สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ผลและวิจารณ์ผล

การคัดเลือกพืชที่ใช้ปลูกในระบบบำบัด

การคัดเลือกชนิดพืชที่ใช้ปลูกในระบบบำบัด ในระยะแรกพยายามเลือกพืชที่ขึ้นได้ในป่าชายเลน ที่ขึ้นได้ตามชายฝั่งทะเลโดยทั่วไป อาทิ เช่น โกงกางขนาดเล็ก เป็นต้น แต่การคัดเลือกในขั้นนี้ไม่ประสบความสำเร็จตามที่ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ ผลจากการวิจัยที่ได้จากการปฏิบัติพบว่า 1) พืชป่าชายเลนที่นำมาทดสอบปลูกในระบบแม้นจะเลือกชนิดและต้นที่มีขนาดเล็ก แต่ก็ยังมีขนาดใหญ่เมื่อนำปลูกลงในระบบบำบัดที่ต้องการให้มีขนาดเล็ก ไม่สามารถปลูกได้ในจำนวนต้นหรือความหนาแน่นมากๆ ทำให้ต้องใช้พื้นที่มากซึ่งไม่เหมาะกับสถานที่ทำการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของฟาร์มและไม่ตรงวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้เพื่อให้ได้ระบบบำบัดที่มีขนาดเล็กไม่สิ้นเปลืองพื้นที่ 2) พืชที่นำมาทดสอบปลูกในระบบไม่สามารถเจริญเติบโตได้ พบลักษณะหลักๆ คือ ใบไหม้หลุดร่วงและตายในที่สุด 3) พืชที่นำมาปลูกต้องอาศัยพื้นผิวเกาะติดเพื่อประคองให้ลำต้นยืนอยู่ได้ ซึ่งต้องใช้ทรายและกรวดปูพื้นระบบ เมื่อน้ำเสียไหลผ่านระบบไประยะหนึ่งจะเกิดการอุดตันต้องทำการล้างระบบและเริ่มระบบใหม่อยู่บ่อยครั้งทำให้การทำวิจัยไม่ต่อเนื่องตามที่ควรจะเป็น 4) การบรรจุทรายและกรวดซึ่งเป็นตัวยึดเกาะภายในระบบทำให้อัตราการไหลของน้ำเสียไหลได้ช้ามาก ไม่ทันกับปริมาณน้ำเสียที่มีมากๆ ได้ เมื่อพยายามเพิ่มอัตราการไหลน้ำเสียจะเอ่อและล้นขึ้นทางด้านบนของระบบแทนที่จะไหลไปตามที่ออกแบบไว้ ดังนั้นจึงให้ความสนใจสาหร่ายทะเลที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนักที่นิยมใช้เลี้ยงในการเลี้ยงสัตว์น้ำเค็มในปัจจุบัน ได้แก่ สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa racemosa*) และสาหร่ายริบบิ้น (*Caulerpa prolifera* (Forsskål) J.V.Lamouroux) และ สาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณสารประกอบอนินทรีย์ในโตรเจนเชิงปริมาณ

นำสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa racemosa*) และสาหร่ายริบบิ้น (*Caulerpa prolifera* (Forsskål) J.V.Lamouroux) และ สาหร่ายผักกาดทะเล (*Ulva rigida* C. Agardh, 1823) ชั่งน้ำหนักอย่างละ 100 กรัม โดยการแทนที่น้ำ นำสาหร่ายแต่ละชนิดใส่ลงในตู้กระจกที่มีน้ำทะเลปริมาตร 50 ลิตร ที่ผ่านการใช้เลี้ยงลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อนและมีการสะสมสารประกอบแอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรท เริ่มต้นเท่ากับ 3.98 mgNH_3-N/L, 0.04 mgNO_2-N/L และ 7.49 mgNO_3-N/L ตามลำดับ มีความเค็มที่ 31 ส่วนในพันส่วน ค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.2 เปิดปลั๊มแบบจุ่มขนาดเล็กเพื่อให้น้ำในตู้มีการหมุนเวียน โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในสภาวะธรรมชาติกล่าวคือ ใช้แสงสว่างจากดวงอาทิตย์และอุณหภูมิตามของสถานที่ที่ใช้ทำการวิจัย เพื่อให้ได้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเหมือนการนำสาหร่ายไปใช้งานจริงๆ ตรวจวัดความเข้มข้นของ แอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรท ทุก 24 ชั่วโมง นาน 48 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรท ที่เหลือในน้ำที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย *Caulerpa prolifera* (Forsskål) J.V.Lamouroux มีค่าเท่ากับ 0.53 mgNH_3-N/L, 0.01 mgNO_2-N/L และ 1.02 mgNO_3-N/L ตามลำดับ สาหร่าย *Caulerpa racemosa* มีค่าเท่ากับ 1.80 mgNH_3-N/L, 0.02 mgNO_2-N/L และ 3.77 mgNO_3-N/L

