

친환경 양식어업 연구

황인기

I. 서론

수산업의 발전으로 수산물의 생산량이 증대됨에 따라 수산물의 소비도 같이 증가하게 되었다. 양식어업을 통한 수산물의 생산량은 2018년 기준 세계 수산물 총 생산량 1억 7850만톤 중 8210만톤을 차지하였고 전문가들은 2019년과 비교해서 2028년에는 27%가 더 상승할 것으로 예측하고 있다. 또한 수산물 소비량의 증가세도 계속 이어지면서 한국은 2018년 연간 1인당 수산물 소비량은 68.1kg을 기록했지만 국내의 수산물 자급률은 69.3%로 나머지는 수입으로 대체되고 있는 실정이다. 이와 같은 상승세와 달리 원양어업과 연근해어업은 수산물 생산량이 점차 감소하고 있어 양식어업의 중요성이 더욱 부가되고 있는 추세이다.

하지만 양식산업의 증대에는 사육수 배출에 따른 환경오염, 항생제 사용에 따른 생태계 교란 등 여러 요인이 걸림돌이 되고 있다. 수산생물을 양식하게 되면 수조 내에 가라앉게 되는 잔여사료, 수산생물의 배설물 등에 의해 암모니아의 축적이 발생하며 이를 제거하기 위해서 사육수를 환수하여야 한다. 또한 질병의 발생은 최종 생산량의 감소로 이어지기 때문에 항생제 사용도 필수 불가결이다. 이러한 요인들에 의해 환경을 오염시키지 않고 양식하는 순환여과식, 바이오플락 등의 친환경 양식기술이 부상하고 있다.

친환경 양식기술 중 순환여과식(RAS: Recirculation Aquaculture System) 방법은 사육수를 순환시키면서 질산화과정(Nitrification)과 탈질화과정(Denitrification)을 거쳐 사육수 내 독성 암모니아를 제거하는 방법이며, 바이오플락(Biofloc)은 사육수 내에 유용미생물을 발생시켜 유용미생물들이 외부에서 유입되는 유기탄소와 함께

암모니아를 세균단백질(Bacterial Protein)을 형성하는 과정을 거쳐 사육수 내 독성 암모니아를 제거하는 방법이다.

본 연구는 친환경 양식기술 중 하나인 바이오플락 기술을 이용하여 유용새우류에 속하는 대하와 보리새우를 대상으로 빠른 성장을 위한 사육기법, 바이오플락 사육기법, 성숙 및 산란유도 연구를 통한 기술 확립에 목적을 두고 있다.

II. 재료 및 방법

1. 유용새우류 월동을 위한 바이오플락 기술 연구

1-1. 사육생물

대하는 2019년 10월 경 전남 고흥군에서 포획되어 축양하고 있는 자연산 개체 300마리를 구입하였다. 평균 체중은 약 $88\pm6.3\text{g}$ 이었다. 보리새우는 2019년 10월 2일 부산광역시 수산자원연구소로부터 당해 생산한 치하 14만미를 분양받았다. 평균 체중은 약 $0.022\pm0.004\text{g}$ 이며 겉으로 상처나 기형이 없는 개체를 선택하여 실험에 사용하였다.

1-2. 실험구 및 대조구 조성

수조는 갑각류생산동 내 75.4t 수조 4개를 사용하였다. 대하수조 2개와 보리새우 수조 2개로 선정하였고 새우를 입식하기 전 EM(Effective Micro-organisms)과 당밀을 투여하여 2주간 분말사료를 공급하면서 물만들기를 실시하였다. 대하와 보리새우는 절반씩 수조에 수용하였으며, 대조군은 일반적인 바이오플락, 실험군 수조는 바이오 플락과 함께 유동상여과재를 이용한 순환여과방식을 같이 적용하여 수질 변화를 확인하기 위한 실험을 계획하였다(그림 1).

