หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

บริเวณอ่าวไทยตอนในซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 10,000 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ปากอ่าว ไปจนถึงเส้นเชื่อมระหว่างอำเภอหัวหิน และอำเภอสัตหีบ บริเวณนี้ได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำสำคัญสี่สายคือ เจ้าพระยา ท่าจีน บางปะกง และแม่กลอง และยังเป็นที่รองรับของเสียและมลสารที่ถูกถ่ายเทมาตามแม่น้ำเหล่านี้ด้วย ของเสียและมลสารที่ก่อให้เกิดปัญหามากที่สุดคือ ตะกอนแขวนลอย สารอินทรีย์ สารประกอบไนโตรเจน ปรอท และจำนวนแบคทีเรีย (กองอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2527) ของเสียและมลสารเหล่านี้มีต้นกำเนิดมาจากการระบายของเสียลงสู่แหล่งน้ำของโรงงานอุตสาหกรรม การนำของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมปล่อยทิ้งลงสู่ทะเลโดยตรง การระบายของเสียจากแหล่งชุมชน การระบายของเสียจากการประมงน้ำจืด การปศุสัตว์ที่ไม่มีระบบกำจัดของเสียการกสิกรรมที่ใช้ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และยากำจัดวัชพืช โดยขาดมาตรการควบคุม (สุทธิชัย เตมียวณิชย์, 2527) นอกจากนี้ในบริเวณอ่าวไทยยังมีปัญหาเกี่ยวกับความเค็มตามธรรมชาติของน้ำทะเลด้วย โดยเฉพาะในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำ ความเค็มจะต่ำในฤดูฝน โดยอาจลดต่ำลงถึง 2 ส่วนในพันส่วน ในขณะที่ในฤดูอื่นมีความเค็มเฉลี่ย 28.01 ส่วน ในพันส่วน (สุทธิชัย เตมียวณิชย์, 2527) ซึ่งสาเหตุต่าง ๆ นี้ทำให้คุณภาพน้ำในบริเวณอ่าวไทยตอนในมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ จึงมีผลต่อการเพาะพันธุ์กุ้งทะเลในบริเวณ ชายฝั่งของอ่าวไทยตอนใน โดยที่การเพาะพันธุ์กุ้งทะเลจะได้ผลดีก็ต่อเมื่อน้ำทะเลอยู่ในสภาพที่มีคุณภาพดี ดังนั้นการนำระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดมาใช้ในการเพาะพันธุ์กุ้งทะเลจะช่วยลดอัตราเสี่ยงอันเนื่องมาจากภาวะมลพิษ และการแปรผันของคุณภาพน้ำตามธรรมชาติได้ นอกจากนี้ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดยังสามารถลดต้นทุนการผลิตเนื่องจากต้องการใช้น้ำทะเลไม่มากนัก น้ำที่ถูกใช้แล้วจะถูกทำความสะอาดด้วยขบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา แล้วจึงนำกลับมาใช้ใหม่ จึงเป็นวิธีการที่ประหยัดกว่า

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาคุณภาพน้ำในระบบเพาะพันธุ์กุ้งทะเลชนิดหมุนเวียนน้ำแบบปิดเปรียบเทียบกับระบบเพาะพันธุ์กุ้งทะเลแบบเปิด (มีการเปลี่ยนน้ำตลอด)
2. ศึกษาอัตราการวางไข่ของแม่พันธุ์กุ้งทะเลในระบบเพาะพันธุ์ทั้ง 2 แบบ
3. ศึกษาอัตราการรอดของลูกกุ้งทะเลในระบบเพาะพันธุ์ทั้ง 2 แบบ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำระบบเพาะพันธุ์กุ้งทะเลชนิดหมุนเวียนน้ำแบบปิดไปใช้แทนระบบเพาะพันธุ์กุ้งทะเลแบบเปิดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในพื้นที่ที่มีการแปรผันของคุณภาพน้ำตลอดเวลา
2. เป็นการลดต้นทุนการผลิต ทำให้สามารถผลิตลูกกุ้งทะเลได้ในราคาถูกและในปริมาณมาก (เนื่องจากเพิ่มบริเวณที่สามารถทำการเพาะพันธุ์ได้) ทำให้สามารถ แก้ปัญหาการขาดแคลนลูกกุ้งทะเลได้
3. เป็นการเพิ่มผลผลิตอาหารอันสอดคล้องกับนโยบายการเพิ่มปริมาณอาหารและการเพิ่มรายได้ให้กับประชาชนด้วย

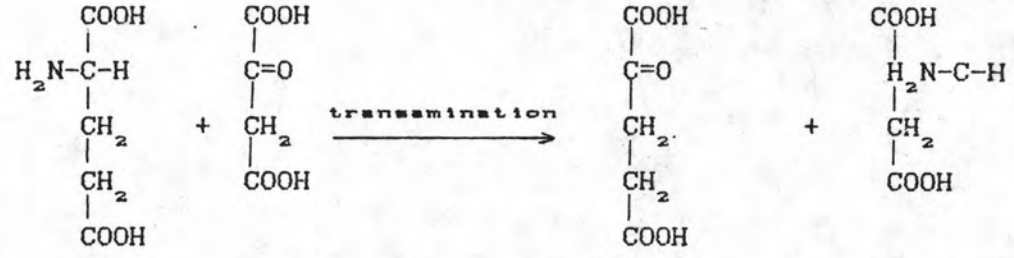
การสำรวจเอกสาร

1. ระบบกรองแบบชีวภาพ

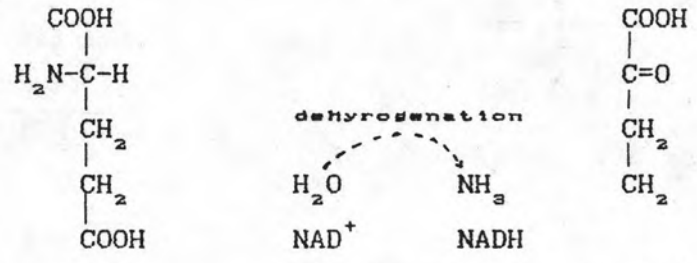
ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดนั้น เป็นระบบการเพาะเลี้ยงที่จำเป็นต้องมีการปรับสภาพน้ำที่ผ่านการใช้ในบ่อเลี้ยงมาแล้ว เพื่อให้มีคุณสมบัติที่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ การปรับสภาพน้ำดังกล่าว เป็นการปรับสภาพน้ำโดยมีระบบกรองชีวภาพเป็นระบบหลัก จนสามารถเป็นตัวแทนของคำว่าระบบน้ำแบบปิด (Spotte, 1974) ระบบกรองชีวภาพ (biological filters) เป็นระบบที่มีการกำจัดหรือเปลี่ยนของเสียต่าง ๆ โดยเฉพาะของเสียที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นหลัก (nitrogenous waste) เช่น แอมโมเนีย ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในระบบออกจากระบบ โดยกระบวนการต่างๆประกอบด้วยกระบวนการ mineralization, nitrification, dissimilation และ assimilation ทั้งนี้กระบวนการต่างๆ ที่กล่าวแล้ว จะต้องเกิดภายใต้สภาพที่มีออกซิเจน (aerobic condition)

กระบวนการ mineralization ซึ่งเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียนั้น จะเกิดที่บริเวณ ชั้นกรอง (filter bed) ของระบบกรองชีวภาพ ชั้นกรอง (filter bed) นี้จะประกอบด้วยชั้นของกรวดทรายภายใต้เป็นแผ่นวัสดุรองรับซึ่งมีรูให้น้ำผ่านเข้าออกได้ บริเวณผิวนอกของก้อนกรวดทรายเหล่านี้เองที่แบคทีเรียจะเข้าเกาะและเกิดกระบวนการต่าง ๆ ขึ้น ระบบปิดนั้นสารอินทรีย์ต่างๆ ในระบบจะเป็นแหล่งกำเนิดของสาร อนินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอันได้แก่ แอมโมเนีย (NH_3), ไนไตรท (NO_2) และไนเตรท (NO_3) สารอินทรีย์ในระบบปิดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการ mineralization ได้ 4 แบบคือ transamination : กรดอมิโน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ จะถูกเปลี่ยนโดยแบคทีเรียไปเป็นคีโตกรุ๊ป หรือกรดคีโต (keto group หรือ keto acid) (รูปที่ 1) dehydrogenation : ธาตุไนโตรเจนในกรดอมิโนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย แทนที่จะเข้าจับกับกรดอมิโนตัวอื่นแบบใน transamination (รูปที่ 1) decarboxylation : คาร์บอกซีลกรุ๊ป(carboxyl group : COOH) จะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และกรดอมิโน จะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบอะมีน (amine compound) (รูปที่ 1) สุดท้ายคือ deamination : อมิโนกรุ๊ปถูกดึงออกจากโมเลกุล แล้วกลายเป็นกรดอินทรีย์กับแอมโมเนีย (รูปที่ 1) ในกระบวนการ mineralization นั้น กระบวนการย่อยที่สำคัญคือ กระบวนการ deamination กระบวนการ deamination สามารถจำแนกได้เป็น 3 แบบตามลักษณะแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ที่จะถูกสลายแล้วให้แอมโมเนีย คือ 1. สารอินทรีย์ที่มาจากเซลพืชหรือสัตว์ที่ตายแล้ว 2. สารอินทรีย์ที่มาจากการปล่อยของแบคทีเรียในกระบวนการหายใจของเซล 3. จากเซลแบคทีเรียเองที่ตายแล้ว รวมถึงเซลที่ถูกย่อยด้วยกระบวนการภายใน(autolysis) แล้วด้วย แอมโมเนียที่ได้จากกระบวนการ deamination นี้จะเกิดขึ้นมาในขณะที่สารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเหล่านี้ถูกออกซิไดส์และนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานของแบคทีเรีย

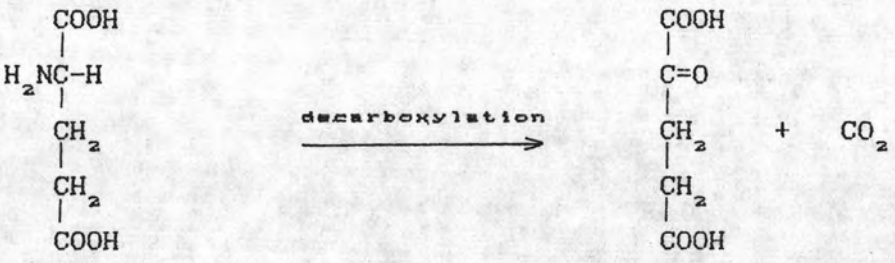
หลังจากสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบถูกสลาย และให้แอมโมเนียเป็นส่วนใหญ่แล้ว ระบบกรองชีวภาพจะเข้าสู่กระบวนการต่อไปคือ กระบวนการ nitrification ซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวเคมีซึ่งมีการออกซิไดส์แอมโมเนียไปเป็นไนเตรท โดยการกระทำของแบคทีเรีย (autotrophic bacteria) 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ Nitrosomonas ซึ่งเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท (ammonia-oxidizer) และ Nitrobactor ซึ่งจะเปลี่ยนไนไตรทให้เป็นไนเตรท (nitrite-oxidizer) ตามสมการ 1, 2



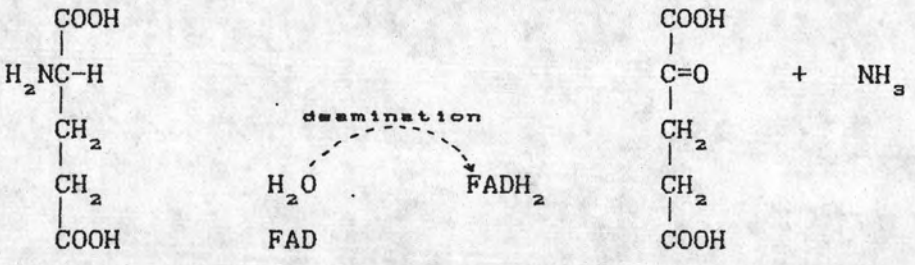
กรด L-กลูตามิค กรดออกซาโลอาเซติก กรดแอลฟา-คีโตกลูตาริค กรด L-แอสพาติก



กรด L-กลูตามิค กรดแอลฟา-คีโตกลูตาริค



กรด L-กลูตามิค กรดแกมม่า-อมิโนบิวทีริค



กรด L-กลูตามิค กรดแอลฟา-คีโตกลูตาริค

รูปที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกรดอมิโนในกระบวนการ mineralization (Spotte, 1979 อ้างจาก Brock, 1970)

$$NH_4^+ + OH^- + 1\tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow H^+ + NO_2^- + 2H_2O \qquad \text{_____1}$$

$$NO_2^- + 1/2O_2 \longrightarrow NO_3^- \qquad \text{_____2}$$

ในกระบวนการ nitrification นั้นประสิทธิภาพของการเปลี่ยนแอมโมเนียและไนไตรท ไปเป็นไนเตรทขึ้นอยู่กับ

- สารพิษที่มีผลต่อแบคทีเรียซึ่งมีอยู่ในน้ำ
- อุณหภูมิ
- ความเป็นกรด-เบส(pH)
- ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ
- ความเค็ม
- พื้นที่ผิวที่แบคทีเรียใช้เกาะอาศัย

1.1 <u>สารพิษที่มีผลต่อแบคทีเรียซึ่งมีอยู่ในน้ำ</u>

สารพิษที่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Nitrosomonas และ Nitrobactor) หรือ/และ ยับยั้งกระบวนการออกซิเดชั่นแอมโมเนียหรือไนไตรท ไปเป็นไนเตรท สารพิษดังกล่าวมี แอมโมเนีย ไนไตรท ซัลไฟด์ และสารที่มีผลในการฆ่าเชื้อ

ไนไตรท : ไนไตรทพบว่ามีปัญหาในกรณีที่เกิดขึ้นในบ่อเลี้ยงในความเข้มข้นสูง ๆ เป็นเวลานาน ในความเข้มข้นที่สูงมากกว่าความเข้มข้นปกติที่ชั้นกรองทั้งระบบ ถูกปรับสภาพมา โดยมากการเกิดไนไตรทที่มีความเข้มข้นสูงๆนี้จะเกิดจากมี anaerobic bacteria ในระบบ

แอมโมเนีย : Anthonisen et al. (1976) กล่าวถึงผลของแอมโมเนียต่อกระบวนการ nitrification โดยแบ่งผลของแอมโมเนีย เป็นในรูปของแอมโมเนียอิสระ (FA = NH_3) และกรดไนตรัสอิสระ (FNA = HNO_2) โดยในกรณีที่มีแอมโมเนียอิสระในความเข้มข้นสูง จะมีผลยับยั้งทั้งกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท และเปลี่ยนไนไตรทเป็นไนเตรท แต่ในกรณีที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระไม่สูงพอจะมีผลยับยั้งกระบวนการเปลี่ยนไนไตรทเป็นไนเตรทมากกว่ากระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท การยับยั้งกระบวน

การต่าง ๆ ดังกล่าวจะลดลงใน 2 กรณี คือ กรณีแรก เมื่อความเป็นกรด-เบส (pH) ลดลง ความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระเทียบกับความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนทั้งหมด (total NH_4-N) จะน้อยลงโดยที่กระบวนการ nitrification จะเกิดสภาพเป็นกรดขึ้น ดังสมการ

$$H^+ + NO_2^- \text{ ----> } HNO_2$$

จากสมการพบว่าจะพบสภาพความเป็นกรด และไนไตรทเกิดขึ้นพร้อมกับกรดไนตรัสอิสระ โดยจะเกิดเป็นไนไตรทมากเมื่อความเป็นกรดสูง (pH ต่ำ) ในกรณีที่สองนั้น ความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนทั้งหมด (total NH_4-N) จะลดลงเมื่อมีการเปลี่ยนเป็นไนไตรท โดยกระบวนการออกซิเดชั่น (โดยแบคทีเรีย)

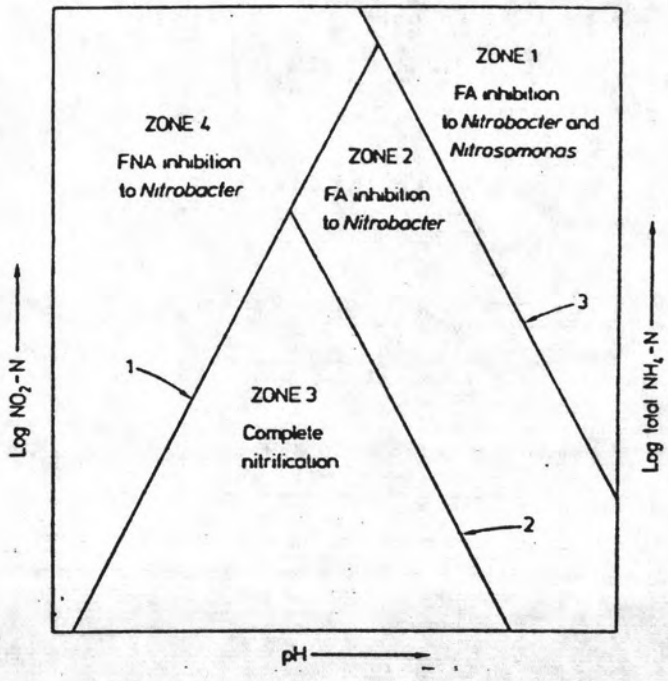
โดยสรุปแล้วพบว่า แอมโมเนียอิสระ ไนไตรท และกรดไนตรัสอิสระ จะมีผลยับยั้งกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท และกระบวนการเปลี่ยนไนไตรทเป็นไนเตรท ขึ้นกับความเข้มข้นของสารแต่ละตัวที่เกิดในระบบ และสภาพความเป็นกรด-เบสในขณะนั้น ผลของสารทั้ง 3 แสดงได้ดังในรูปที่ 2 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

ใน zone ที่ 1 (รูปที่ 2) ความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระมีสูงมากจนสามารถยับยั้งกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท และกระบวนการเปลี่ยนไนไตรทเป็นไนเตรท ใน zone ที่ 2 ความเข้มข้นของแอมโมเนียลดลง กระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรทสามารถเกิดขึ้นได้แล้ว แต่ยังมีการยับยั้งกระบวนการเปลี่ยนไนไตรทไปเป็นไนเตรทอยู่ ใน zone ที่ 3 ความเข้มข้นของแอมโมเนียอิสระมีต่ำมากจนไม่มีผลต่อกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท และกระบวนการเปลี่ยนไนไตรทไปเป็นไนเตรท ในกรณีนี้ถือว่ากระบวนการ nitrification เกิดขึ้นโดยสมบูรณ์แล้ว แต่ถ้าเกิดความเป็นกรด-เบสลดต่ำลงอีก (pH ต่ำ) จะเกิดกรดไนตรัสอิสระขึ้น ซึ่งจะเข้าสู่ zone ที่ 4 ทำให้เกิดการยับยั้งกระบวนการเปลี่ยนไนไตรทเป็นไนเตรทขึ้นได้