ตามลำดับ และ สาหร่าย *Ulva rigida* C. Agardh, 1823 มีค่าเท่ากับ 2.59 mgNH_3-N/L, 0.03 mgNO_2-N/L และ 5.11 mgNO_3-N/L ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 1)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรทของสาหร่าย *Caulerpa prolifera* สามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรท ได้สูงสุดเท่ากับ 86.68, 75 และ 86.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รองลงมาคือ สาหร่าย *Caulerpa racemosa* และ *Ulva rigida* ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 1) ดังนั้นจึงคัดเลือก สาหร่าย *Caulerpa prolifera* เพื่อลงเลี้ยงในระบบบำบัดและทดสอบประสิทธิภาพโดยรวมของระบบต่อไป

การออกแบบระบบบำบัด

ระบบบำบัดที่ออกแบบเป็นรูปแบบการผสมผสานของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบต่างๆ เข้าด้วยกัน คือ

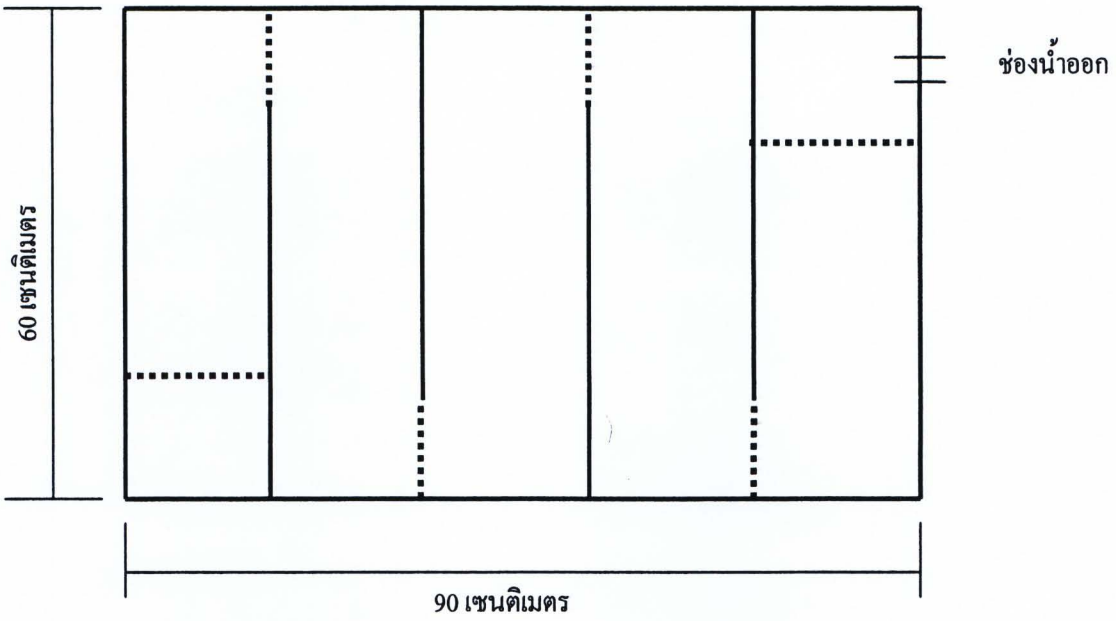
1) การนำแนวคิดหลักในการใช้พืชในการกำจัดของเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands) แต่เพื่ออัตราการไหลของน้ำเสียให้ไหลได้มากจึงใช้สาหร่ายเป็นตัวแทนของพืชที่ใช้ในระบบ เพราะไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุยึดเกาะสามารถกระจายตัวลอยอยู่ได้เองในระบบ

2) มีส่วนของวัสดุตัวกลางสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นแนวคิดของระบบบำบัดน้ำเสียฟิล์มตรึง (Fixed film Process) และระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ตัวกลางเติมอากาศ (Contract Aeration Process) แต่ระบบที่ออกแบบใช้เพียงตัวกลางให้จุลินทรีย์เกาะหรือสร้างฟิล์มชีวภาพเท่านั้น

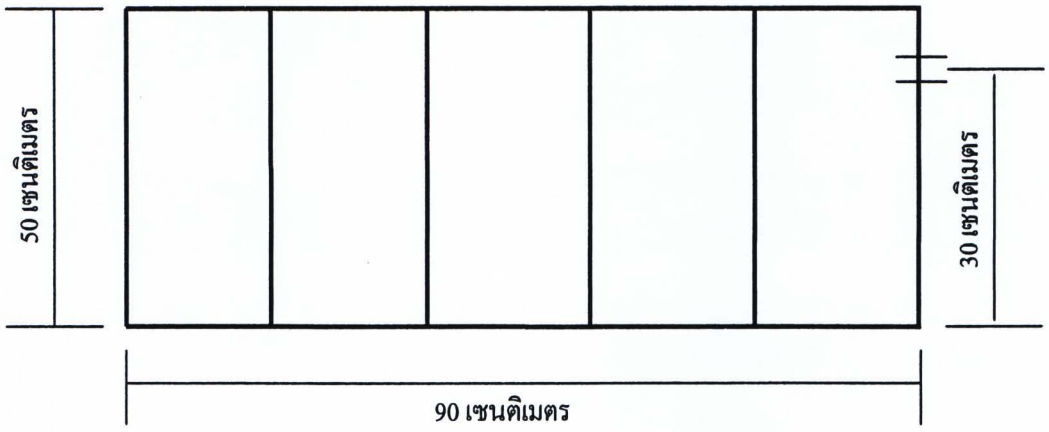
3) เพื่อระยะเวลาการสัมผัสระหว่างน้ำเสียกับวัสดุตัวกลางและพืชน้ำที่ใช้ในระบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดของเสียของวัสดุตัวกลางและพืชน้ำที่ใช้ จึงออกแบบระบบให้เป็นช่องเล็กๆ หลายๆ ช่อง มีทางให้น้ำไหลที่ปลายของช่องแต่ละช่องสลับหัว-ท้ายกันไป ทำให้ทิศทางการไหลของน้ำไหลกลับไปกลับมา เป็นแนวคิดของระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch Process) ซึ่งเป็นรูปแบบของระบบดัดแปลงของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (Activated Sludge Process)

