของเสียพวกไนโตรเจน (Excretion nitrogenous wastes)

ถ้ากล่าวถึงการขับถ่าย มักจะหมายถึงการขับถ่ายของเสียพวกไนโตรเจนออกจากร่างกาย ซึ่งเป็นหน้าที่ของไตโดยตรง ไม่ใช่แค่เพียงหน้าที่เท่านั้น มันจะทำให้ส่วนประกอบของเลือดคงที่ด้วย ความหมายที่แท้จริงของอวัยวะขับถ่ายนั้น มันจะเกี่ยวข้องกับขบวนการขับถ่ายและการควบคุมน้ำและเกลือที่อยู่ภายในร่างกาย

ปลากระดูกแข็งทั้งหมด จะขับของเสียในรูปแอมโมเนีย ซึ่งจะไม่พบในสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังที่อยู่บนบก เนื่องจากแอมโมเนียมีความเป็นพิษสูงและละลายน้ำได้ดี จะไม่เก็บสะสมในร่างกาย ร่างกายสัตว์จำเป็นต้องใช้น้ำมาก ๆ เพื่อละลายน้ำและกำจัด โดยใช้น้ำ 300-500 มล. เพื่อละลายแอมโมเนีย 1 กรัม ซึ่งเป็นไปไม่ได้ในสัตว์บก ดังนั้นพวกสัตว์บกจึงขับของเสียมาในรูปกรดยูริกหรือยูเรียแทน ในสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมโปรตีนสลายในแอมโมเนียเมื่อรวมกับคาร์บอนไดออกไซด์จะเปลี่ยนเป็นยูเรีย ที่จะใช้น้ำละลายเพียง 50 มล. เท่านั้น เพื่อละลายยูเรีย 1 กรัม ยูเรียจะมีความเป็นพิษน้อยกว่าแอมโมเนียและในสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมจะขับเป็นยูเรียทั้งหมด

การขับของเสียพวกไนโตรเจนนี้ ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่สัตว์นั้นอาศัยอยู่ในสภาพที่แตกต่างกัน เช่น แอมโมเนียเป็นของเสียที่มีพิษมากต้องการน้ำเพื่อการละลาย ปลาที่อาศัยอยู่ในน้ำมักจะขับของเสียในรูปแอมโมเนียได้กรดยูริกจะเป็นพิษน้อยและใช้น้ำเล็กน้อยเพื่อขับออกมาในลักษณะกึ่งแห้งกึ่งเปียกพบได้ในพวกนก และสัตว์เลื้อยคลาน และยูเรียมีความเป็นพิษน้อยที่สุด ต้องการน้ำเพียงเล็กน้อย พบในสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมที่ขับยูเรียออกมาเป็นยูริน และปลากระดูกอ่อนใช้ยูเรียเป็นตัวปรับสมดุลในเลือด

5. ระบบบำบัดในการเลี้ยงปลาทะเล

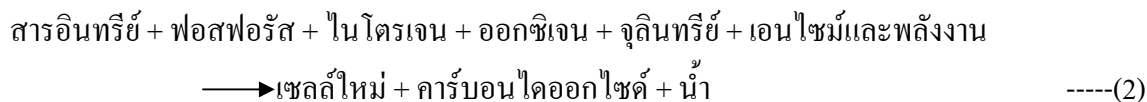
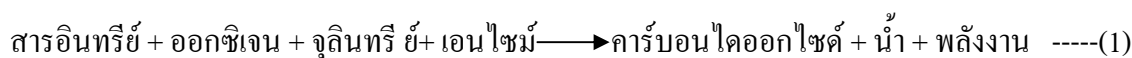
ระบบบำบัดทางชีววิทยาจะอาศัยสิ่งมีชีวิตอันได้แก่ พวกจุลินทรีย์ในการกิน ทำลาย ย่อยสลาย ดูดซับ หรือเปลี่ยนรูปของมวลสารซึ่งอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ให้มีความสกปรกน้อยลง ด้วยปฏิกิริยาทางชีวเคมี ซึ่งกระบวนการสามารถเขียนได้ดังนี้



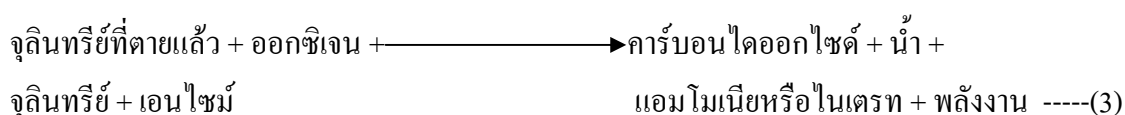
มลสาร (Pollutants) ที่อยู่ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารและการเจริญเติบโต พลังงานจะถูกจุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีวิต สรุปลแล้วมลสารซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่สารอินทรีย์ต่าง ๆ ใน น้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาเป็นมวลจุลินทรีย์ที่หนักกว่าน้ำ สามารถแยกออกได้ง่ายด้วยการตกตะกอน

ในการใช้สารอาหาร หรือการย่อยสลาย (Break down) สารอินทรีย์ของจุลินทรีย์อาจจะมีการ ทานร่วมกันหลายชนิดก็ได้โดยจุลินทรีย์บางชนิดเริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน (Complex organics) ก่อนจากนั้นจะมีชนิดอื่นๆย่อยสลายส่วนที่เหลือหรือมีฉะนั้นก็อาจจะเป็นการ นำเอาผลหรือของเสียที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ มาทำการย่อยสลาย ต่อจนเป็นสารที่ไม่สามารถย่อยได้อีกต่อไป (End products)

จุลินทรีย์ต้องนำออกซิเจนมาใช่อย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงาน ซึ่งพลังงานที่ได้จะ นำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ตามสมการดังนี้



โดยพลังงานที่ได้จากสมการที่ 1 จะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในสมการที่ 2 เพื่อสร้างเซลล์ใหม่ และนอกจากนี้จุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่ต้องนำออกซิเจนมาใช้ในการย่อยสลายจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว โดยจุลินทรีย์ที่ตายแล้วจะถูกใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์อื่น ๆ ที่ยังมีชีวิตอยู่ ตามสมการนี้



ในช่วงแรกของการบำบัดน้ำเสียแบบกะ (Batch) ค่าความเข้มข้นของสิ่งสกปรกหรือ สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะมีค่าสูงส่วนจุลินทรีย์จะมีค่าความเข้มข้นต่ำ และมีอัตราการใช้ออกซิเจนต่ำ ต่อจากนั้นจุลินทรีย์เริ่มทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ เพื่อนำพลังงานไปใช้ในการเจริญเติบโตทำให้ อัตราการใช้ออกซิเจนและเจริญเติบโตสูงขึ้น เป็นผลให้มีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ครั้น

เมื่ออาหารเริ่มขาดแคลนจนไม่เพียงพอในการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์และอัตราความต้องการออกซิเจนก็จะลดลงตามลำดับ แต่สำหรับในระบบบำบัดน้ำเสียจริงซึ่งมีน้ำเสียไหลเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง จุลินทรีย์ก็จะย่อยสลายสารอินทรีย์และเพิ่มปริมาณอยู่ตลอดเวลา และอัตราการใช้ออกซิเจนสูงตลอดเวลาเช่นเดียวกัน

5.1 วัฏจักรของไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับน้ำเสียแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

5.1.1 สารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจนเช่น แอมโมเนีย(NH_3), ไนเตรท (NO_3) และไนไตรท์ (NO_2) สารพวกนี้อาจอยู่ในรูปปุ๋ยเกลือในปัสสาวะ

5.1.2 สารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนเช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก สารดังกล่าวนี้เป็นส่วนประกอบของร่างกาย พืชและสัตว์ในอุจจาระและปัสสาวะที่ได้จากมูลสัตว์เป็นต้น

สาเหตุที่สารเหล่านี้เข้ามามีบทบาทในน้ำเสียก็เพราะสามารถเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์ไปเป็น สารอนินทรีย์โดยกระบวนการที่เรียกว่า มินเนอไรเซชัน (Mineralization) ซึ่งมีแบคทีเรียเป็นตัวสำคัญในการเกิดการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้สารอนินทรีย์ในรูปต่างๆก็อาจเปลี่ยนกลับไปได้โดยอาศัยแบคทีเรียเช่นกัน กระบวนการที่เกิดขึ้นเช่น แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification), ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ความสำคัญของกระบวนการมินเนอไรเซชันคือการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำซึ่งแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้ กระบวนการดังกล่าวมีความสำคัญเกี่ยวกับวัฏจักรในน้ำเสีย เพราะทำให้มีสารอาหารซึ่งพวกพืชน้ำและสิ่งมีชีวิตเล็กๆในน้ำสามารถนำไปใช้ได้

ความสำคัญระหว่างสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่างๆ และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในธรรมชาติแสดงให้เห็นวัฏจักรของไนโตรเจน กล่าวคือในระหว่างที่เกิดฝนฟ้าคะนองประจุไฟฟ้าในบรรยากาศจะทำให้ก๊าซไนโตรเจนถูกออกซิไดซ์เกิดเป็นสารประกอบไนเตรทขึ้น เมื่อสารประกอบไนเตรทซึ่งละลายอยู่ในน้ำฝนตกลงสู่พื้นดินก็จะกลายเป็นอาหารของพืชสีเขียวในการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างโปรตีน

นอกจากนี้มีแบคทีเรียบางชนิดที่อาศัยอยู่ตามรากของพืชที่สามารถจับก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศได้เช่นกันเมื่อคนและสัตว์รับประทานพืชเป็นอาหารโปรตีนในพืชจะถูกนำไปใช้สร้างโปรตีนในคนและสัตว์ และเมื่อสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ขับถ่ายของเสียออกมาเช่น ปัสสาวะ อุจจาระ หรือตาไปของเสียเหล่านี้จะเกิดการเน่าเปื่อย และเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียที่เหลือใช้จากพืช หากสภาพแวดล้อมมีออกซิเจนมากพอก็จะถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรีย ประเภทออโตโทรฟิกในตริฟายอิงแบคทีเรีย(Autotrophic Nitrifying Bacteria)เกิดเป็นสารประกอบไนไตรท์และสารประกอบไนเตรท ถ้าสภาวะแวดล้อมเกิดสภาพไร้ออกซิเจน สารประกอบไนเตรทก็จะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสารประกอบไนไตรท์ และไนโตรเจน

จากวัฏจักรของไนโตรเจนจะเห็นว่าสารประกอบไนโตรเจนมีความสำคัญต่อวงจรชีวิตของทั้งพืชและสัตว์เป็นอย่างมากทั้งนี้เพราะไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญจากโครงสร้างของเซลล์สิ่งมีชีวิต

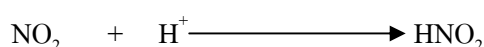
5.2 ผลเสียต่อสภาพสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากน้ำเสียมีสารประกอบไนโตรเจน

น้ำเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจนทั้งอินทรีย์ไนโตรเจนและ/หรือนินทรีย์ไนโตรเจนปะปนอยู่เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาพสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติหลายประการ ดังนี้

5.2.1 เป็นพิษต่อสัตว์น้ำและปลา สารประกอบไนโตรเจนที่อาจเป็นพิษต่อสัตว์น้ำและปลาได้แก่ แอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรท์ และไนเตรทโดยปกติแอมโมเนียไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เมื่อระดับ pH เท่ากับ 7 และจะไม่แสดงความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำในทางตรงกันข้ามถ้าหากระดับ pH เพิ่มขึ้นจะมีผลให้แอมโมเนียไนโตรเจนจะเปลี่ยนสภาพเป็นแอมโมเนียอิสระในปริมาณ 0.01-2 มก./ลิตรหรือมากกว่าจะแสดงความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ เนื่องจากแอมโมเนียในรูปไม่แตกตัวนั้นจะสามารถแพร่กระจายผ่านผนังเซลล์ได้ดี เนื่องจากไม่มีประจุไฟฟ้า และสามารถละลายได้ในไขมันซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของผนังเซลล์ได้ในปอเลี้ยงสัตว์น้ำ

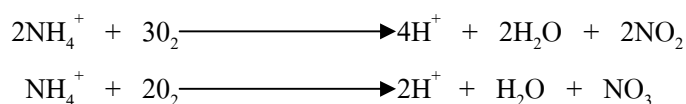
การให้อาหารประเภทที่มีโปรตีนสูงนั้นของเสียหรือเศษอาหารที่เหลืออยู่จะทำให้ปริมาณของแอมโมเนียในน้ำสูงขึ้นซึ่งจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำได้โดยจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของปลาลดลงเนื่องจากเหงือกถูกทำลายคือบริเวณเหงือกจะมีการเพิ่มขอบจำนวนเซลล์

(hyperplasia) เซลล์บางเซลล์จะมีการขยายใหญ่ขึ้นและมีการรวมตัวกัน(hypertrophy) เซลล์บวมน้ำ(edema) และการเสื่อมสภาพของเซลล์(cellular degeneration) ทำให้ความสามารถในการนำออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายลดลงโดยฮีโมโกลบินของเลือดจะสูญเสียความสามารถในการรวมกับออกซิเจนและมีผลทำให้การกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกายได้น้อยลงอาจกล่าวได้ว่าความเป็นพิษที่เกิดจากแอมโมเนียไนโตรเจนมีมากขึ้นตามระดับ pH ที่สูงขึ้นในกรณีของไนไตรท์ในสถานะที่มีน้ำ pH ต่ำหรือเป็นกรดจะมีปริมาณไฮโดรเจนไอออน (H^+) สูง ซึ่งไฮโดรเจนไอออนนั้นจะทำปฏิกิริยากับไนไตรท์ได้กรดไนตริก (nitrous acid) ดังสมการ



สำหรับกรดไนตริกนั้นจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำสูงกว่าไนไตรท์ ในสถานะปกติไนไตรท์ในน้ำมักไม่ค่อยทำอันตรายต่อสัตว์น้ำนอกจากเกิดการสะสมจนกระทั่งถึงระดับที่เป็นพิษ ดังนั้นในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำนอกจากจะเกิดการสะสมของไนไตรท์จนถึงระดับที่เป็นพิษได้โดยเฉพาะบ่อที่มีการหมุนเวียนเอาน้ำที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ส่วนไนเตรททางด้านการประมงไม่ถือว่าเป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยตรง นอกจากจะมีระดับความเข้มข้นสูงมาก แต่จะทำให้เกิดปัญหาทางอ้อมในกรณีไนเตรทมีการเปลี่ยนสภาพมาเป็นไนไตรท์และแอมโมเนียสำหรับการบริโภคน้ำที่มีไนเตรทในปริมาณสูงจะก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย โดยจะทำให้เกิดโรคต่อระบบโลหิต

5.2.2 ทำให้ออกซิเจนละลายน้ำ(Dissolved Oxygen) มีปริมาณลดต่ำลงน้ำเสียที่มีแอมโมเนียไนโตรเจนเมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดต่ำลง มีผลโดยตรงต่อการหายใจของสัตว์น้ำทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันโดยแอมโมเนียไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรทตามลำดับ ซึ่งในเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นต้องการออกซิเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้คือ



5.2.3 ทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) สารประกอบไนโตรเจนโดยเฉพาะไนเตรทเมื่อถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำที่ขังนิ่ง เช่น ทะเลสาบ หนองบึง จะทำให้สาหร่ายในแหล่งน้ำนั้นเติบโตอย่างรวดเร็วและมากขึ้นจนในที่สุดสาหร่ายเหล่านี้จะตายไป และจะเกิดการทับถมกันบริเวณก้นของทะเลสาบและหนองบึงนั้นๆ เมื่อปริมาณมากขึ้นจะเกิดปัญหาการเน่าเหม็น(เกิดการย่อยสลายของเซลล์ของสาหร่ายที่ตายแล้ว)และแหล่งน้ำเกิดการเน่าเสียมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต่ำซึ่งจะ

เป็นปัญหาต่อสภาพแวดล้อมและการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ซึ่งการที่น้ำขาดหรือมีปริมาณออกซิเจนต่ำนั้นเกิดขึ้นได้ในช่วงที่มีการเจริญอย่างมากของสาหร่าย(Bloom)ซึ่งในเวลากลางคืนเซลล์สาหร่ายจะมีการหายใจมากตามไปด้วยทำให้แหล่งน้ำนั้นๆเกิดการขาดออกซิเจนขึ้นอาจทำให้สัตว์น้ำที่อาศัยอยู่เสียชีวิตได้

5.2.4 ทำให้สิ้นเปลืองคลอรีนในการฆ่าเชื้อ เนื่องจากคลอรีนจะทำปฏิกิริยาเคมีกับแอมโมเนียในโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำเสียการฆ่าเชื้อโรคจึงสิ้นเปลืองปริมาณคลอรีนมากขึ้นเพื่อใช้ในการทำลายแอมโมเนียเสียก่อน ผลของปฏิกิริยาได้สารประกอบคลอรามีน(Chloramines)ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อได้แต่อาจในการฆ่าเชื่อนั้นต่ำกว่าคลอรีนอิสระมาก ดังนั้นการสิ้นเปลืองคลอรีนจึงมากขึ้นเมื่อนำไปใช้กับน้ำที่มีแอมโมเนียในโตรเจนปะปนอยู่

5.2.5 เป็นอันตรายต่อสุขภาพและอนามัยของเด็กทารก น้ำเสียที่มีปริมาณไนเตรทและไนไตรท์สูงเกินไปอาจทำให้เกิดโรค Methemoglobinemia หรือ BlueBabies กับทารกโดยไนไตรท์จะทำให้เกิดปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน(Hemoglobin)ในเลือดเกิด Methemoglobinemia ซึ่งไม่สามารถรับส่งออกซิเจนทำให้ทารกมีอาการหายใจไม่ออกและตัวเขียวตามค่ามาตรฐานปริมาณไนเตรทไม่ควรเกิน 10 มก./ลิตร ของไนโตรเจน(as N)

ทั้งนี้ในกรณีของน้ำเค็มที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็มเมื่อปล่อยออกสู่แหล่งน้ำจืดสาธารณะจะมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมเพิ่มขึ้นมาอีกปัจจัยหนึ่งด้วย

5.3 การบำบัดไนโตรเจนโดยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

สารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียมียู่ 4 ชนิด คือ แอมโมเนียไนโตรเจน($\text{NH}_3 - \text{N}$), ไนเตรทไนโตรเจน ($\text{NO}_3 - \text{N}$), ไนไตรท์ไนโตรเจน ($\text{NO}_2 - \text{N}$) และอินทรีย์ไนโตรเจน(Organic Nitrogen) ซึ่งรูปแบบของสารประกอบไนโตรเจนจะเป็นตัวกำหนดการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ พบว่าสามารถจำแนกจุดมุ่งหมาย และวิธีการกำจัดไนโตรเจนตามประเภทของสารประกอบไนโตรเจนที่ปะปนอยู่ในน้ำได้ดังตารางที่ 2

ในบรรดาไนโตรเจนรูปแบบต่าง ๆ มีอินทรีย์ไนโตรเจนที่ถูกรีดิวซ์มากที่สุด อินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายโดยอาศัยปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชันให้เปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน และแอมโมเนียที่เกิดขึ้นนี้จะถูกกำจัดออกโดยกลไกทางชีววิทยา 2 ทาง

คือ กลไกแรก แอสสิมิเลชัน (Assimilation) หมายถึง การที่แบคทีเรียใช้แอมโมเนียในโตรเจน ($\text{NH}_3 - \text{N}$) ในการสร้างเซลล์ กลไกที่สอง คือ ปฏิริยาไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และ ปฏิริยาดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ซึ่งการเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนโดยอาศัย ขบวนการทางชีวภาพ

ตารางที่ 2 วิธีการกำจัดไนโตรเจนในรูปแบบต่างๆ

ประเภทของไนโตรเจน	จุดมุ่งหมายและวิธีการกำจัดไนโตรเจน		
	เปลี่ยนรูปแบบของไนโตรเจน	กำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสีย	สร้างเซลล์
สารอินทรีย์ไนโตรเจน	Ammonification (เปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย)	-	-
แอมโมเนีย	Nitrification (เปลี่ยนเป็นไนเตรท)	-	Assimilation (เปลี่ยนเป็นโปรตีน)
ไนไตรท์	Nitrification (เปลี่ยนเป็นไนเตรท)	Denitrification (เปลี่ยนเป็นก๊าซ N_2)	-
ไนเตรท	-	Denitrification (เปลี่ยนเป็นก๊าซ N_2)	Assimilation (เปลี่ยนเป็นโปรตีน)

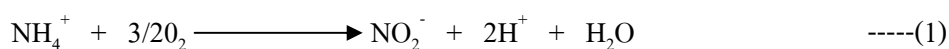
5.4 ปฏิริยาไนตริฟิเคชัน

ปฏิริยาไนตริฟิเคชันหมายถึงการเปลี่ยนแอมโมเนีย(NH_3)ไปเป็นไนเตรท (NO_3)โดยอาศัยปฏิริยาออกซิเดชันซึ่งจะเกิดขึ้นโดยอาศัยแบคทีเรียพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) ซึ่งมีอยู่ 2 ตระกูลใหญ่ๆคือไนโตรโซโมแนส (Nitrosomonas Species) และไนโตรแบคเตอร์ (Nitrobacter Species) แบคทีเรียทั้งสองชนิดนี้จัดอยู่ในประเภทออโตโทรฟิกแบคทีเรีย (Autotrophic Bacteria) คือแบคทีเรียที่ได้พลังงานในการเจริญเติบโตจากปฏิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ไนโตรเจนและใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสร้างเซลล์แบคทีเรีย

5.4.1 ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันสามารถแบ่งออกได้ 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนแรกนั้นเป็นการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์ไปเป็นไนเตรทโดย Nitrobacter ซึ่งจะเห็นว่าในการเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันระบบต้องอยู่ภายใต้สภาวะแอโรบิก คือ มีการเติมอากาศในระบบปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometric) ของปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอนคือ

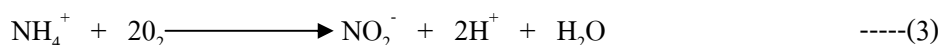
ก. การออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์โดยอาศัยแบคทีเรียกลุ่ม Nitrosomonas ซึ่งแอมโมเนียในน้ำเสียส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) สมการออกซิเดชันเป็นดังนี้



ข. การออกซิไดซ์ไนไตรท์ไปเป็นไนเตรทโดยอาศัยแบคทีเรียกลุ่ม Nitrobacter สมการออกซิเดชันเป็นดังนี้

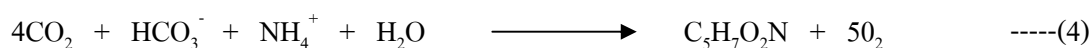


รวมสมการที่ 1 และ 2 เข้าด้วยกันซึ่งจะเป็นสมการออกซิเดชันรวมดังนี้

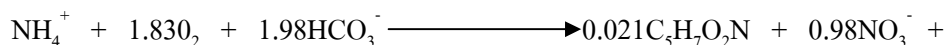


จากสมการที่ 3 จะได้พลังงานออกมาจำนวนหนึ่งที่เซลล์จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และแอมโมเนีย

ไอออน (NH_4^+) บางส่วนจะถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ เมื่อเซลล์ของแบคทีเรียมีสูตรเอมพิริกัล (empirical) เป็น $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ สมการสร้างเซลล์เขียนได้ดังนี้



รวมสมการที่ 3 และที่ 4 ได้เป็นสมการการเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ดังนี้



จากสมการที่ 5 จะเห็นได้ว่าในออกซิไดซ์แอมโมเนียอออน (NH_4^+) ไปเป็นไนเตรต (NO_3^-) จะต้องใช้ออกซิเจน (O_2) ทั้งหมด 4.3 มิลลิกรัมต่อแอมโมเนียอออน 1 มิลลิกรัม

5.4.2 ประเภทของปฏิกิริยานิไตรฟิเคชัน (Classical of Nitrification)

