

발 간 등 록 번 호
11-1541000-001455-01

해삼시범연구사업

2012. 08.

제 출 문

농림수산식품부장관 귀하

본 보고서를 “해삼시범연구사업 연구결과보고서”로 제출합니다.

2012년 8월 31일

주관연구기관명 : 전라남도해양수산과학원 국제갯벌연구센터

주관연구책임자 : 이 경 식

협동연구기관명 : 충남수산연구소, 부경대학교

협동연구책임자 : 강 선 율, 류 청 로

참여연구원

- 전라남도해양수산과학원 국제갯벌연구센터
황통성, 서대철, 유종민, 김종기, 김혜선, 양석우, 김광복, 김세운, 손동식,
박일웅, 허승준, 왕 기, 이길순
- 충남수산연구소
조한중, 박영제, 김창동, 임동규
- 부경대학교
김 윤, 김홍진, 김보경, 최진휴

요 약 문



▶ 해삼 종묘생산 기술개발

해삼양식 산업화의 가장 중요한 요소는 경제적인 방법으로 적정크기의 우량 인공종묘를 대량 생산하는 것이다. 해삼양식에 있어 상대적으로 큰 크기의 우량 종묘를 입식하는 것이 유리하다. 이러한 관점을 볼 때 조기종묘생산 개발은 반드시 필요하다고 할 수 있다. 이미 중국과 일본에서는 해삼 조기종묘생산을 위한 기술력을 확보하고 있는 실정이다. 중국의 경우 발해만을 중심으로 산동성 지역에서는 가을부터 익년 봄까지 어미해삼을 전문적으로 관리하며 3월에 수정란 생산을 시도하고 있으며, 요녕성 지역에서는 채란 한 두 달 전에 어미해삼을 육상으로 끌어 올려 어미해삼 집중관리를 통해 3월에 종묘생산을 하고 있다. 해삼의 일반종묘생산은 1차 년도에 이미 가능성이 진단되었고, 본 연구에서는 이를 바탕으로 해삼 종묘생산에 필요기술인 조기종묘생산에 대한 가능성을 진단하였다. 1차 조기종묘생산에서는 중국 산동성 지역의 방법을 이용하였으며, 2차 조기종묘생산에서는 중국 요녕성 지역의 방법을 활용하였다. 마지막으로 3차에서는 우리나라 수온 분포 분석을 통하여 따뜻한 지역에서 서식하는 해삼을 조기에 채집하여 어미해삼관리를 통해 조기종묘생산과 속성성장 유도방법을 살펴보았다.

1. 인위적 성성숙 유도 조기종묘생산

1차 조기종묘생산은 2010년 12월 20일부터 2011년 3월 22일까지 어미해삼을 20℃로 가온 관리하였다. 산란유도 결과 200만개의 알이 산란되었으며, 1cm 종묘까지 5만 마리를 생산하였다. 수정란 생산 이후 수정 및 부화·착저까지는 관리

수온이 20℃를 유지하였으며 22℃ 유생관리 수온조건 보다 변태가 다소 늦었다. 2차 조기종묘생산은 어미해삼을 2012년 1월 20일~4월 8일 까지 18℃로 성숙 관리하여 산란을 유도하였으며, 100만개 알을 생산하여 16~17℃로 수온을 유지한 결과 부화 및 채모율이 낮게 나타났고, 1cm 종묘는 1만 마리가 생산되었다. 관리 수온이 낮을 경우 유생관리 기간이 길어지고 변태율이 낮아져 종묘생산에 불리한 것으로 나타났다. 실제적으로 1차, 2차 조기종묘생산에서 산란은 1마리에서 이루어졌으며, 향후 조기종묘생산을 위한 어미해삼 성성숙 기술에 대한 집중 연구가 필요할 것으로 보인다.

2. 자연산란 유도 조기종묘생산

인위적 성성숙을 거치지 않은 자연산 해삼을 이용한 조기종묘생산을 3차에 시도하였다. 후보 어미해삼 확보는 인공위성 표층 수온 분포도를 분석하여 15℃ 수온대의 위치에 포함된 여수시 안도에서 어미해삼을 4월 18일~4월 30일 사이에 확보하여 5월 2일 수정란 5,000만개를 받았다. 사육수는 히트펌프를 이용하여 항상 수온 22~25℃로 유지하였으며, 종묘생산 중 요각류의 발생을 저감하여 1cm 크기까지 일반종묘생산보다 15일 정도 앞당겼으며 생존율은 일반종묘생산과 큰 차이는 없었다. 최종적으로 300만 마리를 생산하여 하계 중간육성 실용화 진단에 사용하였다.

3. 해삼종묘생산 가이드

가. 어미해삼 확보 및 관리

어미해삼은 200g 이상의 건강하고 상처가 없는 것으로 확보하여 준비된 수조에 입식한다. 되도록 종묘생산을 위한 산란 자극 전 2~3일 동안 해삼의 내장에 있는 배설물을 제거하여야 한다. 배설물을 제거하지 않고 바로 산란을 유도할 경우 내장내의 배설물도 함께 배출되어 수정란을 회수해야하고 수정란 부화율도 많이 떨어진다.

나. 산란 유도

산란 유도를 하기 위하여 45톤 수조 기준으로 300마리 정도 해삼을 수용하고 성숙된 수컷은 10~20마리 정도 포함되어 있어야 한다. 산란자극은 간출자극, 표면자극, 수온자극, 정자 현탁액 살포 단계를 거치지만 가장 중요한 자극은 수온 자극으로 산란유발을 위해 관리 수온보다 3~5℃ 높은 해수를(유효수량 45톤) 채우고, 산란이 종료되는 시점까지 유지시킨다. 수온자극 온도차는 보통 3~5℃ 정도이나 완전 성숙된 개체에 대해서는 1℃ 정도로도 산란이 된다.

다. 부유유생관리

수정 후 하루 정도 지나면 아우리쿨라리아 유생으로 부화한다. 부유유생은 0.1~0.2개체/ml 밀도로 관리해야하며 이를 위해 조심스럽게 분조를 한다. 분조 시 유생에 충격을 최소화하기 위해서 미리 10~20cm 높이의 물을 받아 두어 사이펀을 이용해 분조한다. 유생의 먹이공급은 각모조(*Chaetoceros* spp., 1억cells/ml), 효모(Yeast, *Rhodotorula* colony, 100억cells/ml), 염조(*Dunaliella salina*, 5,000만 cells/ml)-중국산 농축 먹이생물을 이용하여 급이하며, 아우리쿨라리아 위와 입이 연결되고, 연동이 있는 것이 관찰 될 경우 급이를 시작한다. 시기적으로 22℃ 수온 조건에서 대략적으로 산란 후 40~48시간이 되는 시점이다. 먹이는 상황에 따라 급이량을 조절한다. 유생사육 수온은 22℃가 좋으며 환수는 100% 이상이 사육수 관리를 위하여 좋다. 여건이 안 될 경우 최소 50% 이상은 해주어야 한다. 환수 시 환수틀을 별도 제작하여 부유유생이 빠져나가는 것을 방지하여야 한다.