4) มีส่วนของการตกตะกอน (Sedimentation) ในช่วงแรกของระบบ ซึ่งเป็นรูปแบบของการบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพ

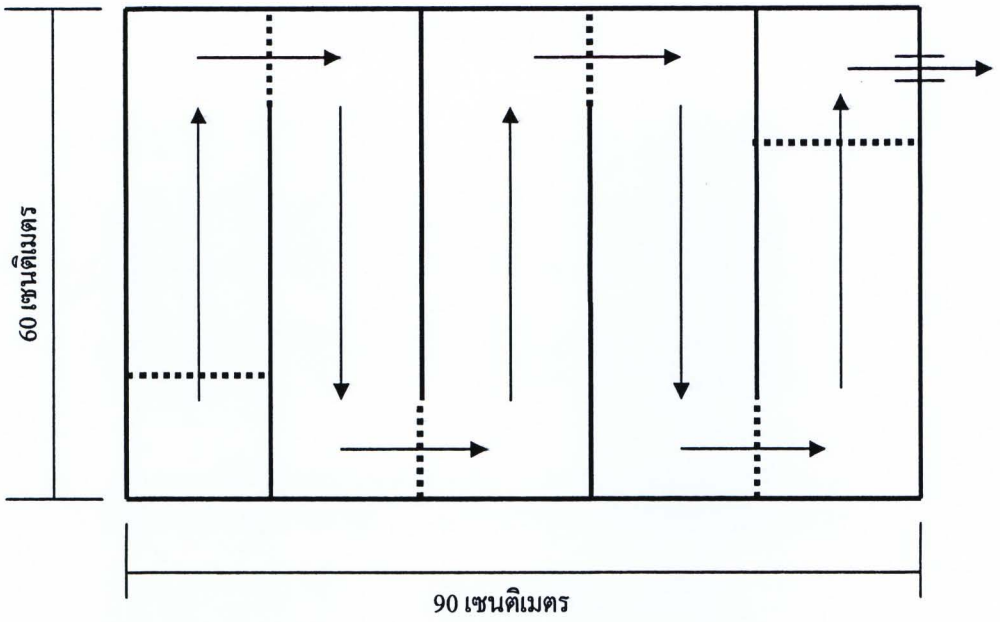
ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียที่ออกแบบมาในการวิจัยนี้ จึงมีส่วนประกอบของระบบต่างๆ เข้าด้วยกันดังกล่าวข้างต้น เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียได้สูงสุดและมีขนาดเล็กเหมาะสำหรับฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเค็มที่มีพื้นที่จำกัด แต่เพื่อให้กำหนดชื่อเรียกได้จึงขอใช้แนวคิดหลักคือระบบการกำจัดของเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands) แต่เป็นบึงประดิษฐ์แบบดัดแปลงหรือแบบประยุกต์ รวมเรียกเป็น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ประยุกต์ (Applied Constructed Wetlands)



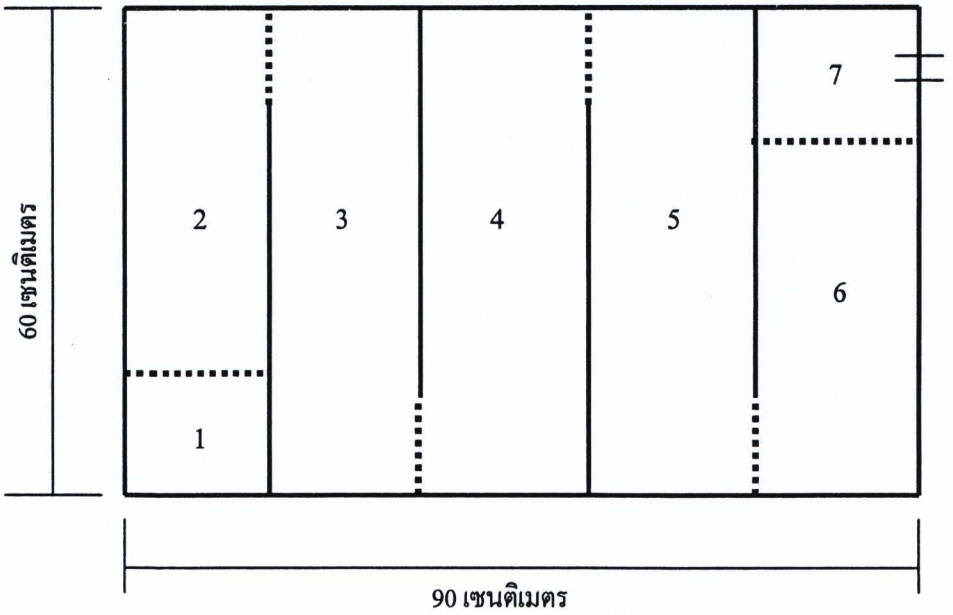
รูปที่ 5 ลักษณะรูปแบบของระบบบำบัดที่ออกแบบเมื่อมองจากด้านบน