สารที่มีผลในการฆ่าเชื้อ : สำหรับสารพวกนี้ จากตารางที่ 1 นั้นพบว่าอาจมีปัญหาในการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบที่เป็นน้ำเค็ม และในขณะเดียวกันในสารชนิดเดียวกัน

ตารางที่ 1 แสดงผลของสารที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อต่อกระบวนการ nitrification ในระบบน้ำแบบปิด (Spotte, 1979)

สาร	ความเข้มข้น (มก./ลิตร)	% ของการยับยั้ง
คลอแรมเฟนิคอล	50	0
ออกซิเตตราซัยคลิน	50	84
ซัลฟาเมอราซีน	50	0
ซัลฟานิลาไมด์	25	0
เออรินโทมัยซิน	50	100
ไนเฟอไพรินอล	1	0
	4	44
คลอโรเตตราซัยคลิน	10	76
ฟอร์มาลิน	25	0
มาลาไคท์กรีน	0.1	0
ฟอร์มาลิน+มาลาไคท์กรีน	25+0.1	0
เมธิลลีนบลู	5	100
คอปเปอร์ซัลเฟต	1	0
	5	0
ด่างทับทิม	4	0



รูปที่ 2 ความสัมพันธุ์ระหว่างแอมโมเนียอิสระ(FA) และกรดไนตรัสอิสระ(FNA) ซึ่งมีผลต่อขบวนการ nitrification (Spotte , 1979 ดัดแปลงจาก Anthonisen et al., 1976)

ผลการวิเคราะห์ความเป็นพิษก็ยังไม่ตรงกัน เช่น Levine และ Meade (1976) (อ้างโดย Spotte, 1979) รายงานว่า ฟอร์มาลีน มาลาไคท์กรีน และ nifurpirinol (Furanace) มีผลอย่างอ่อน ๆ ในการยั้งยังกระบวนการ nitrification ในขณะที่ Collins et al. (1975, 1976) (อ้างโดย Spotte, 1979) รายงานว่าสารดังกล่าวไม่มีผลเลยต่อกระบวนการ nitrification แต่อย่างไรก็ตาม การใช้สารที่มีผลในการฆ่าเชื้อดังปรากฏอยู่ในตารางที่ 1 ในระบบน้ำแบบปิดนั้น ก็ควรใช้ด้วยความระมัดระวัง

1.2 อุณหภูมิ

Watson (1965) (อ้างโดย Spotte, 1979) รายงานว่า Nitrosocystis oceanus (ซึ่งเป็น ammonia oxidizer) เจริญดีที่ 30 องศาเซลเซียส Carlucci และ Striokland(1968) (อ้างโดย Spotte, 1979) รายงานว่าอุณหภูมิที่พอเหมาะในการเจริญของ Nitrosocystis oceanus คือ 28 องศาเซลเซียส Kawai et al.(1965) (อ้างโดย Spotte, 1979) ได้รายงานไว้เช่นกันว่า แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ nitrification (ในน้ำเค็ม) จะมีการทำงานได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส ความสามารถในการทำงานจะลดลงถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นหรือลดต่ำลงกว่าช่วงดังกล่าว Yoshida (1967) (อ้างโดย Spotte, 1979) ได้รายงานไว้เช่นกันว่าแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ nitrification จะเจริญได้ตามปกติในช่วงอุณหภูมิ 27-28 องศาเซลเซียส

โดยสรุปกล่าวได้ว่าอุณหภูมิที่ดีที่สุดสำหรับแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ nitrification คือ 30 องศาเซลเซียส

1.3 ความเป็นกรด-เบส

Kawai et al. (1965) (อ้างโดย Spotte, 1979) รายงานว่าค่าความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 9 เป็นค่าที่ดีที่สุดสำหรับแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในกระบวนการ nitrification Saeki(1958) ได้รายงานว่า ความเป็นกรด-เบส 7.86 และ 7.10 จะเหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท และกระบวนการเปลี่ยนไนไตรทเป็นไนเตรท Srna และ Baggaley (1975) (อ้างโดย Spotte, 1979)

รายงานว่าความเป็นกรด-เบส ที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการ nitrification คือ 7.45 และความเป็นกรด-เบส ที่สามารถทำให้กระบวนการ nitrification ทำงานอยู่ได้คือ 7.00-8.20 และ Yoshida et al. (1967) (อ้างโดย Spotte, 1979) รายงานว่า สำหรับแบคทีเรียในกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรทนั้น ความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมคือ 8.50-8.70

1.4 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen)

แบคทีเรียซึ่งเกี่ยวข้องในกระบวนการ nitrification ถึงแม้ว่าจะเป็น aerobic bacteria ก็ตาม แต่ก็ต้องการออกซิเจนที่ละลายน้ำน้อยกว่า aerobic bacteria ทั่วไป Corluca และ McNally (1969) (อ้างโดย Spotte, 1979) พบว่า แบคทีเรียพวกนี้สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท และเปลี่ยนไนไตรทไปเป็นไนเตรท ได้ ถึงแม้จะมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต่ำก็ตาม (0.14 มิลลิกรัม/ลิตร) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำน้อยที่สุดซึ่งยังสามารถเกิดกระบวนการ nitrification ได้คือ 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร

Kawai et al. (1971) (อ้างโดย Spotte, 1979) ได้สรุปว่า กระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรทและกระบวนการเปลี่ยนไนไตรทเป็นไนเตรทนั้นจะมีประสิทธิภาพสูงสุด ภายใต้สภาพที่มีออกซิเจน (aerobic conditions) โดยได้ทดลองวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรท ในบ่อเลี้ยง 3 บ่อ ในเวลา 3 เดือน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ไนโตรเจนในบ่อเลี้ยง เมื่อมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำต่างกัน ในเวลา 3 เดือน (จาก Spotte, 1979 อ้างถึง Kawai et al., 1971)

บ่อที่	1	2	3
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (% ความอิ่มตัวในน้ำ)	89	34	6
ปริมาณแอมโมเนีย (มก./ลิตร)	0.609	0.465	173.6
ปริมาณไนไตรท (มก./ลิตร)	0.017	0.023	0.018
ปริมาณไนเตรท (มก./ลิตร)	248.0	126.0	0.559

1.5 ความเค็ม

Kawai et al. (1965) (อ้างโดย Spotte, 1979) พบว่าแบคทีเรียซึ่งเกี่ยวข้องในกระบวนการ nitrification นั้นจะทำงานดีที่สุดเมื่อความเค็มในระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากความเค็มที่ระบบถูกปรับสภาพมาแล้ว

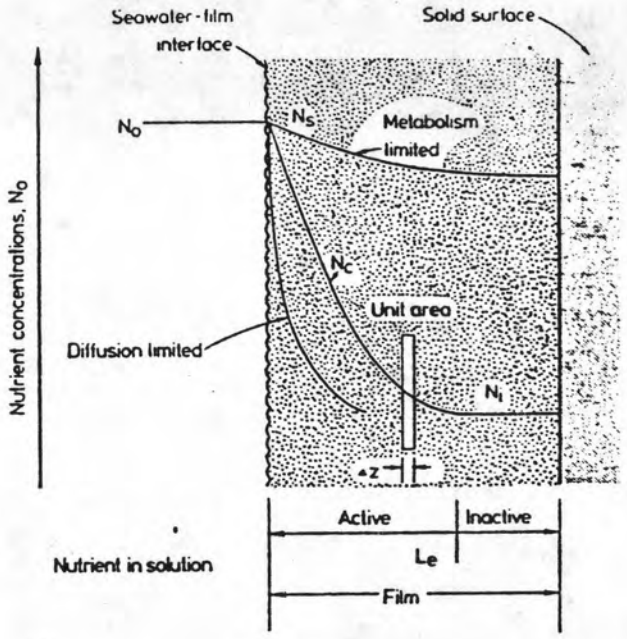
1.6 พื้นที่ผิวที่แบคทีเรียใช้เกาะอาศัย (surface area)

สำหรับกระบวนการ mineralization และ nitrification แล้ว การเพิ่มพื้นที่ผิวในการยึดเกาะของแบคทีเรีย จะเป็นการเพิ่มทั้งจำนวน และการเจริญของแบคทีเรีย จะทำให้ประสิทธิภาพของทั้ง 2 กระบวนการสูงขึ้น การเพิ่มพื้นที่ผิวพิเศษเพิ่มเติมจากปกติ เช่น การมีสารแขวนลอยในน้ำในบ่อกรองชีวภาพ หรือการที่มีเศษเนื้อเยื่อหรือเซลต่าง ๆ (detritus) ติดอยู่ในบริเวณชั้นกรองชีวภาพ เหล่านี้นับว่าเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวใน

การยึดเกาะของแบคทีเรียทั้งสิ้น ผลของพื้นที่ผิวที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย ต่อการสลายอินทรีย์สาร และกระบวนการเปลี่ยนไนโตรเจน มี 2 ลักษณะคือ ลักษณะแรก เมื่อมีพื้นที่ผิวสำหรับยึดเกาะเพิ่มขึ้นมา ย่อมสามารถเพิ่มปริมาณแบคทีเรียที่มีหน้าที่สลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้ ลักษณะที่สองคือ การที่แบคทีเรียสามารถรวมกันเกาะเป็นกลุ่มจำนวนมากได้บนพื้นที่ยึดเกาะจะมีผลให้สามารถดึงสารอินทรีย์มาใช้ได้มากขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติในการดูดซับ (adsorbtion) (ดูรูปที่ 3)

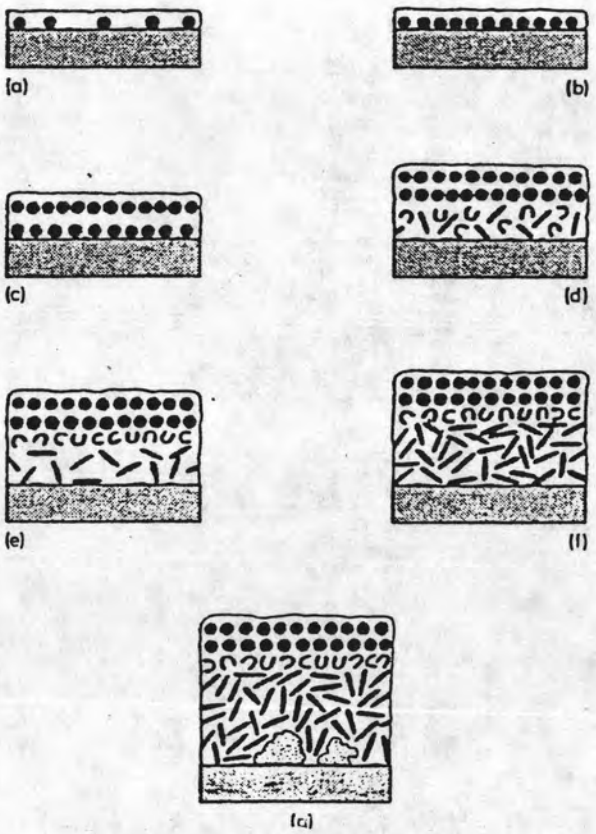
Khailov และ Finenko (1970) (อ้างโดย Spotte, 1979) ได้สรุปว่า สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำจะต้องถูกดูดซับบนผิวของวัตถุแข็งก่อนที่มันจะสามารถถูกใช้ได้โดยแบคทีเรีย Khailov และ Finenko ได้แบ่ง 2 กระบวนการที่เกิดขึ้นบนผิววัตถุแข็งที่อยู่ในระบบกรองไว้ คือ กระบวนการที่ 1 เป็นกระบวนการทางกายภาพ คือสารอินทรีย์ถูกดูดซับบนผิววัตถุแข็ง กระบวนการที่ 2 คือ กระบวนการทางชีวเคมี แบคทีเรียจะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับไว้

กรวด ทราย และเปลือกหอยในบริเวณชั้นกรอง จะเป็นแหล่งที่เพิ่มพื้นที่ผิวที่ยึดเกาะของแบคทีเรียได้อย่างมาก ในขณะเดียวกัน แบคทีเรียจำนวนมากที่เกาะอยู่ที่ผิวของวัตถุเหล่านี้ก็จะรวมตัวกัน มีลักษณะเป็นชั้นบาง ๆ ความหนาหรือบางของชั้นเหล่านี้จะมีผลโดยตรงต่อการย่อยสลาย และการเปลี่ยนสารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ลักษณะการขยายตัวของชั้น จะเป็นในแนวด้านข้างเมื่อเริ่มต้น และเพิ่มเป็นขยายในทางหนาขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป สารอาหารต่าง (สารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ) จะผ่านจากน้ำเข้าสู่ชั้นของแบคทีเรีย รวมทั้งออกซิเจนในน้ำด้วย ในขณะเดียวกัน แบคทีเรียเองก็จะปล่อยของเสีย ของตัวมันเองผ่านออกสู่น้ำข้างนอกเช่นกัน เมื่อเวลาผ่านไป ชั้นของแบคทีเรียจะหนาขึ้นทำให้การส่งผ่านออกซิเจน และสารอาหารต่าง ๆ เป็นไปได้ยากขึ้น บริเวณด้านในสุดของชั้นจะกลายเป็นบริเวณที่ไม่มีออกซิเจนทำให้แบคทีเรียเดิมตาย และกลายเป็นแหล่งอาหารและพลังงานแก่แบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนซึ่งจะเกิดขึ้นแทนที่ ในขณะเดียวกันเมื่อเวลาผ่านไปชั้นของแบคทีเรียจะหนาขึ้นอีก ทำให้สารอาหารผ่านเข้าไปด้านในน้อยลง จนทำให้แบคทีเรียชั้นในสุดตายลงอีกเช่นกัน ในขั้นนี้ชั้นของแบคทีเรียทั้งหมดจะหลุดออกจากวัตถุที่มันยึดเกาะอยู่ และผิวของวัตถุนั้นก็จะเริ่มมีแบคทีเรียลงเกาะอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งอาจสรุปได้ว่าชั้นของแบคทีเรีย (หรือ



พลตรีภูกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3 แสดงการใช้และการผ่านเข้าออกของสารอาหารในชั้นแบคทีเรีย บนผิววัตถุ (Spotte,1979 คัดแปลงจาก Willeamson and Macarty,1976)



รูปที่ 4 แสดงถึงขั้นตอนการเกิดและการสลายตัวของแบคทีเรีย บนผิววัตถุที่แบคทีเรียเกาะ (Spotte,1979 คัดแปลงจาก Hochn and Ray,1973)

ปริมาณแบคทีเรีย) ในตอนแรกจะขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่ผ่านชั้นแบคทีเรีย หลังจากนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารอาหารที่เข้ามาในชั้นของแบคทีเรียนั้น (ดูรูปที่ 4)

2. การปรับสภาพชั้นกรองชีวภาพ (conditioning bacteriological filters)

Spotte (1979) ให้ความหมายของ "การปรับสภาพ" ว่าเป็น "ขั้นตอนที่ทำให้แบคทีเรียทั้งหมดในระบบน้ำ ทั้งในแง่ปริมาณและชนิด สมดุลย์พอดีกับ พลังงานที่เข้าสู่ระบบ (ในรูปสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ)"

การปรับสภาพชั้นกรองชีวภาพ มีขั้นตอนและความสำคัญ แบ่งเป็น 3 อย่างคือ

1. เวลาที่ระบบต้องใช้ในการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้สภาพแวดล้อมทั่วไป เหมาะกับการอยู่รอดของสัตว์น้ำ

2. ทำอย่างไรจึงจะสามารถลดเวลาในการปรับสภาพจนถึงสภาพที่เหมาะสมได้

3. ความสามารถของระบบกรองที่จะรับสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบจากสัตว์น้ำที่เลี้ยงในระบบ

1. เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ

Kimta et al. (1961) (อ้างโดย Spotte, 1979) รายงานไว้ว่าเวลาที่จำเป็นในการปรับสภาพชั้นกรองชีวภาพคือ 30 ถึง 60 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาฟาเรนไฮต์ Carry (1938) (อ้างโดย Spotte, 1979) รายงานใช้เวลา 90 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนที่จะตรวจพบว่าเกิดกระบวนการ nitrification (ซึ่งเป็นกระบวนการสุดท้ายที่เกิดเมื่อระบบกรองชีวภาพเริ่มสมดุลย์) Yoshida (1967) (อ้างโดย Spotte, 1979) รายงานเวลาไว้ 60-90 วัน ที่ 25 องศาเซลเซียส Kawai et al. (1964) (อ้างโดย Spotte, 1979) รายงานเวลาที่ประชากรของแบคทีเรียในชั้นกรองเริ่มคงที่ไว้ว่าเท่ากับ 60 วัน ในขณะที่ Srna และ Baggaley (1975) (อ้างโดย Spotte, 1979) รายงานไว้ 40 วัน

Kawai et al.(1964) (อ้างโดย Spotte, 1979) รายงานว่าเมื่อใส่สัตว์ที่ใช้เลี้ยงลงไป จำนวนแบคทีเรียจะเพิ่มขึ้น 10 เท่าภายในเวลา 14 วัน โดยมีจำนวนถึง 10^8 เซล/น้ำหนัก วัตถุที่เกาะ 1 กรัม แต่หลังจากนั้นจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดจะไม่เพิ่มขึ้นเลย

ในระบบกรองที่มีชั้นกรองหนา 20 เซนติเมตร และมีขนาดวัตถุที่เป็นชั้นกรองขนาด 0.297 มิลลิเมตร จะมีปริมาณ (จำนวนแบคทีเรียต่อน้ำหนักวัตถุที่ใช้เกาะ) แบคทีเรีย ซึ่งคงที่แล้วดังรูปที่ 5

ในกรณีเมื่อใส่สัตว์ลงในระบบภายหลังระบบสมดุลย์แล้วพบว่า สำหรับกระบวนการ mineralization นั้น เมื่อให้อาหารสัตว์น้ำเป็นอาหารประเภทที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูง เช่น ปลาสด จะทำให้ปริมาณแบคทีเรียเพิ่มจาก 10^3 เซล/กรัมของวัตถุที่เป็นชั้นกรองเป็น 10^4 เซล/กรัมของวัตถุที่เป็นชั้นกรอง ภายในเวลา 3 เดือน โดยจะเกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้นถึงแม้ว่าจำนวนแบคทีเรียจะสมดุลย์ในระยะแรกแล้วก็ตาม