라. 채 묘

채묘는 매우 중요하다. 채묘시기를 놓치면 종묘생산이 어려워 질 수 있다. 채묘시기는 돌리올라리아 출현이 30% 일 때 준비된 채묘기(파판, 망지)를 투입하여 채묘 한다. 돌리올라리아는 하루 정도 지나면 착저하는 펜탁톨라로 변태하므로 주의 깊게 채묘 한다. 먹이공급은 일주일 정도 먹이생물과 배합사료를 동시 공급한다.

마. 어린해삼관리 및 출하

채묘 후 펜탁톨라는 어린해삼으로 성장한다. 이때부터 배합사료제조는 기본 배합사료 30%, 머드 35%, 스피룰리나 10%, 서미조(지층이 분말) 25%로 기본 사료원을 제조하여 70℃ 정도 끓인 후 30℃로 식혀 여기에 수산효모, 면역다당, 효모다당, 복합비타민을 5% 정도 첨가하여 6시간 정도 발효 시켜 사료 급이에 사용한다. 사육해수 1톤당 일일 3~10g을 유동적으로 급이한다. 사육수 환수는 100% 이상이 좋다. 주기적인 현미경 검경을 통해 이상 현상이 발생하는 개체가 보이면 항생제 약육(1~5ppm)을 하고 요각류 등 원생동물이 과다하게 발생할 경우에는 기생충 구제제(트리클로로폰 제제 100% 역가 기준 1ppm, 6~10시간)를 이용하여 구제해야 한다.

중간종묘육성을 위해 1cm 종묘를 출하하게 된다. 출하 전에는 선별된 종묘에 대해서 2일 정도 절식을 하고 출하 포장전에 항생제를 이용하여 약육을 실시한다. 약육은 항생제 기준(역가 100% 기준) 5ppm으로 30분 정도 한다. 약육이 끝나면 냉장상태를 유지하도록 아이스팩 또는 얼음을 채운 아이스박스를 준비하고, 비닐봉지에 물기를 제거한 해삼 종묘를 담아 운송하도록 한다. 아이스팩 또는 얼음에 직접 해삼이 접촉하지 않도록 그 사이에 신문지나 충전재를 이용한다. 상기 종묘생산 방법은 지금까지 연구된 결과 및 기존 연구 자료를 바탕으로 작성된 것이며 참고적으로 활용된다.

➤ 해삼 중간육성 기술개발

해삼 종묘생산에서 중간육성은 아주 중요한 단계로 1cm 크기의 초기 종묘까지를 종묘생산, 1cm 크기에서 5g 크기 까지 성장을 중간육성으로 보통 구분하고 있다. 초기 종묘를 입식하여 중간육성 단계에서는 대부분 배합사료에 의존하고 있으며 이시기에 많은 폐사가 발생할 수 있어 배합사료 급이, 사육밀도, 환경관리 등을 잘 조절해야 한다. 본 연구에서는 해삼 중간육성 적정 사육밀도 및 현장

실용화 진단, 중간육성 시 주의해야 할 가이드라인을 살펴보았다.

1. 해삼 중간육성 시험

해삼의 중간육성의 사육밀도 및 방법을 살펴보기 위하여 실내 육상수조, 실외 침전조를 이용하여 밀도별 실험을 실시하였다.

실내에서 해삼 종묘의 집중관리를 통한 중간육성의 효과 분석을 위해 1.81~12.40g의 어린 해삼을 대상으로 사육 밀도별 육성 시험을 실시하였다. 어린 해삼은 1m×1m×1m의 사각 플라스틱 수조(수량은 유수식으로 300L 유지)에 사육 밀도가 사육수 톤당 0.25kg, 0.5kg, 1kg, 2kg이 되도록 입식하여 충분한 양의 먹이를 공급하면서 2012년 5월부터 6월 사이에 약 8주간 사육하여 생존율 및 성장률을 등을 조사하였다. 그 결과 생존율은 0.25kg/ton 밀도구간은 90.0%, 0.5kg/ton 밀도구간은 78.4%, 1kg/ton 밀도구간은 84.1%, 2kg/ton 밀도구간은 96.8%의 생존율을 보여 사육 밀도가 높아도 생존율은 양호한 것으로 나타났다. 사육밀도별 총중량은 시험기간 중 폐사 개체가 발생하였음에도 불구하고 0.25kg/ton 밀도구간에서 510.0%, 0.5kg/ton 밀도구간은 364.3%, 1kg/ton 밀도구간은 299.0%, 2kg/ton 밀도구간은 128.1% 증가한 것으로 나타났으나, 사육밀도가 높을수록 성장이 둔화됨을 알 수 있었다. 개체별 평균 중량 또한 0.25kg/ton 밀도구간은 576.3%, 0.5kg/ton 밀도구간은 492.7%, 1kg/ton 밀도구간은 376.5%, 2kg/ton 밀도구간은 135.9% 증가한 것으로 나타났다. 이상의 결과로 실내중간육성 시 사육밀도에 따른 생존율에는 큰 차이가 없으나, 사육 밀도가 낮을수록 성장률은 높은 것으로 나타났다.

실외에서 연안 해수를 활용한 중간육성의 효과분석을 위해 1.9~3.3g의 어린 해삼을 대상으로 수심 1m와 3m에 사각통발을 설치하여 통발 당 10마리, 20마리 및 40마리의 어린 해삼 입식하여 육성시험을 실시하였다. 그 결과 전 구간에서 70% 이상의 높은 생존율을 보였으나, 체중은 10마리/통발 밀도가 1m에서 44.0%, 3m에서 31.8% 성장하였으나, 밀도가 높을수록 차츰 낮아져 40마리/통발 밀도에

서는 수심 1m에서 18.5%, 수심 3m에서는 4.3% 감소한 것으로 나타났다. 이러한 결과로 실외중간육성 시 자연 먹이에만 의존할 경우 성장 부진으로 경제성이 떨어질 것으로 사료된다.