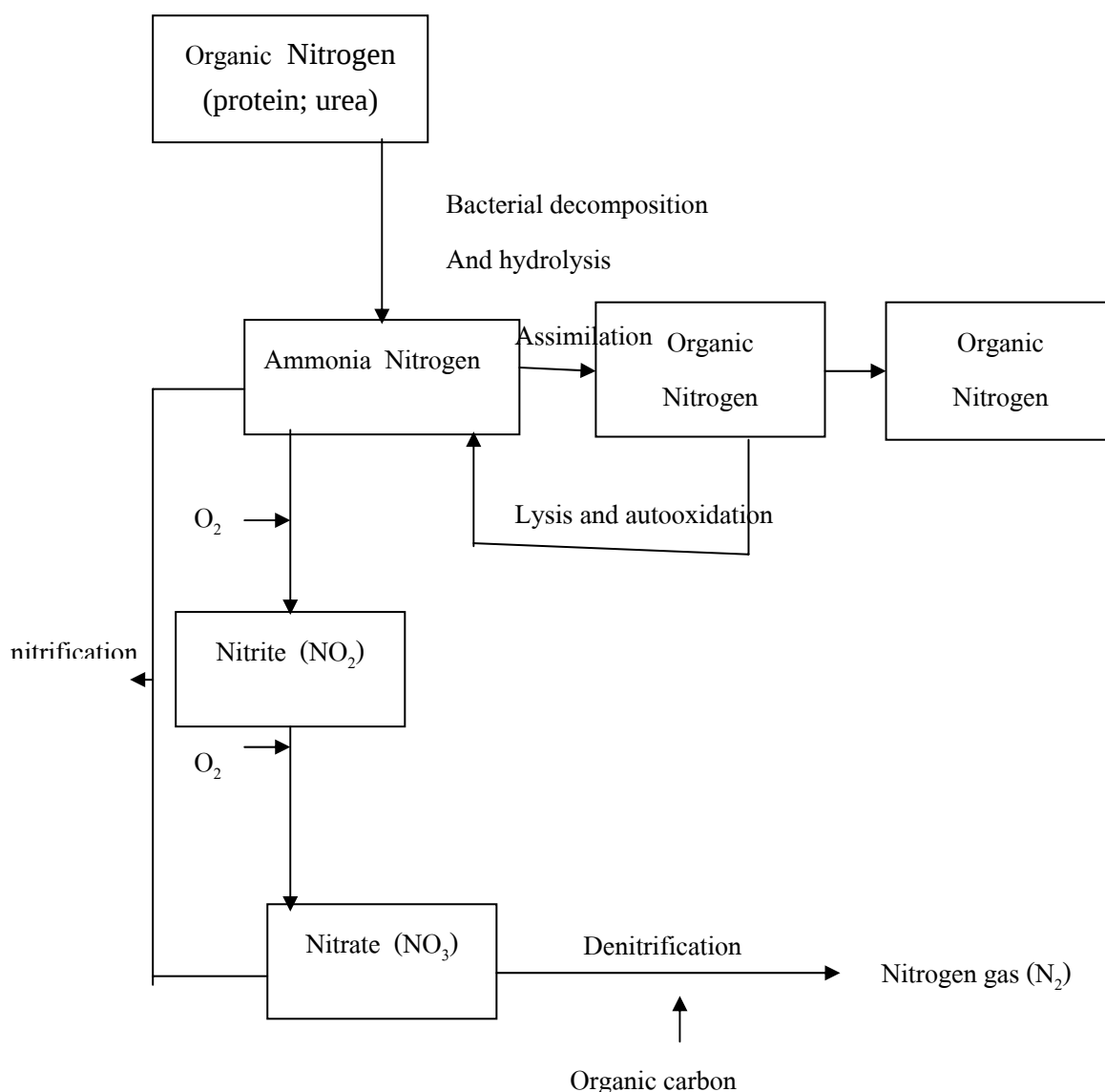
ก. ปฏิกิริยานิไตรฟิเคชันระบบรวม (Combine Carbon Oxidation Nitrification) ปฏิกิริยานิไตรฟิเคชันแบบนี้เป็นการรวมขั้นตอนการเกิดคาร์บอนออกซิเดชันและไนไตรฟิเคชันได้ด้วยกัน ซึ่งถือว่าเป็นแบบขั้นตอนเดียวและโดยทั่วไปแล้วกระบวนการไนไตรฟิเคชันแบบนี้จะมีปริมาณไนไตรฟายเออร์น้อย

ข. ปฏิกิริยานิไตรฟิเคชันระบบแยก (Separate stage Nitrification) เป็นระบบที่ขั้นตอนการเกิดคาร์บอนออกซิเดชันและไนไตรฟิเคชันออกจากกันเป็นระบบที่มีค่า BOD_5/TKN ต่ำ คือมีค่า BOD_5/TKN น้อยกว่า 3 ผลก็คือจะมีปริมาณไนไตรฟายเออร์ในสัดส่วนที่มากทำให้การเกิดปฏิกิริยานิไตรฟิเคชันมีอัตราสูง

5.4.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยานิไตรฟิเคชัน

ก. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของไนไตรฟายอิงแบคทีเรียในปฏิกิริยานิไตรฟิเคชันปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่เหมาะสมอย่างน้อยต้องมีปริมาณเท่ากับ 2 มิลลิกรัม/ลิตร

ข. อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยานิไตรฟิเคชัน ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 28-36 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนโดยกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

เนื่องจากอัตราส่วนของ Biochemical Oxygen Demand (BOD_5)/ Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) ของน้ำเข้ามีค่าสูงคือ (BOD_5)/ TKN มีค่ามากกว่า 5

ก. อัตราส่วนของ BOD_5 / TKN มีผลต่อสัดส่วนของไนตริฟายอิงแบคทีเรีย ซึ่งความสัมพันธ์แสดงดังตารางที่ 3

สำหรับระบบไนตริฟิเคชันที่รวมขั้นตอนคาร์บอนออกซิเดชัน และไนตริฟิเคชันค่าอัตราส่วน BOD_5 / TKN มากกว่า 5 ทำให้ค่าสัดส่วนของไนตริฟายอิงแบคทีเรียต่ำกว่า 0.054 ส่วนไนตริฟิเคชันแบบระบบแยก BOD_5 / TKN น้อยกว่า 3 สัดส่วนของไนตริฟายอิงแบคทีเรียจึงมีค่าสูงกว่า 0.083

ง. pH ระดับ pH ที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะอยู่ในสภาวะความเป็นด่างเล็กน้อย pH ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 7.5-8.5 สำหรับการเจริญเติบโตของ Nitrosomonas และ Nitrobacter

จ. ความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์ ซึ่ง Sharma และ Ahlert จะถูกยับยั้งการเจริญเติบโตได้ถ้าความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรท์สูงเกินไป

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของ nitrifying organisms และอัตราส่วนของ BOD_5/TKN

BOD_5/TKN	Nitrifier Fraction
0.5	0.35
1	0.21
2	0.12
3	0.083
4	0.064
5	0.054
6	0.043
7	0.037
8	0.033
9	0.029

ฉ. อายุตะกอน (Sludge Age) และภาระการรับสารอินทรีย์ (Organic Loading) ซึ่ง Prakasam และ Loehr พบว่าการเพิ่มของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ จะเป็นผลให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดเพิ่มขึ้น อีกทั้ง Sharma และ Ahlert ได้รายงานผลการศึกษาศึกษาของ Poduska (1973) : Poduska และคณะ (1974) ว่าปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจะเกิดในอัตราสูงเมื่ออายุตะกอนประมาณ 3-4 วัน

5.5 ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน หมายถึงกระบวนการที่ไนไตรท์ (NO_3^-) เปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกไนไตรท์เปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์ ส่วน

ขั้นตอนที่สองไนโตรเจนเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจนและในการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องด้วยกัน 2 ชนิด คือ

5.5.1 แอสสิมิลาทอรี (Assimilatory) จะทำการเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นแอมโมเนียเพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ของแบคทีเรีย และเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเฉพาะในเวลาที่มีไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

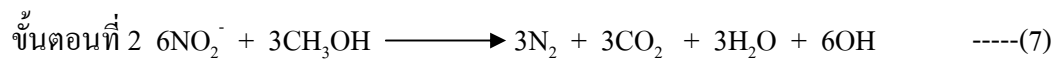
5.5.2 ดิสสิมิลาทอรี (Dissimilatory) เป็นการเปลี่ยนรูปไนเตรทไปเป็นก๊าซไนโตรเจนซึ่งเอนไซม์นี้รับผิดชอบการเกิดปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชัน เกิดเนื่องจากแบคทีเรียประเภทแฟคัลตาทีฟเฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย (Facultative heterotrophic bacteria) เช่นพวก *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Achromobacter* และ *Bacillus* ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้จะใช้ออกซิเจนในสารประกอบไนเตรทและไนโตรเจนในการหายใจภายใต้สภาวะแอนอกซิก (Anoxic Condition) คือ สภาวะไม่มีออกซิเจนแต่มีไนเตรทอยู่และจะเห็นว่าในปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชันไนเตรทและไนโตรเจนจะเป็นตัวรับออกซิเจน (Electron acceptor) ตัวสุดท้ายแทนออกซิเจน และในปฏิกิริยานี้จะต้องมีแหล่งอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon Source) พอเพียงเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการเปลี่ยนไนเตรทไปเป็นก๊าซไนโตรเจนซึ่งแสดงให้เห็นว่าแหล่งอินทรีย์คาร์บอนจะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนให้แก่ปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชันและแหล่งอินทรีย์คาร์บอนที่ให้อิเล็กตรอนแก่ระบบจำแนกได้ดังนี้

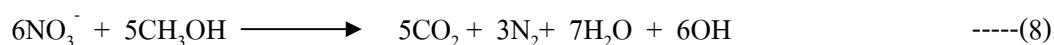
จากแหล่งภายใน ซึ่งได้แก่ จากน้ำเสียที่เข้าระบบ และจากเซลล์ของแบคทีเรียที่ตาย (ตะกอนแบคทีเรีย) การใช้อินทรีย์คาร์บอนจากแหล่งภายในเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่ระบบจะเป็นระบบที่รวมขั้นตอนการเกิดคาร์บอนออกซิเดชัน, ไนตริฟิเคชันดิไนตริฟิเคชัน ไว้ด้วยกัน

จากแหล่งภายนอกซึ่งได้แก่ สารเคมีที่เติมให้กับระบบเช่น เมทานอล (CH_3OH) จะให้ในระบบที่แยกขั้นตอนการเกิดคาร์บอนออกซิเดชัน, ไนตริฟิเคชัน, ดิไนตริฟิเคชัน

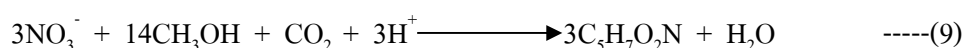
ตัวอย่างสมการ ปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometric) ในปฏิกิริยาดิไนตริฟิเคชันสำหรับระบบที่แยกขั้นตอนการเกิดคาร์บอนออกซิเดชัน และ ไนตริฟิเคชัน ดิไนตริฟิเคชัน ที่ใช้เมทานอลเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่ระบบ



รวมสมการที่ 6 และที่ 7 ได้ดังนี้



ดังที่กล่าวแล้วระบบต้องมีการสร้างเซลล์จึงต้องใช้เมทานอล ประมาณร้อยละ 25-30 ในการสร้างเซลล์ และสมการการสร้างเซลล์เป็นดังนี้



รวมสมการที่ 8 และสมการที่ 9 ได้สมการดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ คือ



ชนิดของแหล่งคาร์บอน มีความสำคัญต่อระบบดีไนตริฟิเคชัน โดยที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันอยู่กับความยากง่ายในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอน แหล่งอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายง่ายจะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเร็วขึ้นด้วย

ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม (รวมทั้งมีคาร์บอนที่ไม่จำกัด) อัตราเร็วของดีไนตริฟิเคชันจะมีค่าคงที่สูงสุด แต่ถ้ายึดการจำกัดแหล่งคาร์บอนภายนอก หรือน้ำเสียมีคาร์บอนให้ไม่เพียงพอ แบคทีเรียจะใช้คาร์บอนจากตัวเซลล์ของตัวเอง (โดยใช้กระบวนการที่เรียกว่า Endogenous Respiration) เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน อัตราเร็วของดีไนตริฟิเคชันจะมีค่าต่ำ

5.5.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

ก. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ควรมีค่าเท่ากับศูนย์หรือใกล้เคียงกับศูนย์มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแบคทีเรียในการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะใช้ในแทนออกซิเจน

ข. พีเอช (pH) ระดับพีเอชที่เหมาะสมในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะมีค่าพีเอชที่เป็นกลาง หรืออยู่ในสภาวะเป็นด่างเล็กน้อยแต่ชนิดของแบคทีเรียในปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันมีหลายชนิด

ค. อุณหภูมิ (Temperature) ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจะเกิดได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 0-50 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด คือ 40 องศาเซลเซียส

6. เครื่องกรองระบบโปรยกรอง (trickling filter)

การเลี้ยงปลาในระบบหมุนเวียนถูกพัฒนามากกว่า 10 ปี ซึ่งเป็นประโยชน์มากมายแก่พื้นที่ส่วนต่างๆของโลกแต่การพัฒนาเป็นไปอย่างล่าช้า เนื่องจากมีข้อกำหนดหลายอย่าง รวมไปถึงเศรษฐกิจที่ตกต่ำในการผลิตอาหารปลา และปัญหาการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงวิธีใหม่ๆ แต่อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงบริเวณแหล่งน้ำภายในประเทศและบริเวณชายฝั่งทะเลควรที่จะได้รับการดูแลรักษาโดยการบำบัดน้ำเพื่อเป็นการลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ดังนั้น จึงต้องพัฒนาเทคโนโลยีในระบบการเพาะเลี้ยงให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมให้สมบูรณ์ที่สุดซึ่งจะนำไปสู่การเพาะเลี้ยงแบบยั่งยืน

วิธีในการนำน้ำกลับมาใช้ในระบบ คือ ทางด้านระบบนิเวศ และเครื่องกล ในระบบนิเวศ โดยมีการหมุนเวียนน้ำในถังเพาะเลี้ยงโดยมีการหมุนเวียนแร่ธาตุตามธรรมชาติ ในส่วนของเครื่องกลเป็นการแยกระบบบำบัดน้ำทิ้งเพื่อที่จะนำน้ำกลับมาใช้ในถังเลี้ยง ตัวอย่างหนึ่งของทางด้านระบบนิเวศ คือการเลี้ยงปลาในบ่อ โดยไม่มีการระบายน้ำทิ้ง ในการเก็บเกี่ยวจะใช้อวนและสามารถพักบ่อไว้ใช้ในฤดูการถัดไปได้ ในกรณีที่มีพื้นที่มากพอเป็นไปได้ที่จะทำเป็นธุรกิจ เพราะความหนาแน่นของปลาเลี้ยงค่อนข้างต่ำ เพราะฉะนั้น ในเมืองอุตสาหกรรมเหมือนอย่างเกาหลีซึ่งมีประชากรสูงและพื้นที่ใช้ประโยชน์มีจำกัด

ในทางระบบนิเวศไม่สามารถใช้ได้อย่างคุ้มค่าได้เพราะพื้นที่ๆ ใช้มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นเราจึงเลือกที่จะใช้การเพาะเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเพื่อที่จะผลิตสัตว์น้ำให้ได้ปริมาณสูง และพยายามทำให้สำเร็จในปัจจุบันและในอนาคต สำหรับความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงนั้นจะต้องมีการ

ลงทุนเหมือนกับธุรกิจอื่นทั่วไป ในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนจะต้องมีการลงทุนค่อนข้างสูงกว่าระบบการผลิตโดยทั่วไป เนื่องจากระบบจะต้องถูกออกแบบและการจัดการโครงสร้างของระบบ ต้องสู้กับราคาที่สูงกว่าพื้นฐานการลงทุนทั่วไป ปัจจัยหนึ่งที่คาดหวังว่าจะดีกว่าในการผลิตจากระบบทั่วไป คือสถานะคุณภาพน้ำในการเลี้ยงสัตว์น้ำที่ลดการเลี้ยงทำให้ปลาเจริญเติบโตดีจากที่ไม่มีน้ำในการทดลองอย่างพอเพียงทำให้นักวิจัยใช้ระบบน้ำหมุนเวียนในห้องปฏิบัติการวิจัย

ปี 1979 ศาสตราจารย์ In Bae Kim ได้คิดค้นระบบน้ำหมุนเวียนแบบ pilot scale ในมหาวิทยาลัยประมงของเมือง Bosan และเพื่อความสะดวกจึงถูกใช้สำหรับการทดลอง ต่อมาพื้นฐานการติดตั้งในระบบน้ำหมุนเวียนอาศัยหลักการเดียวกันกับที่อื่นๆ ในเกาหลี ในระบบการเพาะเลี้ยงในน้ำหมุนเวียนนี้ถูกออกแบบเป็น Intensive bio-production Korean system (TBK system)

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระบบหมุนเวียนอื่นๆ ที่ทำกันในเกาหลีในปี 1970 ได้นำ gravel filter มาใช้โดยผู้เลี้ยงในระยะเวลาที่สั้น ต่อมาได้้นำ Rotating biological disc filters มาใช้ โดยผู้เลี้ยงในพื้นที่แหล่งน้ำจืด แต่วิธีการยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควรเหตุผลหนึ่งที่ระบบนี้ไม่ได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพราะเกษตรกรคิดว่า ระบบ bio filter เพียงอย่างเดียวที่สามารถแก้ปัญหาทุกสิ่งในพื้นที่เลี้ยงปลาได้

ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของปลาในระบบ ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสุขภาพของปลาซึ่งนำไปสู่ความสำเร็จในการผลิตปลาในเชิงธุรกิจ ปัจจัยนี้มีความสำคัญมากเพื่อมุ่งไปสู่การพัฒนาระบบการเพาะเลี้ยงที่มีความหนาแน่นสูง การเพาะเลี้ยงในระบบปิด ประกอบด้วยการออกแบบโครงสร้างของระบบน้ำหมุนเวียนและเทคโนโลยีการจัดการคุณภาพน้ำ

ปัจจัยที่มีความจำเป็นในการจัดการ การเพาะเลี้ยงปลาในบ่อ ในระบบน้ำหมุนเวียน

1. การกำจัดกากของแข็ง
2. การกำจัดสารแขวนลอย
3. การกำจัดสารละลายอินทรีย์
4. การกำจัดของเสียสารละลายอินทรีย์ (แอมโมเนียและอื่นๆ)
5. การให้ออกซิเจนและอากาศ
6. ระบบปั๊มน้ำ

7. การปรับค่า pH ในน้ำ

ทุกวันนี้การเพาะเลี้ยงได้เข้ามามีบทบาทมากและอุปกรณ์เครื่องมือที่มีความสลับซับซ้อนหรือเครื่องจักรกลที่นำเข้ามาใช้ ซึ่งเกษตรกรจะต้องเตรียมที่จะจัดการเกี่ยวกับความเสียหายต่างๆ ของเครื่องมือหรือความผิดพลาดของเครื่องจ่ายไฟในเวลาเดียวกันนั้น ผู้จัดการของฟาร์มควรแจ้งเตือนให้ทราบหากมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในฟาร์ม

1. มีระบบสำรองไฟฉุกเฉิน
2. มีระบบเตือนภัย

เทคโนโลยีอาหารสำหรับปลาในระบบเลี้ยงดูเหมือนว่าจะง่าย แต่การให้อาหารเป็นสิ่งที่ยากกว่า กล่าวได้ว่า ถ้าใครสามารถวางระบบการให้อาหารได้ดี ก็จะสามารถเลี้ยงปลาได้ดี

การให้อาหารที่เหมาะสมเป็นสิ่งที่สำคัญ ไม่ควรให้อาหารเกินและหากไม่กินอาหารให้อาหารออกอย่างรวดเร็ว อาหารที่ไม่กินจะเหลืออยู่ในน้ำเป็นส่วนที่มีประโยชน์ ซึ่งมีคุณสมบัติเฉพาะสามารถละลายได้ในน้ำเช่นเดียวกับวิตามิน Bs และแร่ธาตุส่วนมาก จึงทำให้คุณภาพของน้ำในการเพาะเลี้ยงเสื่อมลง สิ่งสำคัญจะไปกระตุ้นการเจริญเติบโตของ pathogenic organism เกษตรกรบางท่านกังวลเกี่ยวกับการให้อาหารที่คงตัวในน้ำ แต่การปฏิบัติเช่นนี้สามารถช่วยได้น้อยถ้าอาหารเหลือในน้ำระยะเวลานาน

ปลานิล มีการเลี้ยงกันมากในระบบน้ำหมุนเวียนในประเทศเกาหลี ปริมาณน้ำหมุนเวียนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเกษตรกร แต่เกษตรกรส่วนใหญ่จะหมุนเวียนน้ำเป็นบางส่วน ในระบบ IBK ซึ่งก่อตั้งระบบโดย Dr. In-Bae Kim ได้มีการปรับปรุงแก้ไขจนถึงปัจจุบัน เมื่อเร็วๆ นี้ หน่วยงานองค์กรต่างๆ รวมทั้งรัฐบาลและหน่วยงานการศึกษา มีการใช้ระบบนี้แล้วหรือวางแผนที่จะใช้ระบบนี้อย่างเร็วที่สุด ความหนาแน่นปกติของ tilapia ในระบบนี้มีอย่างน้อยที่สุด 5% ของปริมาณน้ำในถังเลี้ยง และปลาเจริญเติบโตปกติจนถึงความหนาแน่นที่ 20% ของปริมาณน้ำในถังเลี้ยง เมื่อปลาโตขึ้นจนถึงระดับความหนาแน่นนี้ ปลายังคงมีสุขภาพดีแต่การเจริญเติบโตลดลง ระบบ IBK ได้ทดลองเลี้ยงปลาในแหล่งน้ำจืด รวมไปถึง ปลานิล, ปลาไน, ปลากด และปลาไหล ซึ่งประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี

หลักเกณฑ์ในการพัฒนาระบบน้ำหมุนเวียนสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับความรู้ในการเลี้ยงปลาแบบหนาแน่น ดังที่กล่าวถึงในขั้นต้น ในขณะเดียวกันก็ควรพิจารณาถึงความปลอดภัยและ

ความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจ ถึงแม้ว่าระบบนี้จะประกอบด้วยบ่อคอนกรีต และการควบคุมโดยแรงงานคน แต่ระบบก็สามารถที่จะผลิตปลาเป็นสองสามร้อยตันด้วยคนเพียง 2 คน

การออกแบบระบบง่ายๆ และการใช้งานไม่สลับซับซ้อนมาก ลักษณะโครงสร้างของระบบยังคงใช้ถังในการเพาะเลี้ยง ถึงตะกอนเล็ก ที่ติดตั้งตัวปั๊ม และในส่วนของ biological filter วาล์วน้ำไหลที่เชื่อมต่อกัน ถังเพาะเลี้ยงที่ใช้จะเป็นถังกลมและที่ท่อระบายน้ำเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งของระบบน้ำหมุนเวียนและการแยกน้ำได้เร็วของของเสีย ซึ่งเป็นส่วนที่ได้จากถังเพาะเลี้ยง การเคลื่อนย้ายปั๊มไปอีกที่หนึ่งและการติดตั้งปั๊มหลายๆตัว เพื่อป้องกันปั๊มไม่ทำงานในกรณีที่ปั๊มน้ำเสีย ผู้ที่ไม่ชำนาญสามารถทำได้เพราะเป็นงานประจำและง่ายๆ ส่วนใหญ่งานที่ทำเป็นงานที่ต้องใช้มือ ดังนั้นความเสียหายเกิดขึ้นน้อยโดยจะเกิดในกรณีที่เครื่องมือเสียในระหว่างปฏิบัติงาน

การแยกครั้งสุดท้าย ถึงที่รับน้ำทิ้งจะถูกจัดไว้ ประกอบด้วย 2 ส่วน ซึ่งถ้าส่วนที่หนึ่งใช้อีกส่วนหนึ่งจะถูกกำจัดออก น้ำทิ้งจากถังตกตะกอนทุกๆวันและจากส่วนของ biological filter เมื่อทำความสะอาดแล้วของเสียที่เป็นของแข็งจะตกตะกอนลงและจะถูกปล่อยทิ้ง