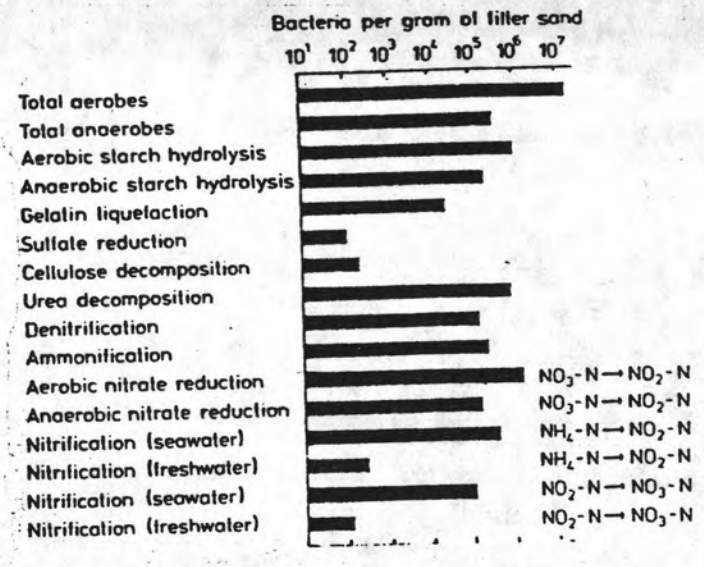
ในการปรับสภาพของชั้นกรองนั้น จะพบว่ากระบวนการ nitrification จะมีลักษณะเป็นขั้นตอนต่อเนื่อง เช่นว่าไนไตรทจะไม่เกิดขึ้นถ้าแอมโมเนียไม่ถูกเปลี่ยนแปลงไปก่อนแล้ว ตัวอย่างเช่น Hirayama (1974) (อ้างโดย Spotte, 1979) พบว่า แอมโมเนียจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 10 วัน และไนไตรทจะเกิดตามมา และเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณมากที่สุดภายใน 35 วัน และหลังจาก 50 วันไปแล้ว จะสลายไปหมด Kawai et al. (1964) (อ้างโดย Spotte, 1979) รายงานว่าปริมาณไนไตรทจะเพิ่มขึ้นมากที่สุด ในเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส Yoshida (1967) (อ้างโดย Spotte, 1979) รายงานว่า พบปริมาณไนไตรทสูงสุดในเวลา 20-30 วัน ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส รูปแสดงขั้นตอนการปรับสภาพในกระบวนการ nitrification แสดงในรูปที่ 6

2. <u>การเร่งเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพชั้นกรอง</u>

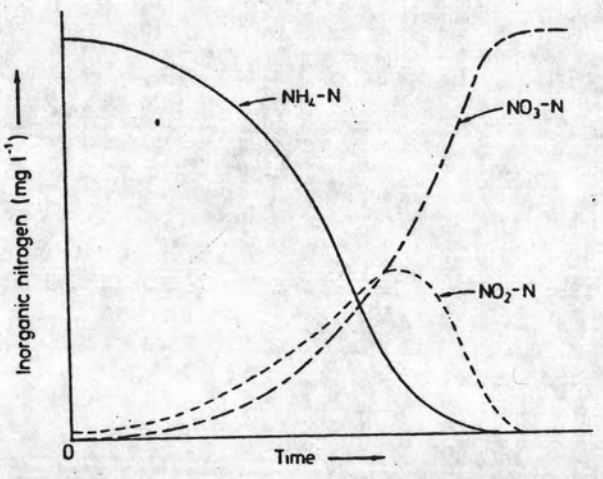
วิธีการเร่งเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพชั้นกรองมี 1. การใส่แบคทีเรียลงไปในบ่อกรองโดยตรง 2. ใส่สารอาหารลงไปในบ่อกรองเพื่อเพิ่มอัตราการเจริญของแบคทีเรียในชั้นกรอง

วิธีการแรกนั้นทำโดยการใส่วัตถุที่ใช้เป็นชั้นกรองเก่าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วลงในบ่อกรองที่ยังไม่เคยใช้งานมาก่อน หรือโดยการใส่เชื้อ(seed)ของแบคทีเรีย ลงไปโดยตรง ส่วนวิธีที่สองนั้น Siddall(1974) (อ้างโดย Spotte, 1979) และ Srna และ Baggaley (1975) (อ้างโดย Spotte, 1979) ได้รายงานว่า กระบวนการ

012661



รูปที่ 5 จำนวนแบคทีเรียบนชั้นกรองแบบชีวภาพ ซึ่งสมดุลย์แล้วที่เวลา 134 วัน (Spotte , 1979 ดัดแปลงจาก Kawai et al., 1964)



รูปที่ 6 ลักษณะความสัมพันธุ์ของปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรท ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงแบบตามกัน ในระบบน้ำแบบปิด (Spotte , 1979 ดัดแปลงจาก Anthonisen et al., 1976)

nitrification สามารถเร่งให้เกิดขึ้นได้ในบ่อกรองที่ยังไม่เคยใช้งานมาก่อน โดยการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์หรือแอมโมเนียมซัลเฟตลงในบ่อกรองนั้น วิธีการเติมสารอาหารนี้เรียกว่า preconditioning การใส่แอมโมเนียมคลอไรด์หรือแอมโมเนียมซัลเฟตนั้นจะต้องสอดคล้องในปริมาณที่ใกล้เคียงกับปริมาณแอมโมเนียที่สัตว์น้ำที่นำมาเลี้ยงจะปล่อยออกมา Meade (1974) (อ้างโดย Spotte, 1979) แสดงวิธีการคำนวนปริมาณแอมโมเนียที่จะเกิดขึ้นจากปลาแซลมอนต่อวันไว้ดังนี้

$$R^{F} \times \text{น้ำหนักสัตว์เลี้ยง} \times N^{l} \times N^{u} \times N^{e} = NH_4\text{-N} \text{ ต่อ 24 ชั่วโมง}$$

R^{F} เป็นน้ำหนักอาหารทั้งหมดที่ให้ภายในเวลา 24 ชั่วโมง โดยคิดเป็นเปอร์เซนต์ของน้ำหนักสัตว์เลี้ยงทั้งหมด

N^{l} เป็นระดับโปรตีนในอาหารโดยคิดเฉพาะ ปริมาณไนโตรเจน

N^{u} เป็นความสามารถในการใช้โปรตีน (protein utilization factor)

N^{e} เป็นจำนวนเปอร์เซนต์ของไนโตรเจนทั้งหมด ที่ได้ออกมาจากกระบวนการขับถ่าย

ตัวอย่างการคำนวนหาปริมาณแอมโมเนีย ที่จะเกิดในบ่อกรองที่ยังไม่เคยใช้งานมาก่อน ซึ่งต่อไปจะต้องใช้เลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีข้อมูลเฉพาะดังนี้ ให้อาหารในปริมาณ 2 % ของน้ำหนักตัวสัตว์เลี้ยง สัตว์เลี้ยงมีน้ำหนัก 10 กิโลกรัม ระดับโปรตีนในอาหารเท่ากับ 20 % (เป็นไนโตรเจน 3.2 % ของอาหารทั้งหมด) ความสามารถในการใช้โปรตีน เท่ากับ 40 % ปริมาณไนโตรเจนที่ขับถ่ายออกมา ในรูปปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด (total ammonia) เท่ากับ 90 % ปริมาณแอมโมเนียที่สัตว์เลี้ยงผลิตได้มีค่าเท่ากับ 0.115 กิโลกรัม แอมโมเนียทั้งหมด ในเวลา 24 ชั่วโมงเมื่อเปลี่ยนกลับเป็นแอมโมเนียมคลอไรด์ จากการคำนวนมีค่าเท่ากับ 0.439 กิโลกรัมแอมโมเนียมคลอไรด์ หรือ 1.084 กิโลกรัมแอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งเป็นน้ำหนักสารที่ใช้ในการช่วยปรับสภาพบ่อกรองในแต่ละวัน ซึ่งจะต้องใส่ลงไปจนถึงจุดสุดท้ายที่พบตรวจพบไนไตรทในระบบ หลังจากนั้นจึงจะสามารถใส่สัตว์ลงไปเลี้ยงได้อย่างปลอดภัย ระดับโปรตีนในอาหารแต่ละชนิดรายงานไว้ดังในตารางที่ 3 เมื่อคิดว่าโปรตีนทั้งหมดประกอบด้วยไนโตรเจน 16 %

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในอาหารทั่วไปและอาหารเสริมสำหรับสัตว์ในบ่อระบบปิด (เมื่อคิดว่ามีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่เท่ากับ 16% ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด) Spotte (1979) อ้างถึง Nat.Acad.Sci.(1973) และ Sidwell et al.(1974))

ชื่ออาหาร	% โปรตีน (น้ำหนักเปียก)	% โปรตีน (น้ำหนักแห้ง)
Alewife (Alosa pseudoharengus)	19.4	75.0
ปลาแอนโชวี่ (Anchovy)	16.1	70.9
ปลาเฮอร์ริงค์ (Atlantic herring)	17.3	76.7
ปลาแมคเคอเรล (Atlantic mackerel)	23.7	-
ปลาทูน่าครีบน้ำเงิน (bluefin tuna)	-	65.9
ปลาบลูฟิช (bluefish)	22.5	-
ไรน้ำ (Daphnia)	-	61.0
ปลาหมึก(Loligo pealii)	15.3	-
เนื้อปู	-	33.4
เนื้อปลา (whole fish)	-	68.7
เนื้อกุ้ง	-	52.7
ถั่วเหลือง (soybean)	-	48.7
เคซีน (casein)	-	90.9
หัวใจวัว	14.8	-
ตับวัว	20.2	-
เนื้อวัว	20.0	-
เลือดสัตว์	-	87.8
ตับสัตว์	-	71.8

3. <u>ความสามารถของระบบกรองที่จะรับสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบจากสัตว์เลี้ยง (carrying capacity)</u>

carrying capacity จะคิดจาก 1. สารประกอบไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบ 2. อัตราการสร้างสารประกอบไนโตรเจนจากสัตว์ที่เลี้ยง 3. อัตราการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนโดยระบบกรองชีวภาพ 4. ผลจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม (เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความเค็ม) ต่อทั้ง 3 ขั้นตอน ที่กล่าวแล้ว

Hirayama (1966b, 1974)(อ้างโดย Spotte,1979) เป็นคนแรกที่สร้างสมการเพื่ออธิบาย carrying capacity และ Spotte (1979) เป็นคนดัดแปลงสมการนี้เพื่อให้ถูกต้องยิ่งขึ้น โดยการสร้างตาราง "pollution load" ขึ้นมา (ตารางที่ 4) เพื่อเป็น ค่าของสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สัตว์ที่เลี้ยงในระบบขับถ่ายออกมา โดยเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับน้ำหนัก และอัตราการกินอาหารของสัตว์ที่เลี้ยงในระบบนั้น

Hirayama (1966b) สร้างสมการดังนี้

$$\sum_{i=1}^{P} \frac{10\ W_i}{0.70/V_i + 0.95\times10^{9}/G_i D_i} > \sum_{j=1}^{q} (B_j^{0.544} \times 10^{-2}) + 0.015F$$

สมการด้านซ้ายจะแทนความสามารถในการย่อยสลายของชั้นกรอง (oxidizing capacity) ซึ่งจะคำนวนออกมาในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไป (oxygen consumed during filtration : OCF) หน่วยเป็นมิลลิกรัมของออกซิเจนที่ใช้ไปในเวลา 1 นาที

"W" คือ พื้นที่ผิวของชั้นกรอง (ตารางเมตร)

"V" เป็นอัตราการกรองหรืออัตราการหมุนเวียนของน้ำที่ผ่านชั้นกรอง (เซนติเมตร/นาที)

"D" คือ ความลึกของชั้นกรอง (เซนติเมตร)

"p" คือ จำนวนชั้นกรองที่อยู่ในระบบ

"G" คือ สัมประสิทธิ์ของขนาดวัตถุที่ประกอบเป็นชั้นกรอง ซึ่งหาได้จากสมการด้านล่าง

ตารางที่ 4 แสดง" pollution load" ซึ่งมาจากน้ำหนักของปลาและอัตราการให้อาหาร ดัดแปลงมาจากสมการของ Righthand โดย Spotte(1979)

น้ำหนักตัว (กรัม)	อัตราการให้อาหาร (% ของน้ำหนักตัวต่อวัน)				
	0.0%	2.5%	5.0%	7.5%	10.0%
30	0.06	0.10	0.14	0.18	0.22
40	0.07	0.13	0.18	0.23	0.28
50	0.08	0.15	0.21	0.28	0.34
60	0.09	0.17	0.25	0.32	0.40
80	0.11	0.21	0.31	0.41	0.52
100	0.12	0.25	0.38	0.50	0.63
150	0.15	0.34	0.54	0.73	0.92
200	0.18	0.43	0.69	0.94	1.20
250	0.20	0.52	0.84	1.16	1.48
300	0.22	0.61	0.99	1.37	1.75
400	0.26	0.77	1.28	1.79	2.30
500	0.29	0.93	1.57	2.21	2.84
600	0.32	1.09	1.85	2.62	3.38
800	0.38	1.40	2.42	3.44	4.46
1000	0.43	1.70	2.97	4.25	5.53
1500	0.53	2.45	4.36	6.27	8.18
2000	0.62	3.17	5.72	8.27	10.80
3000	0.78	4.60	8.43	12.30	16.10
4000	0.91	6.01	11.10	16.20	21.30
5000	1.03	7.40	13.80	20.20	26.50

$$1/R_1 X_1 + 1/R_2 X_2 + 1/R_3 X_3 + \ldots + 1/R_n X_n = G$$

เมื่อ

"R" คือ ค่า mean grain size ของวัตถุที่ประกอบเป็นชั้นกรอง หน่วยเป็นมิลลิเมตร

"X" เป็นเปอร์เซนต์ของน้ำหนักวัตถุในแต่ละชั้นเทียบกับทั้งหมด (เมื่อวัตถุที่เป็นชั้นกรองมีหลายขนาด)

ด้านขวาของสมการเพื่อหา carrying capacity นั้น คือ อัตราการผลิตของเสียต่าง ๆ จากสัตว์ที่เลี้ยงในระบบ ทั้งหมดมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมออกซิเจนที่ใช้ไปใน 1 นาที

"B" คือ น้ำหนักของสัตว์แต่ละตัว หน่วยเป็นกรัม

"F" คือ ปริมาณอาหารทั้งหมดในแต่ละวัน

"q" คือ จำนวนสัตว์ทั้งหมดที่อยู่ในระบบ

จากสมการเพื่อหา carrying capacity นั้น จะพบว่า "oxidizing capacity" หรือความสามารถในการย่อยสลายของชั้นกรองนั้นจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับอัตราการผลิตของเสียจากสัตว์น้ำที่อยู่ในระบบ จึงจะไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำที่อยู่ในระบบนั้น

3. <u>การฆ่าเชื้อในระบบน้ำแบบปิด</u>

การฆ่าเชื้อในระบบน้ำแบบปิดด้วยก๊าซโอโซน (ozone)

- คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซโอโซน ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของก๊าซโอโซน (Spotte (1979) อ้างจาก McCarthy and Smith (1974))

สัญญลักษณ์	O_3
น้ำหนักโมเลกุล	48
วิธีกำเนิดก๊าซโอโซน	photochemical (UV) reation
	silent(eletric) discharge
ความถ่วงจำเพาะ	1.658
มวลที่ 0 องศาเซลเซียส 1 บรรยากาศ	2.144 กรัม
ความสามารถในการละลายน้ำ	1.09 กรัม/ลิตร (0 องศาเซลเซียส)
จุดหลอมเหลว	-251 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	-112 องศาเซลเซียส
oxidizing potential	-2.07 โวลต์
ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น	2537 อังสตรอม
สี	ไม่มี
กลิ่น	ฉุนจาง ๆ รู้สึกสดชื่น (<5 มก./ลิตร)
	ฉุนจัด แสบจมูก (>5 มก./ลิตร)

- กลไกในการฆ่าเชื้อของก๊าซโอโซน

ก๊าซโอโซนจะทำให้เกิดการแตกตัวที่บริเวณผิวเซลเมมเบรน ของจุลินทรีย์ต่างๆ ในน้ำ จึงทำให้จุลินทรีย์ต่าง ๆ ในระบบถูกฆ่าตายลง

4. ประวัติและตัวอย่างระบบน้ำแบบปิด

(Mayo, 1976) ระบบน้ำแบบปิดจะเริ่มมาจากการเพาะเลี้ยงในระบบที่ง่ายและซับซ้อนน้อยที่สุด คือระบบน้ำแบบเปิด ดังในแผนผังด้านล่าง

น้ำทะเลที่มีคุณสมบัติ ---> บ่อที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ ---> น้ำทิ้ง
เหมาะในการเพาะเลี้ยง

โดยปกติในการเพาะเลี้ยงจำเป็นต้องทำการปรับสภาพน้ำ เพื่อให้มีคุณสมบัติเหมาะในการนำมาใช้เพาะเลี้ยง ก่อนเข้ามาในบ่อที่ใช้เพาะเลี้ยง ในขณะเดียวกันน้ำทิ้งที่ออกจากระบบก็จำเป็นต้องมีการปรับสภาพ เพื่อให้มีคุณสมบัติน้ำดีขึ้นเช่นกัน ขั้นตอนต่าง ๆจะแสดงในแผนผังด้านล่าง

น้ำทะเล ---> ระบบที่ใช้ปรับ ---> บ่อที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ ---> ระบบที่ใช้ปรับ--->น้ำทิ้ง
สภาพน้ำ สภาพน้ำ

แต่ในกรณีที่ปริมาณน้ำที่ใช้เลี้ยงไม่เพียงพอ หรือเมื่อค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพน้ำก่อนและหลังผ่านการเพาะเลี้ยงมีค่าสูงขึ้นมาก นักเพาะเลี้ยงทั่วไปจึงจำเป็นต้องหันมาใช้ระบบน้ำแบบปิด ดังแสดงในแผนผังด้านล่าง

การปรับสภาพน้ำทะเลก่อนเข้าระบบ ---> บ่อที่ใช้เลี้ยงสัตว์น้ำ ---> ระบบปรับสภาพน้ำ
การปรับสภาพน้ำหลังผ่านระบบ <--- เพื่อให้มีคุณภาพใช้เลี้ยงสัตว์น้ำได้

วิธีการปรับสภาพน้ำในระบบปิดมีวิธีต่างๆ เช่น การตกตะกอน (sedimentation) การกรอง (mechanical filtration) การกรองทางชีวภาพ (biological filtration) การให้อากาศ (aeration) การปรับสภาพความเป็นกรด-เบส (pH) การให้ความร้อน การให้ความเย็น การทำความสะอาดโดยการฆ่าเชื้อ (sterilization) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) เป็นต้น

4.1 การเพาะเลี้ยงในระบบน้ำแบบปิดในยุโรปตะวันตก

Rosenthal (1981) ได้แยกระบบน้ำในการเพาะเลี้ยงเป็น 2 ระบบ คือ 1. ระบบแบบง่าย ๆ (simple systems) หรือระบบน้ำแบบเปิด ซึ่งมีการปรับสภาพน้ำก่อนเข้าระบบเพียง การให้อากาศ การกรองผ่านชั้นกรองแบบชั้นทราย หรือไม่มีการปรับสภาพน้ำก่อนเข้าระบบเลย 2. ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด (complex recirculation systems) ซึ่งต้องประกอบด้วย ระบบกรองชีวภาพ อย่างน้อย 1 หน่วย และอาจเพิ่มเติมการให้อากาศ (oxygenation), การฆ่าเชื้อด้วยก๊าซโอโซน (ozonation) ฯลฯ