실내·외 중간육성 실험 결과를 비교해 보면 생존율은 큰 차이가 나타나지 않았으나, 사료 급여 및 인위적 환경조절이 가능한 실내중간육성이 425.5%의 높은 성장률을 보여 더 효과적인 것으로 나타났다. 향후 중간육성의 비용절감 및 중간육성 수조 제한으로 인해 먹이공급 조절이 가능한 실외중간육성 방법에 대한 연구도 필요할 것으로 보인다.

2. 현장실용화 진단

해삼 1cm 초기종묘의 중간육성 현장 실용화 진단을 실시하였다. 1차적으로 추계분양을 하여 입식하였으나 운반 중 스트레스와 수온하강기에 접어들고 저수온기가 유지되는 시기에 폐사가 발생되었다. 초기종묘의 입식은 수온하강기이며 저수온기에 입식할 경우 해삼 폐사와 추가적인 가온비용이 발생되어 불리한 것으로 분석되었다. 따라서 최대한 빨리 종묘를 생산하여 수온상승기인 하계에 분양하는 것이 유리할 것으로 보인다. 이는 종묘가 하면을 하지 않고 높은 수온에서도 성장하므로 하계 분양에 유리하기 때문이다. 이번 연구에서 3차 초기종묘 생산한 300만 마리를 인하대학교와 전남해양수산과학원 진도지소(해삼산업연구센터)에 분양하였으며 사후조사에서도 안정적으로 성장하는 것으로 나타났다.

3. 중간육성 가이드

해삼 1cm 초기종묘를 입식할 경우 준비된 수조를 소독하여 준비한 후 해삼을 항생제 5ppm으로 약 30분간 약욕한 후 입식한다. 입식한 해삼은 2~3일 간 절식한 후 사료를 공급한다. 환수는 종묘생산에서와 같이 100% 이상 환수하는 것이 좋다. 사료 급여는 배합사료, 서미조(지충이 분말), 머드, 스피룰리나를 기본 사료원으로

제조하여 70℃ 끓여 30℃로 식힌 후 수산효모, 효모다당, 면역다당, 복합비타민 등을 첨가하여 발효 시킨 후 급이한다. 사료공급은 총 체중에 맞추어 섭이 상태에 따라(이는 파판이나 채모망지의 남아 있는 먹이부산물을 보고 판단) 유동적으로 급이한다. 중간육성 밀도는 톤당 500g을 기준으로 한다. 중간육성에서는 높은 성장률을 위해서 청소와 선별작업을 주기적으로 해주어야 한다. 기본적으로 청소는 주 1회, 선별작업은 한 달 간격으로 하지만 사정에 따라 조절할 수 있다. 청소와 선별작업 후에는 항생제를 이용하여 2ppm으로 6~10시간 정도 약욕을 실시한다. 선별작업 후 양식 가능한 크기의 해삼은 출하한다. 주기적인 현미경 검경을 통해 이상 현상이 발생하는 개체가 보이면 항생제 약욕을 하고 요각류 등 원생동물이 과다하게 발생할 경우에는 기생충 구제제(트리클로로폰 100% 역가 기준 1ppm, 6~10시간)를 이용하여 구제해야 한다. 중간육성 중 유령명게가 발생할 수 있는데 현재까지는 구제약이 없으므로 수작업으로 일일이 제거하도록 한다. 현재까지 해삼질병에 대한 연구는 진행된 바가 없지만 차후 해삼 종묘생산 및 중간육성의 안정화를 위해서는 해삼질병 및 해충 구제를 위한 약제 개발이 필수적이다. 해삼질병 및 해충구제를 위한 약제 개발이 완료되기 전에 우선 한정적으로 해삼 종묘생산 및 중간육성에 필요한 약제 수입이 필요할 것으로 보인다.

상기 중간육성 방법은 지금까지 연구된 결과 및 기존연구결과를 바탕으로 작성된 것이며 참고적으로 활용된다.

➤ 해삼 양식기술 개발

해삼양식은 해삼의 직접적인 생산 분야로 생산성을 확보하기 위하여 다양한 양식방법이 요구되고 있다. 현재 국내에서는 씨부림 양식방법이 많이 이루어지고 있지만 계획생산을 위해서는 축제식 양식 등이 빨리 정착되어야 할 것이다. 본 연구에서는 씨부림 양식, 축제식 양식을 현장실험을 통해 살펴보았으며 육상수조식 양식에 대한 진단을 추진하였다.

1. 씨뿌림 양식

가. 씨뿌림 및 사후관리

씨뿌림 양식을 위해 국내 서해안권 해역의 수온 분포를 살펴보았다. 해삼의 하면기간을 짧게 할수록 해삼의 성장도는 좋다. 서해안 권역에서는 진도, 태안권역, 경기만 해역에서 여름철 저수온이 관찰 되어 해삼 서식에는 1차적으로 좋은 곳으로 분석되었다. 해삼의 씨뿌림을 위하여 진도 대마도 해역에 대한 적지조사를 실시하였으며 해삼서식이 양호하게 나타났다. 1차적으로 2010년 11월에 해삼 우량 종묘 30만 마리를 35ha 시범해역에 잠수부를 동원하여 해삼 서식이 좋은 곳에 일일이 입식하였다. 2011년 5월에 해삼 상태를 조사한 결과 포획 개체 중 30%가 방류된 해삼으로 추정되었다. 2012년 3월과 6월 조사에서는 동일한 잠수부가 20분 동안 조사한 결과 대조구에 비해 해삼을 방류한 지역에서 10배 이상 높은 수확률을 보였다. 태안 남면지역에 적지조사를 실시한 후 2012년 5월에 중간육성한 해삼 종묘 2만 마리를 입식하였다. 기존에 조사된 해삼 분포 밀도에 관한 연구결과를 살펴보면 m^2 당 자연산 해삼 분포는 평균 1마리(180g, 태안군 안면읍지역) 정도로 분석되었다. 자원관리 및 종묘입식 등을 통해서 최대 2마리까지 가능한 것으로 보인다. 그러나 기존 연구 자료에 의하면 재포율은 약 20% 정도로 종묘구입 및 채취비용이 너무 많아 아직까지 경제성이 확보되기 힘들다. 따라서 재포율 향상, 대량 종묘생산에 의한 종묘생산단가 절감, 해삼 채취방법 개선 등 새로운 각도의 방안이 많이 모색되어야 한다.