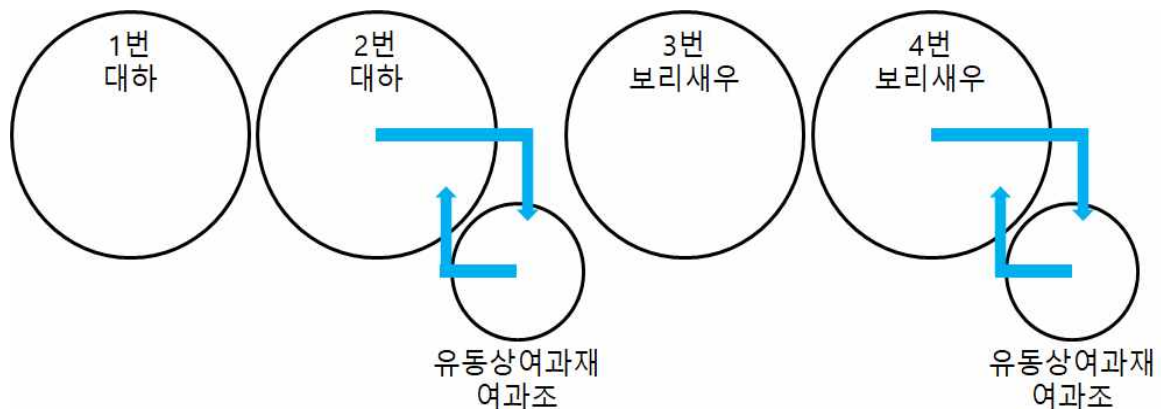


그림 1. 실험수조 모식도 및 유동상여과재 여과조(생물학적여과조)

실험은 2019년 11월 1일에 시작하여 2020년 3월 31일에 종료하였다. 실험기간 동안 사육수온은 최저 14℃를 유지하면서 매일 9시 30분에 수온, pH, DO, 염도를 다항목 수질측정기(YSI-650D, USA)를 이용하여 측정하였고 암모늄이온은 암모늄 측정키트(Merck co.)를 이용하여 측정하였다.

수조 내 바이오플락의 유지와 질소화합물의 제거를 위해 지속적으로 EM과 당밀을 투여하였다. 당밀은 바이오플락 시스템 내에서 유기탄소로 작용하며 세균이 질소화합물을 제거하는 에너지원 역할을 한다. 공급하는 사료와 당밀은 탄소(C)와 질소(N)의 비율이 15:1이 되도록 지속적으로 유지·관리하였고, 자세한 계산식은 그림 2와 같이 구하였으며 사료 내 단백질 함량은 40%를 기준으로 하였다.

2. 안병절제를 통한 성숙유도 연구

2-1. 사육생물

$$\begin{array}{lcl} \text{Feed} & \text{--- Protein : 40\% --- N : 15.5\% ---} & \text{N = 62g} \\ 1\text{kg} & \text{--- C : 50\% ---} & \text{C = 500g} \end{array}$$

$$\text{필요한 유기 탄소량(g)} = \{15 \times \text{사료 내 N함량(g)}\} - \text{사료 내 C함량(g)}$$

그림 2. 사료 1kg 내 탄소(C)와 질소(N)함량 및 필요 유기탄소 계산식

연구에 사용한 새우는 대하로 2019년 10월 경 구입한 자연산 개체 300마리 중 겉으로 상처나 기형이 없는 암컷 개체 100마리를 선별하여 실시하였으며, 평균 체중은 약 $89 \pm 4.3\text{g}$ 이었다.

2-2. 안병절제 및 성숙유도

실험은 2020년 3월 13일에 시작하여 4월 30일에 종료하였다. 사육수조는 최초 갑각류생산동 75.4t 수조를 이용하였으며, 3월 13일 안병절제 후 14°C 에서 수온을 가온하면서 실험하다가 19°C 로 가온하기 위해 2020년 4월 21일에 패류생산동 모패관리실로 수용하여 성숙을 확인하였다. 안병절제는 물 밖과 물 안에서 실시하는 예비실험 결과 생존율이 높았던 물 안에서 실시하는 방법을 채택했으며, 1차적으로 멸균해수에 대하를 수용 후 안병절제를 진행하였다(그림 3). 안병절제를 하는 동안 병원성 미생물 감염을 막기 위해 해부가위를 지속적으로 70% Alcohol 소독과 화염멸균을 진행하였다. 실험 7주간 1주일에 1회 5마리를 해부하고 GSI를 측정하여 성숙도를 확인하였다. 실험기간 동안 폐사하는 개체는 즉시 수조에서 제거하여 병원체 형성을 최소한으로 하였다.

3. 어린대하 생산과 대하 및 보리새우 육종을 위한 양성

3-1. 사육생물

어미대하는 2020년 5월경 전남 고흥군에서 포획되어 축양하고 있는 개체 60마리를 구입하였다. 평균 체중은 약 $85 \pm 7.5\text{g}$ 이었으며 최초 수용 후 48시간 동안 점등한 상태로 산란을 방지하면서 순치시켰다.