นอกจากนี้ Rosenthal ยังได้แบ่งการเพาะเลี้ยงโดยใช้ระบบปิดในยุโรปเป็น 3 ลักษณะตามการใช้งาน คือ 1. ระบบเพาะเลี้ยงในสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำสาธารณะ (public aquarium system) 2. ระบบเพาะเลี้ยงที่ใช้สำหรับการทดลอง (experimental aquaculture systems) 3. ระบบเพาะเลี้ยงที่ทำเป็นการค้า และบ่อเพาะเลี้ยงต้นแบบ (pilot plants และ commercial systems)

ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่ใช้ในสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำสาธารณะ : เช่นที่ Utrecht Aquarium ระบบเพาะเลี้ยงทั้งหมดขนาด 14.4 ลบ.เมตร มีระบบปรับสภาพน้ำขนาด 7.2 ลบ.เมตร คิดเป็น 50 % ของระบบเพาะเลี้ยง มีการหมุนเวียนของน้ำ 1.5-2.0 รอบต่อชั่วโมง ที่ Kiel Aquarium(Germany) มีระบบเพาะเลี้ยงทั้งหมดขนาด 35.0 ลบ.เมตร มีระบบปรับสภาพน้ำขนาด 19.0 ลบ.เมตร คิดเป็น 54.3 % ของระบบเพาะเลี้ยงทั้งหมด มีการหมุนเวียนของน้ำ 1 รอบต่อชั่วโมง สามารถเลี้ยงสัตว์น้ำได้คิดเป็นน้ำหนัก 160 กิโลกรัม ที่ Aquarium University of Southhampton (Great Britain) มีระบบเพาะเลี้ยงขนาด 252.0 ลบ.เมตร มีระบบปรับสภาพน้ำขนาด 234.0 ลบ.เมตร คิดเป็น 92.0 % ของระบบเพาะเลี้ยง มีการหมุนเวียนของน้ำ 4 รอบต่อชั่วโมง สามารถเลี้ยงสัตว์น้ำได้คิดเป็นน้ำหนัก 180 กิโลกรัม

ระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่ใช้ในการทดลอง เช่น ของ Dietzel (1976) (French) (อ้างโดย Spotte, 1979) มีระบบเพาะเลี้ยงขนาด 2.0 ลบ.เมตร ระบบปรับสภาพน้ำมีขนาด 1.05 ลบ.เมตร คิดเป็น 52.5% ของระบบเพาะเลี้ยงทั้งหมด สามารถ

เลี้ยงสัตว์น้ำได้คิดเป็นน้ำหนัก 0.8 กิโลกรัม สัตว์น้ำที่เลี้ยงมี หอย และ ปลาทะเล ของBohl (1976) (อ้างโดย Spotte, 1979) มีระบบเพาะเลี้ยงทั้งหมดขนาด 41.0 ลบ.เมตร ระบบปรับสภาพน้ำมีขนาด 16.6 ลบ.เมตร คิดเป็น 40.5 % ของระบบเพาะเลี้ยงทั้งหมด สามารถเลี้ยงสัตว์น้ำได้คิดเป็นน้ำหนัก 1,900 กิโลกรัม ระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดที่เป็นการค้า เช่น ของ Saint-Paul and Werder (1976) (อ้างโดย Spotte, 1979) มีระบบเพาะเลี้ยงทั้งหมดขนาด 16.0 ลบ.เมตร ระบบปรับสภาพน้ำขนาด 2.0 ลบ.เมตร คิดเป็น 12.5 % ของระบบเพาะเลี้ยงทั้งหมด มีการหมุนเวียนของน้ำ 1.5 รอบต่อชั่วโมง, ของ Webori A system มีระบบเพาะเลี้ยงทั้งหมดขนาด 50.0 ลบ.เมตร ระบบปรับสภาพน้ำมีขนาด 14.8 ลบ.เมตร คิดเป็น 29.6 % ของระบบเพาะเลี้ยงทั้งหมด สามารถเลี้ยงสัตว์น้ำได้ คิดเป็นน้ำหนัก 1,020 กิโลกรัม ใช้เลี้ยงปลาแซลมอน

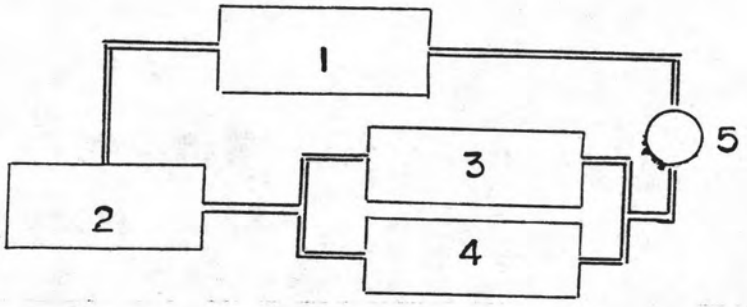
4.2 การเพาะเลี้ยงในระบบน้ำแบบปิดในยุโรปตะวันออก

Fridman (1981) รายงานการเพาะเลี้ยง ในยุโรปตะวันออก ซึ่งเป็นการเพาะเลี้ยงในระบบน้ำแบบปิดใน Moscow University (U.S.S.R) ซึ่งมีระบบเพาะเลี้ยงขนาด 180 ลิตร มีการหมุนเวียนของน้ำ 2.5 ลิตร/นาที หรือคิดเป็น การหมุนเวียนของน้ำ 0.8 รอบต่อชั่วโมง ระบบการหมุนเวียนน้ำแบบปิด จะเริ่มจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ผ่านบ่อเลี้ยงแพลงค์ตอนสัตว์ ผ่านไปยังระบบปรับสภาพน้ำแบบบ่อกรองชีวภาพ แล้วบางส่วนผ่านตรงไปยังบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ บางส่วนจะผ่านบ่อเพาะพันธุ์สาหร่ายก่อน (รูปที่ 7) สัตว์น้ำที่เลี้ยงมีน้ำหนัก 10.11 กิโลกรัม ในโปแลนด์ มีระบบเพาะเลี้ยงขนาด 190 ลิตร ระบบปรับสภาพน้ำประกอบด้วยบ่อกักเศษขยะ (sewage collector) บ่อกรองชีวภาพ ระบบฆ่าเชื้อด้วยรังสีอุลตราไวโอเลต (รูปที่ 8) ใช้ในการเลี้ยงลูกปลาเทราท์คิดเป็นน้ำหนักรวม 1.15 กิโลกรัม

4.3 การเพาะเลี้ยงในระบบน้ำแบบปิดในทวีปอเมริกาเหนือ

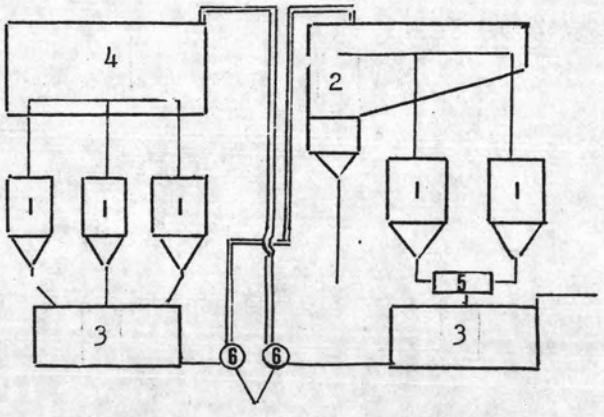
Mayo (1981) ได้กล่าวถึง คำจำกัดความของคำว่า "recirculation systems" ว่ามีความหมายเช่นเดียวกับคำ "reconditioning system" และ "re-used system" และยังได้แบ่งระบบน้ำแบบปิดเป็น 3 แบบคือ simple recirculation (รูปที่ 9) complex recirculation (รูปที่ 10) และ closed recirculation (รูปที่ 10)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



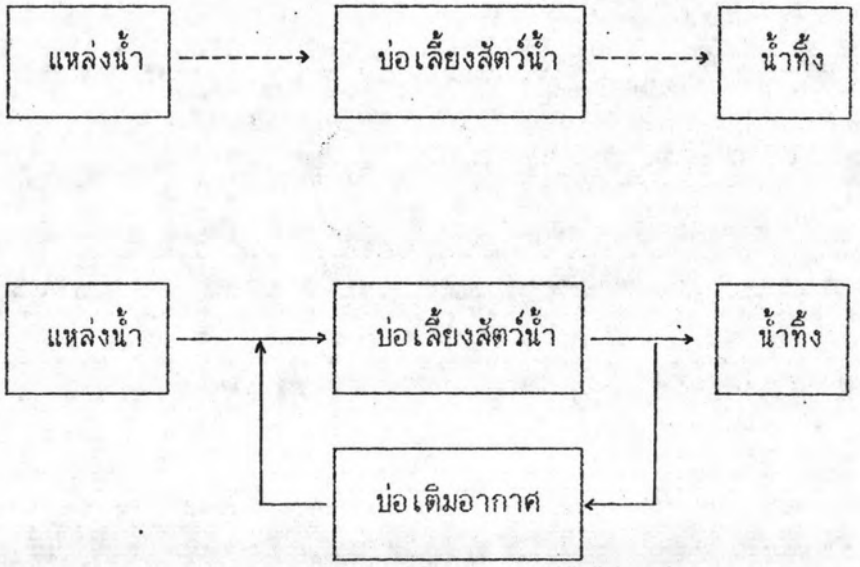
รูปที่ 7 แสดงแผนผังระบบน้ำแบบปิด ของ Moscow University (Fridman, 1981)

1. บ่อเลี้ยงปลา (180 ลิตร)
2. ถังเลี้ยงแพลงค์ตอนสัตว์
3. ถังเลี้ยงสาหร่าย
4. บ่อกรองแบบชีวภาพ
5. เครื่องสูบน้ำ

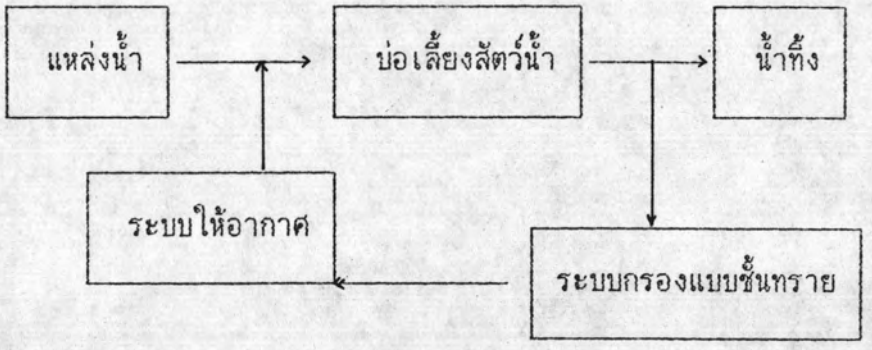


รูปที่ 8 แสดงแผนผังระบบน้ำแบบปิดในประเทศโปแลนด์ (Fridman, 1981)

1. บ่อเลี้ยงปลา
2. sewage collector
3. ที่ตกตะกอน
4. บ่อกรองแบบชีวภาพ
5. U.V.
6. เครื่องสูบน้ำ



รูปที่ 9 ระบบ simple recirculation (Mayo, 1981)



รูปที่ 10 แสดง complex recirculation systems (Mayo, 1981)

ระบบน้ำแบบปิดทั้ง 3 แบบ จะมีวิธีการปรับสภาพน้ำโดยกระบวนการต่าง ๆ เช่น การดูดกลืน (absorption) activated sludge การให้อากาศ (reaeration) บ่อกรองชีวภาพ (biological filtration) coagulation การให้ความร้อน (heating) การแลกเปลี่ยนไอออน(ion exchange) การกรองทางกายภาพ (mechaical filtration) การเติมออกซิเจน (oxygenation) การปรับความเป็นกรด-เบส (pH) การตกตะกอน (sedimentation) และการฆ่าเชื้อ (sterilization) ตัวอย่างระบบน้ำแบบปิด เช่น Coleman National Fish Hatchery, Anderson, California, U.S.A. มีระบบเพาะเลี้ยงเป็นบ่อแบบทางน้ำไหล (raceway) ขนาดกว้าง 8 ฟุต ยาว 80 ฟุต ลึก 2 ฟุต มีอัตราการหมุนเวียนน้ำทั้งระบบ 68.29 ลบ.เมตร/วัน หรือ 2.85 ลบ.เมตร/ชั่วโมง สามารถเลี้ยงสัตว์น้ำได้คิดเป็นน้ำหนักทั้งหมด 37,800 ปอนด์ ระบบปรับสภาพน้ำประกอบด้วย ชั้นเปลือกหอยนางรม (สำหรับปรับความเป็นกรด-เบส) ชั้นกรองชีวภาพ เพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ การให้อากาศแบบหัวฉีด (aspirator) ระบบดังกล่าวมีความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 8.2 ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด 0.42 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณไนไตรท 0.057 ส่วนในล้านส่วน

4.4 การเพาะเลี้ยงในระบบปิดในประเทศญี่ปุ่น

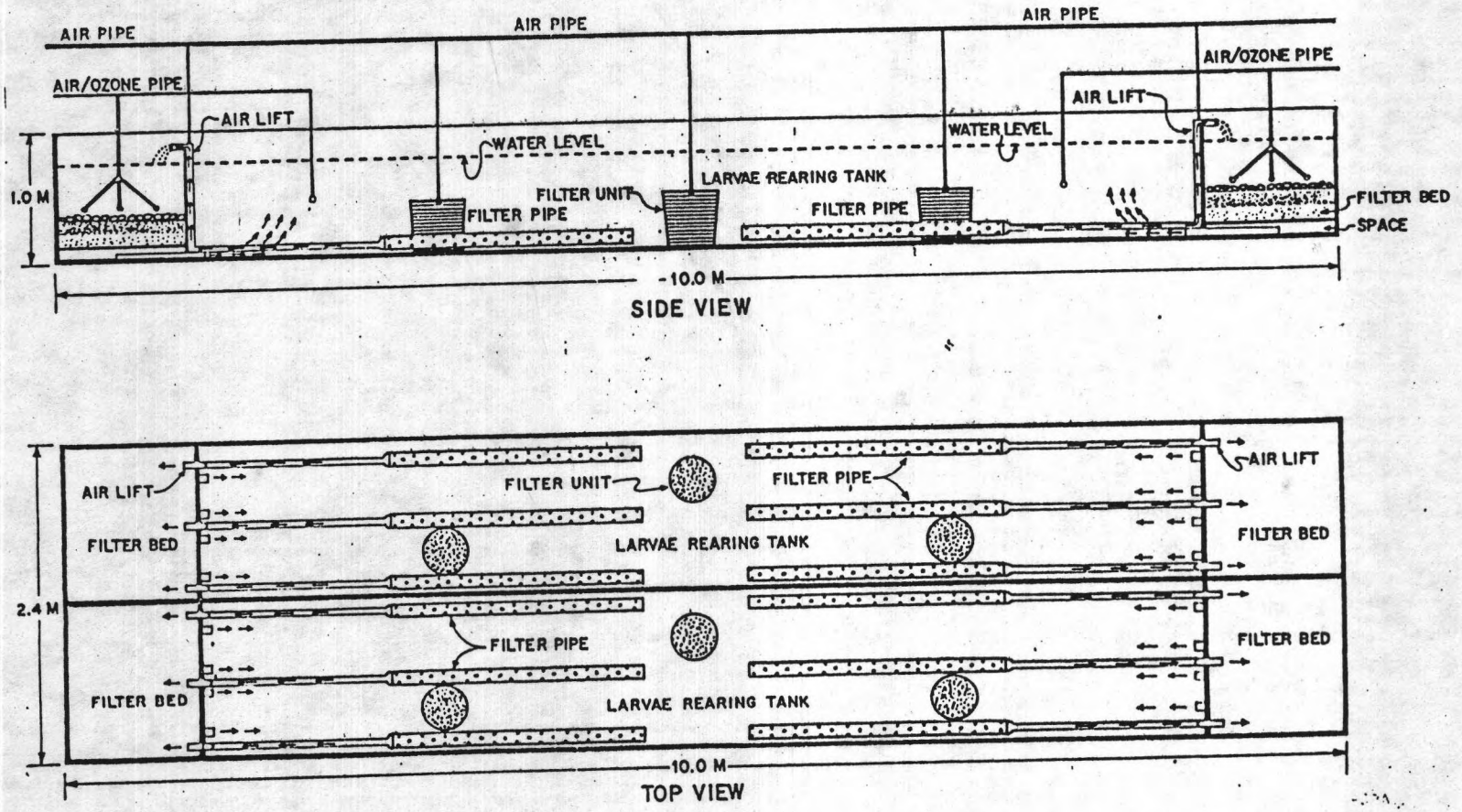
Chiba (1981) อ้างถึง Saeki (1965), Saeki et al. (1962) ในการใช้ระบบเพาะเลี้ยงแบบปิดในการเลี้ยงปลาคาร์พที่ Gumma Prefecture, Central Japan ในญี่ปุ่นได้ใช้ระบบเพาะเลี้ยงแบบปิด เลี้ยงปลาไหล (ญี่ปุ่น) มีขนาดบ่อเลี้ยงขนาด 1.0-32.0 ตารางเมตร ลึก 1.0-1.5 เมตร มีระดับน้ำ 0.7-1.0 เมตร ระบบกรองแบบชีวภาพมีขนาด 50.0-200.0 ลบ.เมตร อัตราส่วนบ่อกรองต่อบ่อเลี้ยงเท่ากับ 0.2-0.5 เท่า ชั้นกรองหนา 1.2 เมตร ก้อนกรวดทรายที่ใช้กรองขนาด 4.0-6.0 เซนติเมตร ลักษณะน้ำที่เข้าระบบกรองจะเข้าจากด้านล่าง แล้วจึงล้นขึ้นด้านบน อัตราการหมุนเวียนของน้ำ 0.5-1.0 ลบ.เมตร/ชั่วโมง มีระบบให้อากาศด้วยระหัดน้ำ (paddel wheels) ขนาด 1/4-1/2 แรงม้า มีผลผลิตประมาณ 7.8-15.7 กิโลกรัม/ลบ.เมตร โดยคิดเป็นเนื้อปลาไหลที่เลี้ยงไว้