ส่วนประกอบของระบบการเพาะเลี้ยงปลาในถัง ถังตะกอน ตัวปั๊ม biological filter chamber และวาล์วน้ำ สำหรับการตกตะกอนครั้งสุดท้ายของการปล่อยน้ำทิ้งระบบจะแยกในส่วนที่รองรับของเสียที่เป็นน้ำทิ้งทั้งหมดและรับน้ำอีกครั้งโดยบ่อพักซึ่งทิ้งออกไปยังนาข้าวเป็นจำนวนมาก อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนในแต่ละวันของน้ำน้อยกว่า 1 % ของผลรวมจำนวนของน้ำ (2500 cubic meters)

ประเทศเกาหลีมีพื้นที่ที่เล็กและมีแหล่งน้ำที่จำกัดมาก มลภาวะของน้ำและอากาศเป็นปัญหาหนึ่งของประเทศ ในปี 1998 ทางรัฐบาลได้ประกาศอย่างเป็นทางการ ซึ่งได้กำหนดพื้นที่แหล่งน้ำภายในประเทศหยุดทำการภายหลังจากการอนุญาต ก่อนปี 1999 ปลาน้ำจืดเป็นจำนวนมากที่เป็นผลผลิตจากกระชังการพัฒนาระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดจึงเป็นทางเลือกหนึ่งและส่งผลในทางธุรกิจด้านการตลาด

ขนาดของวัสดุกรองชีวภาพที่เริ่มใช้ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เมื่อต้องเลือกวัสดุกรองชีวภาพจากหลายๆ เทคโนโลยี ต้องพิจารณาถึงชนิดของวัสดุกรองชีวภาพเลือกที่จะตัดสินใจให้เหมาะสมแต่ละสภาพนั้นๆ เพราะว่าสภาวะความเหมาะสมที่ข้อมูลรายงานมืออย่างกว้างขวาง การ

ออกแบบที่จะใช้ควรให้กินขนาดหรือให้สามารถขยายต่อเติมได้Tricking filter นั้นเป็นวัสดุกรอง ก่อนข้างจะออกแบบได้ง่าย ดังตัวอย่างของขั้นตอนต่างๆที่จะช่วยในการออกแบบ

1. ประเมินปริมาณอาหารสูงสุดที่ใช้ในการเลี้ยงปลา ซึ่งเป็นการหาโหลดสูงสุด ที่วัสดุกรองสามารถรับได้
2. ประเมินระดับ TAN (ไนโตรเจนแอมโมเนียทั้งหมด) ที่ปริมาณความเข้มข้นน้อยที่สุดจะปลาสามารถรองรับในการดำรงชีวิตได้ การคาดคะเน hydraulic loading rate ที่ใช้ในระบบ
3. ประเมินปริมาตรรวมของน้ำที่จะไหลผ่านเครื่องกรองชีวภาพ (bio filter) แนวทางอย่างหนึ่งเพื่อดูระยะเวลาไหลของน้ำจากถังเลี้ยงไปยังระบบบำบัด ระบบที่มีการไหลช้ามาก คือใช้เวลา 12 ชั่วโมงในการหมุนเวียนน้ำ ระบบที่ไหลเร็วมาก 5 นาทีในการหมุนเวียนน้ำ สำหรับจุดเริ่มต้นที่ดีสำหรับระบบคือน้ำไหลเวียนครบรอบในระบบทั้งหมดในเวลาชั่วโมงตัวอย่างเช่น แท็งก์ขนาด 5,000 แกลลอนควรจะต้องใช้เวลาในการไหลเวียน 1 ชั่วโมง หรือ 83 แกลลอนต่อ นาที ถ้ามีการเพิ่มออกซิเจนให้กับบ่อเลี้ยง อัตราการไหลของระบบอาจหาโดยการวัดความต้องการออกซิเจนของปลาถ้ามีการเพิ่มออกซิเจนในบ่อเลี้ยงควรจะต้องมีการกำจัดของแข็งโดยการกรอง
4. คำนวณพื้นที่ผิวของวัสดุกรองชีวภาพ ที่ต้องใช้ โดยขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่ใช้และอัตราการกำจัดแอมโมเนีย
5. ประเมินความหนาแน่น หรือพื้นที่ผิวจำเพาะ (SSA) ของเครื่องกรองชีวภาพ (bio filter) ซึ่งโดยทั่วไป นิยมจะใช้พื้นที่ผิวของวัสดุขนาด 119, 69 และ 48 ตารางฟุตต่อลูกบาศก์ฟุต (390, 226 และ 157 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร)
6. นำจำนวนทั้งหมดของบริเวณพื้นที่ผิวที่ต้องการ หาคด้วยพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุที่เป็นวัสดุกรองจะได้ปริมาตรของวัสดุกรองที่ต้องการ
7. ออกแบบรูปร่างของวัสดุกรอง
8. หา hydraulic loading rate (hlr) ถ้า hlr ต่ำเกินไปต้องเพิ่มอัตราการไหลน้ำโดยทำให้ Trickling filter สูงและแคบ hlr มีผลต่อการกำจัดแอมโมเนียขอแนะนำว่า hlr ที่ต่ำสุดขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุกรอง, พื้นที่ผิวจำเพาะยิ่งมาก ยิ่งต้องการน้ำมากเพื่อให้ผิวส่วนบนวัสดุกรองชุ่มไปด้วยน้ำ

ตารางที่ 4 แสดงอัตราไหลของน้ำต่อพื้นที่ผิวจำเพาะ

บริเวณผิวที่จำเพาะ (ตารางฟุต/ลูกบาศก์ฟุต)	อัตราการไหลของน้ำ (แกลลอน/นาที่ พื้นที่ผิว 1 ตารางฟุต)
30	3
50	4
70	5
120	7

ในพื้นที่ 1 ตารางฟุตของ water loading อ้างอิงถึงบริเวณของพื้นที่หน้าตัดของTrickling filterในพื้นที่ 1 ตารางฟุตของพื้นที่ผิวจำเพาะอ้างอิงถึงพื้นที่ผิวจำเพาะอ้างอิงถึง พื้นที่ผิวในวัสดุกรอง

ขั้นตอนข้างต้นคือ คำแนะนำทั่วไปเพื่อการประเมินการออกแบบของ Trickling filter การคาดคะเนจำนวนรวมของบรรจุวัสดุกรองที่ต้องการสำหรับงานนี้ ซึ่งไม่เป็นวิทยาศาสตร์มากนัก ถ้าวัสดุกรองมีขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้ทำที่ระดับแอมโมเนียสูงกว่าได้ตามต้องการ ซึ่งปกติแล้วต้องการเครื่องกรองขนาดใหญ่กว่าเพื่อประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าขนาดเล็กและปลากี่ปลอดภัย

ระบบกรองน้ำหมุนเวียนเทคโนโลยีจากประเทศเคนมาร์ก ถูกติดตั้งในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำขนาด 2 ไร่ จำนวน 2 บ่อ เพื่อศึกษาผลของการใช้ระบบต่อการเลี้ยง คุณภาพน้ำ ปริมาณธาตุอาหารในน้ำทิ้ง และข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ของการเลี้ยงกุ้ง เปรียบเทียบกับบ่อเลี้ยงกุ้งที่ไม่ใช้ระบบกรองน้ำหมุนเวียน ผลการศึกษา (ทดสอบ) การเลี้ยงกุ้งจำนวน 3 รุ่นปรากฏว่าระบบกรองน้ำหมุนเวียนสามารถปรับปรุงด้านการเลี้ยงได้แก่ ผลผลิต อัตรารอด น้ำหนักกุ้งเฉลี่ย และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันสูงขึ้นจากบ่อที่ไม่ใช้ระบบกรองน้ำเป็น 12.8, 12.55, 15.28 และ 10.66% ตามลำดับ สามารถรักษาคุณสมบัติในบ่อเลี้ยง ได้แก่ ความเป็นกรดต่ำ ความเค็ม ความเป็นด่าง และออกซิเจนในน้ำได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อีกทั้งลดแอมโมเนียรวม ในไตรท์ และไนเตรทลง 67.53, 25.77 และ 51.00% ตามลำดับ

ระบบกรองน้ำหมุนเวียนสามารถลดธาตุอาหารในน้ำทิ้ง ได้แก่ สารละลายอนินทรีย์ ไนโตรเจน, แอมโมเนีย, ไนเตรท ออร์โธฟอสเฟตและบีโอดี เป็น 4.46, 4.81, 11.07, 70.21 และ 61.97% ตามลำดับ ผลการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าระบบกรองน้ำหมุนเวียนมีต้นทุนผันแปร รวม ต้นทุนผันแปร (เฉพาะไฟฟ้า) ต้นทุนคงที่ และต้นทุนรวมสูงเพิ่มขึ้นจากบ่อที่ไม่ใช้ระบบกรอง น้ำถึง 15.12, 141.72, 308.32 และ 30.58% จากการทดลองยังพบว่าประสิทธิภาพของระบบกรองน้ำ หมุนเวียนไม่คงที่เนื่องจากถูกวางอยู่ในสภาวะแวดล้อมกลางแจ้งซึ่งควรที่จะแก้ไขและพัฒนาต่อไป

สุนิตย์ และคณะ(2547) ทดลองการเลี้ยงปลากะพงขาว *Lates calcarifer* (Bloch) ในระบบน้ำ หมุนเวียนโดยใช้ววน 80 กก. และ 40 กก. เป็นไปโอฟิลเตอร์ เลี้ยงปลากะพงขาวขนาดน้ำหนัก 1.84 ± 0.12 กรัม ความยาว 1.91 ± 0.08 นิ้ว เลี้ยงในอัตราความหนาแน่น 500 ตัว/ตัน เปรียบเทียบกับการเลี้ยงในระบบเปิดที่มีอัตราความหนาแน่นเดียวกันเมื่อสิ้นสุดการทดลองหลังจากการเลี้ยงปลา เป็นเวลา 50 วัน พบว่าปลากะพงขาวที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนที่ใช้ววนในล่อน 80 กก. เป็นไปโอ ฟิลเตอร์ มีน้ำหนักเฉลี่ย 44.65 ± 1.39 กรัม และความยาวเฉลี่ย 5.92 ± 0.01 นิ้ว อัตราการเจริญเติบโต 0.86 ± 0.03 กรัม/วัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 6.38 ± 0.06 %/วัน อัตราเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.25 ± 0.01 และผลผลิต 22.32 กก./ตัน ซึ่งสูงที่สุดแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ($p < 0.05$) ส่วนการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบเปิด การเจริญเติบโตและผลผลิตต่ำสุด ปรากฏว่า ปลากะพงขาวตายประมาณ 49% หลังจากเลี้ยงปลาได้ 45 วัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากคุณภาพน้ำในถัง เลี้ยงปลาที่มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำค่อนข้างต่ำคือ 3.20 มก./ลิตร ประกอบกับปริมาณแอมโมเนีย รวมไนโตรที่สูงคือ 1.050 และ 0.944 มก./ลิตร คุณภาพน้ำ ปริมาณแบคทีเรียรวมในชุดการทดลองที่ เลี้ยงปลากะพงขาวในระบบน้ำหมุนเวียนอยู่ในระดับที่ปลอดภัยไม่มีผลเสียต่อการเจริญเติบโตและ อัตรารอดตายของปลากะพงขาวคุณภาพน้ำดีขึ้นหลังจากที่น้ำไหลผ่านระบบบำบัดออกมาแล้ว

7. เครื่องกรองระบบช้อนฟองหรือ Protein Skimmer

Protein skimmer หรือ Foam fractioner เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อจับอนุภาคที่เล็ก ละเอียดออกจากน้ำ ทำงานโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์ เกี่ยวกับแรงตึงผิวของน้ำและแรงยึดเหนี่ยว ระหว่างโมเลกุลของน้ำ สืบเนื่องจากการที่โมเลกุลของน้ำมีศักย์ภาพไฟฟ้าเป็นบวกด้านหนึ่งเป็นลบ ด้านหนึ่งทำให้โมเลกุลของน้ำมีแรงดึงดูด จับยึดอนุภาคที่เล็กละเอียดที่ปะปนอยู่ในน้ำเข้ามาเกาะติด กับโมเลกุลของตัวเอง

จากหลักการดังกล่าวทำให้ต้องออกแบบกลไกสร้างฟองอากาศที่เป็นฝอยเล็กละเอียด นิดผสมเข้าไปกับมวลน้ำ จากหลักความจริงที่ว่า เมื่อทำอากาศให้เป็นฟองอากาศในน้ำ ในปริมาตรอากาศที่เท่าๆ กันฟองยิ่งเล็กเท่าไร พื้นที่ผิวโดยรวมยิ่งมากขึ้นในลักษณะทวีคูณ ประสิทธิภาพในการยึดเกาะสูงขึ้นตามขนาดของพื้นที่ผิว นอกจากนั้นความคงทนของฟองอากาศในน้ำ ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการยึดเกาะเช่นกัน ในน้ำจืดสนิทหรือน้ำอ่อนฟองอากาศขนาดเล็กจะรวมตัวกลับเข้าด้วยกันเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่ แล้วแตกออกไปจากน้ำอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการใช้โปรตีนสกินเมอร์ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงมีข้อจำกัดเรื่องความเสื่อมของน้ำในระยะเวลา 50-60 ปีที่ผ่านมา โปรตีนสกินเมอร์ได้รับการพัฒนารูปแบบและประสิทธิภาพมาโดยตลอด มีขนาดให้เลือกใช้ตั้งแต่ขนาดเล็กที่สามารถรองรับอัตราการไหลของน้ำไม่กี่ลิตรต่อนาที ไปจนถึงขนาดใหญ่ที่สามารถรองรับอัตราการไหลของน้ำมากกว่า 1 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที รูปทรงก็ได้รับการพัฒนาอย่างสวยงาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีนสกินเมอร์ขนาดเล็กที่ใช้กับตู้เลี้ยงสัตว์ทะเลสวยงามตามบ้านเรือน การออกแบบโปรตีนสกินเมอร์ขนาดใหญ่มักจะเน้นไปที่ความแข็งแรงทนทานเพื่อใช้กับระบบน้ำแบบกึ่งปิดของบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำ โรงเพาะฟักสัตว์น้ำ และสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำสาธารณะขนาดใหญ่

ฟองอากาศที่ถูกฉีดหรือปั่นจนมีขนาดเล็กละเอียดในมวลน้ำ นอกจากจะทำหน้าที่จับยึดโมเลกุลของสิ่งปนเปื้อนในน้ำแล้ว ยังทำหน้าที่แลกเปลี่ยนแก๊สต่างๆ ระหว่างน้ำและอากาศได้เป็นอย่างดีอีกด้วย เนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสกันมาก ดังนั้นโปรตีนสกินเมอร์จึงสามารถใช้ช่วยผสมแก๊สลงไปในน้ำและระเหยแก๊สที่ไม่พึงประสงค์ออกจากน้ำได้บางส่วน เป็นที่ทราบกันดีในกลุ่มผู้ออกแบบระบบน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำว่าประสิทธิภาพของโปรตีนสกินเมอร์จะเพิ่มขึ้น หากเติมโอโซนที่ปริมาณความเข้มข้นต่ำรวมไปกับอากาศที่ถูกปั่นเป็นฟองละเอียดนั้น

เราสามารถสร้างอุปกรณ์สำหรับฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดนี้ขึ้นใช้เองได้ โดยใช้เครื่องมือช่างพื้นฐาน ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ในท้องตลาด ราคาย่อมเยากว่าซื้อสำเร็จรูปจากต่างประเทศหลายเท่า ในประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน รวมถึงสามารถออกแบบให้สามารถถอดประกอบเพื่อทำความสะอาดได้โดยสะดวก นำหนักเบาเคลื่อนย้ายได้ง่าย โปรตีนสกินเมอร์ขนาดที่รองรับอัตราการไหลผ่านของน้ำ 15 ลูกบาศก์เมตร ต่อ ชั่วโมง เพียงพอสำหรับระบบรักษาคุณภาพน้ำในระบบกึ่งปิดของบ่อเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์สัตว์น้ำเค็มที่มีปริมาตรความจุน้ำประมาณ 50-75 ลูกบาศก์เมตร หรือสามารถต่อขนานรวมกันเป็นชุดเพื่อรองรับอัตราการไหลที่มากขึ้นสำหรับระบบน้ำขนาดใหญ่ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดและปริมาณของสัตว์น้ำที่เลี้ยง รวมถึงอุปกรณ์ชนิดอื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบของระบบน้ำ

8. การบำบัดโดยใช้สาหร่าย

สาหร่ายที่เลือกใช้เป็นสาหร่ายช่อพริกไทย/สาหร่ายพวงองุ่น *Caulerpa*

Division Chlorophyta

Order Clulerpales

Family Caulerpaceae

Caulerpa sp.

เป็นสาหร่ายทะเลขึ้นอยู่ในบริเวณเขตร้อน ทลัสประกอบด้วยท่อติดต่อกันตลอดมีไรซอยด์เป็นฝอยทำหน้าที่ยึดเกาะกับพื้น ส่วนที่มีลักษณะเหมือนใบ ซึ่งทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง เรียกว่ารามูลัส (ramulus) มีรูปร่างต่างกัน อาจจะเป็นก้านยาวรี กลมแบน หรือเป็นเส้นเหมือนขนนก ส่วนนี้มีสีเขียว สาหร่ายชนิดนี้มองคล้ายพวงองุ่นที่ขึ้นเป็นกระจุก จึงมีชื่อสามัญที่เรียกว่า สาหร่ายพวงองุ่น (seagrapes)

การใช้สาหร่ายทะเลขนาดใหญ่นำมาบำบัดคุณภาพน้ำในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นมีการปล่อยของเสียทั้งที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์สู่แหล่งเพาะเลี้ยง และแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นจำนวนมาก จุดมุ่งหมายของการศึกษาครั้งนี้เพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้สาหร่ายทะเลชนิดคือ สาหร่ายหนาม สาหร่ายพวงองุ่น สาหร่ายไส้ไก่ และสาหร่ายพมนาง ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการนำเข้าสู่ธาตุอาหารคือ ความเข้มข้นของแอมโมเนีย – ไนโตรเจน (TAN) ที่ต่างกันสี่ระดับ 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลการศึกษา สาหร่ายพมนาง และสาหร่ายพวงองุ่น จะมีการนำเข้าแอมโมเนีย – ไนโตรเจน สูงที่ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 376.58 ± 12.40 , 279.87 ± 24.42 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน ขณะที่สาหร่ายหนาม และสาหร่ายไส้ไกมีการนำเข้าแอมโมเนีย – ไนโตรเจน สูงที่ความเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 160.80 ± 17.87 , 296.14 ± 11.56 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน การศึกษาการนำเข้าแอมโมเนีย – ไนโตรเจน ที่ความเข้มข้นต่างกันสามระดับ 2,500, 5,000 และ 7,000 ลักซ์ สาหร่ายทั้งสี่ชนิดจะมีการนำเข้าแอมโมเนีย – ไนโตรเจน สูงสุดที่ความเข้มข้น

7,000 ลักซ์ มีค่าเท่ากับ 482.14 ± 25.84 , 396.26 ± 9.70 , 357.22 ± 5.81 และ 336.26 ± 0.05 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน

การศึกษาการนำเข้าแอมโมเนีย – ไนโตรเจน ที่ระดับน้ำหนักสาหร่ายต่างกันสี่ระดับ 250, 500, 2,000 และ 4,000 กรัมต่อตารางเมตร สาหร่ายทั้งสี่ชนิดมีการนำเข้าแอมโมเนีย – ไนโตรเจน สูงสุดที่ระดับน้ำหนัก 4,000 กรัมต่อตารางเมตร มีค่าเท่ากับ 624.96 ± 5.53 , 614.44 ± 29.03 , 566.71 ± 4.52 และ 483.54 ± 60.07 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน การนำเข้าไนเตรท – ไนโตรเจนที่ความเข้มข้นต่างกันสี่ระดับ 1.25, 2.50, 5.00 และ 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร สาหร่ายทั้งสี่ชนิดมีการนำเข้าไนเตรท – ไนโตรเจน สูงสุดที่ความเข้มข้น 2.50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 144.67 ± 50.41 , 124.64 ± 34.62 , 123.42 ± 37.48 และ 69.54 ± 27.81 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน

การนำเข้าไนเตรท – ไนโตรเจน ที่ความเข้มข้นต่างกันสามระดับ (2,500, 5,000 และ 7,000) สาหร่ายไส้ไก่ สาหร่ายพวงองุ่น และ สาหร่ายหนาม มีการนำเข้าไนเตรท – ไนโตรเจนสูงที่ความเข้มข้น 7,000 ลักซ์ มีค่าเท่ากับ 146.14 ± 4.94 , 142.92 ± 3.55 และ 111.07 ± 45.50 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน ขณะที่สาหร่ายพม nang มีการนำเข้าไนเตรท – ไนโตรเจน สูง ที่ความเข้มข้น 5,000 ลักซ์ มีค่าเท่ากับ 165.16 ± 37.14 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน การศึกษาการนำเข้าไนเตรท – ไนโตรเจน ที่ระดับน้ำหนักสาหร่ายต่างกันสี่ระดับ (250, 500, 2,000 และ 4,000 กรัมต่อตารางเมตร) สาหร่ายไส้ไก่ สาหร่ายพม nang และสาหร่ายพวงองุ่น มีการนำเข้าสูงที่น้ำหนักสาหร่าย 4,000 กรัมต่อตารางเมตร มีค่าเท่ากับ 157.81 ± 76.73 , 125.24 ± 33.87 และ 105.17 ± 0.58 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน ขณะที่สาหร่ายหนามจะมีการนำเข้าไนเตรท – ไนโตรเจน สูงที่น้ำหนัก 2,000 กรัมต่อตารางเมตร มีค่าเท่ากับ 89.52 ± 6.07 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน

การนำเข้าฟอสเฟต – ฟอสฟอรัส ที่ความเข้มข้นต่างกันสี่ระดับ 1.25, 2.50, 5.00 และ 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตรสาหร่ายทั้งสี่ชนิดมีการนำเข้าฟอสเฟต – ฟอสฟอรัส สูงสุดที่ความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 265.47 ± 23.6 , 257.32 ± 50.73 , 228.76 ± 14.06 และ 196.55 ± 50.61 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน การนำเข้าฟอสเฟต – ฟอสฟอรัส ที่ความเข้มข้นต่างกันสามระดับ (2,500, 5,000 และ 7,000) สาหร่ายทั้งสี่ชนิดมีการนำเข้าฟอสเฟต – ฟอสฟอรัส สูงสุดที่ความเข้มข้น 2,500 ลักซ์ มีค่าเท่ากับ 289.50 ± 10.92 , 249.08 ± 0.45 , 178.57 ± 52.34 และ 147.79 ± 9.89 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน การศึกษาการนำเข้าฟอสเฟต – ฟอสฟอรัส ที่ระดับ

น้ำหนักสาหร่ายต่างกันสี่ระดับ (250, 500, 2,000 และ 4,000 กรัมต่อตารางเมตร) สาหร่ายทั้งสี่ชนิดมีการนำเข้าฟอสเฟต – ฟอสฟอรัส สูงสุดที่น้ำหนักสาหร่าย 4,000 กรัมต่อตารางเมตร มีค่าเท่ากับ 157.70 ± 34.23 , 138.51 ± 34.10 , 94.79 ± 13.66 และ 90.55 ± 6.65 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งสาหร่ายต่อวัน