그림 3. 대하 안병절제

보리새우는 2019년 10월 2일 부산광역시 수산자원연구소로부터 당해 생산한 치하 14만미를 분양받은 개체이며 평균 체중은 약 $0.022 \pm 0.004\text{g}$ 이었다(그림 4).



그림 4. 구입한 어미대하(좌)와 분양받은 보리새우(우)

3-2. 어린대하 생산 및 바이오플랙 사육

어미대하는 난소의 색이 짙은 녹색을 띠는 큰 개체를 선별하여 부화수조로 수용하는 동시에 약 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 가온하여 수온자극을 통해 산란을 유도하였다. 수정란은 3일간 받았으며 부화 2일차에 zoea 중기로 변태를 확인하면서부터 증수식으로

사육수를 보충하였고, 21일째 postlarva로 돌입하면서 완전 유수식으로 전환하였다. 부화일령에 따른 사육환경 조성 및 먹이공급은 표 1과 같다. 부화 92일째에 5mm 선별기를 이용하여 선별 후 72톤 수조 2개에 각각 수용하면서 바이오플락으로 완전 전환하여 양성을 실시하였다. 바이오플락 유지를 위해 C:N 비율이 15:1이 되도록 사료와 당밀을 공급하였다.

표 1. 대하 유생의 부화일령에 따른 사육환경 조성 및 먹이공급

Stages	부화일령	수온	먹이	환경 조성
Nauplius (1~6)	1.5	22	-	지수식 클로렐라 공급
Zoea 1	7 ~ 9	23	<i>Brachionus</i> spp.	지수식 클로렐라, 기타 미세조류 공급
Zoea 2	11 ~ 13	24	<i>Brachionus</i> spp.	증수시작(3cm/1일) 로티퍼 밀도 (10~14마리/mL)
Zoea 3	18 ~ 21	24	<i>Brachionus</i> spp.	증수3cm/1일) 로티퍼 밀도 (10~14마리/mL)
Mysis (1~3)	21 ~ 23	25	<i>Brachionus</i> spp. + <i>Artemia</i> nauplius	증수(3cm/1일) 로티퍼 밀도 (10~14마리/mL) 알테미아 공급 (수조당 2천마리)
Post larvae (1~3)	25 ~ 27	25	<i>Artemia</i> nauplius + 배합사료	유수식 전환 알테미아 공급 (수조당 3천마리)

3-3. 보리새우 양성

보리새우는 월동 연구가 끝나는 동시에 집중관리가 유용하도록 72톤 수조에 모두 수용하여 사육하였다. 모래에 잠입하는 보리새우의 특성상 환경을 조성하기 위해 모래를 담은 상자를 수조 절반에 해당하는 구역에만 설치하여 잠입할 수 있도록 하였다. 사료공급은 모래를 설치하지 않은 구역에 공급하여 저질의 환원을 최대한 막았으며, 저질의 상태가 안정되도록 지속적으로 저질개선제를 투여하였다(뉴트리크, 명선해양). 양성은 유수식으로 진행되었으며, 야행성인 특성을 고려하여 자동사료

공급기를 이용하여 야간에도 지속적으로 사료를 공급하여 주었고 개체의 성장도에 따라 사료의 크기와 양도 점차 증가시키면서 관리하였다(그림 5).



그림 5. 보리새우 서식처 조성(좌) 및 자동사료공급기(우)

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 유용새우류 월동을 위한 바이오플락 기술 연구

2019년 11월 1일부터 2020년 3월 31일까지 대하와 어린보리새우를 대상으로 월동을 위한 바이오플락 연구를 진행하면서 유지한 수온은 그림 6과 같다. 수온은 실험이 끝날 때까지 최소성장 수온을 고려해 14℃로 세팅하여 진행하였지만, 3월 초 1, 2번수조의 온도조절기의 고장으로 인해 11℃로 하락했지만 대하에게 큰 영향은 발생하지 않았다.