4.5 การเพาะเลี้ยงในระบบน้ำแบบปิดในประเทศไทย

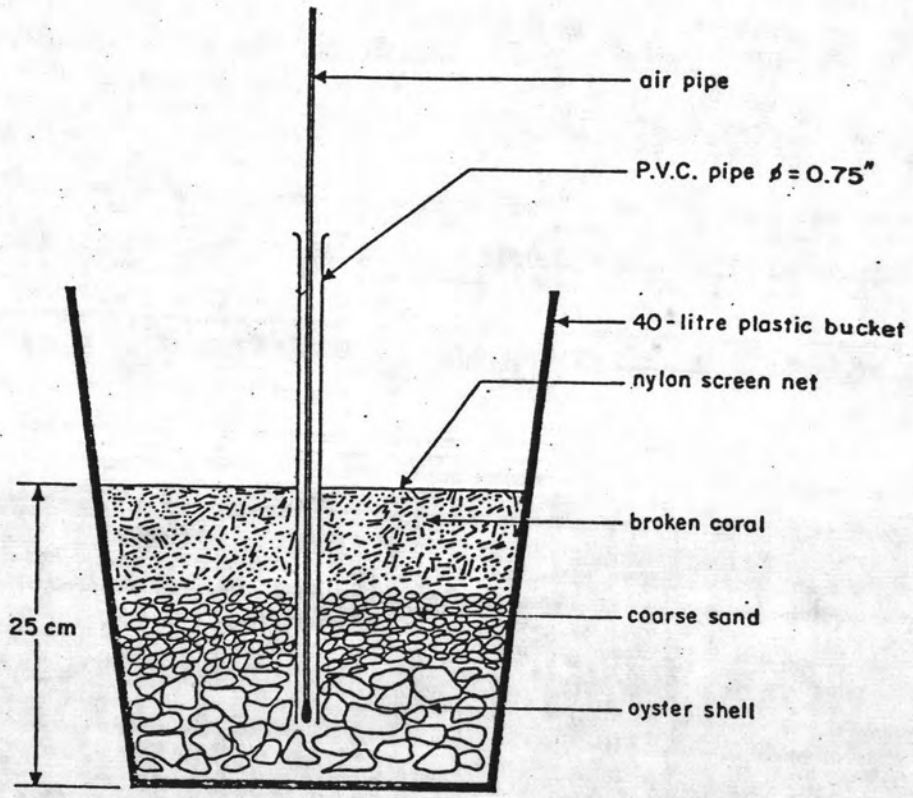
Menasveta (1982) ทดลองเพาะพันธุ์ลูกกุ้งก้ามกราม (Macrobranchium rosenbergii) ในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดมีบ่อเลี้ยงซีเมนต์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดยาว 8.0 เมตร กว้าง 1.0 เมตร ลึก 0.9 เมตร มีบ่อกรองชีวภาพขนาดยาว 1.0 เมตร กว้าง 1.0 เมตร ลึก 0.9 เมตร อยู่สองข้างของบ่อเลี้ยง (รูปที่ 11) ชั้นกรองประกอบด้วยทรายละเอียดด้านล่างสุดมีทรายหยาบอยู่ตรงกลาง และเปลือกหอยนางรมอยู่ด้านบนสุด ชั้นกรองทั้งหมดหนา 0.3 เมตร และมีระบบกรองเป็นถังบรรจุชั้นกรอง (รูปที่ 12) อีก 3 ชุด ในบ่อเลี้ยงลูกกุ้ง ความหนาแน่นของลูกกุ้ง เริ่มจาก 40 ตัว/ลิตร ในเวลา 20 วันเมื่อลูกกุ้งคว่ำมีความหนาแน่น 20 ตัว/ลิตร มีอัตราการรอด 51.0 %

Wit Tarnchalanukit et al. (1984) ทดลองเลี้ยงปลาดุกด้านในระบบน้ำแบบปิด ซึ่งมีลักษณะบ่อเลี้ยงเป็นบ่อซีเมนต์ทรงกลม (รูปที่ 13) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เมตร จุน้ำ 15 ลบ.เมตร มีการหมุนวนของน้ำภายในบ่อเลี้ยง น้ำที่ใช้แล้วจะถูกนำออกสู่บ่อตกตะกอนขนาด 10 ไร่ (4 เอเคอร์) นั้น คือการปรับสภาพน้ำมีเฉพาะการตกตะกอนในบ่อนี้ก่อนนำกลับไปใช้ใหม่เท่านั้น การทดลองแบ่งเป็น 3 การทดลอง โดยใช้ปลาดุกขนาด 1.0 กรัม จำนวน 5,000 ตัว 7,500 ตัว และ 10,000 ตัว ในเวลา 90 วัน มีอัตรารอด 79.53 %, 91.06 % และ 90.73% ตามลำดับ

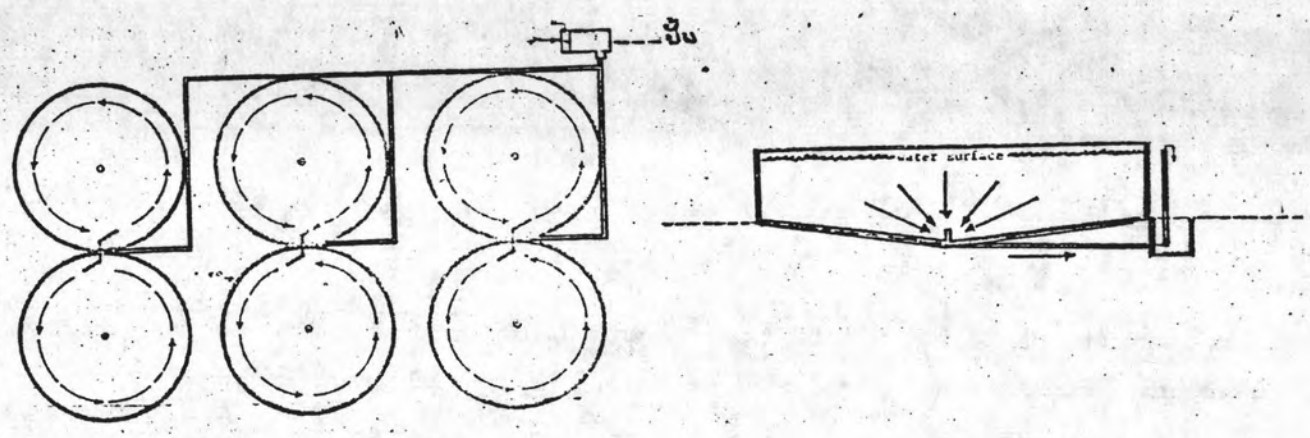
ประจวบ ลีรักษาเกียรติ และคณะ (2528) ได้ทดลองการเจริญพันธุ์กุ้งกุลาดำในระบบน้ำแบบปิด โดยใช้น้ำเค็มจัดจากนาเกลือมาผสมน้ำจืด จนได้ความเค็ม 30.0 -31.0 ส่วนในพันส่วน บ่อที่ใช้เลี้ยงเป็นบ่อคอนกรีต ทรงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.45 เมตร จุน้ำ 3 ลบ.เมตร (รูปที่ 14) การปรับสภาพน้ำ โดยการทำความสะอาดด้วยสารเคมีในบ่อสี่เหลี่ยม ซึ่งจุน้ำ 20 ลบ.เมตร เติมแคลเซียมไฮโปคลอไรด์ 5 มิลลิกรัม/ลิตร (5 ส่วนในล้านส่วน) พักน้ำและให้อากาศ 2-3 วัน จึงนำไปใช้เลี้ยงและหมุนเวียนอย่างนี้ตลอดการทดลอง (รูปที่ 15) ใช้พ่อพันธุ์กุ้งกุลาดำ จำนวน 34 ตัว ยาวมากกว่า 20 เซนติเมตร แม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ จำนวน 24 ตัว ยาวมากกว่า 22 เซนติเมตร ทำการบีบตากุ้งตัวเมีย พบแม่กุ้งมีไข่ ระยะ 3-4 จำนวน 9 ตัว วางไข่ 4 ตัว ไข่ได้รับการผสมเพียง 1 ตัว จำนวนไข่ที่ได้รับการผสม 58,000 ฟอง ฟักเป็น nauplius 57,000 ตัว ให้อาหารเป็นหอยกะพงใหญ่,



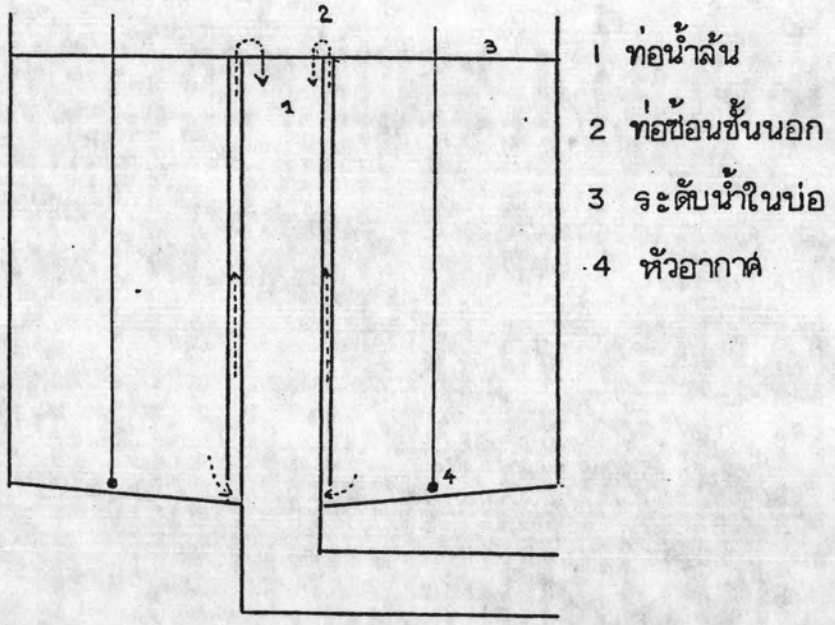
รูปที่ 11 บ่อระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดซึ่งมีการให้ก๊าซโอโซน (Menasveta, 1982)



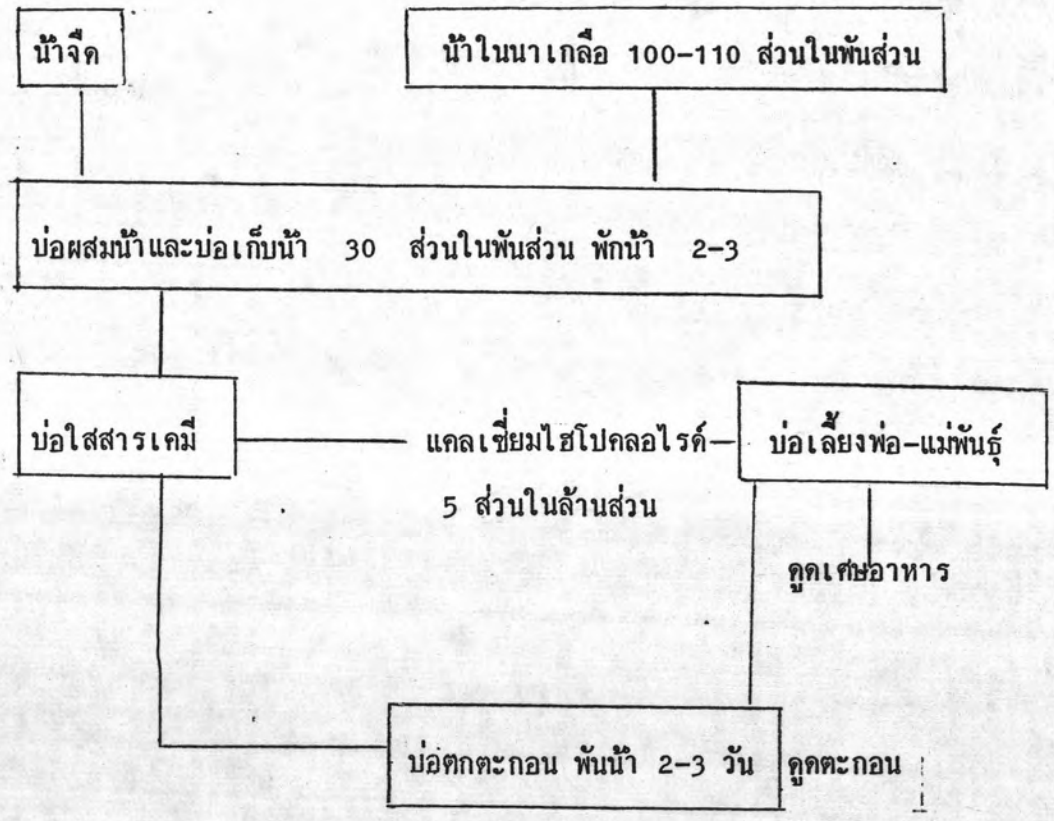
รูปที่ 12 แสดงภาพตัดขวางของระบบกรองแบบถัง (Menasveta,1981)



รูปที่ 13 แสดงแผนผังทิศทางการหมุนเวียนของน้ำ จากด้านบน และด้านข้าง (จาก Wit Tarnchalanukit et al., 1984)



รูปที่ 14 บ่อบีบตากุ้งกุลาดำ (จาก ประจวบ ลีรักษาเกียรติ และ คณะ,2528)



รูปที่ 15 แผนผังการใช้น้ำในระบบปิดสำหรับการเลี้ยงพ่อ–แม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ
(ประจวบ ลีรักษาเกียรติ ,2528)

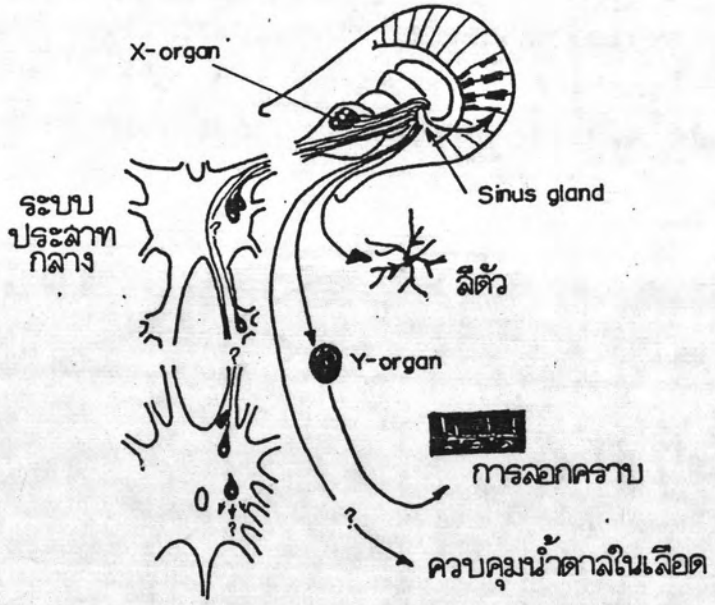
ปลาหมึก และเนื้อปลาสด อุณหภูมิน้ำ 28.0-32.0 องศาเซลเซียส ความเค็ม 29.0-32.0 ส่วนในพันส่วน ความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 7.5-9.0 ปริมาณไนไตรทมากกว่า 0.2 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณแอมโมเนียมากกว่า 0.1 ส่วนในล้านส่วน

5. การเจริญพันธุ์ของกุ้งกุลาดำ

5.1 การเร่งการเจริญของรังไข่

พินิจ กังวานกิจ และคณะ (2523) อ้างถึง Young (1959) ซึ่งรายงานว่า ที่ก้านตาของสัตว์พวกเดคาพอด (decapod) แต่ละอันจะมีฮอร์โมน GIH (gonad inhibiting hormone) ซึ่งผลิตโดยอวัยวะชื่อ MTGX (medulla terminalis ganglionic X-organ) และถูกนำไปเก็บไว้ที่อวัยวะชื่อ sinus gland ที่บริเวณด้านติดกับคอร์เนียของลูกตา (สมิง ทรงถาวรทวี และคณะ, 2525 อ้างถึง Waterman, 1960; Green, 1967; Carlisle and Knowles, 1959) (รูปที่ 16) และ Santiago (1977) (อ้างโดยสมิง ถาวรทวี และคณะ, 2525) เป็นบุคคลแรกที่ทดลองตัดตากุ้งกุลาดำจนสามารถทำให้กุ้งวางไข่ และฟักเป็นลูกกุ้งได้สำเร็จ และสรุปว่าการตัดตากุ้งเพียงข้างเดียวเพียงพอทำให้กุ้งวางไข่ และฟักเป็นตัวได้สำเร็จ Primavera (1980) กล่าวว่า แม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ จะไม่พัฒนารังไข่ตามธรรมชาติเมื่ออยู่ในที่กักขัง จึงจำเป็นต้องมีการตัดตาเพื่อทำให้เกิดการพัฒนาของรังไข่ แม่พันธุ์กุ้งกุลาดำจะตัดตาได้เมื่ออยู่ในสภาพที่มีเปลือกแข็งแล้วเท่านั้น ไม่ควรตัดตาในระยะที่เพิ่งลอกคราบใหม่ๆ (post molt) ซึ่งจะมีเปลือกนิ่มมาก หรือในระยะที่แม่กุ้งกำลังจะลอกคราบ (premolt หรือ ready to molt) ก็ไม่ควรตัดเช่นกัน Primavera (1980) ได้แบ่งวิธีการทำลายลูกตาและก้านตา (ablation) เป็น 4 แบบ คือ 1. การกรีดลูกตาแล้วบีบรีดที่ก้านตา เพื่อทำลาย sinus gland 2. การผูกก้านตาที่บริเวณโคนก้านตา ใน 2-3 วัน ก้านตาจะหลุด ไปเอง 3. การใช้ไฟฟ้าหรือสารซิลเวอร์ไนเตรทจี้ที่ก้านตา 4. การตัดตาโดยใช้กรรไกรตัดที่บริเวณ 3 มิลลิเมตรจากเหนือโคนก้านตา

นอกจากนี้การตัดตาควรตัดในน้ำโดยเร็ว แล้วรีบปล่อยแม่กุ้งลงน้ำทันที



รูปที่ 16 แสดงรูปร่างและตำแหน่งของ sinus gland ,X-organ และ Y-organ ในบริเวณก้านตาของสัตว์พวกกุ้งและปู (Hoar,1976)