나. 씨뿌림 양식 가이드

씨뿌림 양식을 위해서는 우선 양식용으로 선별된 종묘를 포장하여 적지로 선정된 방류지역으로 신속히 이동하여야 한다. 포장은 현장에 쉽게 방류하기 좋도록 양파망을 이용하여 비닐봉지에 넣어 아이스박스 포장을 한다. 선박을 이용해 방류지역으로 이동하여서는 선상방류도 할 수 있지만 이미 선정된 지역에 잠수부를 대기시키고 해삼이 서식하기 좋은 지역을 골라 해삼종묘가 들어 있는 양파망을 수중으로 들고 들어가 일일이 조심스럽게 주의하여 방류한다. 방류 종묘 크

기는 아직까지 큰 개체 일수록 성장률 및 생존율이 좋은 것으로 보고되고 있다. 특히 해삼의 서식 및 은신을 위하여 호박돌이나 구조물 이용하여 조성해주면 더욱 효과적이라 할 수 있다. 방류 후에는 방류된 종묘가 잘 서식하고 있는지 주의 깊게 현장 탐사를 진행하고, 채취 시에는 재생산을 위하여 마구잡이로 수확하지 말고 상품성이 있는 개체만 수확할 수 있도록 한다.

상기 방법은 지금까지 연구된 결과로 작성된 것이며 참고적으로 활용된다.

2. 축제식 양식

가. 축제식 양식 시험

해삼의 안정적인 산업화를 이루기 위해서는 해면 씨부림 양식과 함께 축제식 양식기술 개발이 필수적이다. 해삼 축제식 양식은 씨부림 양식에 비해 계획생산이 가능하며, 중국의 경우 전체 해삼 생산량의 75%가 축제식으로 생산되고 있다. 그러나 우리나라는 아직까지 축제식 해삼 생산량이 전무하다. 국내 해삼 축제식 산업화 양식 기술개발을 위해 충남수산연구소 인근(충남 보령시 웅천읍 관당리)에 위치한 기존의 새우양식장(10ha)을 해삼양식 시험시설로 개선하여 산업적 규모의 축제식 양식장(1.7ha)을 이용하였다.

2011년 6월 15일에 0.8~80g 크기의 해삼을 입식한 후 2011년 12월 7일(1차 조사)에 일부 배수 후 표본조사를 실시하였다. 축제식 해삼의 성장은 입식 후 175일간 2~180g으로 성장하였으며, 표본조사용으로 987마리의 해삼을 포획하여 표본 채포율은 19.2%로 나타났다. 1차 표본조사에서 평균중량은 입식 시 9.7g에서 28.9g으로 약 3배 정도 성장하였다. 2차 표본조사(2012년 6월 7일)에서 해삼의 성장은 358일간 37~220g(평균 130g)으로 성장하여 입식 시(평균 중량 9.7g)에 비해 13.4배 성장을 보였으며, 150g 이상의 대형개체는 상품으로 출하가 가능한 크기로 성장하였다.

나. 축제식 양식 가이드(중국방식)

축제식 양식장 구성에 적합한 장소는 해수 소통이 좋고, 풍량이 적은 내만의 조간대 또는 육상으로 수질이 깨끗한 곳, 오염이 없는 곳, 담수 유입이 없는 곳으로 염분은 27~35psu, pH는 7.5~8.5 사이이다. 특히 염분은 해삼의 생존에 큰 영향을 미치게 됨으로 축제식 위치선정시 중요한 환경요인이다. 또한 축제식 양식장은 취·배수가 편리한 조건을 갖추어야 하며, 바닥은 펄 모래+돌, 펄 모래+자갈, 돌로 이루어진 지반이 안정된 곳으로 순모래 및 순펄로 된 지역은 축제식 양식장으로 부적합하다.

축제식 양식장은 장방형의 못으로 환수에 유리하며, 방향은 동서방향으로 햇빛을 받는 면적을 최대로 한다. 못의 수심은 1.5m 이상으로, 2~3m가 가장 좋으며, 못의 바닥은 30~40cm 깊이의 환형도랑을 만들어 하절기 하면 및 동절기 월동에 용이하도록 하는 것이 바람직하다. 은신처 조성은 해삼의 하면과 월동은 물론 생존에 영향을 미치는 매우 중요한 요소로서 돌무더기, 인공구조물 등의 조성을 검토해야 하고, 해삼 종묘 입식크기는 체장 5~8cm(전중 3~5g), 10g, 50g 정도이다. 대형의 종묘는 가격이 고가로 원가가 상승하는 반면, 소형개체의 경우 생존율이 저하되는 등 경제적 이익이 저하 될 수 있다. 종묘 선택 시에는 활력이 있고, 신축이 양호하며, 신체가 웅장하고 가시가 뾰족하면서 높으며, 체색이 선명한 개체가 좋다.

어린해삼 일상 관리로는 어린해삼 방양 1개월 전부터 플랑크톤 및 해조류 번식에 유리한 물 만들기를 한다. 수색은 황녹색(규조류 발생), 흑갈색이 좋으며, 투명도는 40~60cm가 성장 및 생존율 향상에 유리하다. 또한 정기적으로 수질(수온, 염분 등)조사하고 방양 1주일 동안은 해삼의 활력 및 활동상태(부착기에 부착여부, 활동력, 이동상황, 먹이섭취, 배설상황 등)를 면밀하게 관찰하여야 한다.

해삼의 채취는 잠수부를 이용하여 어미해삼만을 골라 수확하는 부분수확방법이 유리할 것으로 판단되며, 사육해수 배수에 의한 일제수확은 해삼의 성장차 등을 고려하면 바람직하지 못하다.

3. 육상수조식 양식

육상수조에서 고밀도 양식기술을 개발하기 위하여 SRS(Shallow Raceway System)과 RAS(Recirculation Aquaculture System), 배합사료 급이와 다시마 급이 구로 하는 해삼과 전복 복합양식 실험을 실시하여 양식가능성을 검토하였다. SRS를 이용한 해삼 양식 시험에서는 100~200%의 성장률을 보였으며 사육밀도가 높을수록 성장률이 낮은 것을 확인하였다. RAS는 급이된 유기물의 처리로 인하여 해삼의 성장이 어려운 것으로 나타났다. 전복복합양식에서는 배합사료 급이구에서는 8주 동안 7g에서 17.2g으로 성장하였으며, 다시마 급이 실험구에서는 2~3배의 성장도를 보였다.