รูปที่ 6 ลักษณะรูปแบบของระบบบำบัดที่ออกแบบเมื่อมองจากด้านข้าง



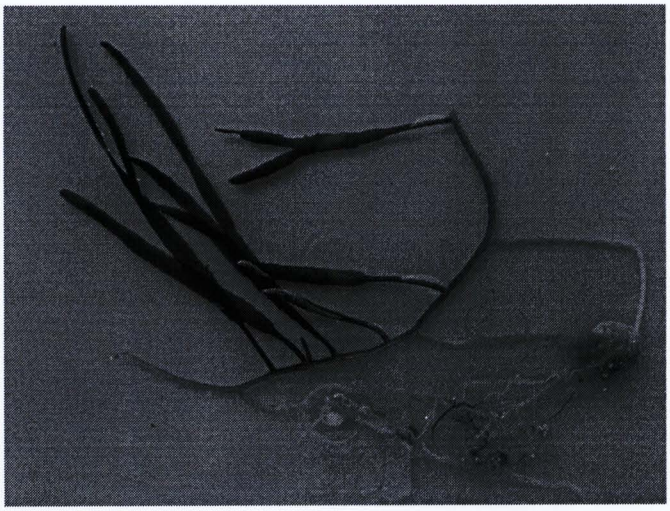
รูปที่ 7 ทิศทางการไหลของน้ำเมื่อมองจากด้านบน



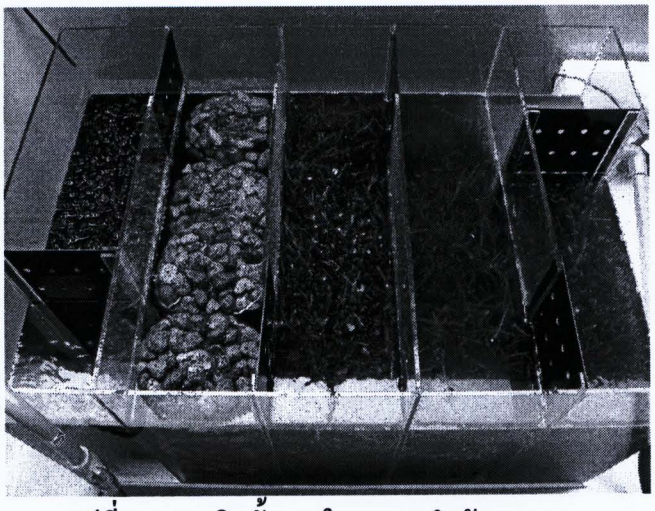
รูปที่ 8 การแบ่งองค์ประกอบภายในระบบบำบัด

1 = ช่องรับน้ำเสีย 2 ,7 = ส่วนตกตะกอน

3 = วัสดุตัวกลาง 4,5,6 = ส่วนบรรจุพืชน้ำ

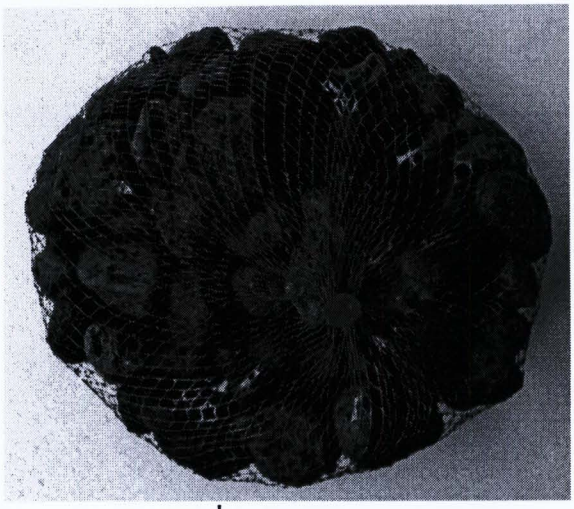


รูปที่ 9 สาหร่าย *Caulerpa prolifera* (Forsskål) J.V.Lamouroux



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 10 การติดตั้งภายในระบบบำบัด



รูปที่ 11 หินภูเขาไฟ

การจัดเตรียมระบบบำบัด

ทำการติดตั้งระบบบำบัดโดยแบ่งส่วนต่างๆ ตามรูปที่ 9 คือ

1) ใส่ไบโอบอลขนาดเล็กในช่องหมายเลข 2 ให้ลอยอยู่บริเวณผิวหน้าน้ำ เพื่อดักตะกอนที่มีขนาดเล็กและเบาที่ตกตะกอนได้ช้า

2) ใส่วัสดุตัวกลางในช่องหมายเลข 3 ในการวิจัยนี้เลือกใช้หินภูเขาไฟที่มีความพรุนและน้ำหนักเบา (รูปที่ 9)