10296050

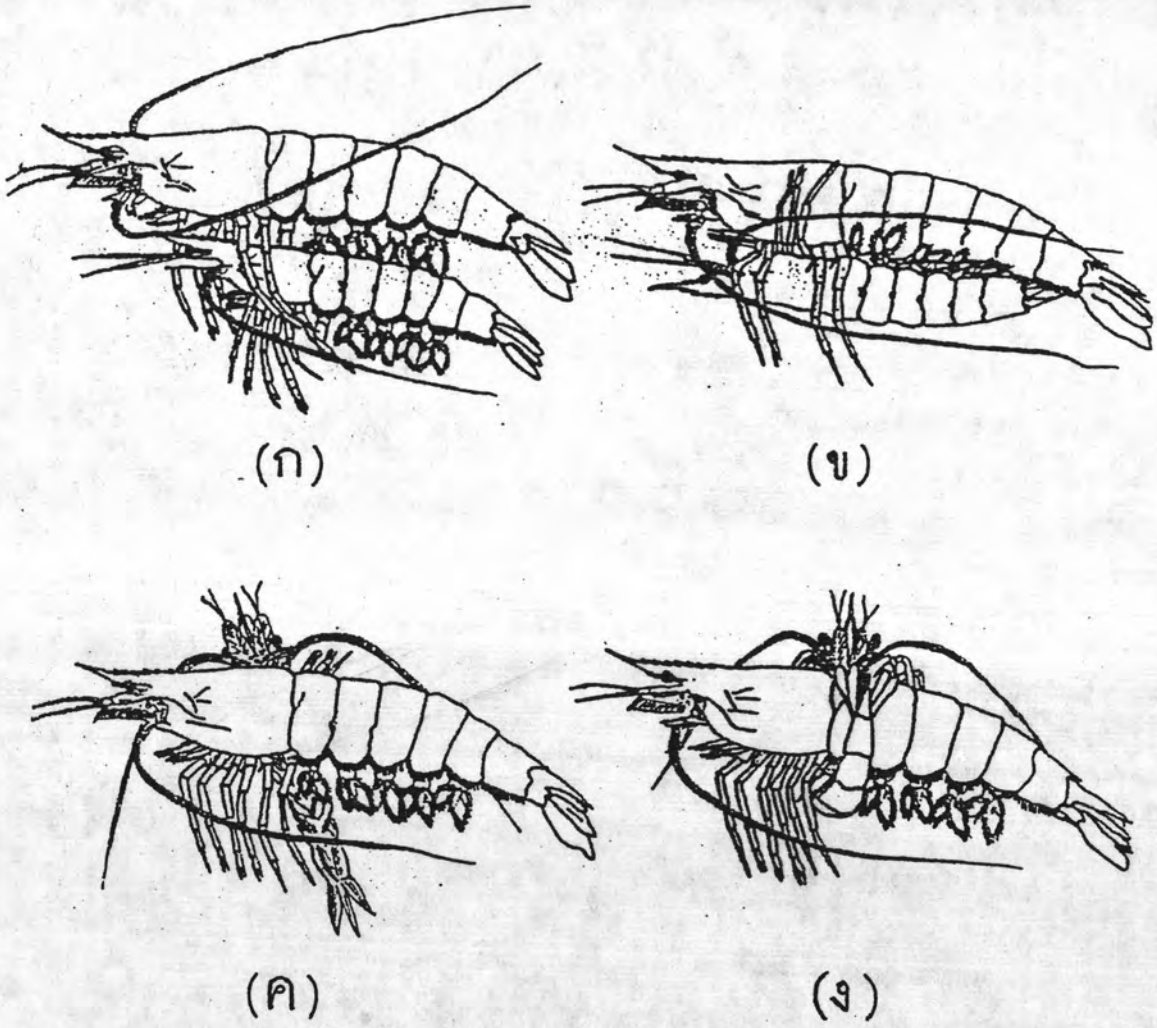
5.2 การผสมพันธุ์ของกุ้งกุลาดำ (courtship และ mating)

Primavera (1980) รายงานว่าการผสมพันธุ์ของกุ้งกุลาดำนั้น ตัวผู้จะเข้าผสมพันธุ์เพื่อถ่ายน้ำเชื้อ (spermatophores หรือ sperm-containting sac) ไปเก็บไว้ที่บริเวณ thelycum ของกุ้งตัวเมีย การเข้าผสมพันธุ์นี้จะเกิดในขณะที่กุ้งตัวเมียเพิ่งลอกคราบใหม่ ๆ เท่านั้น พฤติกรรมการเข้าผสมพันธุ์จะเริ่มเมื่อกุ้งกุลาดำตัวเมียลอกคราบแล้ว กุ้งตัวเมียจะเริ่มว่ายน้ำขึ้นสู่ผิวน้ำ และว่ายน้ำช้า ๆ ไปเรื่อย ๆ กุ้ง ตัวผู้ที่พร้อมจะผสมจะว่ายตาม โดยกุ้งตัวผู้จะว่ายอยู่ด้านล่างของตัวเมีย และว่ายขนานกันไป (รูปที่ 17 ก) หลังจากนั้นกุ้งตัวผู้จะผลิกตัวกลับ และเข้าประกบใต้ท้องกุ้งตัวเมีย (รูปที่ 17 ข) ทันทีที่กุ้งตัวผู้อยู่ในลักษณะนี้ กุ้งตัวผู้จะเปลี่ยนท่าอยู่ในท่าประกบใต้ท้องตัวเมียเป็นรูปที่กากบาท (รูปที่ 17 ค.) แล้วงอตัวเป็นรูปตัวยู (รูปที่ 17 ง.) ในขณะเดียวกันก็จะปล่อยถุงเก็บน้ำเชื้อเข้าสู่อวัยวะเก็บในตัวเมีย (thelycum) เมื่อขั้นตอนต่าง ๆ เสร็จแล้ว กุ้งตัวผู้จะดีดตัวออกจากตัวเมียทันที หลังจากนั้นกุ้งตัวเมียจึงลงเกาะที่พื้นตามปกติ เป็นการสิ้นสุดพฤติกรรมการผสมพันธุ์

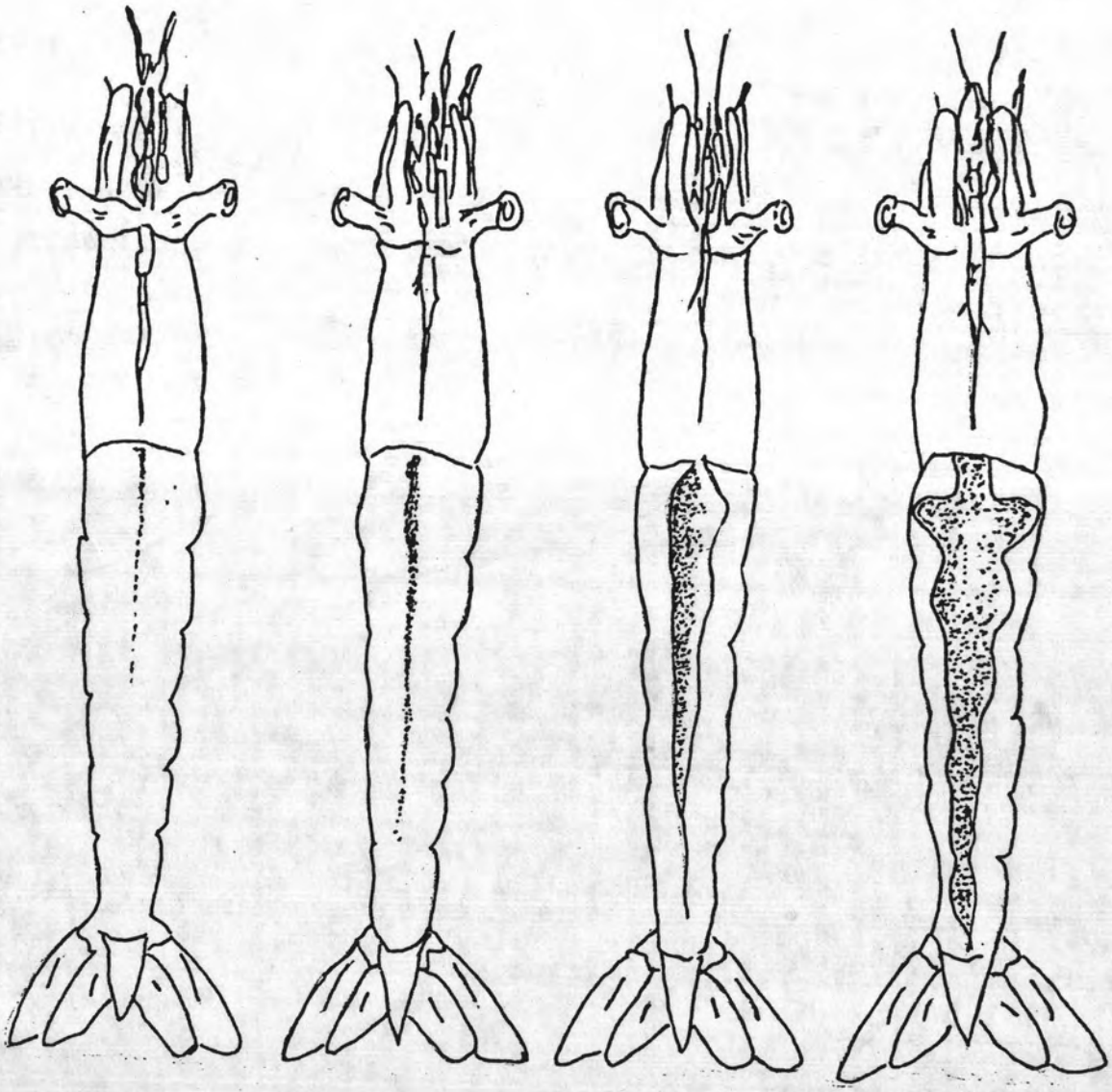
5.3 การเจริญของรังไข่

กุ้งกุลาดำตัวเมียที่ตัดตาแล้วจะมีการเจริญของรังไข่ และจะออกไข่ประมาณ 3-4 สัปดาห์หลังตัดตา (Primavera, 1980) พบว่ากุ้งกุลาดำตัวเมียที่อายุ 5 เดือนจะมีการพัฒนาของรังไข่ถึงระยะที่ 3-4 ภายในเวลา 5 สัปดาห์หลังการตัดตา (บรรจง เทียนส่งรัศมี และคณะ, 2525) การตรวจการเจริญของรังไข่จะเริ่มตั้งแต่ 3 วัน หลังตัดตา โดยกระทำในเวลากลางคืน (ประมาณ 19.00-21.00 น.) การตรวจการเจริญของรังไข่กระทำโดยการใช้ไฟส่องจากด้านล่างของกุ้งกุลาดำตัวเมีย ถ้ากุ้งกุลาดำตัวเมียมีการเจริญของรังไข่ จะเห็นเป็นแถบทึบแสงพาดกลางลำตัวในแนวยาว บริเวณด้านหลังของตัวกุ้ง การเจริญของรังไข่แบ่งได้เป็น 4 ระยะดังนี้ (Primavera, 1980)

ระยะที่ 1. รังไข่มีลักษณะใสบาง จะมองไม่เห็นเมื่อใช้ไฟส่องจากด้านล่าง (รูปที่ 18)



รูปที่ 17 แสดงการเข้าผสมพันธุ์ของพ่อ-แม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ ก.กุ้งตัวเมียอยู่ด้านบนและกุ้งตัวผู้อยู่ด้านล่าง ว่ายขนานกันไปเรื่อย ๆ ข.กุ้งตัวผู้พลิกตัวกลับเข้าหาตัวเมีย ค.กุ้งตัวผู้หันตัวหมุนตัวเป็นรูปกากบาท ข้างใต้ตัวเมีย ง.กุ้งตัวผู้งอตัวเป็นรูปตัว ยู และปล่อยถุงเก็บน้ำเชื้อเข้าอวัยวะเก็บในตัวเมีย (Primavera, 1980 อ้างถึง Primavera, 1979)



ระยะที่ 1. (Stage 1) ระยะที่ 2. (Stage 2) ระยะที่ 3. (Stage 3) ระยะที่ 4. (Stage 4)

รูปที่ 18 แสดงระยะต่าง ๆ ของการเจริญพันธุ์ของรังไข่ของแม่กุ้งกุลาดำ (Primavira, 1980)

ระยะที่ 2. รังไข่เริ่มสามารถมองเห็น เมื่อใช้ไฟส่องจากด้านล่างมีลักษณะเป็นเส้นทึบแสงบาง ๆ อยู่ในแนวกลางลำตัวจากส่วนบนสุดของปล้องแรกของส่วนหาง ถึงบริเวณปล้องกลาง ๆ ของส่วนหาง (รูปที่ 18) เมื่อผ่าดูรังไข่ภายในจะเห็นรังไข่เป็นสีขาวขุ่นหรือสีน้ำตาลใสหรือเขียวอ่อน ๆ

ระยะที่ 3. เห็นรังไข่อย่างชัดเจน เมื่อใช้ไฟส่องจากด้านล่าง จะเห็นรังไข่เป็นแถบทึบแสงขยายกว้างขึ้น พาดตามแนวกึ่งกลางลำตัว ยาวจากปล้องแรกของส่วนหางจนถึงปล้องสุดท้าย บางทีเห็นเป็นลักษณะคล้ายสามเหลี่ยมที่บริเวณปล้องแรกของส่วนหาง (รูปที่ 18) เมื่อผ่ารังไข่ดูจะเป็นสีเขียวแก่ ไข่เป็นเม็ดปรากฏให้เห็นทั่วไปในรังไข่

ระยะที่ 4. เหมือนระยะที่ 3 แต่รูปสามเหลี่ยมบริเวณปล้องแรกของส่วนหางขยายออก จนเห็นเป็นปีก 2 ข้าง จากแถบของรังไข่อย่างชัดเจน เมื่อผ่ารังไข่ดูจะเห็นเป็นสีเขียวแก่เข้มมาก และขยายใหญ่เต็มช่องท้อง

เมื่อตรวจพบแม่กุ้งกุลาดำมีการเจริญของรังไข่ระยะที่ 4 จะนำแม่กุ้งตัวนั้นขึ้นเพื่อนำไปปล่อยให้วางไข่ในถังวางไข่ต่อไป

กุ้งกุลาดำจากธรรมชาติที่มีขนาดตั้งแต่ 90–200 กรัม เป็นกุ้งที่เหมาะสมในการใช้เป็นพ่อ–แม่พันธุ์ และกุ้งขนาดนี้จะมีความดกของไข่ประมาณ 500,000 – 1,000,000 ฟอง แต่ในกรณีที่เป็นแม่กุ้งจากบ่อเลี้ยงนำมาตัดตาแล้ว แม่กุ้งจะออกไข่ตั้งแต่ 100,000 – 600,000 ฟอง เฉลี่ย 200,000 ฟอง และแม่กุ้งจากธรรมชาติที่นำมาตัดตา จะวางไข่ตั้งแต่ 200,000–1,000,000 ฟอง เฉลี่ย 500,000 ฟอง

5.4 การทดลองการเจริญพันธุ์กุ้งกุลาดำในประเทศไทย

พินิจ กังวานกิจ และคณะ (2523) ได้ทดลองบีบตาแม่กุ้งกุลาดำ โดยใช้พันธุ์จากในธรรมชาติ และจากบ่อเลี้ยง นำมาทดลองในบ่อเดียวกัน โดยเป็นพ่อ–แม่พันธุ์ที่มีขนาดตั้งแต่ 60 กรัมขึ้นไป อัตราส่วนเพศผู้ : เพศเมีย เท่ากับ 1 :1 ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง อัตราการให้อาหารประมาณ 5% ของน้ำหนักตัวกุ้ง อาหารเป็นเนื้อปลาสดและหอยแครง มีการเปลี่ยนน้ำใหม่ 1/2 – 2/3 ของปริมาตรเดิมทุกวัน จากกุ้งตัวเมียที่บีบตาทั้งหมด 174 ตัว มีแม่กุ้งพัฒนารังไข่จนถึงระยะที่ 4 ซึ่งเป็นระยะที่แม่กุ้งไข่แก่พร้อมออกไข่ได้แล้วเท่ากับ 201 ตัว (มีการพัฒนาของรังไข่จนถึงระยะที่ 4 มากกว่า 1 ครั้ง) แม่กุ้งได้รับการผสม 173 ตัว คิดเป็น 86.06%

สมิง ทรงถาวรทวี และคณะ (2525) ได้ทดลองเปรียบเทียบตัดตากุ้งกุลาดำจากธรรมชาติและจากบ่อเลี้ยง โดยกุ้งธรรมชาติรวบรวมจากบริเวณอำเภอชลุง บริเวณเกาะเปริด และบริเวณอ่าวเพ ขนาดตัวเมียตั้งแต่ 22.0 เซนติเมตร ขึ้นไป ขนาดตัวผู้ตั้งแต่ 20 เซนติเมตรขึ้นไปเช่นกัน กุ้งจากบ่อเลี้ยงรวบรวมจากบริเวณตำบลเนินฆ้อ อำเภอแกลง จังหวัดระยอง จังหวัดตราด จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดสมุทรสาคร กุ้งจากธรรมชาติทั้งหมด 136 ตัว อัตราส่วนเพศผู้ : เพศเมีย เท่ากับ 1 : 1 กุ้งจากบ่อเลี้ยงทั้งหมด 88 ตัว อัตราส่วนเพศผู้:เพศเมีย เท่ากับ 1 : 1 ให้อาหารเป็นหอยกะพง หอยแมลงภู่ และเนื้อปลาหมึก โดยให้อาหารในอัตราส่วน 15% ของน้ำหนักตัวกุ้ง แม่กุ้งจากธรรมชาติที่ตัดตาและมีการพัฒนาของรังไข่จนถึงระยะที่ 4 มีจำนวนเท่ากับ 25 ตัว (43.1%) วางไข่ทั้งหมด 3,742,000 ฟอง เป็นไข่ดี (ไข่ที่ได้รับการผสม) 12.8% และมีอัตราการฟักเป็นนอเพลียส (nauplius) 70.8% แม่กุ้งจากบ่อเลี้ยงที่ตัดตาและมีการพัฒนาของรังไข่จนถึงระยะที่ 4 มี 22 ตัว (53.7%) วางไข่ทั้งหมด 2,555,535 ฟอง เป็นไข่ดี 20.4% และมีอัตราการฟักเป็นนอเพลียส 62.5 %

สมบูรณ์ หลาวประเสริฐ และ พิทักษ์ พลขัณฑ์ (2526) ทดลองตัดตาแม่กุ้งกุลาดำจากธรรมชาติ ซึ่งรวบรวมจากบริเวณอำเภอชลุง จังหวัดจันทบุรี กุ้งตัวผู้มีขนาด (ความยาวสุด : total length) 20.0 เซนติเมตร กุ้งตัวเมียมีขนาด 23.0 เซนติเมตร และเลี้ยงแยกในบ่อคอนกรีตทรงกลมขนาด 9 ลบ.เมตร ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร ระดับน้ำลึก 1.40 เมตร เป็นบ่อกลางแจ้ง และในบ่อคอนกรีตทรงกลมขนาด 3 ลบ.เมตร ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.45 เมตร ระดับน้ำลึก 0.80 เมตร เป็นบ่อในร่ม ได้ทำการตัดตากุ้งกุลาดำภายหลังพักฟื้นไว้ 5 วัน พ่อ-แม่พันธุ์กุ้งกุลาดำในบ่อเลี้ยงทั้ง 2 ชนิด มีอัตราส่วนเพศผู้:เพศเมีย เท่ากับ 1 : 1 ความหนาแน่น 5-9 ตัวต่อตารางเมตร ในบ่อกลางแจ้ง จากแม่กุ้งกุลาดำที่ตัดตาทั้งหมด 158 ตัว พบแม่กุ้งมีการเจริญของรังไข่จนถึงระยะที่ 4 จำนวน 126 ตัว มีแม่กุ้งที่ออกไข่ซึ่งได้รับการผสม 77 ตัว ออกไข่ทั้งหมด 17,696,000 ฟอง ในบ่อในร่ม จากแม่กุ้งที่ทำการตัดตาทั้งหมด 191 ตัว พบแม่กุ้งมีการเจริญของรังไข่จนถึงระยะที่ 4 จำนวน 113 ตัว มีแม่กุ้งที่ออกไข่ซึ่งได้รับการผสม 17 ตัว ออกไข่ทั้งหมด 4,485,200 ฟอง