การศึกษาระบบกรองแบบที่ใช้สาหร่ายทะเลสองชนิด คือ สาหร่ายพวงอุ้น และสาหร่ายพรรณางเพื่อใช้ธาตุอาหาร (ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส) ของระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบปิด ศึกษาอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายของปลากะพงขาว พบว่า ปลากะพงขาวของชุดควบคุม และ ชุดที่ใช้สาหร่ายพวงอุ้นจะตายตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5 – 9 ขณะที่ชุดที่ใช้สาหร่ายพรรณางปลากะพงขาวจะมีอัตราการเจริญเติบโตช่วงสองสัปดาห์แต่จะตายในสัปดาห์ที่ 6 และจะเจริญเติบโตอีกตั้งแต่สัปดาห์ที่ 7 – 9 การศึกษาคุณภาพน้ำ พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1-4 ไนโตรที่มีค่าสูงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 – 6 ไนเตรที่มีค่าสูงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 6 – 9 แต่ฟอสเฟตมีการสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ความเค็มมีค่า 32 – 36 ส่วนในพันส่วน ความเป็นกรด – ด่าง มีค่า 8.2 – 8.8 ปริมาณออกซิเจนมีค่า 6.3 – 7.7 อุณหภูมิมีค่า 29 – 30 องศาเซลเซียส

ธนัญช์ และคณะ (2543) ได้ทำการศึกษาการดูดซับแอมโมเนีย – ไนโตรเจนของสาหร่ายทะเล *Caulerpa lentillifera*, *Gracilaria fisheri* และหญ้าทะเล *Ruppia maritima* ซึ่งเป็นพืชน้ำที่ปลูกในบ่อบำบัดของสถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรีพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซับแอมโมเนียไนโตรเจน ($\mu\text{g.g dry Wt}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) ต่อความเข้มข้นแอมโมเนีย – ไนโตรเจนในน้ำ (mg.l^{-1}) ดังนี้

$$V = 0.65 + 8.73S \quad r^2 = 0.93, \quad V = -1.48 + 49.08S \quad r^2 = 0.99 \quad \text{และ} \quad V = -1.36 + 16.04S \quad r^2 = 0.92 \quad \text{ตามลำดับ}$$

จากการวิเคราะห์ค่า diffusion coefficient หรือค่า slope ของสมการพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$)

ก่อเกียรติ (2544) ทำการทดลองระบบกรองน้ำหมุนเวียนเทคโนโลยีจากประเทศเดนมาร์ก ถูกติดตั้งในบ่อดินเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ขนาด 2 ไร่ จำนวน 2 บ่อ เพื่อศึกษาผลของการใช้ระบบต่อการเลี้ยง คุณภาพน้ำ ปริมาณธาตุอาหารในน้ำทิ้ง และข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ของการเลี้ยงกุ้ง เปรียบเทียบกับบ่อเลี้ยงกุ้งที่ไม่ใช้ระบบกรองน้ำหมุนเวียน ผลการศึกษา (ทดสอบ) การเลี้ยงกุ้ง

จำนวน 3 รุ่น ปรากฏว่าระบบกรองน้ำหมุนเวียนสามารถปรับปรุงด้านการเลี้ยง ได้แก่ ผลผลิต อัตรารอด น้ำหนักกุ้งเฉลี่ย และอัตราการเจริญเติบโตต่อวันสูงขึ้นจากบ่อที่ไม่ใช้ระบบกรองน้ำเป็น 12.8, 12.55, 15.28, และ 10.66% ตามลำดับ สามารถรักษาคุณสมบัติน้ำในบ่อเลี้ยง ได้แก่ ความเป็นกรด ค่าความเค็ม ความเป็นด่าง และออกซิเจนในน้ำได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อีกทั้งลดแอมโมเนียรวม ไนโตรเจน และไนเตรทลง 67.53, 25.77 และ 51.00% ตามลำดับ ระบบกรองน้ำหมุนเวียนสามารถลดธาตุอาหารในน้ำทิ้ง ได้แก่ สารละลายอนินทรีย์ ไนโตรเจน, แอมโมเนีย, ไนเตรท, ออร์โธฟอสเฟต และบีโอดี เป็น 4.46, 4.81, 11.07, 70.21 และ 61.97% ตามลำดับ ผลการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าระบบการกรองน้ำหมุนเวียนมีต้นทุนผันแปรรวม ต้นทุนผันแปร (เฉพาะไฟฟ้า) ต้นทุนคงที่ และต้นทุนรวมสูงเพิ่มขึ้นจากบ่อที่ไม่ใช้ระบบการกรองน้ำถึง 15.12, 141.72, 308.32 และ 30.58% จากการทดลองยังพบว่าประสิทธิภาพของระบบกรองน้ำหมุนเวียนไม่คงที่เนื่องจากถูกวางอยู่ในสภาวะแวดล้อมกลางแจ้งซึ่งควรจะแก้ไขและพัฒนาต่อไป

ก่อเกียรติ และกอบศักดิ์ (2544) ศึกษาการบำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาด้วยระบบกรองชีวภาพที่ประกอบด้วยตัวกรองย่อย 3 ส่วน ได้แก่ กรองกายภาพ กรองชีวภาพแบบแช่จมใต้น้ำ และกรองชีวภาพโปรยกรอง ซึ่งติดตั้งในบ่อดินขนาด 2 ไร่ จำนวน 2 บ่อ เปรียบเทียบกับบ่อขนาด 2 ไร่ ที่ไม่ใช้ระบบกรองชีวภาพจำนวน 2 บ่อ ผลการเลี้ยงกุ้ง 3 รุ่นปรากฏว่าผลผลิตเฉลี่ยได้ 2,456 และ 2,177 กก./บ่อ อัตราการรอด 65 และ 58% น้ำหนักกุ้ง 19.8 และ 17.2 กรัม/ตัว ของบ่อใช้ระบบกรองชีวภาพและบ่อไม่ใช้ระบบกรองชีวภาพตามลำดับ

ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าบ่อที่ใช้ระบบกรองชีวภาพสามารถลดปริมาณน้ำทิ้ง สารละลายอนินทรีย์, ไนโตรเจน, แอมโมเนีย, ไนโตรเจน, ไนเตรท, ไนโตรเจน, ออร์โธฟอสเฟต และบีโอดี ได้ 6.0, 4.5, 4.9, 11.0, 70.4 และ 62.1% ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากบ่อที่ไม่ใช้ระบบกรองชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ยกเว้นแต่ค่าบีโอดีที่มีค่าแตกต่างจากบ่อที่ไม่ใช้ระบบกรองชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าระบบกรองชีวภาพมีผลต่อการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปการลดปริมาณบีโอดีในน้ำทิ้งขณะที่อิทธิพลที่เลี้ยงกุ้ง (การจัดการและฤดูกาลที่ไม่เหมือนกันในแต่ละรุ่น) จะมีผลต่อตัวแปรการเลี้ยงกุ้ง ได้แก่ ผลผลิต อัตรารอด และปริมาณอาหารรวม และมวลสารในน้ำทิ้ง ผลการศึกษานี้สามารถนำไปสู่การคัดเลือกระบบบำบัดและวิธีการจัดการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ระบบกรองชีวภาพในการลดมวลสารในน้ำจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ

อรัญญา และคณะ(2550) ได้ทำการศึกษาผลของระบบบำบัดน้ำหมุนเวียนชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของปลาตะกรับ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ชุดละ 3 ถังๆ ละ 2 ตัน ชุดที่ 1 ชุดควบคุมมีการเลี้ยงปลาตะกรับแบบถ่ายน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ทุกวัน และชุดที่ 2 ชุดบำบัดหมุนเวียนเลี้ยงปลาตะกรับแบบปิด น้ำที่ใช้ในการเลี้ยงมาบำบัดกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งในชุดบำบัดประกอบด้วย ถังกรองตะกอนขนาด 700 ลิตร ถังบรรจุ Bioball ขนาด 700 ลิตร ถังบรรจุกรวดหิน ขนาด 1000 ลิตรและถังพักน้ำขนาด 700 ลิตร แต่ละชุดการทดลองจะปล่อยปลาตะกรับ 62.5 ตัว/ตัน ขนาดน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 17.87 ± 5.43 กรัม/ตัว ความยาวเฉลี่ย 8.09 ± 0.76 เซนติเมตร หลังจากการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 160 วัน พบว่า ปลาตะกรับที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียน มีน้ำหนักเฉลี่ย 82.90 ± 15.31 กรัม ความยาวเฉลี่ย 12.95 ± 0.64 เซนติเมตร/ตัว อัตราการเจริญเติบโต 0.41 กรัม/วัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ เท่ากับ 1.90 และผลผลิต 4.1 กิโลกรัม/ตัน อัตราการรอดตาย 79.4% ส่วนการเลี้ยงปลาตะกรับในชุดควบคุม ด้วยอัตราความหนาแน่นเดียวกัน ปรากฏว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองปลาตะกรับมีน้ำหนักเฉลี่ย 77.70 ± 16.08 กรัม/ตัวความยาวเฉลี่ย 12.84 ± 0.80 เซนติเมตร/ตัว อัตราการเจริญเติบโต 0.37 กรัม/วัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ เท่ากับ 1.95 และผลผลิต 3.75 กิโลกรัม/ตัน อัตราการรอดตาย 77.2% ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์และไนเตรท เท่ากับ 25.15% , 11.68% และ 4.93% ตามลำดับ และเมื่อทดสอบทั้ง 2 ชุดการทดลองทางด้านการเจริญเติบโต และผลผลิตพบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนคุณภาพน้ำในถังเลี้ยงทั้ง 2 ชุดการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p > 0.01$)

การบำบัดคุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อาหารที่สัตว์น้ำกินในที่สุดจะถูกขับถ่ายออกมาในรูปของแข็งและของเหลว รวมทั้งเศษอาหารที่เหลือตกค้าง ส่วนที่เป็นเศษอาหารจะถูกตกตะกอนและกรองออกจากระบบ แต่ส่วนของเสียที่เหลือในรูปของเหลวจะถูกไหลผ่านไปยังระบบบำบัดทางชีวภาพ โดยอาศัยการทำงานของแบคทีเรีย และสาหร่าย พัฒนาและคณะ (2545) ศึกษาการกำจัดอนินทรีย์ไนโตรเจนในการใช้แบคทีเรียสายพันธุ์ *Nitrosomonas* sp. P-1 และ *Nitrobacter* sp. P-1 เติบโตในระบบการอนุบาลปลากะพงขาวพบว่า มีอัตราการรอดสูงกว่าชุดที่ไม่เติมแบคทีเรีย ซึ่งมีผลจากคุณภาพน้ำที่ดีกว่า โดยในชุดที่ไม่เติมแบคทีเรียปริมาณไนไตรท์อยู่ในเกณฑ์เกินมาตรฐาน (มากกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ในการเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียนที่มีระบบบำบัดน้ำทางชีวภาพที่ใช้ไบโอฟิลเตอร์เพื่อเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรียในการกำจัดของเสียจากการเลี้ยงปลา ได้แก่ การเปลี่ยนรูปสารละลายแอมโมเนีย

ให้เป็นไนไตรท์ และเปลี่ยนรูปไนไตรท์ให้เป็นไนเตรทที่ไม่มีพิษต่อสัตว์น้ำ ไบโอฟิลเตอร์สามารถเสื่อมสภาพได้ถ้าแบคทีเรียที่เกาะอยู่ตามผิวตายลง อาจเนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในการรักษาโรคปลา

9. ความเป็นพิษของสารประกอบแอมโมเนียต่อปลา

ความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อปลา จะมีทั้งพิษในระดับที่ไม่ทำให้ปลาตาย (Sublethal toxicity) แต่จะมีผลต่อการเจริญเติบโต Alabaster and Lloyed (1980) รายงานว่า ปลา Rainbow trout ที่ทดลองเลี้ยงในน้ำที่มีความเข้มข้นของอันอออนไนซ์แอมโมเนีย-ไนโตรเจนระหว่าง 0.05-0.13 ppm จะมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงในช่วงเวลาแรกของการเลี้ยง เมื่อเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ อัตราการเจริญเติบโตจะดีขึ้น แต่ที่ระดับความเข้มข้นของอันอออนไนซ์แอมโมเนีย-ไนโตรเจนมากกว่า 0.13 ppm อัตราการเจริญเติบโตจะยังคงลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปลาสามารถปรับตัวให้ทนต่อพิษของอันอออนไนซ์แอมโมเนีย-ไนโตรเจนได้ในช่วงความเข้มข้นระดับหนึ่งเท่านั้น ส่วนพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity) ของแอมโมเนียที่มีต่อปลา นำมาศึกษากันมาก และมีการรายงานในรูปแบบของความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ทำให้ปลาทดลองตายในระยะเวลาที่กำหนด

แอมโมเนียในน้ำมี 2 รูปแบบ คือ ออออนไนซ์แอมโมเนีย (Ionized ammonia, NH_4^+) และอันอออนไนซ์แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Un-ionized ammonia nitrogen, $\text{NH}_3\text{-N}$) ปริมาณเล็กน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำ (Total ammonia nitrogen, TAN) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อสถานะสมดุลอีกหลายประการ ปัจจัยสำคัญได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ และค่า Ionic strength โดยปริมาณอันอออนไนซ์แอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะแปรผันเพิ่มขึ้นตามค่า pH และอุณหภูมิ แต่จะแปรผกผันกับค่า Ionic strength (Trussel, 1972; Emerson *et al.*, 1975; Bower and Bidwell, 1978)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สัตว์ทดลอง

ปลาการ์ตูนที่ใช้ในการทดลองเป็นปลาการ์ตูนที่ได้จากการเพาะเลี้ยงจากศูนย์วิจัยชายฝั่ง จังหวัดสมุทรสาครมีอายุประมาณ 1.5-2 เดือนและมีขนาด ประมาณ 1.7 ± 0.15 เซนติเมตร โดยจะใช้ ปลาการ์ตูนที่เกิดในเวลาไล่เลี่ยกันและมีสุขภาพแข็งแรงสมบูรณ์ไม่มีอาการป่วยผิดปกติใด ๆ ไม่มีรอยขีดข่วนของครีบต่างๆ โดยนำมาเป็นจำนวนชุดการทดลองละ 100 ตัวนำมาพักในบ่อขนาด 500 ลิตรเป็นเวลา 1 สัปดาห์เพื่อทำการคัดสัตว์ทดลองที่แข็งแรงที่สุดแล้วนำไปใส่ในตู้ทดลองที่เตรียมน้ำไว้แล้วโดยใส่เกลือคู่ละ 20 ตัวคัดขนาด เกลือใกล้เคียงกันที่สุดในทุกตู้ทดลอง

2. ตู้ปลา

ใช้ตู้ปลาขนาด $95 \times 47 \times 47$ เซนติเมตรในการทดลองวัดระดับของน้ำในปริมาตรต่างๆ แล้วทำเส้นบอกระดับน้ำของตู้เพื่อใช้ในการวัดระดับน้ำที่ลดลงในช่วงที่ทำการทดลอง

3. เครื่องกรอง

3.1 เครื่องกรองระบบ trickling filter

เครื่องกรองระบบนี้เป็นถังแบบปิดสนิทเพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศและกันไม่ให้ น้ำ ไหลออกจากระบบกรอง ตัวถังกักเก็บเป็นถังทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร มีทางเข้าน้ำขนาดเส้นรอบวง 6.5 เซนติเมตร อยู่ทางด้านล่างเพื่อให้ น้ำ ไหลขึ้นผ่าน ชั้นของไส้กรองไปออกทางด้านบนโดยมีทางออกขนาดเส้นรอบวง 2.5 เซนติเมตร ไส้กรองแบ่ง ออกเป็น 3 ชั้น

3.1.1 ใยสังเคราะห์เพื่อเป็นที่เกาะของจุลินทรีย์

3.1.2 แอคติเวตเตดคาร์บอนเป็นที่สุดซัของเสียบางชนิดและช่วยในการกรองน้ำ ก่อนที่จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตพอ

3.1.3 ไยแก้วกรองละเอียด เพื่อกันผงแอคติเวตเตดคาร์บอนปะปนออกไปกับน้ำและ กรองในส่วนของเซลล์จุลินทรีย์ที่ตายแล้ว

3.2 เครื่องกรองระบบ Skimmer

เป็นท่ออะคริลิกใส มีทางเข้าของน้ำทางเดียวโดยจะมีการเติมอากาศเข้าในส่วนท้ายของ ท่อทางเข้าก่อนที่น้ำจะไหลเข้าสู่ตัวถัง โดยตัวถังเป็นทรงกระบอกรูปทรงสูงมีเส้นรอบวงขนาด 25.5 เซนติเมตรสูง 67 เซนติเมตรระดับน้ำสูงสุดในถัง จะอยู่ที่ 40 เซนติเมตรด้านปลายสุดจะมีถังเก็บของ เสียที่เกิดจากฟองที่มีหน้าที่ดูดซับของเสียให้ไหลไปกับฟองก่อนที่จะนำไปเก็บในถ้วยด้านบนสุด ส่วนน้ำดีจะไหลลงไปตามท่อที่อยู่ภายในถังและจะมีทางแยกไปออกด้านข้างของถังโดยมีความสูง ในระดับใกล้เคียงกับระดับน้ำในถังโดยจะมีวาล์วเปิดปิดอยู่ที่ท่อปล่อยน้ำกลับสู่ตู้เพื่อควบคุมระดับ น้ำที่ไหลออกและผ่าน ไปสู่ไยแก้วกรองก่อนจะกลับไปสู่ตู้ทดลอง

3.3 เครื่องกรองระบบสาหร่าย

เป็นถังทรง4เหลี่ยมเปิดด้านบน มีขนาด 13 x 30 x 10.5 เซนติเมตรด้านข้างทึบ มีการใส่ หลอดไฟขนาด 24 วัตต์เพื่อควบคุมปริมาณแสง และแบ่งช่องภายในออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นที่ เก็บสาหร่ายในการทดลองนี้ใช้สาหร่ายพวงองุ่นที่ได้จากการเพาะเลี้ยงบนเครื่องเพาะ(ไยแก้วกรอง) จำนวน 1 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ก่อนที่จะไหลออกทางด้านล่างไปที่ห้องรวบรวมน้ำ เพื่อให้ระดับ ของน้ำมีท่วมส่วนของสาหร่ายแล้วจึงปล่อยไหลกลับสู่ตู้

4. อาหารสัตว์ทดลอง

อาหารที่ใช้ในการเลี้ยงเป็นอาหารสำเร็จรูป แบบเม็ดเล็ก เพื่อให้ง่ายต่อการเก็บและการใช้ อีกทั้งสามารถควบคุมคุณค่าทางอาหารและปริมาณ โดยในการทดลองจะทำการวัดน้ำหนักของปลา เพื่อหาน้ำหนักเฉลี่ยของปลาก่อนที่จะทำการตรวจอาหารประมาณ 10% ของน้ำหนักปลาต่อวัน

5. น้ำทะเล

เตรียมน้ำทะเลจาก น้ำประปา และเกลือวิทยาศาสตร์โดย ใช้ถังไฟเบอร์ขนาด 500 ลิตร 2 บ่อ
เตรียมน้ำ ทะเลที่ความเค็ม 30 ppt โดยทำการกรองน้ำประปาที่ พักไว้เป็นเวลา 1 วันพร้อมกับให้
อากาศ เพื่อกวนน้ำให้เข้ากันทั่วทั้งหมด แล้วเติมเกลือวิทยาศาสตร์ลงไป ตามสัดส่วนที่กำหนดเมื่อ
เกลือละลายหมดแล้วจึงทำการวัดความเค็มของน้ำทะเลที่ได้ทำการเปิดไฟแล้วพักน้ำพร้อมทั้งให้
อากาศไปตลอดการพักเป็นเวลา 7 วันเพื่อให้ น้ำมีความอยู่ตัวแล้วเกิดการเจริญของแบคทีเรียตาม
ธรรมชาติก่อนที่จะนำไปเลี้ยงปลา

6. เครื่องมือที่ใช้ในงานทดลอง

- 6.1 เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด
- 6.2 เทอร์โมมิเตอร์
- 6.3 ฮีทเตอร์
- 6.4 เครื่องวัดความเค็ม
- 6.5 spectrophotometer
- 6.6 สายวัด
- 6.7 สวิง
- 6.8 หลอดไฟ ขนาด 24วัตต์
- 6.9 เครื่องเติมอากาศ
- 6.10 เครื่องวัด pH
- 6.11 เครื่องวัด TDS
- 6.12 สายลมขนาด 4 มม.
- 6.13 หัวทรายหยาบ
- 6.14 หลอดทดลอง
- 6.15 ปีกเกอร์ 250 ml.
- 6.14 ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml.
- 6.15 ขวดเก็บตัวอย่างน้ำขนาด 200 ml.

วิธีการ

1. การศึกษาโดยใช้น้ำที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรท ไนเตรทลงที่

1.1 นำน้ำทะเลที่เตรียมไว้ มาเพิ่มปริมาณของของเสียด้วยการบ่มอาหาร-เศษของเสียที่ได้จากการเลี้ยง เพื่อให้ปริมาณของ แอมโมเนีย ไนโตรท และไนเตรท เพิ่มขึ้น

1.2 นำน้ำที่ บ่มเป็นเวลา 1 สัปดาห์มา วัดค่าของ แอมโมเนีย ไนโตรท ไนเตรท แล้วเจือจางด้วยน้ำทะเลสะอาดให้ได้ ค่าตามที่ต้องการ เพื่อให้ ผลที่ได้เท่ากันทุกชุดการทดลอง

1.3 คิดตั้งระบบกรองทั้ง 3 แบบเข้ากับชุดการทดลอง วัดค่าเริ่มต้น แล้วเริ่มทำการเดินเครื่องระบบกรอง แล้วเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของแอมโมเนีย ไนโตรท ไนเตรท ทุกๆ 1 ชั่วโมง

2. การศึกษาในสภาพการเลี้ยงจริงในตู้แสดงพันธุ์สัตว์น้ำ

2.1 นำตู้ที่จะใช้ทดลอง ทำการล้างทำความสะอาด แล้วฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน ก่อนที่จะล้างน้ำแล้วผึ่งให้แห้ง เพื่อฆ่าเชื้อโรค แพลงตอน และ กำจัดคลอรีนที่ตกค้าง

2.2 ใส่น้ำเค็มที่เตรียมไว้ลงในตู้ทดลอง วัดระดับน้ำ และค่าคุณภาพน้ำเริ่มต้น ก่อนที่จะติดตั้งระบบกรอง โดย แบ่งเป็น 4 ตู้

ตู้ที่1. ตู้คอนโทรล ไม่มีการใส่ระบบกรองใดๆ แต่มีการให้ออกซิเจนด้วยหัวทราย

ตู้ที่2. ตู้กรองระบบ trickling filter มีการใส่เครื่องกรองแบบ trickling filter และให้ออกซิเจนด้วยหัวทราย

ตู้ที่3. ตู้กรองระบบ skimmer มีการใส่เครื่องกรอง protein skimmer!และมีการให้ออกซิเจนด้วยหัวทราย

ตู้ที่4. ตู้กรองระบบสาหร่าย มีการใส่เครื่องกรองแบบใช้สาหร่ายพวงองุ่นช่วยในการดูดซับของเสีย และมีการให้ออกซิเจนด้วยหัวทราย

2.3 ใส่วัตถุทดลองลงในตู้ แล้วเริ่มเปิดระบบกรอง ไปพร้อมๆกัน โดยจะมีการให้อาหารทุกๆ 12 ชม.โดยมีการเตรียมอาหาร ตามน้ำหนักเริ่มต้นของปลา เฉลี่ย 10% ต่อวัน.และจะทำการวัดคุณภาพน้ำในทุกๆ 24 ชม. โดยจะทำการวัดในตอนเช้า ก่อนที่จะทำการให้อาหารกับสัตว์ทดลอง

2.4 ทำการทดลองเป็นเวลา 30 วัน โดยทำการวัดคุณภาพน้ำ ระดับน้ำ ตลอดการทดลองเป็นจำนวน 5 ชั่วโมง

3. การเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ

เก็บข้อมูลคุณภาพน้ำในตู้เลี้ยงทุกวัน โดยวัด pH ด้วยเครื่องวัด WTW MultilineP4 ปริมาณของแข็งละลายรวมวัดด้วยเครื่องวัดของแข็งละลายรวม TDSmeter-3 ความเค็มวัดด้วย ATAGO Hand Refractometer ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในตู้ปลาด้วยขวดเก็บตัวอย่างน้ำขนาด 200 มิลลิลิตรแล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียรวมด้วยวิธี Phenol hypochloride (Strickland and parsons,1972) วิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยวิธี Diazotization (Strickland and parsons,1972) วิเคราะห์ไนเตรตด้วยวิธี Cadmium reduction method (Strickland and parsons,1972)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