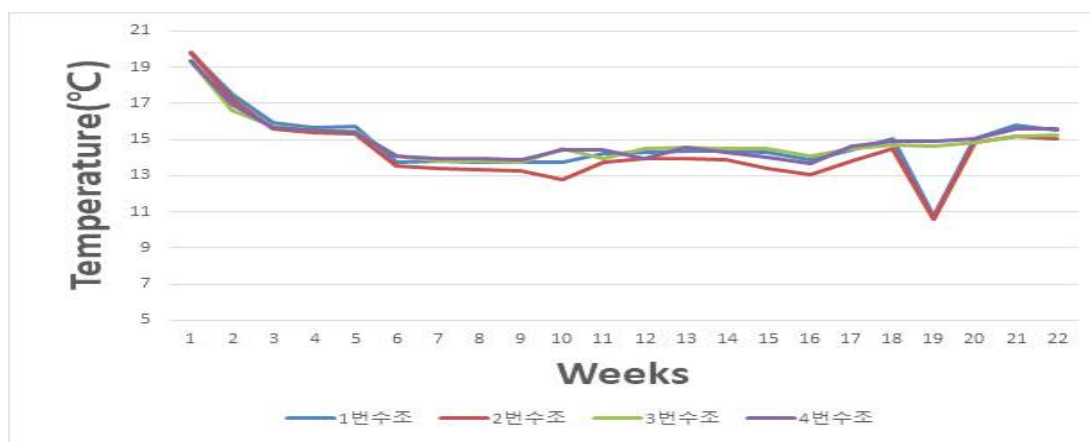


그림 6. 2019년 11월 1일 ~ 2020년 3월 31일까지 수조별 수온 변화 그래프

월동기간이 끝난 이후 어린 보리새우의 체장과 체중에 대한 그래프는 그림 7과 같다. 대하는 이미 성체이기 때문에 따로 체장과 체중을 측정하지 않았다. 겨울철 낮은 수온으로 사육하여 성장률은 낮았지만, 겨울철 보일러 가동에 따른 비용 측면에서 본다면 14℃로 사육하는 것이 알맞다고 사료된다.