สุดา ตัณฑวณิช และคณะ (2526) รายงานว่าหลังจากการบีบตา แม่กุ้งกุลาดำ ขนาดตั้งแต่ 65 กรัมขึ้นไป แม่กุ้งจะมีการพัฒนาของรังไข่จนถึงระยะที่ 4 ภายใน 7 วัน และหลังจากแม่กุ้งออกไข่ครั้งแรกแล้ว แม่กุ้งจะมีการออกไข่ได้อีกเป็นจำนวน มากที่สุดถึง 4 ครั้ง โดยคิดเป็น 4.08,1.98% และ 2.63% ของแม่กุ้งที่ทำการตัดตาทั้งหมด

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิเวศน์ เรืองพานิช และคณะ (2528) ทดลองบีบตาแม่กุ้งกุลาดำจากบริเวณชายฝั่งมหาสมุทรอินเดีย ที่จังหวัดสตูล ซึ่งมีน้ำลึกประมาณ 10 เมตร ได้กุ้งตัวผู้น้ำหนัก 70-90 กรัม กุ้งตัวเมียน้ำหนัก 90-120 กรัม และจากบริเวณทะเลสาบสงขลาตอนนอก ซึ่งมีน้ำลึกประมาณ 1.0-1.5 เมตร มีความเค็ม 25-30 ส่วนในพันส่วน ได้กุ้งตัวผู้น้ำหนัก 70-80 กรัม กุ้งตัวเมียน้ำหนัก 80-110 กรัม พบว่าแม่กุ้งกุลาดำที่ได้รับการบีบตา จากบริเวณชายฝั่งมหาสมุทรอินเดีย มีการพัฒนาของรังไข่จนถึงระยะที่ 4 เท่ากับ 50.68% ของแม่กุ้งที่ทำการบีบตา (73 ตัว) และพบว่าแม่กุ้งมีการพัฒนาของรังไข่จนถึงระยะที่ 4 ภายใน 10 วันหลังบีบตา ไข่ที่ฟักเป็นนอเพลียสทั้งหมดเท่ากับ 6,693,620 ตัว รอดจนถึงระยะ post larva อายุ 20 วัน เท่ากับ 771,000 ตัว แม่กุ้งกุลาดำที่ได้รับการบีบตา ซึ่งมาจากบริเวณทะเลสาบสงขลา มีการพัฒนาของรังไข่จนถึงระยะที่ 4 เท่ากับ 11.45 % ของแม่กุ้งที่ทำการบีบตา (288 ตัว) พบว่าแม่กุ้งมีการพัฒนาของรังไข่จนถึงระยะที่ 4 ภายใน 21-44 วัน หลังบีบตา ไข่ที่ฟักเป็นนอเพลียสทั้งหมดเท่ากับ 1,1657,520 ตัว รอดจนถึงระยะ post larva อายุ 20 วัน เท่ากับ 313,000 ตัว

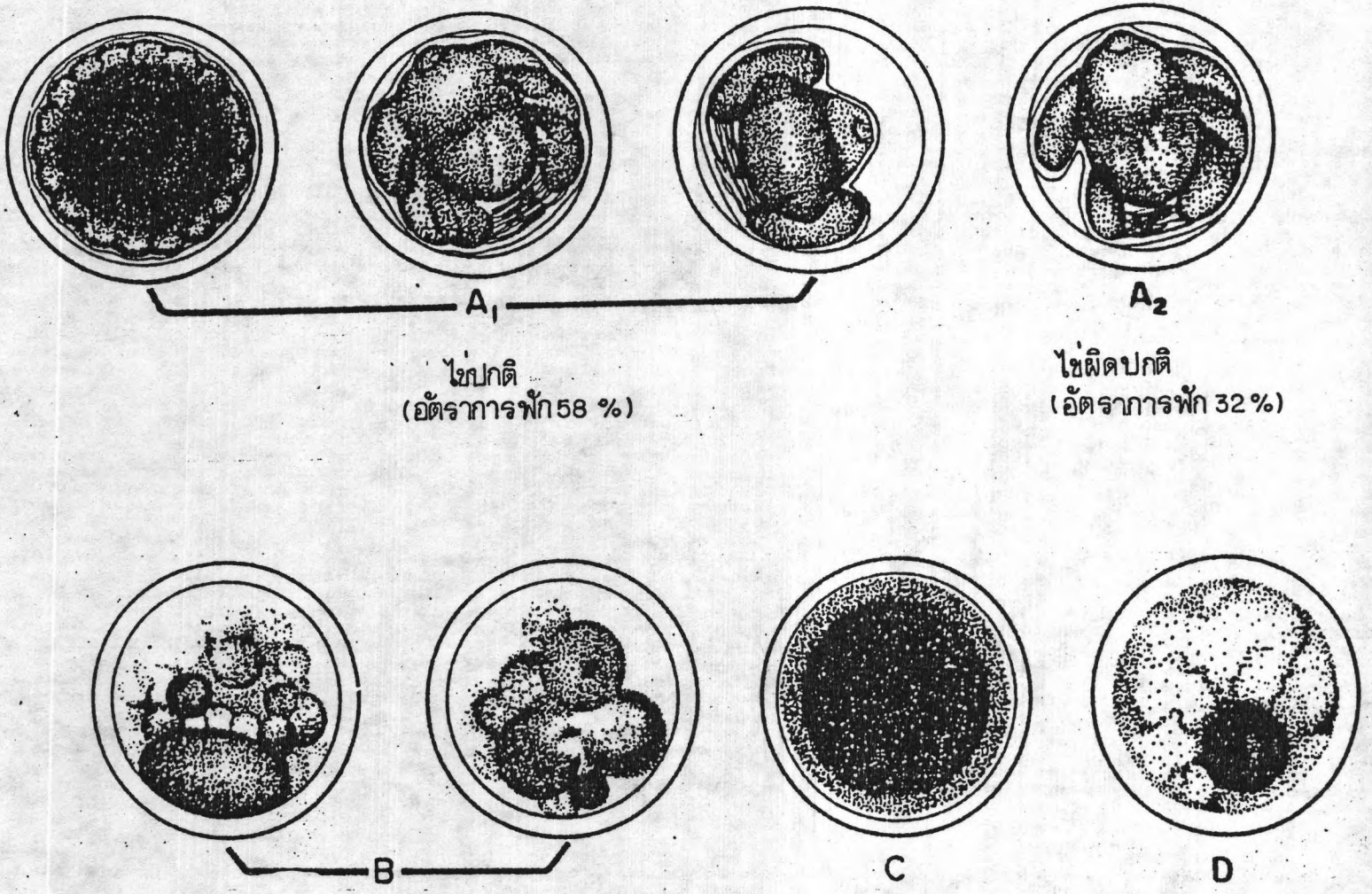
ประจวบ ลีรักษาเกียรติ และคณะ (2528) ทดลองบีบตากุ้งกุลาดำในน้ำเค็ม ซึ่งได้จากการผสมน้ำเค็มจัด (100 -110 ส่วนในพันส่วน) จากนาเกลือกับน้ำจืด จนได้ความเค็ม 31.0 ส่วนในพันส่วน และทำการเลี้ยงในระบบปิด ซึ่งประกอบด้วยบ่อขนาด 25 ตัน ใช้เป็นบ่อพักน้ำที่ผ่านการใช้แล้ว การปรับสภาพน้ำโดยการเติมสารแคลเซียม-ไฮโปคลอไรด์ ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัม/ลิตร พักน้ำและให้อากาศ 2-3 วัน จึงนำไปใช้เลี้ยงพ่อ-แม่พันธุ์กุ้งกุลาดำต่อ พ่อ-แม่พันธุ์กุ้งกุลาดำทำการรวบรวมจากบริเวณปากแม่น้ำเวฬุ จังหวัดจันทบุรี กุ้งกุลาดำตัวผู้มีขนาด 20 เซนติเมตรขึ้นไป กุ้งกุลาดำตัวเมียมี ขนาด 22 เซนติเมตรขึ้นไปเช่นกัน บ่อเลี้ยงเป็นบ่อคอนกรีตทรงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.45 เมตร ระดับน้ำลึก 0.80 เมตร อัตราส่วนเพศผู้ : เพศเมีย เท่ากับ 1.5 : 1.0 ความหนาแน่น 5-6 ตัว ต่อตารางเมตร ให้อาหารเป็นหอยแมลงภู่,ปลาหมึก และเนื้อปลาสด ทำการตรวจสอบการเจริญของรังไข่หลังบีบตา 7 วัน จากจำนวนกุ้งตัวเมียที่ทำการบีบตาทั้งหมด 24 ตัว มีแม่กุ้งที่มีการเจริญของรังไข่จนถึงระยะที่ 4 เท่ากับ 9 ตัว เป็นแม่กุ้งที่ได้รับการผสม 1 ตัว ออกไข่ทั้งหมดเท่ากับ 58,000 ฟอง ฟักเป็นนอเพลียสเท่ากับ 57,000 ตัว

6. การเพาะพันธุ์ลูกกุ้งทะเล

ในธรรมชาติแม่กุ้งทะเล เช่น แม่กุ้งกุลาดำจะวางไข่ในทะเลที่ระดับความลึกประมาณ 15-40 เมตร ใกล้พื้นดิน โดยไข่ที่แก่เต็มที่จะถูกขับออกมาทางช่องเพศ ไข่จะได้รับการผสมกับน้ำเชื้อตัวผู้ ซึ่งตัวเมียเก็บไว้ที่บริเวณโคนขาเดินคู่ที่สี่ของตัวเมีย แม่กุ้งใช้เวลาวางไข่ครั้งหนึ่งประมาณ 3-5 นาที ไข่ที่ผสมแล้วขณะที่ปล่อยลงทะเลใหม่ ๆ จะมีลักษณะกลม มีเมือกหุ้ม ไข่จะค่อย ๆ เปลี่ยนรูปไปภายหลัง สุดท้ายไข่จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.0-1.5 มิลลิเมตร ไข่กุ้งทะเลในตระกูล Penaeus โดยทั่วไป จะหนักมากกว่าน้ำทะเลเล็กน้อย จึงมักจมอยู่ตามพื้นทะเล ในธรรมชาติไข่ที่ได้รับการผสมแล้ว จะเจริญและฟักออกมาเป็นตัวภายใน 13-15 ชั่วโมง (ยอดยิ่ง เทพธรานนท์, 2524)

สำหรับการเพาะพันธุ์ลูกกุ้งโดยวิธีการตัดตาหรือบีบตาแม่กุ้ง ทั้งจากธรรมชาติ และจากบ่อเลี้ยง เมื่อพบแม่กุ้งมีการพัฒนาของรังไข่จนถึงระยะที่ 4 แล้ว จะนำแม่กุ้งตัวดังกล่าวออกมา เลี้ยงแยกในบ่อวางไข่ ขนาด 300 ลิตร ซึ่งจุน้ำทะเลความเค็ม 30 ส่วนในพันส่วน จำนวน 200 ลิตร (Primavera, 1980) หรือบ่อขนาด 400 ลิตร (ยอดยิ่ง เทพธรานนท์, 2524) ในบ่อวางไข่นี้อาจใช้น้ำยาฆ่าเชื้อรา เช่น trephan ความเข้มข้น 0.1 - 0.5 ส่วนในพันส่วน ฆ่าเชื้อแม่กุ้ง 1-2 นาที ก่อนนำมาใส่ในบ่อวางไข่ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้ไข่ปลอดจากเชื้อรา(ยอดยิ่ง เทพธรานนท์, 2524) แม่กุ้งที่มีไข่แก่จะวางไข่ในเวลาประมาณ 24.00-04.00 น. ของคืนที่นำแม่กุ้งใส่ในบ่อวางไข่ โดยแม่กุ้งจะใช้เวลาปล่อยไข่ประมาณ 2-7 นาที (ยอดยิ่ง เทพธรานนท์, 2524) แม่กุ้งที่ปล่อยไข่แล้วจะสามารถสังเกตได้ จากคราบไขมันที่ปล่อยออกมาในขณะวางไข่ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นคราบสีส้ม ติดบริเวณขอบถัง สายอากาศ และหัวอากาศในตอนเช้าของวันรุ่งขึ้น (Primavera, 1980) ปกติไข่กุ้งที่ได้รับการผสมแล้วจะหนักกว่าน้ำทะเล และจะจมลงด้านล่างที่ก้นถังในกรณีที่ไม่ได้ให้อากาศ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้อากาศในบ่อวางไข่ด้วย (ยอดยิ่ง เทพธรานนท์, 2524)

ไข่ที่ได้ออกมานั้นอาจจะเป็นไข่ดีและไข่เสีย ไข่ดีจะมีลักษณะกลมขนาดประมาณ 1.0-1.25 มิลลิเมตร มีสีออกสีขาวขุ่น เทา หรือสีน้ำตาลแดง เมื่อไข่ถูกปล่อยออกแล้วจำเป็นต้องมีการตรวจสอบลักษณะของไข่ว่าเป็น ไข่ดีหรือเสียภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (รูปที่ 19) (Primavera, 1980) ในกรณีไข่ดีเกินกว่า 38.0-40.0% (Primavera, 1980; ยอดยิ่ง



รูปที่ 19 แสดงลักษณะไข่ดี และไข่เสีย (Primavera, 1980)

เทพธรานนท์, 2524) หรือถ้าเป็นแม่กุ้งกุลาดำจากธรรมชาติ จะต้องมีไข่ดีเกินกว่า 38.87% และถ้าเป็นแม่กุ้งกุลาดำจากบ่อเลี้ยง จะต้องมีไข่ดีเกินกว่า 23.50% จึงจะนำไปเพาะฟักต่อไป (Primavera, 1984 อ้างถึง Primavera และ Posadas, 1981)

การเพาะฟักจะเริ่มด้วยการทำความสะอาดไข่ที่ได้ โดยการใช้สวิงที่มีผ้าตาพริกไทย (ไข่กุ้งลอดได้) ช้อนเศษอาหารและเนื้อเยื่อที่ออกมาพร้อมกับไข่จนหมด จากนั้นใช้กระบอกพีวีซีที่มีผ้าแพลงค์ตอนเบอร์ 120 ที ปิดอยู่ตรงปลาย ใช้สายยางขนาดเล็กดูดน้ำออก ทำความสะอาดขอบบ่อ เติมน้ำใหม่ลงไป ถ่ายเทน้ำตลอดเวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง ลูกกุ้งจะฟักเป็นตัวภายใน 15-17 ชั่วโมงหลังวางไข่ ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 26-28 องศาเซลเซียส (Dhebtaranon, 1981)

การรวบรวมนอเพลียสที่ฟักออกมา ทำได้โดยการหยุดการให้อากาศในบ่อวางไข่ นอเพลียสที่แข็งแรงจะว่ายขึ้นสู่ผิวน้ำ ลูกกุ้งที่อ่อนแอจะยังคงอยู่ที่ก้นบ่อวางไข่ ปะปนกับเศษของเสียต่าง ๆ ให้เปิดทิ้งหรือใช้สายยางดูดทิ้งไป (Hoshino and Dhebtaranon, 1981) หรืออาจปิดฝาบ่อวางไข่ให้มืดสนิท แล้วเปิดช่องให้แสงผ่านลงมา นอเพลียสที่แข็งแรงจะว่ายน้ำขึ้นสู่ผิวน้ำ และมารวมกันบริเวณที่แสงส่องลงมา สามารถรวบรวมและย้ายไปสู่บ่ออื่นได้โดยง่าย (Primavera, 1980)

การเลี้ยงและอนุบาลลูกกุ้งทะเลที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือระบบน้ำแบบเปิด ลักษณะระบบเปิดดังกล่าว ตัวอย่างเช่น Hoshino and Dhebteranon(1981) จะมีการถ่ายเทน้ำ 20-60 เปอร์เซนต์ทุกวัน จำนวนลูกกุ้งระยะนอเพลียสเริ่มต้น 50-100 ตัว/ลิตร ปรับให้มีความเค็ม 27-33 ส่วนในพันส่วน อุณหภูมิควรอยู่ในช่วงประมาณ 26-30 องศาเซลเซียส การถ่ายเทน้ำนั้นจะเริ่มระยะเป็น ซูเอีย (zoea) ระยะที่ 1 ในระยะนี้จะถ่ายเทน้ำวันละ 10-20 เปอร์เซนต์ทุกวัน เมื่อเริ่มระยะเป็นไมซีส (mysis) ระยะที่ 1 ถ่ายน้ำวันละ 30 เปอร์เซนต์

ระบบเพาะพันธุ์ลูกกุ้งทะเลระบบเปิดดังกล่าว แบ่งเป็น แบบ Japanese system คือบ่อเลี้ยงเป็นบ่อคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยม ขนาดตั้งแต่ 16-100 ตัน ลึกประมาณ 1 เมตร ซึ่งมีข้อดี คือตัวอ่อนกุ้งสามารถเจริญได้ตั้งแต่ จากไข่ถึงระยะ post larva อายุ 22 วัน ในบ่อ

เดิมได้ จึงไม่จำเป็นต้องมีบ่ออนุบาลแยกต่างหาก รวมทั้งเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลถูก และต้องการคนงานน้อย แต่มีข้อเสียที่เสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนครั้งแรกสูง การควบคุมโรคลำบาก แบบที่สองคือ แบบที่เลียนแบบหรือดัดแปลงมาจาก ระบบของ กัลเวสตัน (Galveston) ซึ่งจะเป็นระบบเลี้ยงขนาดเล็ก ประกอบด้วยถังไฟเบอร์กลาสใสก้นเรียบ หรือเป็นรูปกรวย ขนาดตั้งแต่ 1.0-1.5 ลบ.เมตร มีข้อดี คือ ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นถูก สามารถเลี้ยงลูกกุ้งในระยะ นอเพลียส จนถึงระยะ post larva ได้หนาแน่น ง่ายต่อการควบคุมโรค แต่มีข้อเสีย คือ ไม่สามารถเลี้ยงลูกกุ้งจนถึงระยะ post larva อายุ 22 วันได้ ทำให้ต้องมีบ่ออนุบาลแยกต่างหาก ต้องการคนงานดูแลมากและค่าใช้จ่ายในการดูแลสูง (Kungvankij, 1981) แบบที่สามเป็นระบบเพาะพันธุ์กุ้งทะเลที่คล้ายกับแบบที่สอง โดยแบ่งการเพาะพันธุ์เป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นการออกไข่และฟัก ใช้ถังพลาสติกขนาด 150 ลิตร ขั้นการเลี้ยงลูกกุ้งที่ฟักแล้วจะใช้ถังพลาสติกขนาด 1-2 ลบ.เมตร ซึ่งใช้เป็นแบบของ กัลเวสตัน และขั้นอนุบาลลูกกุ้งในระยะ post larva จะใช้เป็นบ่อคอนกรีตขนาด 30-100 ลบ.เมตร โดยมีความหนาแน่นของ นอเพลียส 25,000-30,000 ตัว/ลบ.เมตร หรือ 25-30 ตัว/ลิตร โดยมีอัตรารอดจนถึงระยะ post larva อายุ 20 วัน เท่ากับ 30% (Hoshino and Dhebtaranon, 1981) ยอดยิ่ง (2524) เลี้ยงลูกกุ้งทะเลระยะ นอเพลียส โดยใช้ 2 วิธี คือ บ่อเลี้ยงอยู่ในร่มและบ่อเลี้ยงอยู่กลางแจ้ง แบบที่บ่อเลี้ยงอยู่ในร่มจะมีที่ปิดบังแสงตลอดเวลา แบบที่บ่อเลี้ยงอยู่กลางแจ้งนั้นจะไม่มีอะไรเป็นที่กำบังแสง ขนาดความจุของบ่อเลี้ยงทั้งสองแบบเท่ากับ 25-60 ลบ.เมตร มีการเติมน้ำทะเลแต่ไม่กล่าวว่ามีการถ่ายน้ำเดิมทิ้งการเลี้ยงหรือการอนุบาลลูกกุ้งระยะ ซูเอีย มีการเติมน้ำทุกวัน ประมาณ 10-20 % ไม่มีการดูดตะกอน และเปลี่ยนน้ำ การอนุบาลลูกกุ้งระยะ ไมซีส มีการดูดตะกอน และถ่ายน้ำทุกวัน ประมาณ 1/3-1/2 ของปริมาตรน้ำในบ่อทุกวัน