เก็บตัวอย่างน้ำจากตู้ทดลองทุกตู้เป็นเวลาทุกๆ 1 ชั่วโมง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดปริมาณแอมโมเนีย ในไตรท์ ไนเตรท และนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพในการกำจัดของเสีย

$$\text{ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนต่อชั่วโมง(เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(t1-t2) \times 100}{t1}$$

$t1$ = ความเข้มข้นของสาร ณ เวลา t

$t2$ = ความเข้มข้นของสาร ณ เวลา $t1+1$ ชั่วโมง

ถ้าหากค่าที่คำนวณได้มีค่าเป็นบวก แสดงว่า ชุดระบบบำบัดสามารถกำจัดหรือลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนได้ หรือถ้าหากค่าที่คำนวณได้มีค่าเป็นลบ แสดงว่า ชุดระบบบำบัดไม่สามารถกำจัดหรือลดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนได้

5. การเก็บข้อมูลการเลี้ยง

คำนวณหาจำนวนน้ำหนักเพิ่ม อัตราการกินอาหาร อัตราการแลกเนื้ออัตราการรอดตาย ผลผลิต อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate) ตามวิธีของ วิมล (2536) โดยใช้สูตรดังนี้

น้ำหนักเพิ่ม (%) = $100 \times (\text{น.น. ปลาสุดท้าย} - \text{น.น. ปลาเริ่มต้น}) / \text{น.น. ปลาเริ่มต้น}$

อัตราการแลกเนื้อ = $\text{น.น. อาหารที่ปลากิน} / \text{น.น. ปลาที่เพิ่มขึ้น}$

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ = $\frac{100 (\ln \text{ของน้ำหนักสุดท้าย} - \ln \text{ของน้ำหนักเริ่มต้น})}{\text{จำนวนวัน}}$

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลต่าง ๆ มาหาค่าเฉลี่ย ข้อมูลการเจริญเติบโต อัตรารอด และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนีย ในไตรท์ ไนเตรท มาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยต่างๆด้วยการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

7. สถานที่ทำการทดลอง

ใช้สถานที่ของ สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล ในบริเวณของ กรมประมง เกษตรกลาง บางเขน กรุงเทพฯ 10900

8. ระยะเวลาการทดลอง

ใช้ระยะเวลาเริ่มศึกษาตั้งแต่เดือน เมษายน 2549 ถึง พฤศจิกายน 2550

ผลและวิจารณ์

ผล

1. การทดลองโดยใช้ตัวอย่างน้ำตัวอย่างที่มีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนโตรท และไนเตรท คงที่

ผลการศึกษาตัวอย่างน้ำที่ได้พบว่าความสามารถในการกำจัดของเสียของแต่ละระบบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละระบบ โดย สามารถคำนวณค่าความสามารถในการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนต่อชั่วโมงแล้วแสดงใน ตารางที่ 5

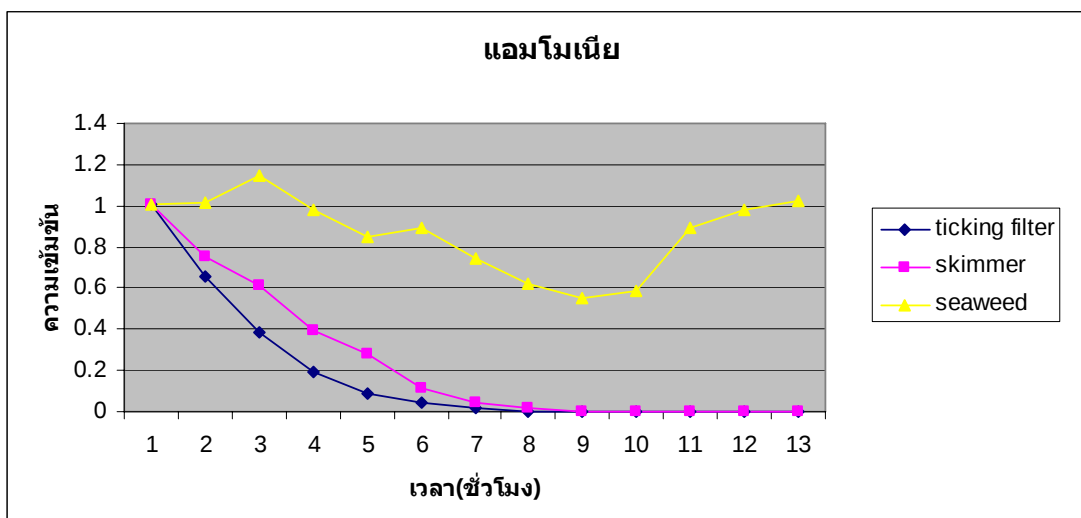
ตารางที่ 5 ตารางแสดงความสามารถในการกำจัดแอมโมเนีย ไนโตรท ไนเตรท ออกจากระบบของเครื่องกรองแบบต่างๆ

อัตราการกำจัดต่อชั่วโมง(%)	ระบบน้ำหมุนเวียน		
	ระบบ trickling filter	ระบบskimmer	ระบบseaweed
แอมโมเนีย	51.46±7.11 ^a	34.03±14.28 ^a	14.48±24.4 ^b
ไนโตรท	58.83±13.93 ^a	36.20±26.60 ^b	52.85±16.72 ^a
ไนเตรท	61.45±6.16 ^a	17.01±24.01 ^b	24.82±24.90 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (P>0.05)

จากรูปที่ 2 จะแสดงให้เห็นว่าการใช้ระบบ trickling filter จะสามารถกำจัดแอมโมเนียในระบบออกไปทั้งหมดได้ภายในเวลา 7 ชั่วโมงส่วนไนโตรทและไนเตรทถูกกำจัดหมดในเวลา 4 ชั่วโมงนับตั้งแต่ระบบกรองเริ่มทำงานโดยของเสียที่ได้จะถูกเก็บและกำจัดอยู่ภายในเครื่องด้วยจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตภายในเครื่องและถูกดูดซับทั้งหมดด้วยแอกติเวเตดคาร์บอนภายใน ส่วนในระบบskimmer สามารถกำจัด ทั้ง แอมโมเนีย ไนโตรท ไนเตรท ทั้งหมดได้ในเวลาใกล้เคียงกันคือ 8 ชั่วโมงและเหลือส่วนของของเสียที่มีความเข้มข้นสูงประมาณ 50 ml. แต่ในระบบที่ใช้สาหร่ายในการบำบัดจะพบว่าในช่วงเวลาที่กำหนดระบบไม่สามารถทำการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นได้โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 12 ชั่วโมงมีแอมโมเนีย ไนโตรท ไนเตรทหลงเหลือในระบบ 1.022, 0.24 , 1.78

mg/l ตามลำดับ เมื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกันระหว่างระบบ จะสามารถดูแนวโน้มการลดลงได้จากกราฟ

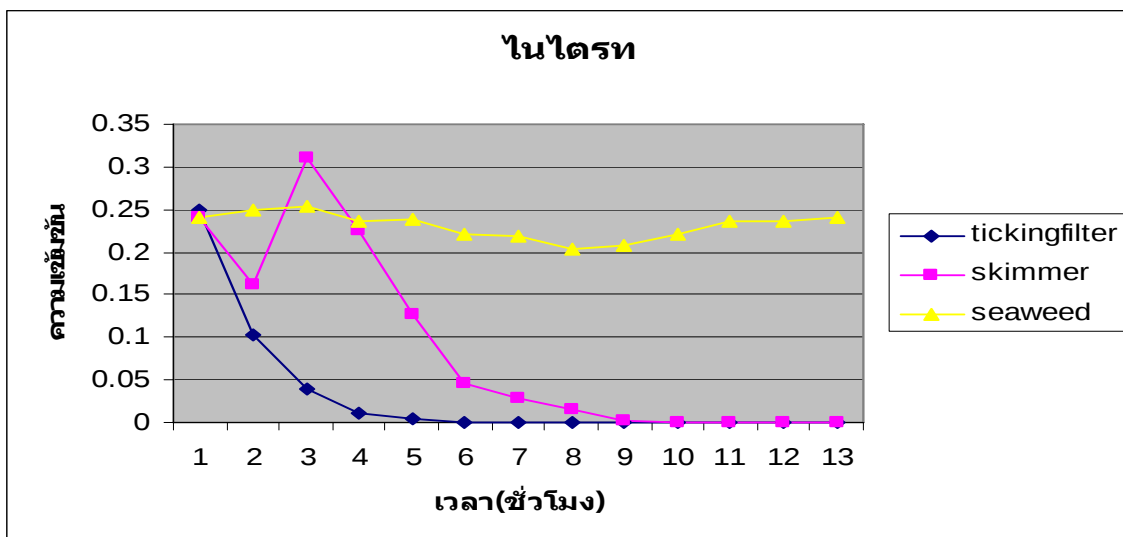


ภาพที่ 2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอมโมเนียเปรียบเทียบ เครื่องกรอง 3 ระบบ

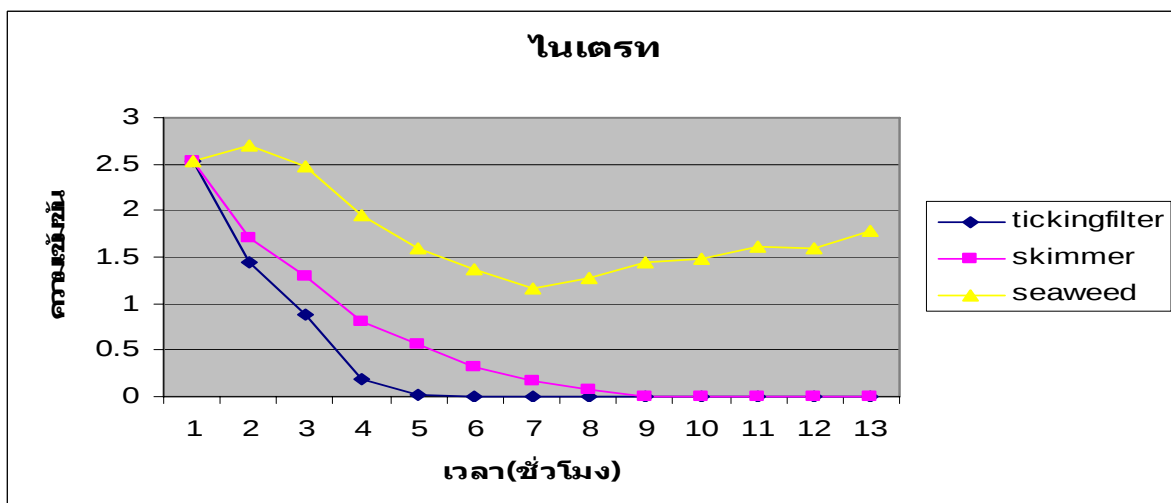
ภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการกำจัดสารแอมโมเนียของในแต่ละระบบจะมีความแตกต่างกัน โดย ในระบบ trickling filter และ skimmer จะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ระบบสาหร่ายแทบจะไม่สามารถกำจัดแอมโมเนียออกจากระบบได้เลย เมื่อพิจารณาจากกราฟจะเห็นว่าระบบ trickling filter จะมีแนวโน้มที่ลดลงเร็วมากในช่วง 4 ชั่วโมงแรกก่อนที่ความสามารถในการกำจัดจะลดลงแปรผันตามปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียที่เหลือ ซึ่งเมื่อเทียบกับระบบ skimmer จะพบว่าความสามารถในการกำจัดจะเกือบเป็นเส้นตรงแต่ แนวโน้มความสามารถในการกำจัดจะลดลงในช่วงก่อนที่แอมโมเนียจะหมดแต่ในระบบ สาหร่ายจะพบว่ากราฟค่าที่ได้จะมีความเปลี่ยนแปลงเกือบตลอดในช่วงที่ทำการทดลอง โดยในช่วงแรกของการทดลองแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นก่อนแล้วหลังจากชม.ที่ 3 เริ่มมีการลดลงก่อนจะหยุดที่ ชั่วโมงที่ 9 และเริ่มมีการสะสมกลับมาอยู่ที่ 1.022 mg/l ในชั่วโมงที่ 12 ของการทดลอง

จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นถึงค่าของไนโตรเจนที่ถูกกำจัดไยระบบกรองแบบต่างๆ โดยปริมาณของไนโตรเจนที่ลดลงจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการกำจัดของเสียของแต่ละระบบ โดยระบบ trickling filter จะมีค่าคงที่ในการกำจัดของเสียแบบแปรผันตามปริมาณของของเสียที่เหลืออยู่ในระบบและไนโตรเจนทั้งหมดจะถูกกำจัดไป ภายในเวลา 5 ชั่วโมงซึ่งเร็วที่สุดและรองลงมาก็คือระบบ skimmer ซึ่งในการทดลองมีการเพิ่มของไนโตรเจนในชั่วโมงที่ 3 ของการทดลอง แต่ความเข้มข้นจะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วและหมดไป ภายในเวลา 9 ชั่วโมงส่วนระบบใช้สาหร่าย

ภายในช่วงเวลาของการทดลอง พบว่าค่าของไนโตรทจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากตลอดช่วงระยะเวลาที่ทดลอง



ภาพที่ 3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรทเปรียบเทียบเครื่องกรอง 3 ระบบ



ภาพที่ 4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของไนเตรทเปรียบเทียบเครื่องกรอง 3 ระบบ

ค่าไนเตรทที่วัดได้แสดงแนวโน้มลดลงในรูปที่ 4 จากการสังเกตพบว่าระบบ trickling filter สามารถกำจัดไนเตรทในระบบได้ในเวลา 5 ชั่วโมงโดยสามารถกำจัดได้อย่างรวดเร็วใน 3 ชั่วโมงแรกจะลดลงในชั่วโมงที่ 4-5 ก่อนที่ไนเตรทจะหมดไปจากระบบ ส่วนในระบบ skimmer ระบบจะกำจัดไนเตรทได้หมดใน 9 ชั่วโมงโดยแนวโน้มความสามารถในการกำจัดจะแปรผันตามความ

เข้มข้นของไนเตรท ส่วนในระบบสาหร่ายจะพบว่ากำจัดไนเตรทออกจากระบบได้เล็กน้อยในช่วงระยะเวลา ชั่วโมงที่ 2-7 และมีแนวโน้มที่จะมีการสะสมไนเตรทเพิ่มขึ้นไป จนหมดระยะเวลาการทดลอง

2. การศึกษาในสภาพการเลี้ยงจริงในตู้ปิดที่มีการควบคุมสิ่งแวดล้อม

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการศึกษาคุณภาพน้ำ และอัตราการอด อัตราการเจริญเติบโตของสัตว์ทดลองในตู้ทดลองต่างกันซึ่งจะมีการติดตั้งระบบกรองไว้เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท

2.1 การศึกษาคุณภาพน้ำ

การศึกษาคูณภาพน้ำของน้ำในตู้ทดลองจะแบ่งเป็นตู้ที่ใช้ชุดควบคุมและชุดที่มีการใช้ระบบกรองน้ำมีการปล่อยปลาลงไปอัตราส่วนความหนาแน่น 1 ตัวต่อพื้นที่น้ำ 7.5 ลิตร ในน้ำทะเลสะอาดและมีการให้อาหารทุกๆ 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 6 แสดงคุณภาพน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลองในตู้เลี้ยงสัตว์น้ำชุดบำบัดน้ำหมุนเวียนและชุดควบคุม

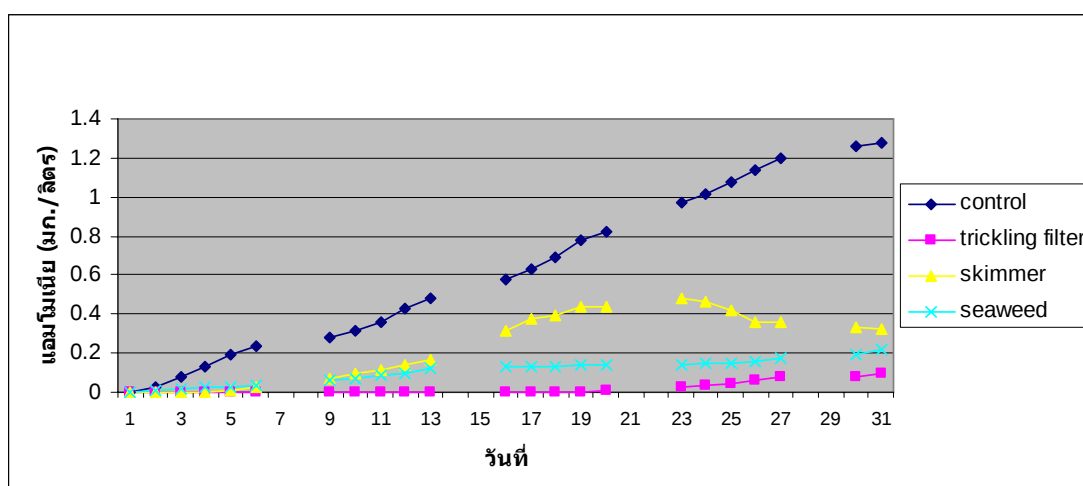
ค่าเฉลี่ย	ระบบน้ำหมุนเวียน			คอนโทรล
	ระบบ trickling		ระบบ seaweed	
	filter	ระบบskimmer		
แอมโมเนีย(มก./ล.)	0.10±0.07 ^a	0.32±0.03 ^b	0.22±0.13 ^b	1.20±0.20 ^c
ไนไตรท์(มก./ล.)	0.03±0.02 ^a	0.02±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.28±0.05 ^b
ไนเตรท(มก./ล.)	0.04±0.05 ^a	0.16±0.01 ^b	0.13±0.04 ^b	3.52±0.85 ^c
ของแข็งละลายรวม(มก./ล.)	1275±26.46 ^a	1298.6±18.54 ^a	1277±14.65 ^a	1232.00±47.64 ^b
pH	8.20±0.12 ^a	8.12±0.04 ^a	8.24±0.09 ^a	8.06±0.09 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

ได้ทำการวัดค่าคุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปของ แอมโมเนีย ในไตรท์ในตรททุกๆวัน และทำการสรุปการสะสมของแอมโมเนีย ในไตรท์ ในตรทของระบบในวันที่ 30 จะได้ค่าดังตารางที่ 6

2.1.1 แอมโมเนีย

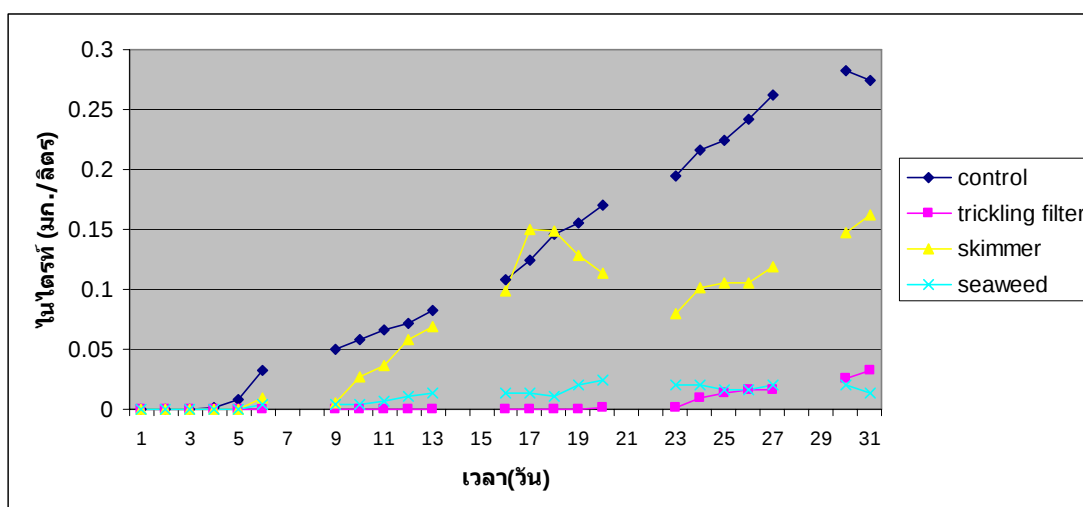
จากการศึกษาการสะสมของแอมโมเนียของระบบในการเลี้ยงจริงวัดได้จาก ตู้คอนโทรลซึ่งไม่มีการใช้ระบบบำบัดโดย อาหารที่ตกค้างและของเสียที่สัตว์ทดลองขับถ่ายออกมาทั้งหมดจะสะสมในตู้จนสิ้นสุดการทดลองเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับตู้ที่มีระบบบำบัด โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองจะพบว่า มีการสะสมของแอมโมเนียในตู้คอนโทรล ตู้ trickling filter ตู้ skimmer และตู้สาหร่ายมีค่า 1.275 , 0.096 , 0.323 และ 0.216 mg/l ตามลำดับ โดยเมื่อนำค่าที่ได้มาพล็อตเป็นกราฟ



ภาพที่ 5 กราฟแสดงการสะสมของแอมโมเนียในระบบ

จากภาพที่ 5 จะเห็นว่าการสะสมของแอมโมเนียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกการทดลอง โดยตู้ trickling filter จะมีการสะสมในระบบช้าที่สุดโดยเริ่มมีการสะสมหลังวันที่ 20 ไป และในช่วงสิ้นสุดการทดลองมีค่าที่ได้ 0.096 ซึ่งน้อยที่สุด ส่วนตู้ที่มีการใช้ระบบ skimmer จะมีการสะสมของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นสูงสุดในกลุ่มที่มีการใช้เครื่องกรองแต่มีแนวโน้มลดลงหลังจากวันที่ 22 อันอาจเนื่องมาจากปริมาณของสัตว์ทดลองที่เริ่มตามในช่วงท้ายของการทดลอง ส่วนตู้ที่ใช้สาหร่ายพบว่า มีการสะสมของแอมโมเนียเริ่มตั้งแต่วันแรกของการทดลองแต่ อัตราการสะสมเป็นไปอย่างช้าๆ และเกือบจะคงที่ โดยสิ้นสุดการทดลองพบว่ามีค่าแอมโมเนียในตู้ 0.216 mg/l

2.1.2 ไนโตร



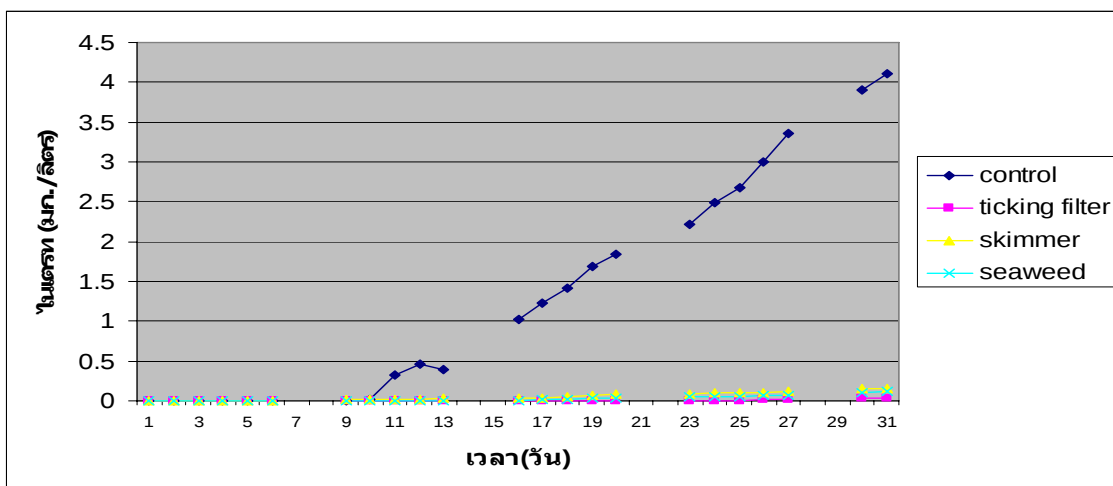
ภาพที่ 6 กราฟแสดงการสะสมของไนโตรเจนในระบบ

เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าไนโตรเจนสะสมของแต่ละระบบจะดูแนวโน้มการสะสมได้จากกราฟโดยจะมีการสะสมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ของตู้คอนโทรล ตู้ trickling ตู้ skimmer และตู้สาหร่าย จะมีค่า 0.275 ,0.032 ,0.1619 และ 0.013 mg/l ตามลำดับกราฟแสดงการสะสมของไนโตรเจนในแต่ละตู้โดยตู้คอนโทรลที่ไม่มีการใส่ระบบกรองจะมีการสะสมของไนโตรเจนที่สูงมาก แต่มีการลดลงในช่วง 2 วันก่อนสิ้นสุดการทดลอง

ตู้ที่ใช้ trickling จะมีการเริ่มสะสมไนโตรเจนหลังวันที่ 19 เป็นต้นไป ก่อนจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น จนมากเป็น 3 ส่วนตู้ที่มีความผันผวนมากที่สุดเป็นตู้ที่ใช้ skimmer โดยจะมีการสะสมเริ่มต้นในวันที่ 9 และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนสูงสุดที่ 0.15 mg/l ในวันที่ 17 และเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วและมีการเริ่มสะสมเพิ่มอีกในช่วงวันที่ 23 และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนสิ้นสุดการทดลอง ตู้ที่มีปริมาณสะสมของไนโตรเจนน้อยที่สุดเป็นตู้ที่ใช้สาหร่ายเป็นตัวกำจัดของเสีย โดยจะเริ่มมีการสะสมไนโตรเจนเริ่มต้นประมาณวันที่ 5 และสะสมต่อเนื่องจนสูงสุดประมาณวันที่ 19-23 และจะมีแนวโน้มลดลงช้าๆจนสิ้นสุดการทดลอง

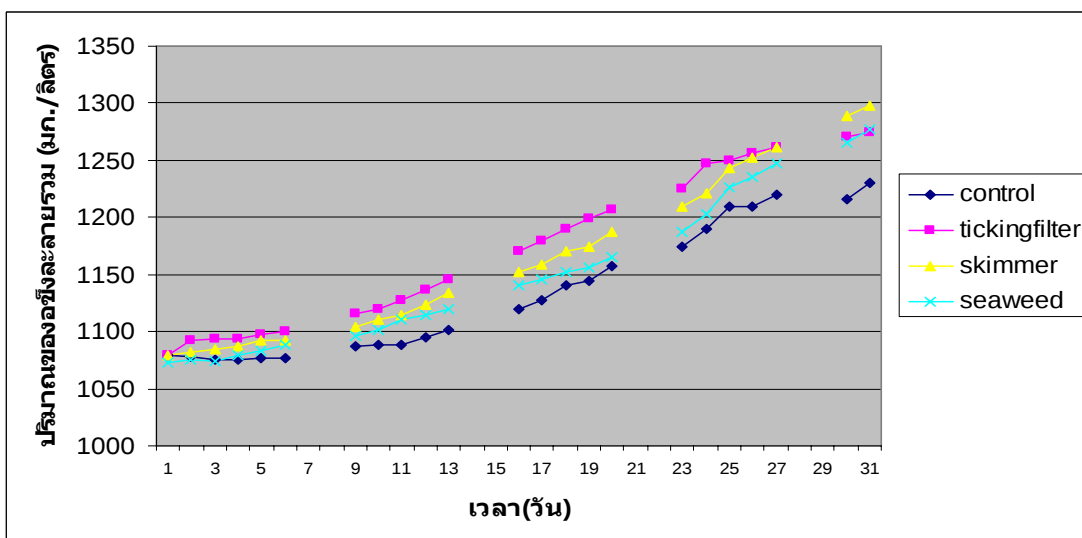
2.1.2 ไนเตรท

ค่าไนเตรทของ ตู้ที่มีการใช้ระบบกรองมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันและค่าไนเตรทขณะสิ้นสุดการทดลองของ ตู้คอนโทรล ตู้ trickling filter ตู้skimmer และตู้สาหร่าย มีค่า 4.1, 0.036, 0.16 และ 0.126 mg/l ตามลำดับ



ภาพที่ 7 กราฟแสดงการสะสมของไนเตรทในระบบ

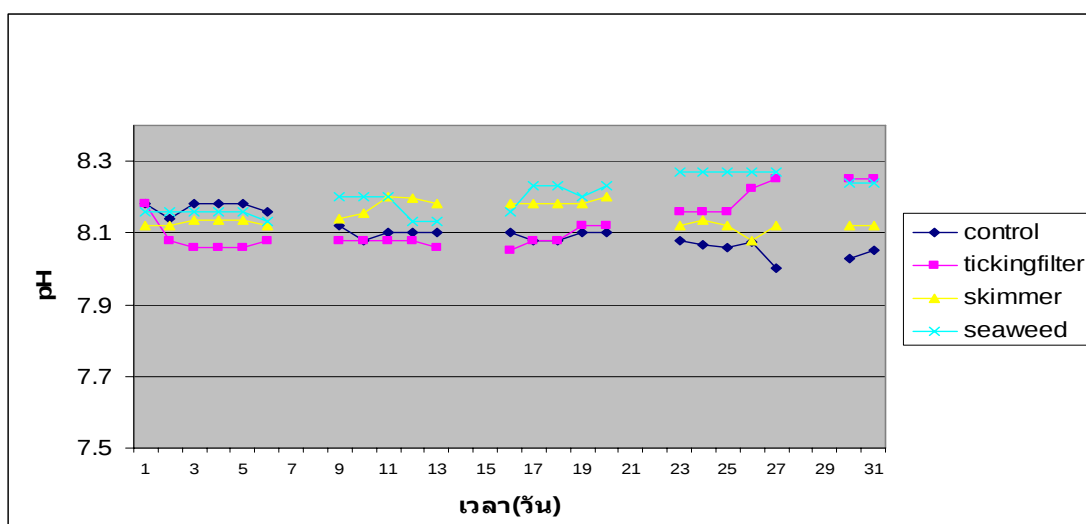
2.1.3 ของแข็งละลายรวม



ภาพที่ 8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ ปริมาณของแข็งละลาย

ปริมาณของแข็งละลายรวม เนื่องจากในน้ำทะเลมีการละลายของเกลือและสารประกอบปริมาณมากค่าที่เริ่มต้นจึงมีค่าสูง และมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง โดยพบว่าตู้ที่มีปริมาณของแข็งละลายรวมเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดได้แก่ตู้ คอนโทรล มีค่า 1230 mg/l ซึ่งมีการสูญเสียเล็กน้อยที่สุดเช่นกัน แลตู้ที่มีปริมาณของแข็งละลายสูงสุดได้แก่ ตู้skimmer มีค่าของแข็งละลาย อยู่ที่ 1298 mg/l จะพบว่าตู้ที่มีการเพิ่มของของแข็งละลายสูงสุดในช่วง วันที่1-25 จะเป็นตู้ที่ใช้ระบบ ticking และมีแนวโน้มลดลงในช่วงหลังวันที่ 27 โดยตู้ที่ใช้ skimmer จะมีค่าของแข็งละลายรวมสูงกว่าในวันที่ 27 ส่วนตู้ สาหร่ายจะพบว่า ในช่วง 20 วันแรกของการทดลอง แนวโน้มของการเพิ่มของของแข็งละลายรวมจะต่ำที่สุดและค่อยๆเพิ่มสูงในช่วงท้ายของการทดลองโดยเมื่อสิ้นสุดของการทดลองมีค่าสูงกว่าตู้ที่ใช้ trickling filter อยู่เล็กน้อย

2.1.4 pH

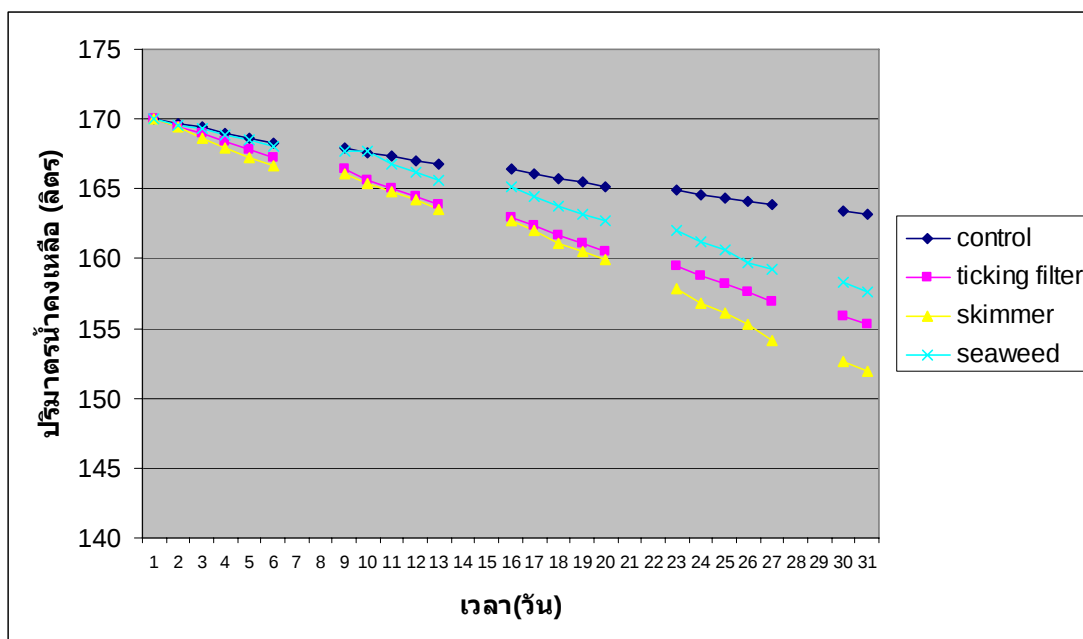


ภาพที่ 9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ pH

ค่า pH ของแต่ละตู้ของการทดลองจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงอย่างเล็กน้อยในวงแคบๆ โดยตู้ที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือตู้ที่ใช้ระบบ trickling filter โดยในช่วงเริ่มต้นของการทดลองจะพบว่า pH มีค่าลดลงจนกระทั่งถึงวันที่ 15 ค่า pH ที่วัดได้จะมีค่าสูงขึ้นกระทั่งวันที่ 29-30 จะมีค่าคงที่ ตู้ที่มีค่าลดต่ำที่สุดได้แก่ตู้คอนโทรล pH จะเริ่มตกลงในวันที่ 5 ของการทดลอง และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆจนสิ้นสุดการทดลอง ตู้ที่มีการใช้ skimmer จะมีการเปลี่ยนแปลงของ pH น้อยมากตลอดการทดลอง โดยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง มีค่า pH 8.1 และมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนวันที่ 21 และเริ่มมีค่าลดลงจนมีค่าคงที่ (pH 8.1) เมื่อสิ้นสุดการทดลองในตู้ที่มีการใช้

สาหร่ายพบว่าการเพิ่มขึ้นของ pH เรื่อยๆจนถึงวันที่ 12 จะมีการลดลงของ pH เล็กน้อยและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในวันที่ 15-16 ของการทดลองแต่ค่า pH จะมีค่าคงที่ในช่วงวันที่ 21-25 แล้วจะมีแนวโน้มลดลงหลังวันที่ 29 ไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง

2.1.5 ปริมาณน้ำ



ภาพที่ 10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำของระบบ

จากการศึกษาเป็นการแสดงให้เห็นถึงการสูญเสียน้ำออกจากระบบโดยจากกราฟแดงให้เห็นถึงแนวโน้มของน้ำที่สูญเสียไปจากระบบโดยจากกราฟ ตู้คอนโทรลจะมีการสูญเสียน้ำออกจากระบบน้อยที่สุดและตู้ที่สูญเสียน้ำมากที่สุดจะได้แก่ตู้ที่ใช้ระบบ skimmer อันเนื่องมาจาก ระบบนี้จะต้องมีการรวบรวมน้ำเสียในรูปของเสียความเข้มข้นสูงที่จะต้องถ่ายทิ้งไปประมาณวันละ 50-80 ml ในแต่ละสัปดาห์ และในวันสิ้นสุดการทดลองจะพบว่า ตู้คอนโทรล ตู้ trickling filter, ตู้skimmer และตู้สาหร่ายจะมีน้ำเหลืออยู่ในตู้เป็นปริมาตร 163.2, 155.31, 151.96 และ 157.61 ลิตรตามลำดับ

2.2 อัตรารอดและอัตราการเจริญเติบโต

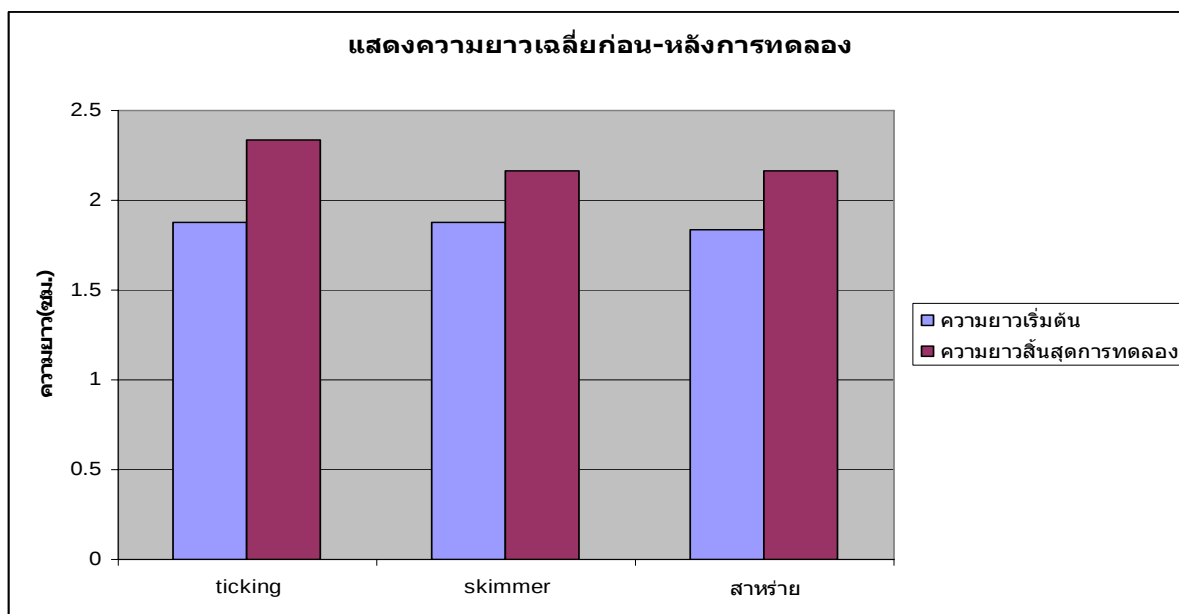
การทดลองพบว่าตู้ที่ไม่มีระบบบำบัดสัตว์ทดลองจะมีอัตราการตายสูงมาก โดยพบว่าสัตว์ทดลองมากกว่า 80% จะตายภายใน 20 วัน และตายทั้งหมดในเวลาประมาณ 28 วัน ประมาณร้อยละ 5 ของการทดลองที่มีสัตว์ทดลองอยู่รอดถึง 30 วัน ตู้ที่มีการใช้ระบบบำบัดจะมีอัตรารอดในตู้ trickling filter, skimmer และตู้สาหร่าย ประมาณ 16, 7 และ 13 ตัวตามลำดับ โดยตู้ที่ใช้ skimmer จะมีอัตรารอดที่น้อยที่สุดในกลุ่มตู้ที่ใช้ระบบบำบัด โดยคิดเป็นร้อยละ 33 ของปลาที่เลี้ยงและตู้ที่มีอัตรารอดเฉลี่ยสูงสุดคือตู้ที่ใช้ trickling filter โดยมีอัตรารอดเฉลี่ย 16 ตัวคิดเป็นร้อยละ 78 ของทั้งหมด ส่วนตู้ที่ใช้สาหร่ายในการบำบัดจะมีอัตรารอดเฉลี่ยอยู่ที่ 13 ตัว คิดเป็นร้อยละ 65 ของทั้งหมด ซึ่งตู้ที่มีอัตรารอดเกิน 50 % มีเพียง 2 ระบบคือตู้ที่ใช้ trickling filter และตู้ที่ใช้สาหร่ายในการบำบัด

ตารางที่ 7 อัตราการเจริญเติบโต อัตรารอด และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาการ์ตูนที่เลี้ยงในระบบการกรองน้ำ 3 แบบ

ระบบน้ำ	ระบบ trickling filter	ระบบ skimmer	ระบบ seaweed
อัตราปล่อย(ตัว/ตู้)	20	20	20
ความยาวเฉลี่ย/ตัว(เซนติเมตร)			
เริ่มต้น	1.88±0.16	1.88±0.23	1.84±0.05
30 วัน	2.34±0.11	2.16±0.23	2.16±0.15
น้ำหนักเฉลี่ย/ตัว(กรัม)			
เริ่มต้น	3.60±0.17	3.55±0.09	3.53±0.01
30 วัน	10.14±1.24	7.92±0.64	11.86±1.43
อัตราการเติบโตจำเพาะ(%ต่อวัน)	3.44±0.38	2.66±0.27	4.02±0.39
อัตรารอด(%)	78.00±10.95	33.00±9.08	65.00±7.91
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	1.30±0.16	1.07±0.21	1.12±0.15

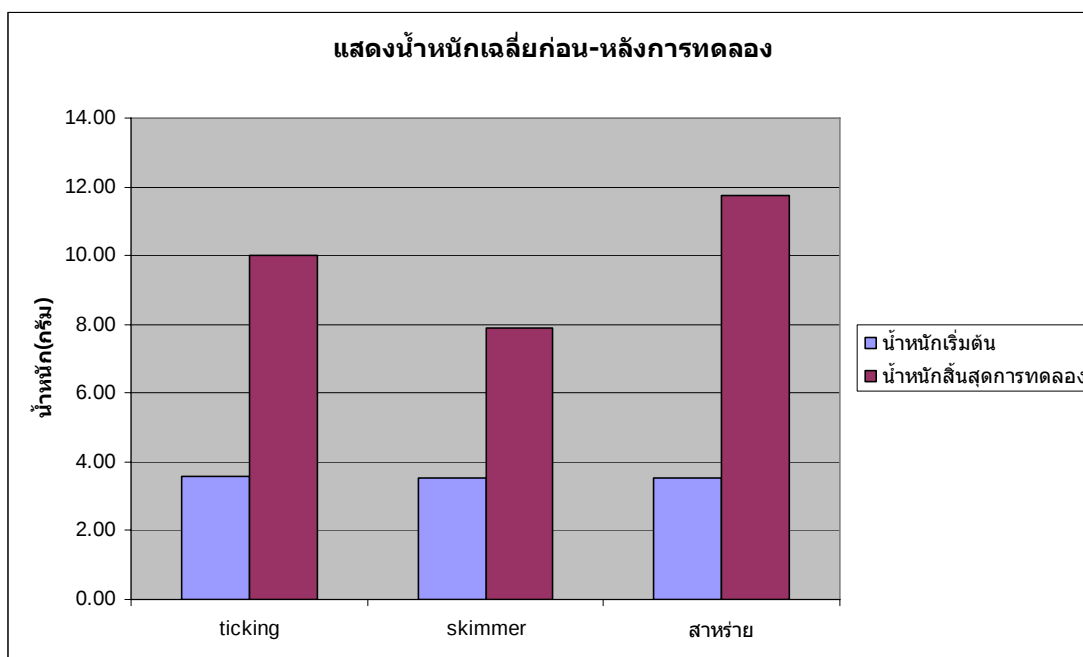
อัตราการเจริญเติบโตวัดจากขนาดของสัตว์ทดลองที่เพิ่มขึ้นในขณะทำการทดลอง โดยจะทำการวัดน้ำหนักและความยาววัดจากปลายปากถึงปลายหางก่อนและหลังการทดลอง จาก

การศึกษาพบว่าความยาวของปลาเพิ่มมากขึ้นในทุกการทดลองที่มีการใช้ระบบบำบัดโดยความยาวที่เพิ่มขึ้นของสัตว์ทดลองในตู้ที่ใช้ ระบบ trickling filter, skimmer และสาหร่ายมีค่า 0.46 , 0.28 และ 0.32 ซม.ตามลำดับ โดยคิดเป็นร้อยละ 25, 15 และ 17 ของขนาดเริ่มต้นตามลำดับ



ภาพที่ 11 เปรียบเทียบความยาวเฉลี่ยก่อน-หลังทดลอง

โดยตู้ที่มีค่าเฉลี่ยความยาวเพิ่มมากที่สุดได้แก่ตู้ที่ใช้ trickling filter และรองลงมาคือตู้ที่ใช้สาหร่าย และ skimmer ตามลำดับ ในด้านน้ำหนักของปลาแสดงถึงความสมบูรณ์ของตัวปลา โดยค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของตู้ trickling filter, skimmer และสาหร่ายมีค่า 6.43, 4.34 และ 8.2 กรัม ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักสัตว์ทดลองเริ่มต้นได้ 178.86 , 122.0 และ 232.27 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า น้ำหนักของปลาในตู้ที่ใช้ระบบสาหร่าย มีค่ามากที่สุดและรองลงมาคือ trickling filter และ skimmer ตามลำดับ



ภาพที่ 12 เปรียบเทียบน้ำหนักเฉลี่ยก่อน-หลังทดลอง

วิจารณ์

1. ผู้คอนโทรล

พบว่าการใช้ระบบบำบัดคุณภาพของน้ำในการเลี้ยงสัตว์น้ำจะเสียอย่างรวดเร็วจนเป็นพิษกับสัตว์น้ำ ภายในเวลาไม่นาน(ขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของสัตว์น้ำและปริมาณการให้อาหาร) โดยจากการศึกษาพบว่าทันทีที่มีการปล่อยปลาและเริ่มให้อาหาร จะมีการสะสมของของเสียที่เกิดจาก สัตว์น้ำทันทีโดยเมื่อปล่อยให้มีการสะสมไป นานๆเข้าจะมีผลกระทบโดยตรงต่อ คุณภาพน้ำ และสุขภาพของสัตว์น้ำอีกด้วย ในขณะที่ทำการทดลองพบว่าการเพิ่มจำนวนของสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียวจำนวนมากในช่วงแรกของการศึกษาโดยชนิดที่พบมากในช่วง3-4วันแรกจะเป็นกลุ่มคลอเรลล่า และมีปริมาณลดลงก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินซึ่งน้ำในช่วงนี้จะมีค่า pH สูงขึ้นและความหนืดของน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสาหร่ายก่อนที่สาหร่ายจะเริ่มลดลงและคุณภาพน้ำจะเริ่มดีขึ้นเล็กน้อย อันเนื่องมาจากการ ขับถ่ายที่ลดลงของสัตว์น้ำอาจเป็นเพราะ สัตว์ทดลองเริ่มมีการกินลดลงเพราะสุขภาพเริ่มไม่ดี มีการติดเชื้อตามครีบและเมือกของปลาเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ หลังจากวันที่ 18 เป็นต้นไป ปลาจะเริ่มมีการตายเพิ่มขึ้น เป็นวันละ 2-3 ตัว และขณะนั้น น้ำเริ่มใสขึ้นแต่มีการเจริญเติบโตของ สาหร่ายกลุ่มเส้นใยเพิ่มขึ้นมากอาจเป็นเพราะการลดลงของสาหร่ายเซลล์เดียวที่แย่งอาหารของสาหร่ายกลุ่มเส้นใย

ในช่วงท้ายของการทดลองพบว่า อัตราการตายเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงวันที่ 25-26 และปลาที่มีสุขภาพอ่อนแอ จะตายเกือบทั้งหมด อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของสาหร่ายทำให้น้ำมีความใสเพิ่มขึ้น และอัตราการสะสมของของเสียก็เริ่มลดลงเนื่องจากการนำไปใช้ของตะไคร่ที่เกิดขึ้น อีกทั้งปริมาณปลาที่น้อยลงจนเกือบหมดทำให้ปริมาณการผลิตของเสียจากปลาไม่พอเพียงต่อการใช้ของตะไคร่น้ำ แต่สภาพก้นตู้ตะไคร่น้ำจะเริ่มมีการสร้างฟองก๊าซและลอยตัวสูงขึ้นทำให้สภาพของตู้ไม่น่ามอง อีกทั้งการควบคุม pH ในตู้ก็ทำได้ยากมากขึ้นเพราะความสามารถในการดึง คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำไปใช้ของตะไคร่น้ำ