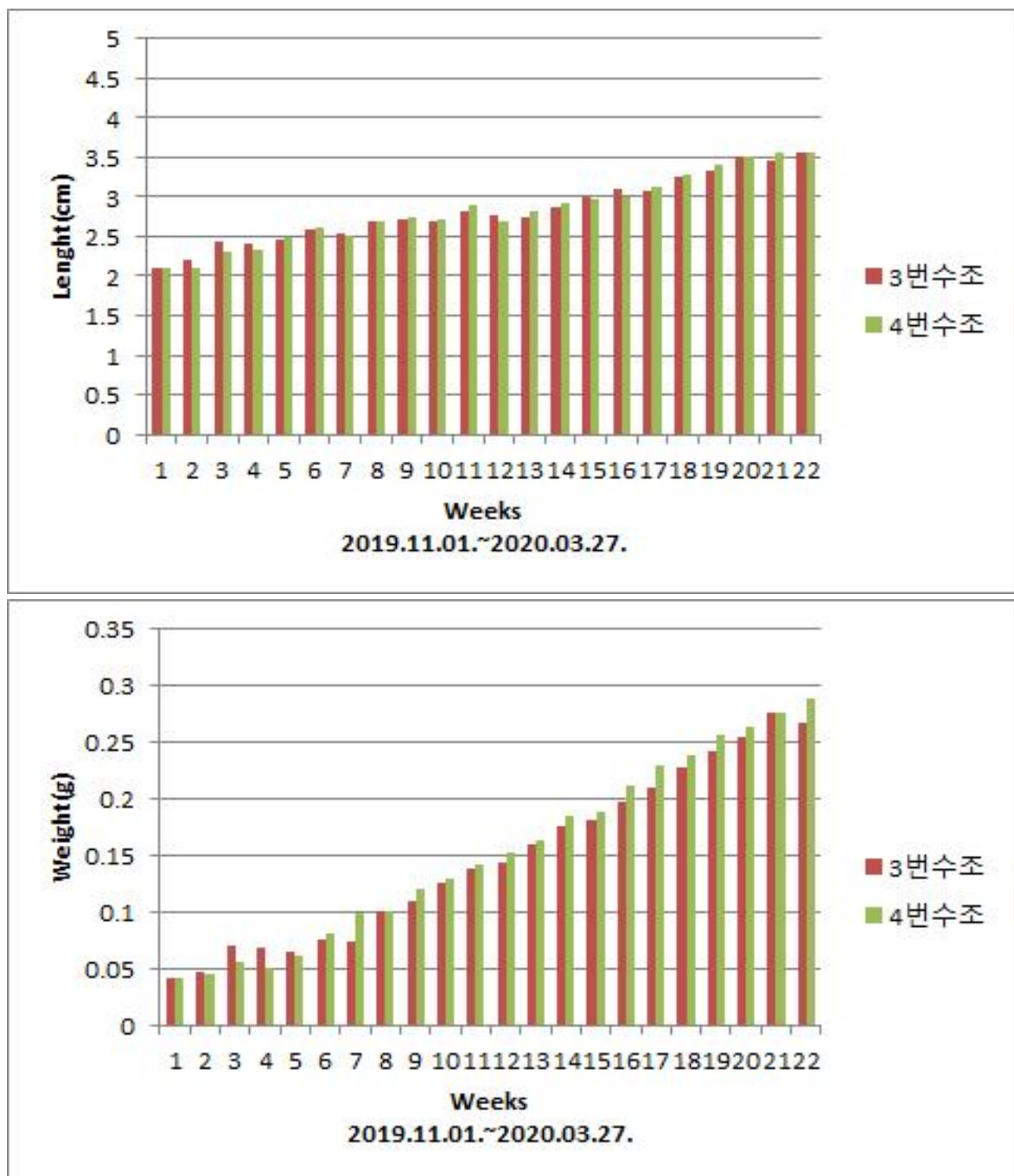


그림 7. 2019년 11월 1일 ~ 2020년 3월 31일까지 보리새우 체장, 체중 측정결과

월동기간 동안 사료공급량에 비례하여 당밀을 사육수에 공급하였으며, 암모니아가 상승하는 경향을 보일 때면 당밀량을 늘렸다. 월동기간 동안 암모늄농도는 그림 8과 같다.

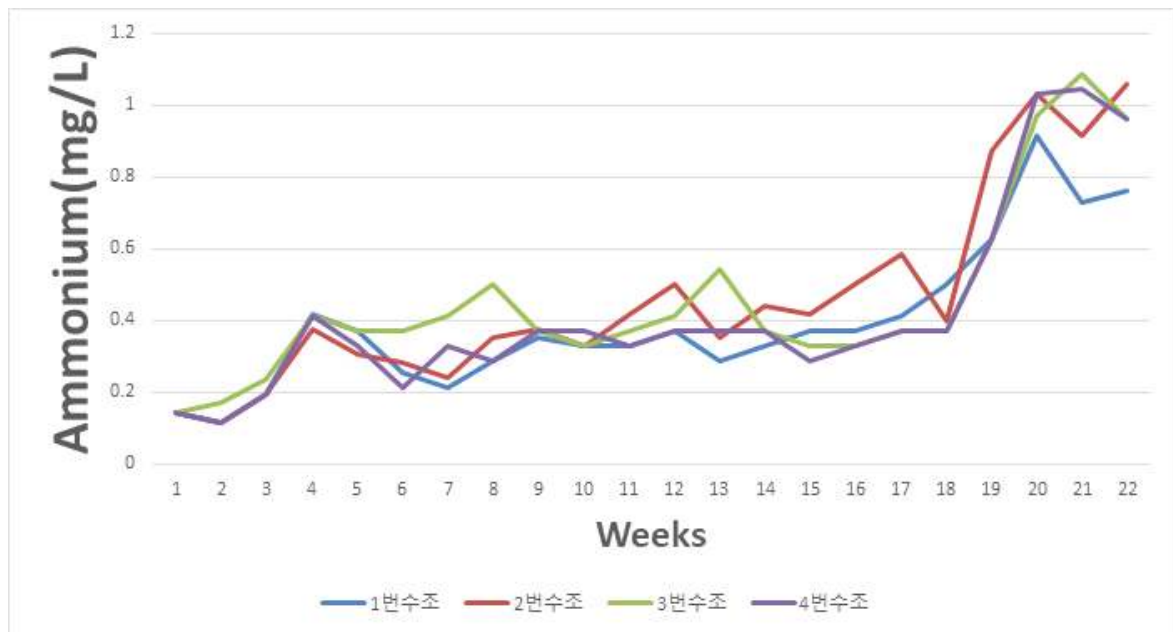


그림 8. 2019년 11월 1일 ~ 2020년 3월 31일까지 수조별 암모늄 변화 그래프

월동기간 동안 모든 사육수조의 암모늄농도는 지속적으로 상승하여 최대 1.2mg/L의 수치를 기록했다. 바이오플락 기술과 함께 유동상여과재를 이용한 순환여과방식 같이 적용하여 새우류를 사육한 결과 바이오플락만 적용한 수조보다 오히려 암모늄농도 수치가 조금 증가한 경향이 나왔다. 이는 생물학적여과조에 바이오플락이 형성된 사육수가 들어가면서 형성되었던 플락이 여과재에 부착되거나 여과조 내에 가라앉게 되어 오히려 사육수의 바이오플락 유지에 방해가 되었을 것이라 사료된다. 이번 월동연구를 통해 두 기술을 융합하여 사육하는 것은 오히려 각각의 기술을 독립적으로 사용하였을 경우보다 효과가 감소하였고, 새우류의 경우 바이오플락의 이용률이 높기 때문에 동력을 많이 필요로 하는 순환여과식 보다는 바이오플락기술을 적용하여 사육하는 것이 더 효과적일 것이라 사료된다.