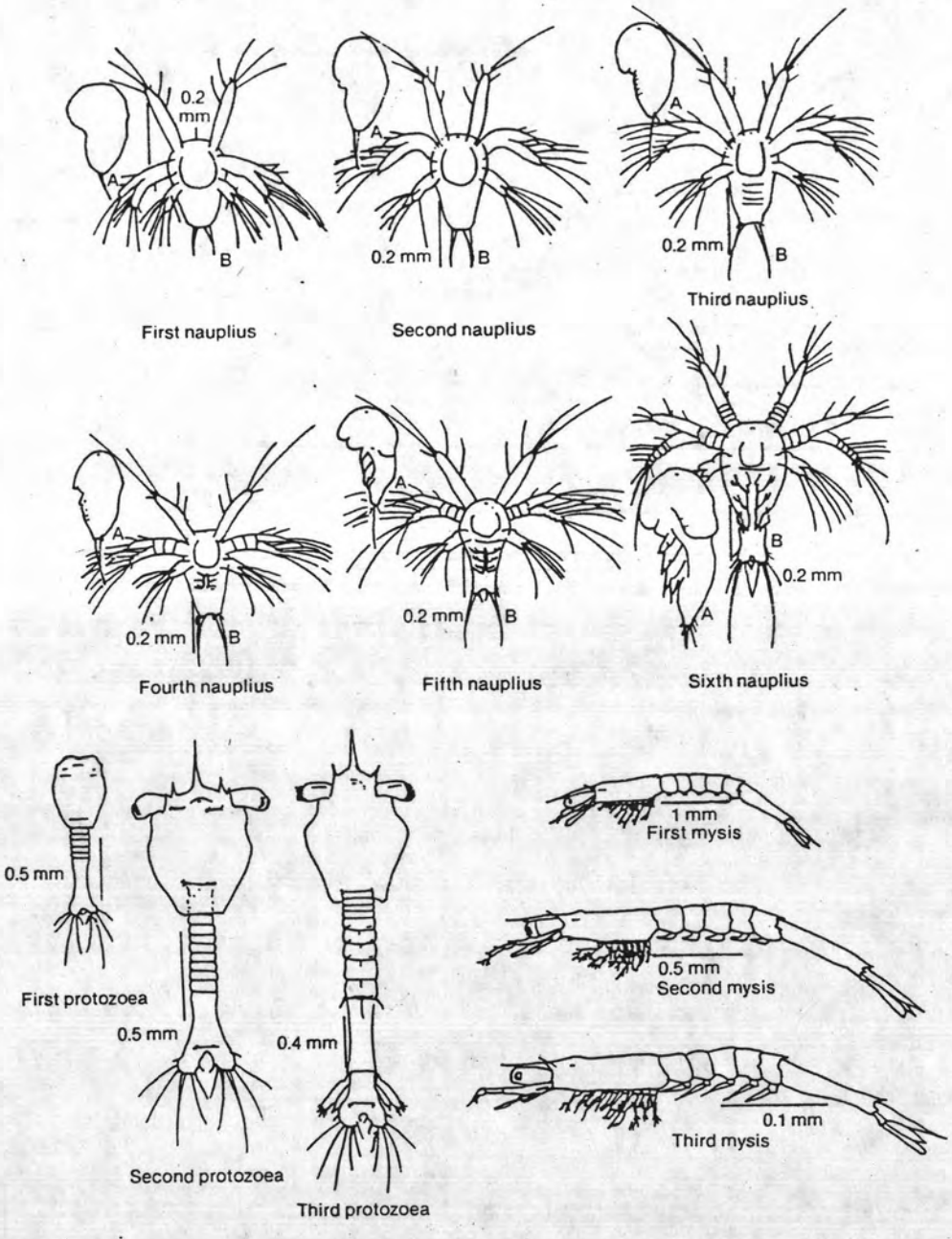
บ่อเพาะพันธุ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับระบบปิดคือ เป็นบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กทรงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.0 เมตร สูง 1.25 เมตร น้ำที่ใช้เพาะลึก 0.8 เมตร มีความจุ 12 ลบ.เมตร โดยมีระบบกรองอยู่ภายในบ่อเพาะพันธุ์โดยตรง ที่บริเวณพื้นบ่อซึ่งเป็นชั้นกรองประกอบด้วยทรายละเอียด และเศษปะการังหัก ๆ (ขนาด 2-4 มิลลิเมตร) ชั้นล่างเป็นเศษปะการังขนาดใหญ่ (ใหญ่กว่า 16 มิลลิเมตร) กั้นกลางด้วยตาข่ายไนล่อนตาถี่ ความหนาทั้งหมดของชั้นกรอง 8-10 เซนติเมตร ระบบน้ำสามารถทำงานได้ทั้งแบบระบบปิดและแบบกึ่งปิด

โดยมีการถ่ายเทน้ำออก 1/4-1/2 ของปริมาตรเดิมทุกวัน ความหนาแน่นในการเพาะพันธุ์ของบ่อเท่ากับ 400,000 ฟอง (Primavera, 1980)

6.1 การอนุบาลลูกกุ้งวัยอ่อน

การอนุบาลลูกกุ้งวัยอ่อนระยะนอเพลียส : ลูกกุ้งในระยะนอเพลียส แบ่งได้เป็น 6 ระยะ ลูกกุ้งในระยะนอเพลียสยังไม่ต้องการอาหารในช่วง 2 วันแรก หลังจากฟักออกจากไข่เพราะมีถุงอาหารอยู่ ลูกกุ้งระยะนี้จะมีการลอกคราบ 6 ครั้ง จากนอเพลียส ระยะที่ 1 ไปเป็นระยะที่ 6 (รูปที่ 22) (ยอดยิ่ง เทพธรานนท์, 2524)

การอนุบาลลูกกุ้งวัยอ่อนระยะซูเอีย : ลูกกุ้งในระยะซูเอีย แบ่งได้เป็น 3 ระยะ (รูปที่23) ลูกกุ้งในระยะนี้จะเริ่มกินอาหาร ลูกกุ้งในระยะซูเอียที่เลี้ยงด้วย Chaetoceros sp. จะมีอัตรารอด 70-90 %, ถ้าเลี้ยงด้วย Skeletonema sp. จะมีอัตรารอด 40-60% ถ้าเลี้ยงด้วย Chaetoceros sp. รวมกับ Tetraselmis sp. จะให้อัตรารอด 80-95 % (ยอดยิ่ง เทพธรานนท์, 2524) หรือในซูเอียระยะที่ 1-2 เลี้ยงด้วยไดอะตอม Chaetoceros sp.ความหนาแน่น 5-10 x 10^3 6 ซล/มล. ซูเอียระยะที่ 2-3 ใช้ไดอะตอม ความหนาแน่น 15-30 x 10^3 ซล/มล. ซูเอียระยะที่ 3 ใช้ไดอะตอม ความหนาแน่น 20-50 x 10^3 ซล/มล. หรืออาจเพิ่มเติมด้วยโรติเฟอร์ ความหนาแน่น 3-5 ตัว/มล. ในซูเอียระยะที่ 2-3 หรือให้เนื้อกุ้งสับ ในซูเอียระยะที่ 3 จำนวน 15-20 กรัม/จำนวนซูเอีย 10,000 ตัว/ครั้ง โดยให้วันละ 2 ครั้ง นอกจากนี้ยังอาจให้ ยีสต์ทะเล ในซูเอียระยะที่ 1-3 ในความหนาแน่น 50-100 มล. (5 x 10^8 เซล/มล./ครั้ง) ให้ 4 ครั้งต่อวันหรือยีสต์ผง (ทำขนมปัง) แก่ซูเอียระยะที่ 1 จำนวน 0.5 กรัม/น้ำทะเล 1 ลบ.เมตร/วัน (Hoshino and Dhebtaranon,1981) และยังอาจให้น้ำเต้าหู้ผงคลอเรลล่าแห้งหรือ Chaetoceros sp. แห้ง เป็นอาหารสมทบได้ด้วย แต่ถ้าให้เป็นอาหารตลอดระยะซูเอียแล้ว จะทำให้มีอัตรารอดต่ำ ประมาณ 20-40% (ยอดยิ่ง เทพธรานนท์, 2524) อาหารอื่น ๆ ที่มีการให้ลูกกุ้งในระยะซูเอีย เช่น ใช้นมผง ให้ในลูกกุ้งระยะซูเอีย 1-3 ให้อัตราการรอดจากระยะซูเอียเป็นระยะไมซิส เท่ากับ 29.19 และ 59.33 % (บังอร ศรีมุกดา และ เตรียม ธิสาเวทย์, 2524) การให้อาหารเทียมแก่ลูกกุ้งซูเอียระยะที่ 3 ในรูปของ micro-particulate ซึ่งใช้ คาร์แลคจีแนน (carrageenan) เป็นสารเหนียว



รูปที่ 2ช แสดงรูปร่างตัวอ่อนกุ้งระยะ นอเพลียส, ระยะซูเอีย, ระยะไมซีส์

(จาก Primavera, 1980)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยึดเกาะ โดยอาหารเทียมสูตร B ซึ่งประกอบด้วย เคซีน 40.0 กรัม ไข่ไก่ 17.46 กรัม ถั่วเหลือง 3.00 กรัม แป้ง 2.50 กรัม กลูโคส 2.50 กรัม วิตามิน 2.69 กรัม เกลือแร่ผสม 8.55 กรัม และคาร์แลคจีแนน 5.00 กรัม (น้ำหนักทั้งหมด 100.00 กรัม) อาหารเทียมสูตรนี้จะให้อัตรารอดของกุ้งจากระยะ ซูเอีย 3 จนถึงระยะ post larva อายุ 4 วัน เท่ากับ 87 % (ถาวร จิระโสภณรักษ์ และ เรวัตร เปรมปิยะวัฒน์, 2527)

ลูกกุ้งในระยะซูเอียลอกคราบ 3 ครั้ง (จากซูเอียระยะที่ 1 ไปเป็นซูเอียระยะที่ 3) ใช้เวลา 4-5 วัน ขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 28-30 องศาเซลเซียส (ยอดยิ่ง เทพธรานนท์, 2524) ถ้าอุณหภูมิของน้ำลดต่ำลงเกิน 25.5 องศาเซลเซียส ลูกกุ้งจะตายหมด (Hoshino and Dhebtharanon, 1981) หรือ ถ้าอุณหภูมิน้ำมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเกินกว่า 5 องศาเซลเซียส ลูกกุ้งก็จะไม่ลอกคราบและตายเช่นกัน ความเค็มที่เหมาะสมในช่วง 30-32 ส่วนในพันส่วน (ยอดยิ่ง เทพธรานนท์, 2524) ลูกกุ้งระยะนี้ไม่ต้องดูดตะกอน และเปลี่ยนน้ำเพียงแต่เติมน้ำทะเลสะอาดลงไปเท่านั้น

การอนุบาลลูกกุ้งวัยอ่อนระยะไมซีส : ลูกกุ้งในระยะนี้จะแบ่งได้เป็น 3 ระยะ (รูปที่ 20)โดยจะทำการลอกคราบ 3 ครั้ง ภายใน 4-5 วัน ลูกกุ้งในระยะนี้จะเริ่มกินแพลงค์ตอนสัตว์ อาหารที่เหมาะสมมี โรติเฟอร์ ในความหนาแน่น 200-300 ตัว / ลูกกุ้ง 1 ตัว (ยอดยิ่ง เทพธรานนท์, 2524) หรือในความหนาแน่นของโรติเฟอร์ 3-5 ตัว/มล. สำหรับลูกกุ้งไมซีส ในระยะที่ 1 และ 3-10 ตัว/มล. สำหรับลูกกุ้งไมซีสในระยะ 2-3 หรือให้อาร์ทีเมีย ความหนาแน่น 50-80 ตัว/วัน สำหรับลูกกุ้งไมซีสระยะที่ 2-3 1 ตัว (Hoshino and Dhebtaranon, 1981) หรือใช้อาร์ทีเมีย 5 กรัม สำหรับลูกกุ้งระยะไมซีส 10,000 ตัว (MSU-IFRD annual Report, 1975) หรือให้อาร์ทีเมีย 3 ตัว/มล. สำหรับลูกกุ้งไมซีสระยะที่ 1, 6 ตัว/มล. สำหรับลูกกุ้งไมซีสระยะที่ 2 และ 8 ตัว/มล. สำหรับลูกกุ้งไมซีสระยะที่ 3 (ทวี โรจนสารัมภกิจ, 2527)

ลูกกุ้งระยะไมซีสนี้มีการดูดตะกอน และถ่ายน้ำทุกวัน ประมาณ 1/3-1/2 ของปริมาตรเดิม (ยอดยิ่ง เทพธรานนท์, 2524)

การอนุบาลลูกกุ้งวัยอ่อนระยะ post larva : จากลูกกุ้งวัยอ่อนระยะไมซีส ลูกกุ้งจะเข้าสู่ระยะ post larva ซึ่งลูกกุ้งในระยะนี้ จะมีรูปร่างเหมือนกับในตัวเต็มวัย อาหารลูกกุ้งในระยะ post larva อายุ 1-6 วัน จะเป็นอาร์ทีเมียมีชีวิต โดยให้ในอัตรา 10-20 ตัว/กุ้ง 1 ตัว/วัน อาหารลูกกุ้งในระยะ post larva อายุ 6-15 วัน จะเป็นเนื้อปลารวมกับไข่รวมกับเปลือกกุ้ง (1 กิโลกรัม + 12 ฟอง + 400 กรัม) นำไปนึ่งและผ่านตะแกรงขนาด 2-5 มิลลิเมตร ผสมกับหอยแมลงภู่บั่นละเอียด (ยอดยิ่ง เทพธรานนท์, 2524) หรือให้อาร์ทีเมียกับเนื้อหอยสด สำหรับลูกกุ้งระยะ post larva อาย1-10 วัน และเปลี่ยนเป็นเนื้อหอยสดอย่างเดียว สำหรับลูกกุ้งระยะ post larva อายุ 10-15 วัน (บังอร ศรีมุกดา และ เตรียม ธิสาเวทย์, 2524)

ลูกกุ้งระยะ post larva นี้ ต้องมีการดูดตะกอนและเปลี่ยนน้ำทุกวัน (1/3 – 1/2 ของปริมาตรเดิม)

6.2 <u>ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเพาะพันธุ์กุ้งทะเล</u>

Banchong (1980)(อ้างโดย Spotte, 1979) ได้รายงานสภาพสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมและสภาพแวดล้อมที่กุ้งอยู่ได้ดี (optimum range) ของลูกกุ้งทะเลไว้ ในขณะที่ลูกกุ้งสามารถอยู่ได้ในช่วงที่ค่อนข้างกว้าง เช่น สามารถอยู่ได้ในช่วงความเค็ม 28-32 ส่วนในพันส่วน อุณหภูมิในช่วง 28-32 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจน 4-10 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำอาจมีสารอินทรีย์ปนอยู่ได้บ้าง (B.O.D 5 วัน = 0.4 มิลลิกรัม/ลิตร และ C.O.D > = 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร) รวมทั้งในน้ำที่มีแอมโมเนียปรากฏอยู่ได้บ้าง (unionized ammonia = 0.0-0.1 มิลลิกรัม/ลิตร) และสามารถอยู่ในน้ำที่มีปริมาณไนเตรทสูง (0 - 200 มิลลิกรัม-ไนเตรท /ลิตร) ได้ แต่คุณภาพสิ่งแวดล้อมที่ดีซึ่งลูกกุ้งสามารถอยู่ได้ก็คือ ต้องไม่มีสารอินทรีย์ และแอมโมเนีย ปรากฏอยู่ในน้ำเลย

คุณภาพน้ำที่มีผลต่อลูกกุ้งทะเล มีเช่น แอมโมเนีย : ซึ่งแอมโมเนียในที่นี้หมายถึงปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด ซึ่งเป็นผลรวมของก๊าซแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และแอมโมเนียอิออน (NH_4^+) แอมโมเนียจะมีผลต่อสัตว์น้ำที่อวัยวะเกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ เช่นที่บริเวณซี่เหงือกของปลา โดยทำให้ซี่เหงือกของปลาเกิดการถูกทำลาย มีเมือกออกมามาก

เกิดอาการที่เรียกว่า "gill hyperplasia" ซึ่งทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนทำได้น้อยลง และปลาจะตายในที่สุด (Spotte, 1979) ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดที่สามารถทำให้ลูกกุ้งกุลาดำในระยะ post larva อายุ 10 วัน ตาย 50% ภายในเวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 48.209 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 0.0396 มิลลิกรัม/ลิตร (สิริทุกข์วินาศ, 2527) ไนไตรท : ไนไตรท ถ้าปรากฏอยู่ในเส้นเลือดของปลาจะทำให้เกิดการออกซิไดส์ของฮีโมโกลบินไปเป็นเมธิลโมโกลบิน ซึ่งไม่สามารถขนส่งออกซิเจนได้ (Spotte, 1979 อ้างถึง Jaffe, 1964) ปริมาณไนไตรทที่สามารถทำให้ลูกกุ้งกุลาดำในระยะ post larva อายุ 10 วัน ตาย 50% ภายในเวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 543.57 มิลลิกรัม-ไนไตรท/ลิตร และค่าความปลอดภัยต่อสัตว์น้ำมีค่าเท่ากับ 0.3599 มิลลิกรัม-ไนไตรท/ลิตร