해삼은 성장한 1개체당 1m²의 면적을 차지하는 것으로 분석된다. 해삼은 어류와 달리 공간을 입체적으로 사용하기 보다는 평면적으로 2차원 분포를 하고 있다. 따라서 육상수조에서는 넓은 면적을 필요로 하는 해삼양식의 경우 아직까지는 경제성을 확보하기는 어려울 것으로 보이며 차후 추가적인 연구를 통하여 해삼양식을 입체적으로 할 수 있는 고밀도 시스템을 개발할 필요가 있다. 현재는 해삼양식을 주목적으로 하기 보다는 어류양식이나 전복 양식 등의 사료찌꺼기나 배설물을 이용할 수 있는 이종양식 시스템을 활용해 부가적인 수입원 확보로 활용할 수 있다고 생각된다.

➡ 고부가가치 해삼 가공기술 개발

해삼의 주력적인 상품은 건해삼이다. 주로 중화권에서 소비가 되고 있으며 건해삼으로 제조 가공 시 부가가치는 상승한다. 본 연구에서는 고부가가치 해삼가공기술을 개발하기 위해 해삼의 건조방법 및 지역별 영양학적 성분과 항생제, 중금속의 안전성을 살펴보고, 건해삼 가공 시험 진단을 추진하였다.

1. 영양학적 비교 분석 및 안전성 조사

해삼의 건조방법별(온풍건조, 자연건조, 냉풍건조, 냉동동결건조), 국내 건해삼 산지별(군산, 완도, 대천, 태안, 통영) 영양학적 비교분석을 실시하였다. 일반성분에서는 건조방법 및 지역별로 큰 차이는 보이지 않았다. 아미노산 함량에서는 냉동동결건조 조건에서 아미노산 함량이 다소 높게 나왔다. 지방산 또한 총포화지방산의 경우 냉풍건조 조건이 낮게 나타난 반면, 불포화 지방산은 가장 높게 나타났다. 필수지방산 함량은 천일건조 조건에서 낮았으며, 냉풍건조과 동결건조에서 높게 나타났다.

상기 동일한 건조조건별 및 산지별 시료에 대하여 테트라사이클린계 4종, 플로로퀴론계 5종 및 옥솔솔린산 항생제 잔류량 총 10종에 대해 분석한 결과 검출되지 않았으며, 중금속-카드뮴(Cd), 구리(Cu), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 납(Pb), 수은(Hg)-도 분석결과 검출되지 않았다.

2. 건해삼 제조 시험

건해삼의 제조를 위하여 건조조건을 온풍건조(40℃, 50℃, 60℃), 동결건조, 자연건조로 하고 자숙해삼 제조 시 무염수 5%, 10%, 15%, 20% 염장수 조건으로 1차 제조 시험 결과 온풍건조 40℃, 15% 이상의 염장농도에서 건해삼의 상태가 가장 양호한 것으로 관찰되었다. 다시 고농도 20%, 30%, 40% 염장수 조건의 2차 제조시험을 한 결과에서는 30% 이상의 염장수 조건에서 건해삼 제조시 형태가 양호한 것으로 나타났다.

앞으로 중국 현대인의 생활 패턴 변화를 고려하여 기호에 적합한 간편 편의 가공해삼식품 개발이 필요할 것으로 보인다.

3. 건해삼 제조 가이드

전처리를 거친 해삼은 1차적으로 고염수로 1단계 자숙을 거쳐 건조한 후 2단계 무염수 자숙과 건조과정을 2~3회 거쳐 최종적인 건해삼을 제조한다. 여기에 제시한 건해삼 제조 방법은 지금까지 연구결과와 자료수집을 바탕으로 만들어졌으며, 참고적으로 활용된다.

➤ 해삼 종묘 · 양식단계별 사료개발

해삼의 자원조성 및 산업화 양식을 위해서는 인공종묘의 대량생산에 의한 양질의 수정란을 확보하여 부유유생 및 어린해삼의 확보가 선행되어야 한다. 즉 초기 부유유생 및 어린해삼 시기의 먹이섭취 여부가 초기 생존율과 성장률에 매우 중요한 역할을 차지한다. 이미 중국은 해삼의 부유유생 단계에는 식물성 플랑크톤을 농축하여 냉동보관 후 충분히 공급하고, 어린해삼 단계에서는 이들의 성장과 생리를 고려한 해삼 전용 인공배합사료를 제조하여 양식이 안정화 될 수 있도록 공급하고 있고, 현재 우리나라에서는 해삼 먹이원을 전량 수입에 의존하고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존에 연구된 해삼 배합사료 연구결과를 참고하여 부유유생의 먹이원으로서 생먹이생물-냉동농축-건조분말을 급이하였을 경우를 중국냉동농축사료와 비교해보고, 어린해삼 인공배합사료를 제조·급이하여 성장률을 조사하였다.

1. 먹이생물 배양

효율적인 해삼 종묘생산을 위해서는 적절한 먹이생물의 선택과 대량배양이 가능해야 한다. 해삼은 수정 후 어린해삼이 되기까지 약 14~21일 정도 부유생활을 거치는데 매일 계속해서 먹이를 공급해 주어야 한다. 소요되는 먹이생물의 필요량을 확보하기 위해서는 예비 배양을 포함하여 유생 사육 개시 약 1개월 전부터

배양을 시작하여 유생사육에 충분히 공급할 수 있는 먹이량을 확보하여야 한다.

유생의 먹이생물로는 일반적으로 소화가 잘되고 영양가가 높은 미세조류가 좋다. 주로 이용되는 먹이생물은 부유성 규조류인 *Chaetoceros* spp., 황색 편모조류 *Isocrysis galbana*, *Pavlova lutheri* 등을 이용하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 해삼 부유유생의 먹이원으로써 규조류(*Phaeodactylum tricornutum*), 녹조류(*Nannochloris oculata*), 편모조류(*Isocrysis galbana*)를 혼합하여 생먹이생물로 사용하였다.

수확된 먹이생물을 장기보존하기 위한 방법으로 농축하여 냉동시키는 방법과 농축된 미세조류를 동결건조하여 분말화하는 방법을 선택하였다. 수확방법은 세포 최대 증식기에 수확한 미세조류를 튜블러 원심분리기(Tubular centrifuge)를 이용하여 농축시켰으며 paste 상태로 된 먹이생물을 냉동보관하였다. 또한, 냉동보관된 paste 상태의 먹이생물을 -80°C 의 초저온 냉동고에 보관하였고 진공동결건조기를 이용하여 72시간 동결건조한 후 mixer로 갈아 해삼 부유유생 먹이실험에 사용하였다. 대조구로서 중국냉동농축 먹이생물인 각모조, 홍효모, 염조 혼합구를 사용하였다.