2. 안병절제를 통한 성숙유도 연구

안병절제를 통해 대하의 성숙 정도를 확인하기 위해 GSI를 측정한 결과는 그림 9과 같다.

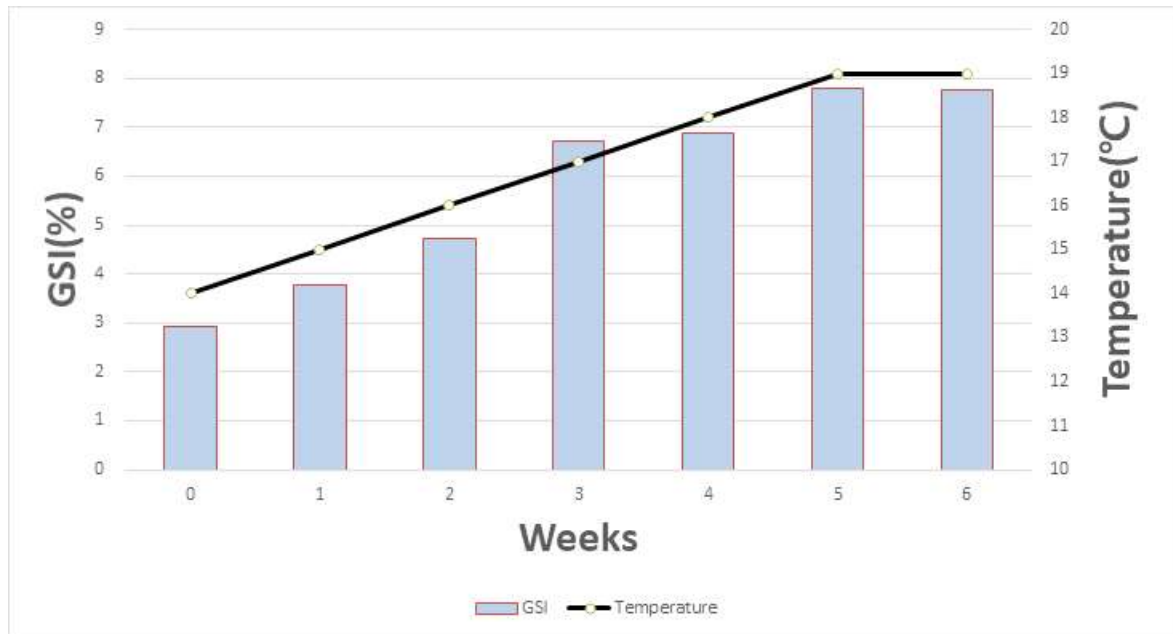


그림 9. 안병절제 후 수온에 따른 대하의 GSI 변화 그래프

안병절제를 실시하고 1~2일 동안 암컷 대하 100마리 중 약 30마리가 폐사하였고 실험이 끝날 때 까지 총 39마리가 폐사하였다(표 2). 사전실험을 통해 물 안에서 절제를 진행하는 것이 물 밖에서 진행하는 것보다 생존율이 높았지만 그만큼 안병절제가 대하에 치명적인 스트레스를 일으켰다고 생각된다.

표 2. 안병절제에 따른 대하의 생존율

실험시작 마리수	실험기간 동안 총 폐사 수	생존율	비고
100	39	61%	

최초 실험 시작 시 수온은 14℃로 설정하였으며 1주 간격으로 1도씩 상승시켜 최고 19℃가 되도록 하였다. 실험결과 실험시작 GSI는 평균 $2.27 \pm 0.22\%$ 이었으며 6주의 실험이 끝났을 때 GSI는 평균 $7.77 \pm 0.20\%$ 였다. GSI는 유의적으로 증가하였지만 5, 6주차에는 유의적인 변화가 나타나지 않았고, 실험이 끝난 이후에도 지속적으로 성숙도 확인을 진행하였지만 GSI는 증가하지 않았다. 일반적으로 자연산 대하가 산란을 위해 성숙이 완료되었을 때 GSI는 12~15%를 나타내지만, 수조에서 인위적으로 안병절제를 통해 성숙을 유도하였을 경우 본 실험에서는 8%를 넘기지