3) ใส่พืชน้ำในช่องหมายเลข 4, 5 และ 6 ในการวิจัยนี้เลือกใช้สาหร่าย *Caulerpa prolifera* (Forsskål) J.V.Lamouroux น้ำหนัก 1 กิโลกรัม

4) ต่อท่อน้ำจากบ่อเก็บน้ำเสียที่ต้องการบำบัด เข้าที่ช่องรับน้ำเสีย โดยปลายของท่อที่อยู่ในถังเก็บน้ำเสียติดตั้งอยู่กับปลั๊มแบบจุ่มเพื่อปลั๊มน้ำเสียเข้าสู่ระบบ

5) ต่อท่อจากช่องน้ำออกกลับคืนสู่ถังเก็บน้ำเสีย

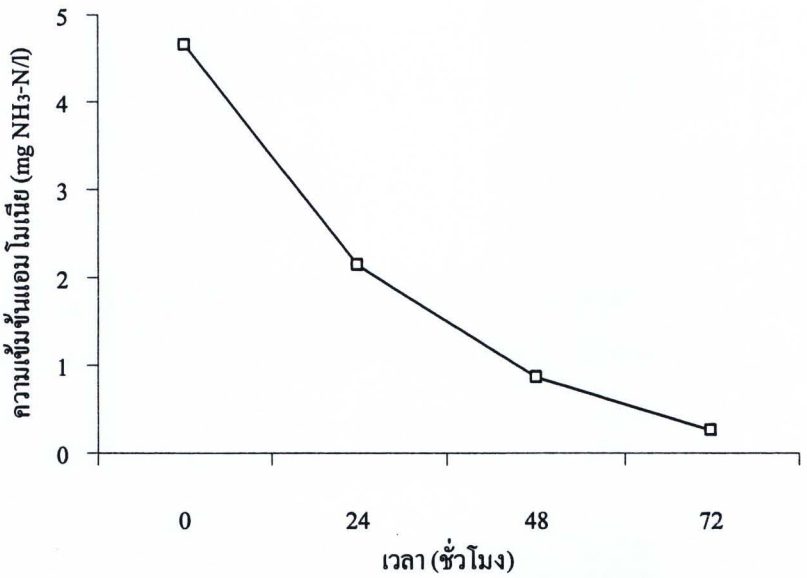
6) เติมน้ำทะเลที่ผ่านการใช้เลี้ยงลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อนแล้วลงในถังเก็บน้ำเสีย

7) เปิดปลั๊มน้ำเพื่อให้น้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบบำบัด พร้อมทั้งเติมน้ำในถังเก็บน้ำเสียไปพร้อมๆ กัน ปลั๊มน้ำไปเรื่อยๆ จนน้ำเสียเข้าเต็มระบบบำบัด และระดับน้ำเริ่มล้นออกทางช่องน้ำออก

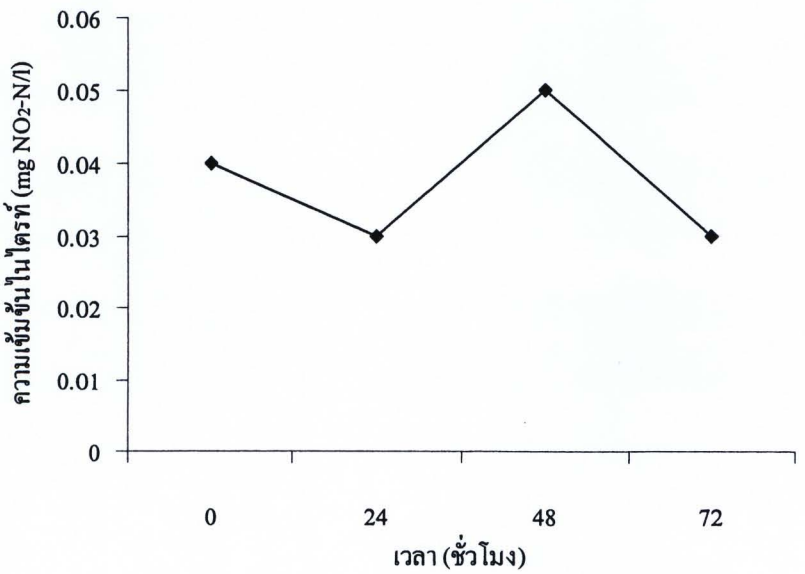
8) ทิ้งให้ระบบทำงาน นาน 1 สัปดาห์ เพื่อปรับสภาพสาหร่ายที่ใช้ และวัสดุตัวกลาง พร้อมทั้งการสร้างฟิล์มชีวภาพในวัสดุตัวกลางด้วย