2. 부유유생 먹이생물 실험

생먹이생물-냉동농축-건조분말-중국농축 4개의 실험구를 이용해 해삼 부유유생의 전장측정과 위충만도 관찰로부터 성장률 및 생존율을 측정하였다. 부유유생 밀도는 3,000inds./3L로 급이량은 실험구 순서대로 10ml, 0.02g, 0.01g, 10ml을 매 회 공급하였다.

부유유생의 위충만도를 관찰한 결과 모든 실험구에서 위가 가득 차 있는 것을 관찰하였다. 이는 부유유생이 선택적으로 먹이섭취를 하는 것이 아니라 해수 중의 먹이가 입으로 자연히 흘러들어가 섭취되기 때문으로 판단된다.

성장률 및 생존율에 있어서는 실험구에 따라 다양한 결과를 나타냈다. 초기 성

장률은 모두 양호하였으나, 중반 이후부터는 실험구에 따라 현저한 성장 차이가 관찰되었다. 아우리쿨라리아 유생의 최대 성장(전장)은 생먹이 실험구에서 908 μm 로 최대를 보였으며, 냉동농축, 건조분말, 중국농축 실험구에서는 각각 717 μm , 702 μm , 693 μm 로 나타났다. 아우리쿨라리아, 돌리올라리아 그리고 착저기인 펜탁톨라기까지 소요시간은 각 먹이실험구에 따라 다소 차이를 보였으나, 착저기인 펜탁톨라기까지의 변태율은 건조분말 실험구가 가장 빨랐고, 생먹이, 중국농축 실험구 순으로 나타났다. 실험완료까지 냉동농축먹이 실험구에서 펜탁톨라 유생은 발견되지 않았다. 반면, 착저기인 펜탁톨라기까지 도달하는데 걸린 시간은 먹이급이 시작일로부터 14일이 소요되었다. 먹이급이 시작일로부터 14일 후의 해삼 부유유생 생존율은 생먹이생물 실험구에서 압도적으로 높게 나타났고(83%), 건조분말(22%), 중국농축(13%), 냉동농축(<1%)으로 나타났다.

3. 어린해삼 배합사료 개발

어린해삼 배합사료의 국산화를 위하여 영양소를 골고루 함유하고 중국 배합사료의 원료를 참고하여 1g 내외의 어린해삼 배합사료개발 실험을 8주 동안 실시하였다. 실험구는 자체제조 실험배합사료 3개구와 중국 수입사료를 대조구로 이용하였다. 각 실험구에 이용된 사료원은 영양소에 따른 대표 원료를 서로 다른 배합비율로 하여 실험에 사용하였으나, 실험구 모두 단백질, 탄수화물, 발효원 및 기질의 영양소가 골고루 함유되도록 하여 배합하였다. 급이량은 체중의 5~10% 씩을 매회 공급하였고 급이 후 3시간 정수하여 충분한 먹이 섭취 시간을 주었다.

실험시작 초기에는 다소 전체적으로 중량 감소가 발생하였으나 사료의 영향에 따른 폐사개체는 발생하지 않았다. 실험 3주 경과 후부터 어린해삼은 급격하게 성장하였으며, 5주 후 모든 실험구에서 1.5~2.5배의 성장률을 나타냈다. 그리고, 8주째에는 2~3배 이상의 높은 성장률을 보였다. 가장 높은 성장률을 보인 실험구는 자체개발 사료를 이용한 실험구 3이었고, 가장 낮은 성장률은 중국배합 사료원으로 나타났다. 실험구 3의 사료원 및 배합비율은 단백질 및 발효원 40%(어

분, 발효대두박), 탄수화물 40%(밀가루, 지층이, 미역분말), 기질 20%(자체 제조한 머드 분말)와 같다.

실험구별 어린해삼의 개체평균중량 변화를 살펴본 결과, 실험구 3에서 0.03g/day 로 가장 높은 성장률을 보였으며, 실험구 1과 2(0.02g), 중국배합사료(0.01g)순으로 나타났다.

이와 같이 실험구 3의 특징은 첫 번째가 어린해삼의 효율적인 성장을 위해서 소화이용율과 면역을 증가시킬 수 있도록 어린생물 기능성 단백질로 안전하게 생산에 기여할 수 있는 발효대두박을 첨가해 준 것이고, 두 번째는 현재 수입금지 품목인 중국의 활성효(머드 분말)를 국내산 머드분말로 대체하여 그 효능을 확인하였다는 것이다. 이 실험결과로부터 전적으로 중국수입사료의 대체원으로 활용가능성을 증명하였으나 개발된 사료에 대한 재진단이 반드시 필요할 것으로 사료된다.

➡ 해삼 인공어초 개발

1. 해삼 인공어초의 개발방향

해삼 인공어초의 개발을 위해 본 연구에서는 해삼의 서식지 조성 기능에 중점을 두어 서식지 조성을 위한 주요 요소로 섭식-이동-배설에 이르는 기초적인 생태 동선을 확보코자 하였다. 이를 위해 다음과 같은 인공어초의 개발원칙을 수립하여 적용하였다.

- 해삼의 동선을 고려한 인공어초 개발
- 해삼의 섭식~배설의 생리활동을 고려한 인공어초 개발
- 수확성을 고려한 개발
- 자원보호기능을 고려한 개발
- 인공어초의 배치를 통한 위집효과 고려

2. 해삼 인공어초 개발을 위한 설계요소

해삼의 서식수심은 DL(-) 0m의 간조선에서부터 수심 DL(-) 40m까지 서식하며, 수심에 따라 비교적 비례하는 체형을 보이고 있다. 주요 서식수심은 광도달 수심을 중심으로 구분하여 조성하며, 이때 기준 수심은 투명도를 고려해야 할 것이다. 광도달수심의 이심(以深)에서는 유기물의 위집을 이용하여 먹이를 지속적으로 공급하고 동선을 확보할 수 있는 구조가 필요하며, 광도달 수심이내에서는 은신처의 제공과 해조류의 조성 및 연계하는 구조가 필요하다.