2. ตู้ trickling filter

การเตรียมระบบบำบัดของ trickling filter จะต้องคอยระวังในส่วนของการป้องกันไม่ให้มีน้ำรั่วไหลในถังเพื่อให้ระบบเป็นแบบปิดสมบูรณ์ วัสดุที่ใช้เป็นของที่หาได้ง่ายและมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดโดย วัสดุที่ใช้แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ไบโอบอล เป็นที่เจริญเติบโตของของจุลินทรีย์แบบเกาะพื้นผิว ส่วนที่ 2 เป็นถ่านบดหยาบๆ น้ำหนัก ครึ่งกิโลกรัม เพื่อเป็นตัวดูดซับของเสียที่ไหลผ่านเข้ามา และสุดท้ายเป็นใยแก้วกรองละเอียด เพื่อทำให้น้ำใสและกักเก็บจุลินทรีย์ที่ตายแล้วไม่ให้ไหลกลับลงตู้ โดยระบบนี้จะต้องมีการเพิ่มปั้มน้ำเพื่อดึงน้ำออกจากตู้ให้ไหลลงสู่ถังจะพบว่าน้ำที่ไหลออกจากระบบจะมีความใสและบำบัดของเสียออกไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดย ช่วงแรกจะยังไม่มีจุลินทรีย์เกาะที่ไบโอบอลแต่จะใช้การดูดซับของถ่านเป็นตัวกักเก็บของเสีย จนกระทั่งจุลินทรีย์เริ่มมีการเจริญเติบโตการ กำจัดแอมโมเนียจะเพิ่มมากขึ้นไปตามสัดส่วนจน สิ้นสุดการทดลองโดยเมื่อจุลินทรีย์มีการเติบโตจนเต็มในพื้นที่ของ ไบโอบอลแล้ว จะมีส่วนหนึ่งเริ่มไป เจริญในส่วนของท่าน ทำให้ ประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านลดลงแต่ระบบจะยังสามารถกำจัดแอมโมเนีย ในไตรท ในเตรท ออกจากระบบไปได้เรื่อยๆ จนกว่า ส่วนของใยแก้วจะไม่สามารถกักเก็บซากของจุลินทรีย์ที่ตายแล้วได้ จึงควรจะมีการล้างในส่วนของไส้กรองทั้งหมด

น้ำในตู้ของตู้ที่ใช้ระบบกรองนี้มีความใสตลอดการทดลองโดยไม่มีการบดของสาหร่ายเซลล์เดียวในตู้แต่เมื่อผ่านไปประมาณ 10 วัน ตามก้นตู้จะเริ่มมีการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำเพราะมีการสะสมของแอมโมเนียในน้ำและแสงสามารถส่องถึงก้นตู้ได้อย่างทั่วถึง ปลาเริ่มมีการกินอาหารลดลงและเริ่มมีการตายของปลาที่อ่อนแอเกิดขึ้นในช่วงหลังของการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับตู้อื่นถือว่า ระบบกรองนี้มีประสิทธิภาพสูงมากอีกทั้งการดูแลรักษาง่ายแต่มีการสิ้นเปลืองพื้นที่สูงกว่าตู้ในระบบอื่นและราคาในการติดตั้งก็แปรผันไปตามคุณภาพของวัสดุกรอง สามารถปรับเปลี่ยน

วัสดุกรองให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการได้ และเมื่อทำการเปิดระบบต่อเนื่องหลังสิ้นสุดการทดลองก็พบว่าประสิทธิภาพของระบบ สามารถดำเนินต่อไปได้เป็นเวลานาน โดยไม่จำเป็นจะต้องล้างวัสดุแต่อย่างใด

อัตราการอดและขนาดของสัตว์ทดลองที่เหลือรอดก็มีจำนวนและสุขภาพที่ดี จะพบว่าเป็นระบบที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม แต่การประยุกต์นำมาใช้ใ้ในน้ำเค็มพบว่าจะใช้เป็นระบบเปิดที่ไม่มีการควบคุมการเติบโตของ ตะไคร่น้ำในถังบำบัดทำให้ การใช้งานจะไม่มีประสิทธิภาพมากแต่สามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่เพื่อรองรับปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้น แต่ในสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำมีข้อจำกัดในด้านขนาดสถานที่จึงจำเป็นต้องใช้ รูปแบบถังปิดแบบสูญญากาศเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำและกักเก็บกลิ่นที่เกิดขึ้นด้วย

3. ตู้ skimmer

เป็นระบบที่ใช้คุณสมบัติทางกายภาพของฟองอากาศเป็นตัวนำพาของเสียให้ไหลติดไปกับพื้นที่ผิวรอบฟองอากาศในเครื่องสามารถเติมอากาศให้กับระบบได้โดยตรงจึงไม่จำเป็นที่จะต้องมีการให้อากาศเพิ่มเติมในการใช้เครื่องกรองระบบนี้และยังสามารถปรับเปลี่ยนอากาศที่เดิมเข้าไปเป็นโอโซนได้เพื่อช่วยในการลดสารพิษแต่ระบบนี้จำเป็นที่จะต้องควบคุมในส่วนของคุณภาพน้ำที่เข้าสู่เครื่องกรองเนื่องจาก การบำบัดระบบนี้จำเป็นที่จะต้องมีการสร้างฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากเพื่อใช้ในการนำของเสียออกจากน้ำซึ่งถ้าในน้ำมีความหนืดไม่พอหรือ มีสารลดแรงตึงผิวของเหลวจะทำให้ระบบล้มได้โดยในการทดลองจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการทดลองความสามารถในการบำบัดน้อยมากจน ความเข้มข้นของของเสียและเมือกจากตัวปลาเพิ่มขึ้นความสามารถในการบำบัดจะเพิ่มขึ้น

ในระบบนี้จะพบว่าคุณภาพน้ำตลอดการทดลองมีค่าที่ไม่แน่นอนและมีอัตราการตายของสัตว์ทดลองสูงในช่วงกลางของการทดลอง สุขภาพของสัตว์น้ำที่รอดมีขนาดเล็กที่สุดในกลุ่มของตู้ทดลองที่ใช้เครื่องกรองแต่พบว่าลักษณะทางกายภาพเช่น สี ความขุ่น และฟอง อยู่ในเกณฑ์ที่ดีตลอดการทดลองไม่มีตะไคร้ขึ้นในตู้ และไม่มีการบลูมของสาหร่ายเซลล์เดียว

การดูแลระบบกรองแบบ skimmer จำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมการไหลของน้ำเข้า-ออกให้ดีเนื่องจากถ้ามีการอุดตันของท่อน้ำออกจะทำให้ น้ำไหลสั้นไปยังกล่องรวบรวมน้ำทิ้ง และในการควบคุมจะต้องมีการใช้ปั้มน้ำที่มีขนาดพอเหมาะกับขนาดของถังเพื่อให้เกิดการไหลแบบ

ปั่นป่วนภายในถังและเมื่อมีการเติมอากาศเข้าไป จะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กเพียงพอที่จะรวมตัวไหลไปสู่ถ้วยเก็บรวบรวมน้ำที่ด้านบนระบบจึงมีความยุ่งยากในการติดตั้งและใช้งาน อีกทั้งถ้ามีการติดเครื่องผลิตโอโซนจะทำให้เป็นระบบที่สิ้นเปลืองไฟมากแต่มีขนาดเล็กและสามารถบำบัดน้ำที่มีของเสียจำพวกเมือกปลาจำนวนมาก

4. ตู้สาหร่าย

การเตรียมระบบจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่เป็นสายใยเกาะติดวัสดุเนื่องจากเป็นกรง่ายในการควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายในถัง โดยการเลือกใช้สาหร่ายจำเป็นอย่างยิ่งจะต้องเลือกชนิดที่มีความสามารถในการบำบัดของเสียได้เป็นอย่างดี โดยจะสามารถกำจัดของเสียได้วิธีหนึ่งแต่ถ้าของเสียมีความเข้มข้นมากเกินไป จะทำให้สาหร่ายตายและสาหร่ายจะเป็นตัวทำให้น้ำเสียเพิ่มขึ้น โดยจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการควบคุมน้ำเสียที่เข้าให้มีระดับความเข้มข้นระดับหนึ่งแล้วจึงเติมลงสู่ถังสาหร่าย ที่มีการให้แสงสว่าง และเมื่อสาหร่ายมีการเจริญเติบโตไประดับหนึ่งส่วนที่อยู่ด้านล่างจะเริ่มมีการตาย จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการดูแลตัดแต่งในส่วนเกินของสาหร่าย

คุณภาพน้ำที่ได้จากการกรองจะมีคุณภาพน้ำที่ดีในช่วง ท้ายของการทดลองการควบคุมความสามารถในการบำบัดจะควบคุมได้ค่อนข้างยากเนื่องจากความสามารถในการบำบัดจะขึ้นกับสภาพของสาหร่ายที่ใช้โดยถ้าสาหร่ายมีสภาพที่ดีและสิ่งแวดล้อมเหมาะสมความสามารถในการบำบัดก็จะสูง แต่ถ้าสิ่งแวดล้อมไม่อำนวยสาหร่ายที่ใช้ก็อาจจะตายได้ ทำให้การประยุกต์ใช้ค่อนข้างยากและในการเลี้ยงพื้นที่มากจะยังต้องใช้พื้นที่ในการกักเก็บสาหร่ายปริมาณเพิ่มขึ้นและระยะเวลาในการกักเก็บน้ำจะต้องเพิ่มขึ้นทำให้ สิ้นเปลืองทั้งพื้นที่และเวลาในการบำบัด

ตารางที่ 8 ตารางแสดงการเปรียบเทียบข้อดี - ข้อเสีย และคุณสมบัติบางประการของระบบกรอง

ระบบ	trickling filter	skimmer	สาหร่าย
1. ข้อดี	1. ดูแลรักษาง่าย 2. มีไส้กรองให้เลือกใช้หลายแบบเพื่อความเหมาะสมกับสัตว์น้ำ 3. หาซื้อง่าย มีแบบให้เลือกหลายแบบ 4. ไม่เป็นที่รำคาญสายตา เนื่องจากสามารถย้ายเก็บในที่หลบสายตาได้	1. ไม่ต้องใช้ไส้กรอง 2. ดูแลรักษาง่าย 3. เพิ่มอากาศในระบบ 4. สามารถเพิ่มความสามารถในการกำจัดสารพิษด้วยโอโซนได้	1. เพิ่มอากาศในระบบ 2. เป็นที่อยู่ให้อาหารมีชีวิตได้ 3. สามารถใช้ตกแต่งตู้
2. ข้อเสีย	1. ราคาแพง 2. ต้องมีการล้างไส้กรองที่สม่ำเสมอ 3. อาจมีการรั่วของไฟฟ้าได้ในบางกรณี	1. ต้องติดตั้งตู้เป็นที่ไม่น่ามอง 2. ต้องการความเข้มข้นของสารประกอบโปรตีนระดับหนึ่งจึงจะสามารถใช้งานได้ 3. ต้องมีการเพิ่มระบบเดิมอากาศให้กับเครื่องเพื่อให้ระบบทำงานได้	1. ดูแลรักษายาก 2. ประสิทธิภาพการบำบัดไม่สามารถควบคุมได้ 3. ในระบบต้องมีการให้แสงแดดเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย 4. ระบบกรองต้องอยู่สูงกว่าตู้ปลาจึงเป็นที่ไม่น่ามอง
3. อายุการใช้งาน	5-8 ปี	3-5 ปี	2-3 ปี

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ระบบ	trickling filter	skimmer	สาหร่าย
4.รอบการดูแลรักษา	ทุกๆ 2 เดือน	ถ่ายของเสียทิ้งทุกวัน	1-2 เดือน
5.อัตราการไหล	440-2500 ลิตรต่อชั่วโมง	200-1600 ลิตรต่อชั่วโมง	200-1000 ลิตรต่อชั่วโมง
6.ขนาดถังปฏิกิริยา	5 - 23 ลิตร	2 - 25 ลิตร	2 - 6 ลิตร
7.อัตราการรับน้ำ (ลิตร)	250 - 1500 ลิตร	250 - 1800 ลิตร	250 - 800 ลิตร
8.ราคา	4,000 - 12,000 บาท	1,200 - 6,000 บาท	1,200 - 2,000 บาท
9.อุปกรณ์เสริม	1. ไม้กรองหินภูเขาไฟ 2. ไม้กรองใยสังเคราะห์	1. เครื่องกำเนิดโอโซน 2. หัวทรายฟองละเอียด	

สรุป

1. ประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียของระบบในระยะสั้น เครื่องกรองระบบ trickling filter จะสามารถกำจัดของเสียที่เกิดจากสัตว์น้ำได้เร็วที่สุด รองลงมาคือระบบskimmer แต่ระบบสาหร่ายจะทำงานได้ไม่ดีในการกำจัดระยะสั้นหรือต้องมีระยะเวลาในการเตรียมตัวของสาหร่ายเพื่อใช้ในการกำจัดของเสีย

2. ในการเลี้ยงจริงพบว่า การไม่ติดระบบบำบัดจะทำให้ คุณภาพน้ำแย่ลงอย่างรวดเร็วและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของสัตว์น้ำ โดยเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการบำบัดของแต่ละระบบจะพบว่าในช่วงต้นของการทดลอง ระบบ trickling filter จะมีประสิทธิภาพที่สุดและรองลงมาคือระบบ skimmer แต่ ในช่วงหลังของการทดลองเมื่อสาหร่ายมีการเจริญเติบโตเพียงพอ ประสิทธิภาพจะเริ่มดีกว่าในทุกระบบ

3. เมื่อวัดจากอัตราการรอด และอัตราการเจริญเติบโตจะพบว่า ในระบบที่ใช้ trickling filter จะมีอัตราการรอดสูงสุดและมีอัตราการเจริญเติบโตดีปานกลางโดยน้ำหนักของปลาที่ใช้ระบบสาหร่ายจะมีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มมากที่สุด และในระบบที่มีอัตราการรอดต่ำที่สุดและอัตราการเจริญเติบโตต่ำที่สุดคือ ระบบskimmer อันเนื่องมาจากในช่วงระยะแรกของการเดินระบบในสภาพแวดล้อมยังมีความหนืดของน้ำไม่พอ จึงทำให้ระบบไม่สามารถกำจัดของเสียออกจากน้ำได้แล้วเมื่อเริ่มมีการตายของสัตว์น้ำจึงมีการสะสมเมือกที่เกิดจากปลาทำให้ระบบเริ่มเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดของเสีย

4. ในระบบสาหร่ายจะพบว่าถ้ามีการตายของสาหร่ายเกิดขึ้นจะทำให้การกำจัดของเสียในระบบล้มและเกิดการสะสมของของเสียที่มาจากสาหร่ายขึ้นแต่เมื่อทิ้งต่อไป อีกระยะหนึ่งสาหร่ายส่วนหนึ่งจะเจริญขึ้นมาแล้วระบบจะสามารถใช้ได้อีกครั้ง

ข้อเสนอแนะ

1. การเลือกใช้ระบบกรองจำเป็นต้องศึกษาถึงความหนาแน่นของสัตว์ที่จะเลี้ยงและชนิดของสัตว์ที่จะเลี้ยง โดย การเลี้ยงปลาที่มีการสร้างเมือกมากหรือมีการเลี้ยงสัตว์กันตู้ที่มีการสร้างเมือก การใช้ระบบ skimmer จะสามารถควบคุมคุณภาพน้ำได้ดีกว่าทั้ง ภายภาพของน้ำและทางเคมี
2. ถ้าจะใช้ระบบสาหร่ายจำเป็นต้องมีการพักสาหร่ายให้สาหร่ายมีความอยู่น้ำและเริ่มมีการออกของทลล์สใหม่เพื่อไม่ให้สาหร่ายที่จะใช้ตายโดยปริมาณของสาหร่ายและความเข้มข้นแสงที่ใช้ มีผลต่อความสามารถในการกำจัดของเสียออกจากน้ำ
3. การใช้ trickling filter จะสามารถเปลี่ยนไส้กรองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้โดยจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นไส้กรองเพื่อหาวัสดุที่มีความสามารถในการบำบัดดีที่สุด
4. การใช้ระบบ trickling filter ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ด้วยการศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่เกาะในวัสดุกรองโดยชนิดของจุลินทรีย์ที่เกาะจะมีผลต่อความสามารถในการนำสารประกอบไนโตรเจนในน้ำไปใช้ในการเจริญเติบโต
5. ระบบ skimmer ความละเอียดของฟองอากาศยิ่งสูงประสิทธิภาพของการกำจัดของเสียจะยิ่งเพิ่มขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- เกรียงไกร แก้วสุระลิขิต.2537.การใช้สาหร่าย *Glacillaria fisheri* (Xia&Abbott) Abbot,Zhang &Xia ช่วยลดปริมาณแอมโมเนีย ในไทรท^๓ในเตรท และฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากปอเลี้ยงกุ้ง. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ
- ก่อเกียรติ กุลแก้ว. 2544. การทดสอบระบบกรองน้ำหมุนเวียนในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง
- ก่อเกียรติ กุลแก้ว และ กอบศักดิ์ เกตุเหมือน. 2544. การศึกษาวิธีบำบัดน้ำจากปอเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนาด้วยระบบกรองชีวะ. สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง
- จำลอง อรุณเลิศอารีย์ และทักษิณา สวาทพงษ์. 2548. การใช้หญาทะเล *Halophila ovalis* ลดปริมาณบีโอดี สารประกอบไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งทะเล. วารสารการประมง ฉบับที่ 1 ปีที่ 58 . 25-34.
- ธนัญญา ธีรภัทร์พันธ์.2537.การทดลองใช้หอยแมลงภู่เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากปอเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา.บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.กรุงเทพฯ
- ธนัญช์ สังกรชนกิจ, มณฑกานติ ท้ามตัน และ อารี ขุนณะ. 2543. การศึกษาการใช้แอมโมเนีย-ไนโตรเจนของสาหร่ายทะเล *Caulerpa lentilliferra*, *Gracilaria fisheri* และหญาทะเล *Ruppia maritima*. สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง
- สงศรี มหาสวัสดิ์. 2533. สรีรวิทยาสัตว์น้ำ. ภาควิชาชีววิทยาประมง,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ดุสิต ต้นทวีไลยและสิริ ทุกข์วนาส. 2534. การบำบัดน้ำเสียด้วยการเลี้ยงอาร์ทีเมีย. ศูนย์วิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง,กรมประมง

ทัฬหฬ กระจ่างดารา. 2528. การเลี้ยงปลาสวดยงมทะเล. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงทะเลอันดามัน กรมประมง.

นรินทร์ สงสัจจันทร์, อรกัญญา เม่งหญและจิราณัฐณัฐเพชร. 2547. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลชีวระ ของแหล่งน้ำ และวิธีการเตรียมน้ำใช้ในโรงเพาะฟักกุ้งทะเล. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งภูเก็ต สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง กรมประมง.

ปัญญา โพธิ์จุติรัตน์. 2531. เทคนิคในการเลี้ยงปลาทะเลสวดยงม. สหวิทยาลัยรัตนโกสินทร์จันทร์เกษม กรุงเทพฯ.

พัฒนา ภูดเปี่ยมและจิตรา ตีระเมธิ. 2524. การศึกษาแบคทีเรียที่จำเป็นในระบบกรองน้ำแบบชีววิทยาในสถานเลี้ยงสัตว์น้ำเค็ม. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา บางแสน ชลบุรี.

พุทธ ส่องแสงจินดา และดุสิต ดันตวิไลย. 2536. ปริมาณน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง สงขลา กรมประมง.

สิริ ทุกข์วินาศ. 2528. วิถีวิเคราะห์ทางเคมีของแหล่งน้ำชายฝั่งและตะกอน. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา กรมประมง.

สิริ ทุกข์วินาศ. พิชฌิบบพลันของไนโตรทและแอมโมเนียต่อลูกสัตว์น้ำชายฝั่งบางชนิด. เอกสารวิชาการเสนอการประชุมสัมมนาวิชาการประมง, กรมประมง. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง จังหวัดสงขลา กรมประมง.

สิริ ทุกข์วินาศ, ขวัญฤทัย ฅนอมเกรียติ และชนินทร์ แสงรุ่งเรือง. 2542. ประสิทธิภาพการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อการเลี้ยงกุ้งกุลาดำด้วยวิธีชีวภาพ. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาประมงอ่าวคุ้งกระเบน กรมประมง.

โสมลดา ประเสริฐส. 2547. พิชฌิบบพลันของแอมโมเนียต่อลูกปลากระังดอกแดง, *Epinephelus coioides* (HALMINTON). สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง .

โสมลดา ประเสริฐสม. 2547. พืชเจียบปล้นของแอมโมเนียต่อลูกปลากระพงขาว, *Lates calcalifer*(BLOCH). สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง.

สุนิตย์ โธจน์พิทยกุล, นกสินธุ์ รัตนสมบุรณ์ และยุวดี สกกุลแก้ว. 2548. การเลี้ยงปลากระพงขาว *Lates calcalifer* (Bloch) ขนาด 2 นิ้วถึง 6 นิ้วในระบบหมุนเวียนโดยใช้วุ้นไนลอนเป็นไบโอฟิลเตอร์. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง.

วิมล จันทรโรทัย. 2536. การวางแผนการวิจัยด้านอาหารปลา. วารสารการประมง. 46(4) : 323-328

อัจฉริยา แก้วมีศรี. 2544. การบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ *Peneaus monodon* โดยใช้สาหร่ายผสมนาง *Gracillaria fisheri*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

อรรณูญา อิศวอารีย์, ยงยุทธปรีดาลัมพะบุตร และประมัยพร ทองคนารักษ์. 2550. ผลของระบบบำบัดน้ำหมุนเวียนชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของปลาดุก. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง

Aladaster, J.S. and R. Lloyd. 1980. **Water quality criteria for freshwater fish**. Butterworth (Publisher) Inc., Boston. 297

Cox, G.F. 1974. **Tropical Marine Aquarium**. Grosset & Dunlop, NY..

Muir, F. 1982. **Economic Aspect of Waste water Treatment in Fish culture**, pp. 125-135 In J.S. Alblaster (ED) Report of the EIFAC Workshop on fish – Farming Effluent, Sikeberg, Denmark, EIFAX tech, Pap., 41 FAO, Rome, Italy.

Rijin, J.V. 1996. The Potential for Integrated Biological Treatment System in Recirculating, Fish Culture – **A Review**, *Aquaculture* 139(1996). 181-201.

Robert. A. Stevenson, Jr. 1974. **The Complete Book of Saltwater Aquariums**, Fitzhenry & Whiteside Limited, Toronto, America 182.