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบบำบัด

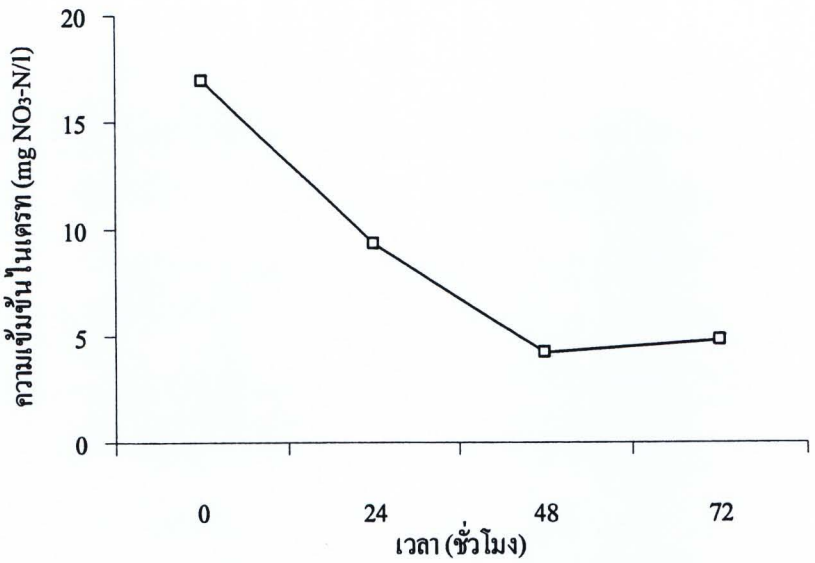
ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบบำบัด โดยเปลี่ยนน้ำเสียในระบบใหม่ พยายามดูดน้ำภายในระบบออกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เติมน้ำเสียใหม่ลงในถังเก็บน้ำเสีย เปิดปลั๊มน้ำเพื่อให้น้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบบำบัด พร้อมทั้งเติมน้ำในถังเก็บน้ำเสียไปพร้อมๆ กัน ปลั๊มน้ำไปเรื่อยๆ จนน้ำเสียเข้าเต็มระบบบำบัด และระดับน้ำเริ่มล้นออกทางช่องน้ำออก ขั้นตอนนี้พยายามทำอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันไม่ให้ชีวภาพในระบบสัมผัสอากาศนานเกินไป เพราะจุลินทรีย์บางชนิดจะถูกยับยั้งการทำงานได้เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศเป็นเวลานานๆ น้ำเสียเริ่มต้นที่ใช้ในขั้นตอนนี้มีค่าความเค็มอยู่ที่ 32 ส่วนในพันส่วน ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8.4 ความเข้มข้นของสารประกอบแอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรท เริ่มต้นเท่ากับ 4.64 $mgNH_3$-N/L, 0.04 $mgNO_2$-N/L และ 16.9 $mgNO_3$-N/L ตามลำดับ จากนั้นเปิดปลั๊มให้น้ำเสียไหลผ่านระบบบำบัดอย่างต่อเนื่อง ตรวจวัดความเข้มข้น ของ แอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรท ทุก 24 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นของ แอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรท มีค่าเท่ากับ 0.25 $mgNH_3$-N/L, 0.03 $mgNO_2$-N/L และ 4.78 $mgNO_3$-N/L ตามลำดับ ที่เวลานาน 72 ชั่วโมง (แสดงในรูปที่ 12.1- 12.3)



รูปที่ 12.1 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ของน้ำเสียในระบบบำบัด



รูปที่ 12.2 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ของน้ำเสียในระบบบำบัด



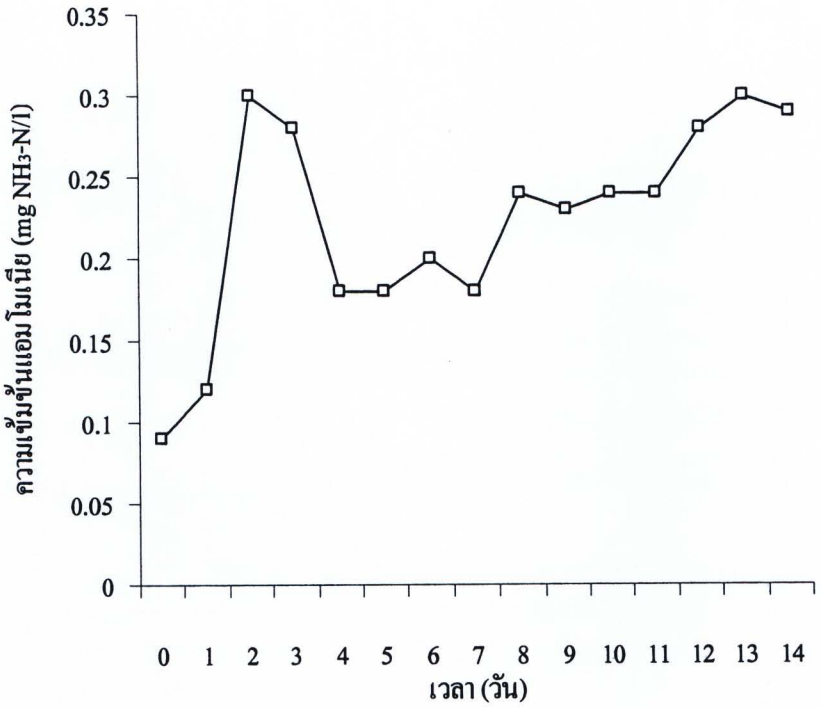
รูปที่ 12.3 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ของน้ำเสียในระบบบำบัด

จากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบบำบัด พบว่าระบบบำบัดสามารถลดความเข้นข้นของแอมโมเนียเหลือเพียง 0.25 mgNH_3-N/L ในเวลาเพียง 72 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระดับที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ หรืออีกความหมายหนึ่งคือ น้ำที่ผ่านการบำบัดนี้สามารถนำกลับไปใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำซ้ำได้อีก

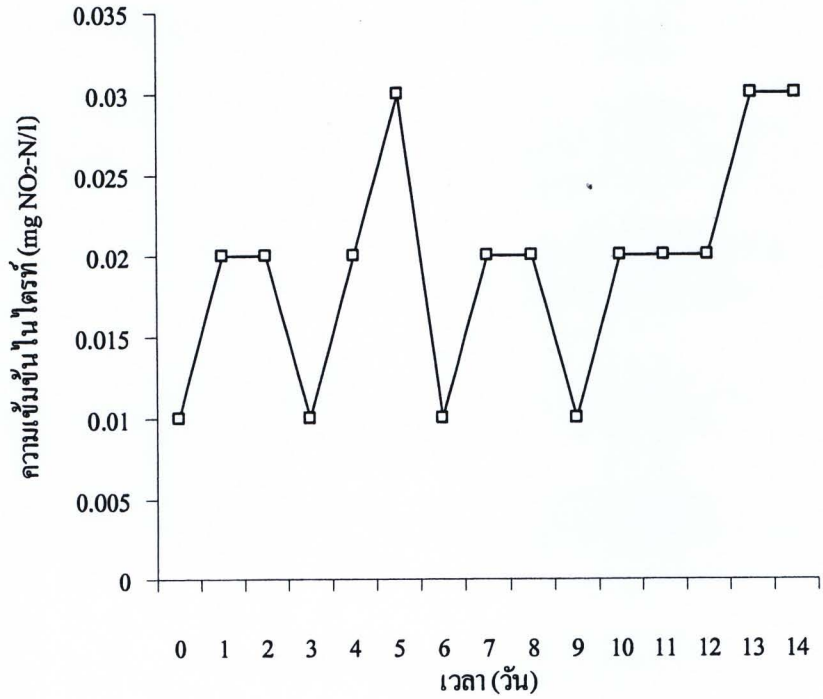
ทดสอบประสิทธิภาพระบบบำบัดกับการอนุบาลลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อน

เตรียมระบบบำบัดเช่นเดียวกับขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพ ทำการถ่ายน้ำเสียออกจากระบบพร้อมกับเติมน้ำทะเลที่ผ่านการกรองและฆ่าเชื้อแล้วลงไปแทนช้าๆ สม่ำเสมอและต่อเนื่อง เพื่อป้องกันสภาวะชีวภาพภายในระบบจากการปรับความเข้มข้น และปล่อยลูกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) วัยอ่อน(P1) ลงเลี้ยงในถังเก็บน้ำเสียเดิมในขั้นตอนนี้ใช้เป็นถังเลี้ยงลูกกุ้งแทน ที่ความหนาแน่น 800,000 ตัวต่อปริมาตร 1 ลูกบาศเมตร ที่ปริมาณน้ำ 2 ลูกบาศเมตร ที่ความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน ความเป็นกรด-ด่าง 8.0 แต่ต้องหุ้มปลั๊มด้วยผ้ากรองก่อนเปิดใช้งานระบบบำบัด เพื่อป้องกันลูกกุ้งถูกดูดเข้าไปปลั๊มและระบบบำบัด (ชุดทดลอง) เปรียบเทียบกับชุดการเลี้ยงที่ไม่ใช้ระบบบำบัด(ชุดควบคุม) เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยเก็บน้ำเลี้ยงจากระบบมาวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท ปริมาณไนไตรท์ ปริมาณแอมโมเนีย ทุกวัน และตรวจวัดความเจริญของลูกกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงทดสอบ ได้แก่ ขนาดความยาว น้ำหนักตัว อัตราการรอดตาย เมื่อสิ้นสุดการทดลอง เป็นต้น

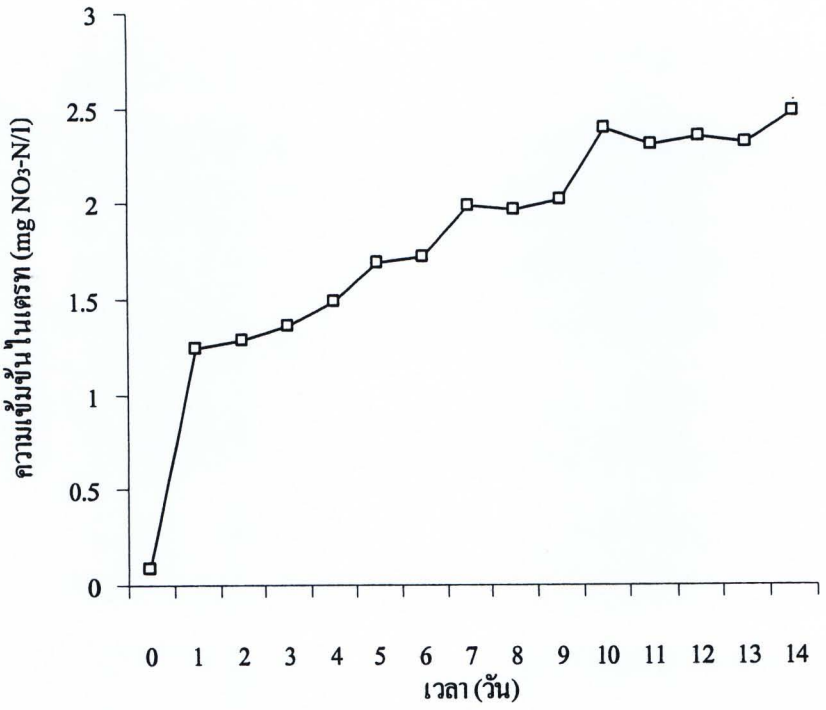
ในชุดทดลองพบความเข้นข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท เท่ากับ 0.09-0.30 mgNH_3-N/L, 0.01-0.03 mgNO_2-N/L และ 15.4 mgNO_3-N/L (แสดงในรูปที่ 13.1- 13.3)