해삼은 암반과 사니질의 경계에 주로 서식하며, 해수유통이 좋으며, 용존산소가 높은 지역을 좋아하는 특성을 보인다. 따라서 해삼 인공어초는 암반의 역할을 할 수 있는 구조물이 필요하며, 이때 암반의 형상은 와류를 이용하여 부유 유기물이 침적되어 지속적으로 급이원을 조성할 수 있는 굴곡이 크며, 방향성을 가지지 않는 구조물이 필요하다. 특히 해삼의 먹이는 해조류 및 각종 유기물을 먹이로 하고 있으며, 구조물의 표면에 먹이 침적을 위한 요철이 필요하다.

해삼의 산란은 5월에서 8월까지 진행되며, 암반 혹은 자갈에 착생하고 있는 해조류(잘피)의 줄기에 산란하는 특성을 고려하여 인공어초의 시설지 혹은 인공어초에 조성하는 해조류는 잘피를 중심으로 고려하는 것이 필요하며, 해조류의 부착면을 고려하는 것이 필요하다.

해삼은 주로 이동을 하면서 먹이의 섭식과 배설을 진행한다. 따라서 해삼의 이동을 위한 동선의 확보가 인공어초의 설계에서 중요하며, 동선에는 먹이가 유지되어야 한다. 특히 수온의 변화에 급격하게 변화하는 해삼의 행동 특성과 주야간의 해삼의 이동을 고려한 인공어초의 형상과 배치가 중요하다.

그동안의 해삼 인공어초는 해역의 자원조성을 위한 기존의 인공어초의 기능보다는 양식을 위한 양성기의 개념으로 개발되어 왔다. 자연석의 경우 가장 범용적으로 사용되고 있으며, 축제식 양식장의 경우 대표적인 해삼서식처 조성방법이다. 자연석의 축적으로 인해 생기는 공간으로 해삼의 은신 및 서식이 유리하며,

부유 유기물의 침적에도 유리하다. 그러나 시공성과 재료원의 확보가 어려우며, 유지관리 및 수확에도 한계가 있다.

3. 해삼의 운동특성

해삼의 운동특성을 검토하기 위해서 가로 180cm, 세로 90cm 높이 70cm의 수조 2개를 이용하였다. 실험에 사용된 저질 및 저면의 조건은 사질, 석분, 쇄석, 파판, 활면조건에 대해 실험하였으며, 각 실험조건에 대한 경사를 조정하여 다양한 케이스를 조합하였다. 실험용 해삼은 체중이 50g 이하의 해삼을 A, B, C, D의 4개 그룹으로 분류하여 실험하였으며, A그룹은 대략 체중 2g에 체장 24.4mm의 조건이며, B그룹은 대략 체중 5g에 체장 55.2mm의 조건, C그룹은 대략 체중 16g에 체장 62.0mm의 조건 그리고 D그룹은 대략 체중 35g에 체장 75.8mm의 조건이었다.

실험결과 해삼의 이동은 단순 이동 시 체장을 수축/확장하는 연동운동으로 이동하기 때문에 인공어초의 표면에는 지지기반의 부착기질 확보가 필요하며, 먹이 검색 및 방향 전환 시 체장의 1/3을 하부에 지지하고 몸통을 이용하여 입 부분을 움직여 선회하기 때문에 먹이지향 운동을 고려하여 부착기질 및 파판의 유효간격 결정이 필요하다. 해삼의 부착성은 활면에서 가장 안정적인 이동을 보이고, 조면 혹은 자갈면에서도 연동운동으로 이동이 용이한 특성을 고려할 때 인공어초의 표면은 활면을 유지하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. 먹이섭취는 이동 시 먹이가 존재하면 섭식행동을 하면서 근처에서 이동하며 머무르는 특성을 고려하여, 인공어초 설계 시 적응형파형판 구조를 이용하여 부착성 및 먹이공급기능을 함께 제공하는 것이 중요할 것이다. 특히 먹이의 섭취가 용이한 파판의 형상을 적용하는 것이 필요할 것이다. 인공어초의 경사는 수직의 조건에도 활면 시 이동이 용이함을 확인하였기 때문에 경사는 이동에 장애가 되지 않으며(중간육성용), 경사상에서는 주로 수면방향으로 이동, 부착밀도의 확대를 위해 경사식을 이용하여야 할 것으로 판단된다.

4. 해삼 인공어초 개발 및 특징

이상의 다양한 해삼 인공어초의 설계요소를 반영하여 파균형 다층 해삼 인공어초를 개발하였다. 인공어초의 주요 특징은 다음과 같다.

파균형 다층 표면형상은 다양한 해삼체형에 적용이 가능한 파균형 형상을 적용하였다. 파고와 주기가 다른 2개 이상의 파랑을 합성하였을 때 나타나는 파균형상을 해삼 인공어초 표면에 적용하여 다양한 해삼체형에 적용하였고, 다양한 크기의 파형의 골에 다양한 체형의 해삼이 서식하기 쉽도록 제작하였다. 또한, 파형 표면에서의 와동에 의한 부유 유기물의 침적을 유도하였다.

어초 표면에는 타원 트랙을 조성하여 섭식 및 배설을 위한 이동동선을 확보하였다. 즉 타원형 트랙구조를 적용하여 해삼의 섭식/배설을 위한 동선을 확보하여 해삼의 어초 서식성을 증대하였다.

∩형 어초형상으로 수평방향 흐름에 저항성을 증대시켰으며, 작용하는 파압에도 내파성능(전복, 활동)을 증대할 수 있도록 하였다.

표면의 소규모 요철파형 적용으로 파형에 의해 침적된 유기물이 요철표면에 항상 존재하도록 하여 해삼의 급이 기능을 확보할 수 있도록 하였다.

음지와 양지를 주야로 이동하는 해삼의 생태특성을 고려하여 어초 표면에 유공을 적용하고 이를 상하로 연결하는 기둥을 설치하여 해삼의 상하 이동 동선을 확보하였다.

해삼의 구조물 은신성을 고려한 인공어초를 제작하기 위해 다층구조를 적용하여 층간 해삼의 이동동선 확보를 통해 서식밀도를 높일 수 있도록 하였으며, 인공어초블록의 표준화를 통해 다층 적재가 가능하게 하였고, 해역의 특성과 용도에 따라 콘크리트 어초와 합성수지어초의 조합이 가능하도록 하였다.

해역의 외력특성을 고려한 적절한 콘크리트 블록의 다층 적재를 통해 안정성을 확보하였고, 합성수지 블록은 시공성과 수확성을 고려하여 외력이 약한 지역에 설치 가능하도록 하였다. 또한, 수확 시에는 저중량이기 때문에 인공어초 블록을 분리하여 해삼의 수확이 용이하다.