Stikland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972. **A practical Handbook of seawater**

analysis, 2nd ed., Fisheries Research Board of Canada Bulletin No 167, Ottawa

Straughan, R.P.L. 1959. **The salt-water Aquarium in the home** .AS. Borner and Co. New York

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ส่วนประกอบโดยประมาณของเกลือวิทยาศาสตร์

Element analysis

Chlorine.....	1.90×10^4
Sodium.....	1.05×10^4
Magnesium.....	1.41×10^3
Sulfer.....	8.85×10^2
Calcium.....	4.20×10^2
Potassium.....	3.80×10^2
Bromine.....	6.50×10^1
Boron.....	8.10×10^0
Strontium.....	4.60×10^0
Fluorine.....	1.30×10^0
Lithium.....	1.80×10^{-1}
Rubidium.....	1.30×10^{-1}
Iodine.....	6.02×10^{-2}
Barium.....	3.30×10^{-2}
Aluminium.....	1.03×10^{-2}
Iron.....	1.10×10^{-2}
Molybdenum.....	1.05×10^{-2}

ภาพผนวกที่ ก1 แสดงส่วนประกอบของเกลือวิทยาศาสตร์

Zinc.....	1.00×10^{-2}
Manganese.....	2.10×10^{-3}
Vanadium.....	2.75×10^{-3}
Cobalt.....	4.65×10^{-4}

Values in ppm

Ideal parameter

pH level:8.1-8.4

Alkalinity:2.5-3.5 meq/L(7-10 dKH)

Salinity:28-35 ppt

Temperature:24-28 C

Ammonia: 0 ppm

Nitrite: 0 ppm

Nitrate:<5 ppm

Phosphate:<0.1ppm

Silicate:<3ppm

Calcium:400-450 ppm

Dissolved Oxygen:6-12 ppm

ภาพผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ภาคผนวก ข

การคำนวณระบบกรองชีวภาพในงานเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ตัวอย่างของการคำนวณ ระบบกรองชีวภาพที่ใช้ในงานเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ผลผลิตของปลาในแต่ละรุ่น	500 kg (จำนวนปลา 1,100 ปอนด์)
อัตราการกินอาหาร	2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว/วัน
ปริมาณอาหาร ที่ให้ต่อวัน	10 kg (22 ปอนด์.) ที่ระดับโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์
ระดับแอมโมเนียรวมสูงสุด	1.5 ppm
อัตราการไหลของน้ำ	83 แกลลอน/นาที่
ระดับแอมโมเนียที่เกิดขึ้น	$0.03 \times 10 \text{ kg} = 300 \text{ กรัม/วัน}$
อัตราการกำจัดแอมโมเนีย	$0.6 \text{ กรัม/ตร.ม/วัน}$ ที่อัตราการไหลของน้ำ 6 แกลลอน/นาที่ /
ตร.ฟุต	
พื้นที่ผิวจำเพาะที่ต้องการ	$(300 \text{ กรัม/วัน}) / (0.6 \text{ กรัม/ตร.ม/วัน}) = 500 \text{ ตร.ม}$
เปลี่ยนตารางเมตรเป็นตารางฟุต	$500 \text{ ตร.ม} \times 10.76 \text{ ตร.ฟุต/ตร.ม} = 5380 \text{ ตร.ฟุต}$
ความหนาแน่นการบรรจุหรือSSA	69 ตร.ฟุต /ลบ.ฟุต (226 ตร.ม./ลบ.ม.)
ปริมาตรของวัสดุกรอง	$= (500 \text{ ตร.ม.}) / (226 \text{ ตร.ม./ลบ.ม.}) = 2.21 \text{ ลบ.ม.}$
หรือ	$= (4035 \text{ ตร.ฟุต}) / (69 \text{ ตร.ฟุต/ลบ.ฟุต}) = 78 \text{ ลบ.ฟุต}$

ถ้าเริ่มที่วัสดุขนาดกว้าง 4 ฟุต ยาว 4 ฟุต สูง 5 ฟุต จะมีพื้นที่ 80 ลูกบาศก์ฟุต ที่ปริมาณการไหลเวียน 83 แกลลอน/นาที่ ใช้ปริมาณอัตราการไหลเวียน ประมาณ 5.2 แกลลอน/นาที่/ ตารางฟุต อัตราการไหลของน้ำ 83 แกลลอน/นาที่ (4 ฟุต x 4 ฟุต) = 5.2 แกลลอน/นาที่/ตร.ฟุต นี่คือการไหลของน้ำที่น้อยสุดเพื่อวัสดุนี้ แต่ที่ต่ำกว่านี้ 6 แกลลอน/นาที่/ตร.ฟุต จากกราฟที่ 1 ที่คาดคะเน ที่ง่ายคือเพิ่มอัตราการไหลของน้ำที่ 96 แกลลอน/นาที่ (4 ฟุต x 4 ฟุต x 6 แกลลอน/ตร.ฟุต).

ภาคผนวก ค
ตารางคำนวณทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ค1 ตารางแสดงการทดสอบแบบ T-testของค่า แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท
ของแข็งละลายและ pH

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Ammonia	5.279	2	12	.023
Nitrite	12.921	2	12	.001
Nitrate	9.097	2	12	.004
TDS	2.035	2	12	.173
pH	1.074	2	12	.372

ตารางผนวกที่ ค2 ตารางแสดงการวิเคราะห์ความแตกต่างของ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท
ของแข็งละลายและ pH ด้วยวิธี ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Ammonia	Between Groups	.129	2	.064	9.059	.004
	Within Groups	.085	12	.007		
	Total	.214	14			
Nitrite	Between Groups	.001	2	.000	2.881	.095
	Within Groups	.002	12	.000		
	Total	.003	14			
Nitrate	Between Groups	.042	2	.021	18.018	.000
	Within Groups	.014	12	.001		
	Total	.056	14			
TDS	Between Groups	1712.533	2	856.267	2.041	.173
	Within Groups	5033.200	12	419.433		
pH	Between Groups	.037	2	.019	2.240	.149
	Within Groups	.100	12	.008		
	Total	.137	14			

ตารางผนวกที่ ค3 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของปริมาณแอมโมเนีย ของระบบกรอง 3 ชนิด

	N	Subset for alpha = .05	
		2	1
system	1		
trickling	5	.0960	
seaweed	5	.2160	.2160
skimmer	5		.3230
Sig.		.121	.177

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ตารางผนวกที่ ค4 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของไนไตรท์จากระบบกรองทั้ง 3 ชนิด

	N	Subset for alpha = .05
	1	1
system		
seaweed	5	.0130
skimmer	5	.0187
trickling	5	.0320
Sig.		.105

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ตารางผนวกที่ ค5 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของปริมาณไนเตรทของเครื่องกรองทั้ง 3 ชนิด

	N	Subset for alpha = .05	
system	1	2	1
trickling	5	.0360	
seaweed	5		.1260
skimmer	5		.1619
Sig.		1.000	.289

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ตารางผนวกที่ ค6 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของปริมาณของแข็งละลายของเครื่องกรองทั้ง 3 ชนิด

	N	Subset for alpha = .05
system	1	1
trickling	5	1275.0000
seaweed	5	1277.0000
skimmer	5	1298.6000
Sig.		.231

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ตารางผนวกที่ ค7 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มตามค่า pH อย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของเครื่องกรองน้ำทั้ง 3 ชนิด

system	N	Subset for alpha = .05
	1	1
skimmer	5	8.1200
trickling	5	8.2000
seaweed	5	8.2400
Sig.		.158

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ตารางผนวกที่ ค8 ตารางแสดงการวิเคราะห์แบบ ANOVA ของอัตราการรอด ความยาวเฉลี่ยและน้ำหนักเฉลี่ยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องกรองทั้ง 3 ชนิด

		Sum of				
		Squares	df	Mean Square	F	Sig.
life	Between Groups	214.533	2	107.267	30.358	.000
	Within Groups	42.400	12	3.533		
	Total	256.933	14			
long	Between Groups	.108	2	.054	1.820	.204
	Within Groups	.356	12	.030		
	Total	.464	14			
weight	Between Groups	39.062	2	19.531	14.670	.001
	Within Groups	15.977	12	1.331		
	Total	55.038	14			

ตารางผนวกที่ ค9 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของอัตราการรอดของ
สัตว์ทดลองจากเครื่องกรองทั้ง 3 ชนิด

	N	Subset for alpha = .05	
system	1	2	1
skimmer	5	6.6000	
seaweed	5		13.0000
trickling	5		15.6000
Sig.		1.000	.134

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ตารางผนวกที่ ค10 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของความยาวเฉลี่ย
สัตว์ทดลองที่เหลือรอดจากเครื่องกรองทั้ง 3 ชนิด

	N	Subset for alpha = .05
system	1	1
skimmer	5	2.1600
seaweed	5	2.1600
trickling	5	2.3400
Sig.		.292

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

ตารางผนวกที่ ค11 ตารางแสดงการแบ่งกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ($p>0.05$) ของน้ำหนักเฉลี่ย
สัตว์ทดลองที่เหลือรอดจากเครื่องกรองทั้ง 3 ชนิด

	N	Subset for alpha = .05	
system	1	2	1
skimmer	5	7.9160	
trickling	5		10.1400
seaweed	5		11.8580
Sig.		1.000	.102

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

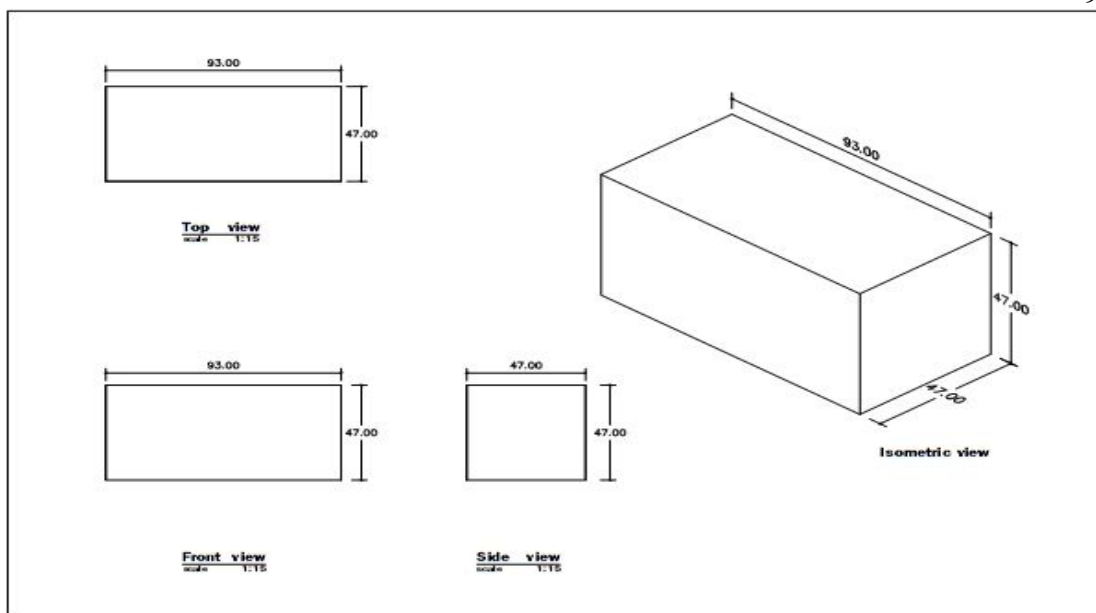
ภาคผนวก ง

ส่วนประกอบทางโภชนาการของอาหารปลา

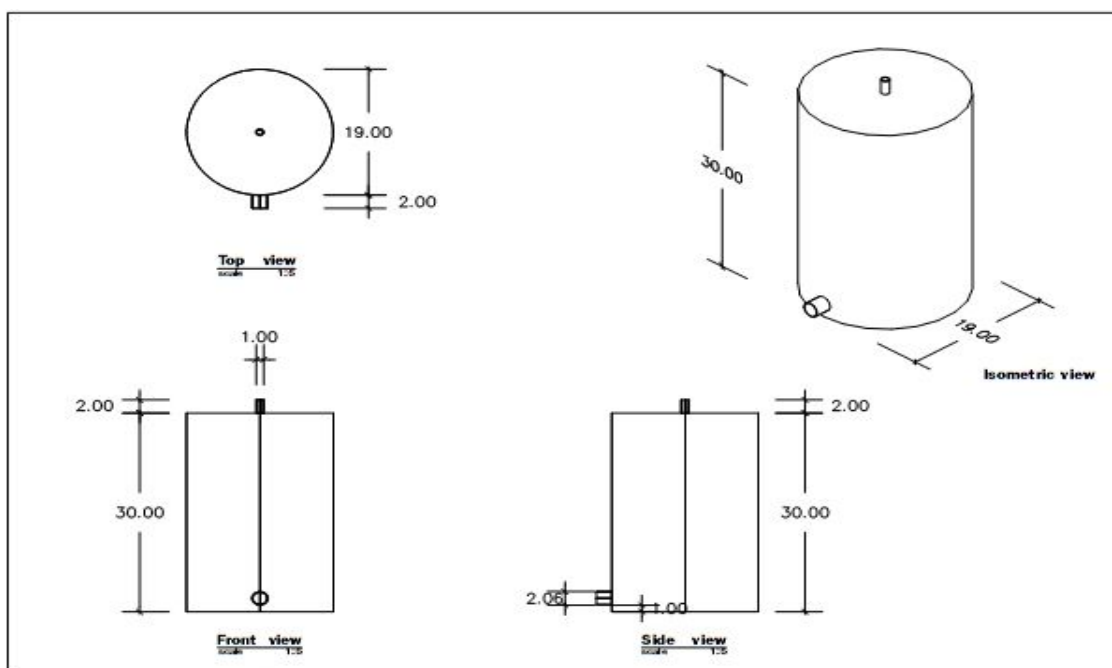
ส่วนประกอบทางโภชนาการบางประการของอาหารปลา

Protein	47.5%
Oil	6.5%
Fiber	2.0%
Ash	10.5%
Moisture	6.0%
Addactive:	
Vitamin A	29770 IU/kg.
Vitamin D3	1860 IU/kg.
Vitamin E	200mg/kg.
L-ascorbyl-2-polyphosphate	137mg/kg
Lectin	
L-lysine monochlorhydrate	
Citric acid	

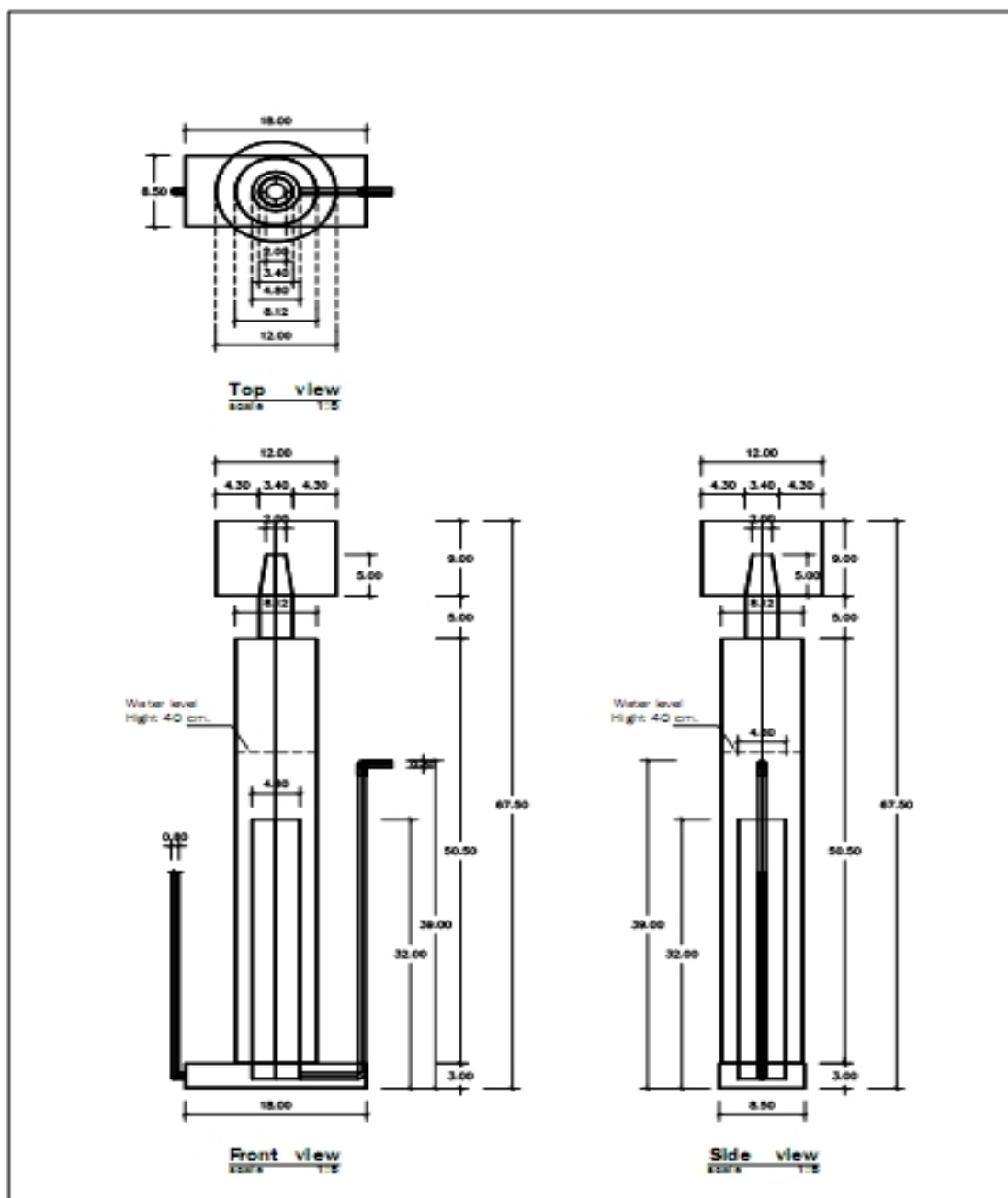
ภาคผนวก จ
ภาพร่างของระบบกรอง



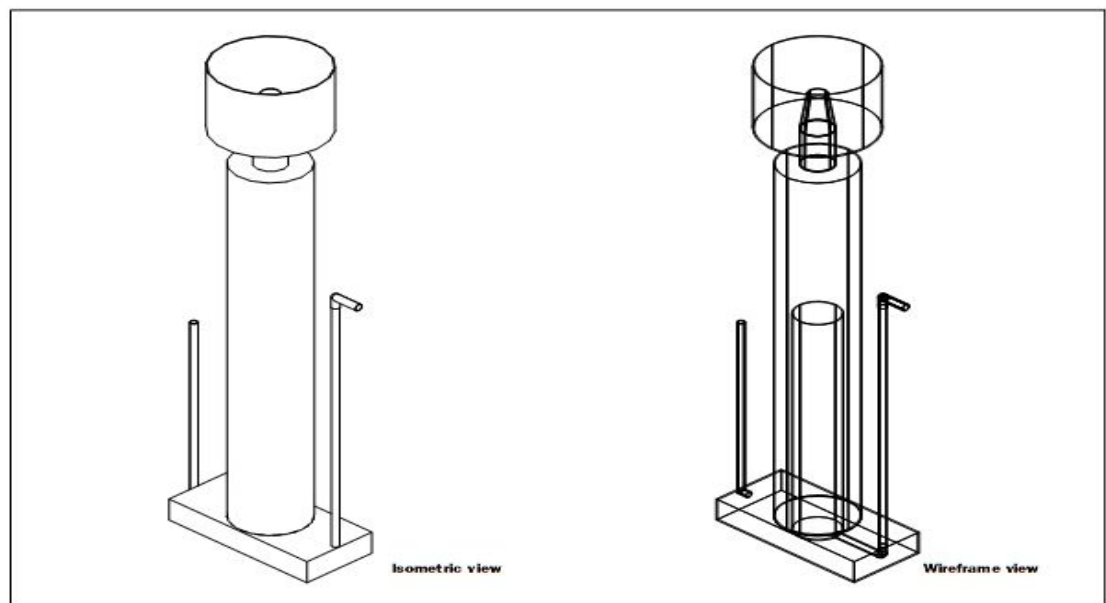
ภาพผนวกที่ จ1 รูปแสดงขนาดของตู้ทดลองที่ใช้ในการเลี้ยงปลา



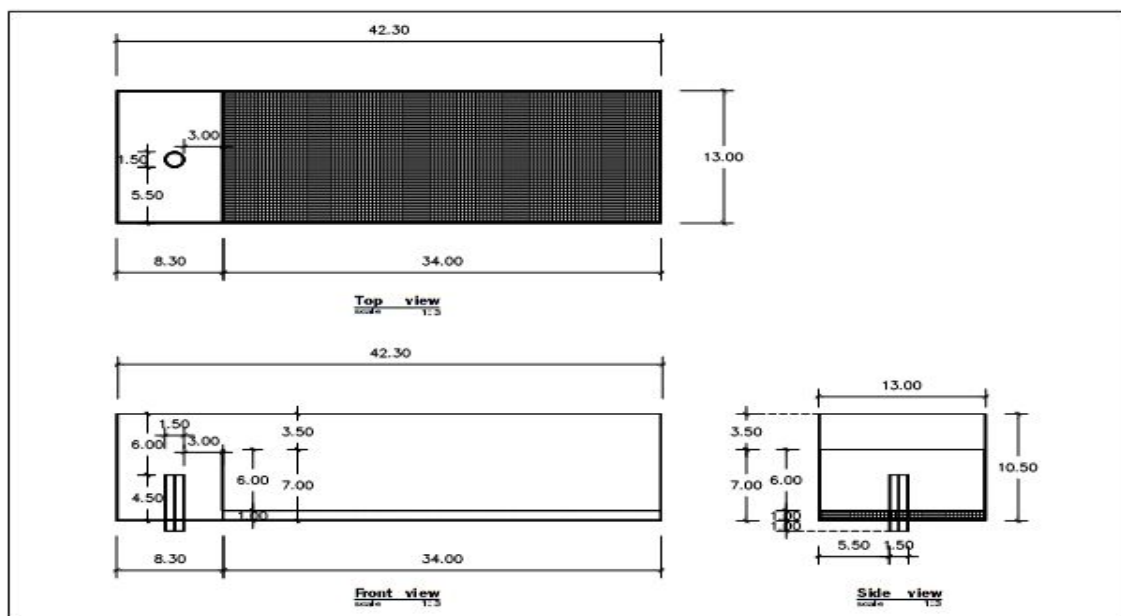
ภาพผนวกที่ จ2 รูปภาพแสดงขนาดของถังปฏิกิริยาของเครื่องกรองแบบ trickling filter



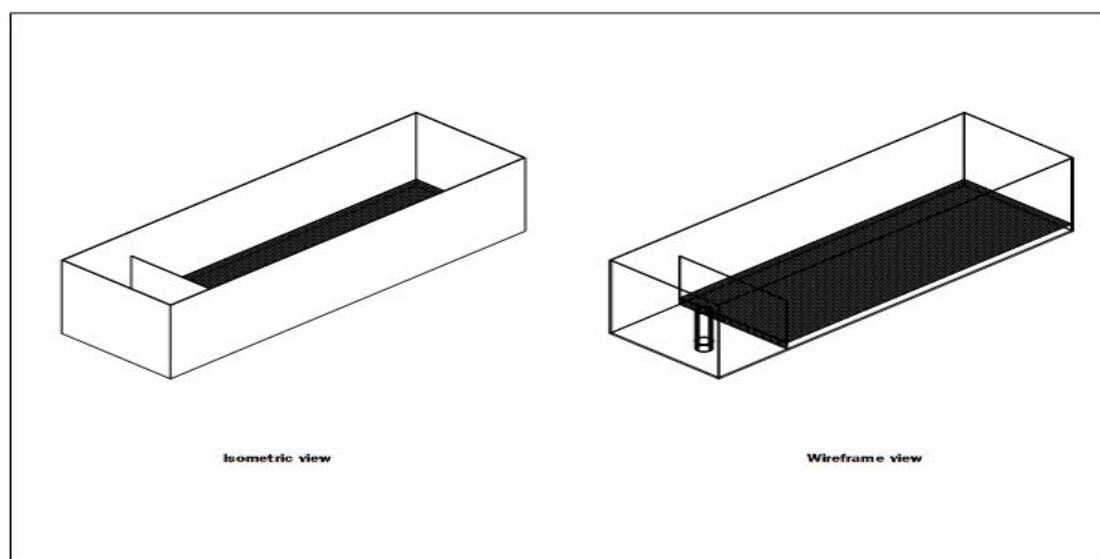
ภาพผนวกที่ จ3 รูปแสดงขนาดและภาพตัดขวางของเครื่องกรองแบบ skimmer



ภาพผนวกที่ จ4 รูปแสดงภาพ 3 มิติของเครื่องกรองระบบ skimmer



ภาพผนวกที่ จ5 รูปภาพแสดงขนาดและส่วนประกอบของเครื่องกรองระบบสำหรับ



ภาพผนวกที่ จ6 รูปแสดงภาพ 3 มิติของเครื่องกรองระบบสำหรับ

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นาย ภัคพงษ์ ตั้งชัยภิญโญกุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	4 ธันวาคม พ.ศ.2520
สถานที่เกิด	รพ.จุฬาลงกรณ์ กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วท.บ.(ประมง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักวิชาการประมง(ชั่วคราว)
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมประมง
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	