못하였다. 일반적으로 안병절제를 실시하는 이유는 새우류의 안병 내에는 탈피 억제호르몬(Molt Inhibiting Hormone), 고혈당호르몬(Hyperglycemic Hormone), 생식소억제호르몬(Gonad Inhibiting Hormone)이 분비되는데 안병절제를 통하여 생식소억제호르몬의 분비를 감소시켜 생식소의 성숙을 촉진하기 위함이다. 본 실험을 통하여 안병절제를 통해 어느 정도 생식소가 성숙됨을 확인하였지만, 산란을 위한 충분한 성숙은 이루어지지 않았다. 다른 보고에 따르면 월동기간 동안 8~10℃로 최소수온을 유지해 주면 안병 내 호르몬의 활성이 감소하게 되어 성숙이 촉진된다고 하였으며, 본 연구도 추후 생산한 대하를 대상으로 월동기간 동안 최소수온 8℃로 유지하면서 성숙유도를 진행하여 월동 및 성숙유도, 산란유도까지 일련의 기술을 확립할 계획이다.

3. 어린대하 생산과 대하 및 보리새우 육종을 위한 양성

3-1. 어린대하 생산 및 양성

대하어미 60마리를 산란유도하여 어린대하의 생산을 시작하였다. 본 연구소에서 그동안 진행한 대하 생산연구 결과 유생 단계별 생존율은 Zoea 1기 78%, Zoea 2기 56%, Zoea 3기 40% Mysis기 26%, Postlarvae기 8.3%로 이번 생산도 유사한 생존율을 보였고, 유생의 단계별 사진은 그림 10과 같다.

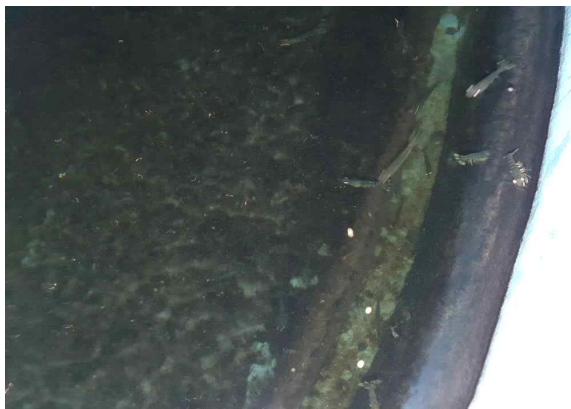


그림 10. 발육단계에 따른 대하의 형태변화

부화 92일째인 8월 11~12일에 5mm 선별기를 통해 선별한 결과 5mm 이상 개체는 1.5만마리, 5mm 이하 개체는 3.5만마리였다. 선별을 마친 뒤 8월 17일부터 바이오플락으로 완전전환하여 빠른성장을 유도하였다. 11월 10일 기준으로 큰 개체는 평균 무게 약 $8.25 \pm 23g$ 였으며 추후 지속적인 육종을 위해 성숙이 가능한 어미개체로 양성할 계획이다.

3-2 보리새우 양성

부산광역시 수산자원연구소로부터 분양받은 보리새우는 월동연구가 끝난 직후 유수식으로 전환하여 양성하였으며, 야행성의 습성상 야간에도 자동사료급이기를 이용해서 지속적으로 사료를 공급하여 주었다. 수조갈이를 진행하지 않고 양성을 진행한 결과 수조 내에는 녹조류인 큰대마디말(*Cladophora japonica*)이 번식하여 보리새우에게 쉼터 역할을 함과 동시에 보리새우의 먹이가 되는 먹이생물의 성육장 역할을 수행하여 보리새우의 성장에 도움이 되었다(그림 11).



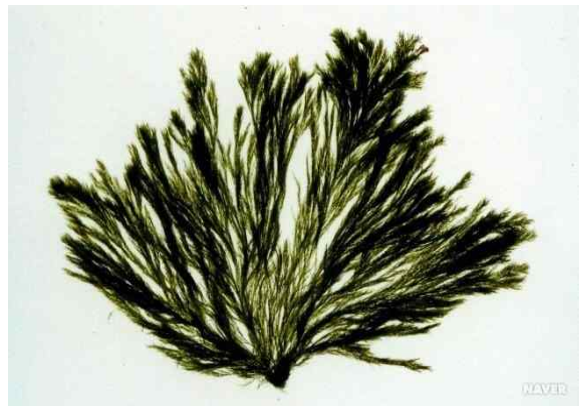
야간 유영중인 보리새우



수조 내 번식한 큰대마디말



보리새우 중량 측정



큰대마디말(*Cladophora japonica*)

그림 11. 보리새우 및 큰대마디말

11월 10일 기준으로 보리새우는 평균 약 $11 \pm 1.54\text{g}$ 의 무게로 성장하였지만, 10월 초 10g가량으로 성장함과 동시에 수온이 하강하기 시작하는 시기와 겹치면서 야간에 높은 공격성과 공식이 나타나기 시작하면서 개체수가 급감하기 시작하여 생존율이 5% 이하로 떨어졌다(그림 12).