รูปที่ 13.1 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ภายในระบบการเลี้ยงลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อน



รูปที่ 13.2 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ภายในระบบการเลี้ยงลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อน



รูปที่ 13.3 ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ภายในระบบการเลี้ยงลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อน

จากการตรวจวัดความเจริญของลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อน (P1) ที่เลี้ยงทดสอบ ได้แก่ ขนาดความยาว น้ำหนักตัว อัตราการรอดตาย เมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยการชั่งน้ำหนักด้วยวิธีการแทนที่น้ำและวัดความยาวลำตัวที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับความยาวลำตัวเริ่มต้น โดยมีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 3.1 มิลลิกรัมและความยาวเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.11 เซนติเมตรตามลำดับ พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองลูกกุ้งกุลาดำในชุดการทดลองและชุดควบคุมมีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตของลูกกุ้งกุลาดำ

	น้ำหนักตัวเฉลี่ย (มิลลิกรัม)	น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (เท่า)	ความยาวลำตัวเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ความยาวลำตัวที่เพิ่มขึ้น (เท่า)
ชุดทดลอง	37.2 ± 1.02	12	1.15 ± 0.01	10.45
ชุดควบคุม	38.1 ± 2.07	12.29	1.20 ± 0.02	10.90

ตารางที่ 2 อัตราการรอดตายของกุ้งกุลาดำ

	อัตราการรอดตาย (เปอร์เซ็นต์)
ชุดทดลอง	74.0 ± 5.0
ชุดควบคุม	73.0 ± 4.9

จากการทดสอบประสิทธิภาพระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ประยุกต์กับการเพาะเลี้ยงลูกกุ้งกุลาดำวัยอ่อนกับชุดควบคุม พบว่าชุดทดลองมีการสะสมของไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนียต่ำอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อสัตว์น้ำโดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนน้ำเป็นระยะเช่นเดียวกับชุดควบคุมซึ่งเป็นการเลี้ยงลูกกุ้งกุลาดำแบบปกติหรือไม่ใช้ระบบบำบัด ชุดควบคุมต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำเลี้ยงเป็นระยะประมาณ 2-3 วันต่อครั้ง โดยลดปริมาตรน้ำเลี้ยงลงประมาณ 30-35 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรรวม ประมาณ 600-700 ลิตรต่อปริมาตรการเลี้ยง 2 ลูกบาศเมตร ขึ้นอยู่กับปริมาณอยู่ของเสียที่สะสม โดยปกติถ้าไม่ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำจะมีการสะสมแอมโมเนียสูงตั้งแต่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไป ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อสัตว์น้ำ และตายในที่สุด รวมตลอด 14 วัน ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำ 4,200-4,900 ลิตรต่อปริมาตรการเลี้ยง 2 ลูกบาศเมตร หรือ 2000 ลิตร รวมน้ำทะเลที่ใช้ต่อการเลี้ยง 1 บ่อ ประมาณ 6,200-6,900 ลิตร จะเห็นได้ว่าการเลี้ยงโดยใช้ระบบบำบัดร่วมด้วยจะประหยัดน้ำทะเลที่ใช้เลี้ยงได้เกือบ 5 ลูกบาศเมตร และน้ำที่ใช้เลี้ยงก็ยังมีคุณสมบัติที่ดีไม่จำเป็นต้องทิ้ง สามารถใช้ทำการเพาะเลี้ยงในรอบต่อๆ ไปได้ ถึงแม้นอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของลูกกุ้งกุลาดำของการเลี้ยงที่ใช้ระบบบำบัดและการเลี้ยงแบบปกติจะมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่การใช้ระบบบำบัดร่วมด้วยจะช่วยลดต้นทุนลงได้อย่างมากในการจัดหาน้ำเค็มในการเพาะเลี้ยง อาทิ ค่าใช้จ่ายในขนส่งน้ำเค็มจากแหล่งน้ำเค็มที่มีความสะอาดไปยังฟาร์มเพาะเลี้ยง นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาในการถ่ายน้ำเค็มออกสู่สภาวะแวดล้อมที่อยู่รอบข้างได้ด้วย