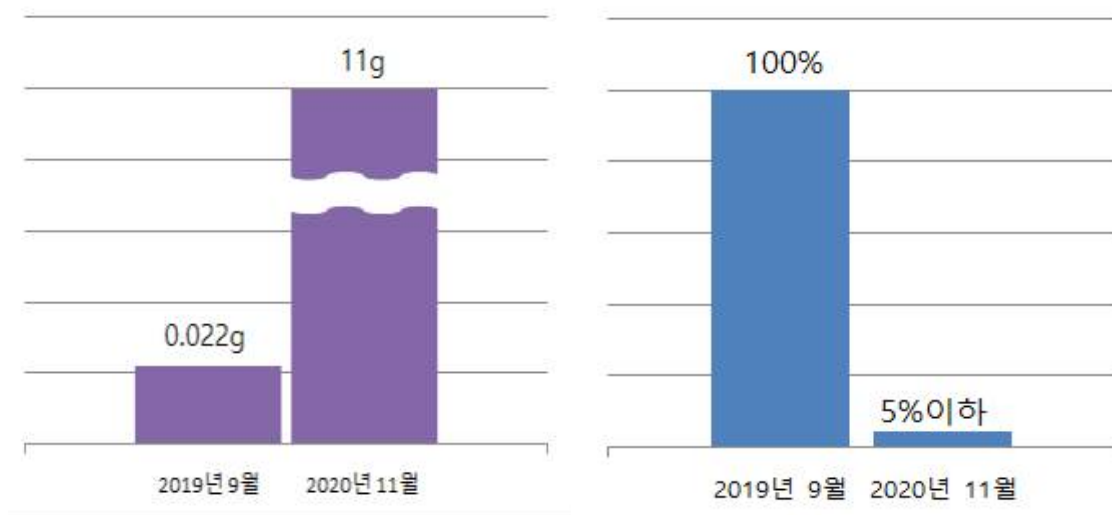


그림 12. 어린보리새우의 성장 중량(좌) 및 생존율(우)

개체간의 공식을 방지하기 위해 잠입을 유도하는 서식처로 모래를 깔아 주었지만, 야간에는 모래 속에서 나와 유영하기 때문에 대처법으로는 유용하지 않았다. 보리새우는 수온이 하락하기 시작하면 깊은 바다로 이동하는 개체로 수조내에서 인공적으로 완전양성을 실시하기 위해서는 앞으로 환경과 먹이 등 습성을 이해하고 조성하는 연구들이 진행되어야 할 것으로 사료된다.

IV. 요 약

1. 본 연구는 유용새우류 월동을 위한 바이오플락 기술 연구, 안병절제를 통한 성숙 유도 연구, 어린대하 생산과 대하 및 보리새우 육종을 위한 양성을 진행하였다.

2. 새우류 월동을 위하여 바이오플락과 유동생여과재를 이용한 순환여과식 방식을 융합하여 사육한 결과 오히려 바이오플락의 형성을 억제하는 경향을 나타냈다.
3. 안병절제를 통한 성숙유도를 위해 대하를 대상으로 6주간의 실험 결과 6주차에 GSI는 평균 $7.77 \pm 0.20\%$ 였다.
4. 자연산 어미대하로부터 생산한 어린대하는 선별 시 큰 개체 1.5만마리, 작은 개체 3.5만마리였고 11월 10일 기준으로 큰 개체의 무게는 약 $8.25 \pm 23g$ 였으며, 성숙 가능한 어미로 성장시키기 위해 지속적인 양성을 진행할 계획이다.
5. 부산광역시 수산자원연구소로부터 분양받은 보리새우는 11월 10일 기준으로 약 $11 \pm 1.54g$ 의 무게로 성장하였지만, 10월 초부터 높은 공격성과 공식으로 인하여 개체수가 급감하여 생존율이 5%이하로 나타났다.