인공어초 형상과 재질의 표준모델 적용으로 생산단가 저감 및 경량화로 인한 시공성을 증대하였으며, 해저면 보호를 위한 저질보호용 친환경 어초형상의 적용으로 블록의 상재에 따른 저면의 훼손을 방지하도록 하였다.

콘크리트 블록은 표면의 유공과 측면의 \cap 자형 유공을 설치하여 해삼의 이동 동선을 확보하였다. 콘크리트 어초의 기둥은 끝단은 원추형으로 적용하여 내침하성을 높였고 거푸집의 탈형 시에도 작업성을 높일 수 있도록 제작하였다. 콘크리트 블록의 침하고를 고려하여 설치 후 어초의 상부 표면이 저질과 유연하게 연결되도록 하여 해삼의 구조물 연결동선을 최대한 확보하도록 하였다.

씨뿌림식 해삼유도용 배치를 위해 장방형 구조의 방사형 및 동심원 배치를 적용한 씨뿌림 해삼의 적극적 위집이 가능하도록 하였다.

5. 해삼 인공어초의 안정성

개발된 해삼 인공어초의 안정성을 평가하기 위해서 2차원 단면실험평가를 실시하였다. 실험은 두 가지 형상조건에 대한 다양한 주기조건의 안정조건을 찾기 위한 목적으로 규칙파에 대해 실시하였다.

실험결과 인공어초의 시설은 반드시 지형과 외력조건을 고려한 배치설계가 병행 되어야 하며, 각 조건에 대한 안정적인 형상의 적용이 중요하다. Type-1의 조건이 주기가 9초 일 때 파고 1.6m, 주기가 10초일 때 파고 1.4m 정도에서 안정된 결과를 보였으며, Type-2의 경우 주기가 2초 일 때 파고 1.6m, 주기가 10초일 때 파고 0.8m 정도에서 안정된 결과를 보여 상당히 정온한 해상상태에서 안정된 결과를 얻었다.

이러한 결과는 인공어초의 안정성에 대한 기초적인 수리학적 특성으로 향후 실시 설계 및 효과조사 단계에서는 다양한 파랑조건 및 구조물의 조건을 조합을 통한 안정성 검토가 필요할 것으로 판단된다.

목 차

- 요약문
- List of figures
- List of Tables

제1장 서 언.....	1
1. 과업의 개요.....	3
가. 연구 배경.....	3
나. 목적과 필요성.....	4
(1) 과업의 목적.....	4
(2) 과업수행의 필요성.....	4
다. 내용과 범위.....	5
(1) 해삼 종묘생산 기술개발.....	5
(2) 해삼 중간육성 기술개발.....	5
(3) 해삼 양식기술 개발.....	5
(4) 고부가가치 건해삼 가공기술 개발.....	5
(5) 해삼 성장단계별 사료개발.....	6
(6) 해삼 인공어초 개발.....	6
라. 수행방법	6
(1) 해삼 종묘생산 기술개발.....	6
(2) 해삼 중간육성 기술개발.....	6
(3) 해삼 양식기술 개발.....	7
(4) 고부가가치 건해삼 가공기술 개발.....	7
(5) 해삼 성장단계별 사료개발.....	7
(6) 해삼 인공어초 개발.....	7
2. 해삼양식의 현황과 여건분석.....	8

제2장 해삼 종묘생산 기술개발	9
1. 서 론	11
2. 조기종묘생산 어미해삼 관리	13
가. 인위적 성성숙 유도 조기종묘 생산.....	13
(1) 어미해삼 선정.....	13
(2) 어미해삼 운송.....	14
(3) 어미해삼 및 사육환경 관리.....	14
(4) 어미해삼 배합사료 급이.....	16
(5) 어미해삼 성성숙.....	17
나. 자연산란 유도 조기종묘 생산.....	20
(1) 어미해삼 확보 후보지 분석.....	20
(2) 어미해삼 확보 및 운반.....	23
(3) 어미해삼 관리.....	25
(4) 어미해삼 성성숙.....	26
3. 산란유도 및 수정란 생산	27
가. 인위적 성성숙 유도 조기종묘 생산.....	27
(1) 산란유도.....	27
(2) 산란, 수정란 부화 및 발생.....	27
나. 자연산란 유도 조기종묘 생산.....	30
(1) 산란유도.....	30
(2) 산란, 수정란 부화 및 발생.....	30
4. 해삼 부유유생 관리	33
가. 인위적 성성숙 유도 조기종묘 생산.....	33
(1) 환경관리.....	33
(2) 부유유생 관리.....	33
나. 자연산란 유도 조기종묘 생산.....	35
(1) 환경관리.....	35
(2) 부유유생 관리.....	37
5. 부착 및 어린해삼 관리	41
가. 인위적 성성숙 유도 조기종묘 생산.....	41
(1) 착저유생 사육관리.....	41

(2) 어린해삼 사육관리.....	42
(3) 착저유생 및 어린해삼의 생존율.....	42
나. 자연산란 유도 조기종묘 생산.....	44
(1) 환경관리.....	44
(2) 채 묘.....	44
(3) 어린해삼 관리.....	46
6. 결 론	48
가. 기술비교 분석.....	48
(1) 일반종묘생산 vs. 조기종묘생산.....	48
(2) 외국 기술개발 실태.....	51
 제3장 해삼 중간육성 기술개발	 55
1. 서 론.....	57
2. 해삼 중간육성 기술개발 연구.....	57
가. 실내 중간육성 시험.....	57
(1) 재료 및 방법.....	57
(2) 연구결과.....	59
나. 실외 중간육성 시험.....	67
(1) 재료 및 방법.....	67
(2) 연구결과.....	70
다. 복합(해삼-전복) 중간육성시험.....	75
(1) 재료 및 방법.....	75
(2) 연구결과.....	77
3. 중간육성 현장실용화 진단.....	78
가. 해삼 종묘생산 및 중간육성(전라남도 국제갯벌연구센터).....	78
(1) 어미해삼 구입 및 운송.....	78
(2) 수정란 생산.....	78
(3) 산 란.....	79
(4) 수정란 부화 및 발생.....	79
(5) 부유유생 사육관리.....	80
(6) 착저유생 사육관리.....	82
(7) 어린해삼 사육관리.....	83

(8) 종묘생산 및 중간육성 분석.....	85
나. 현장적용시험(충남수산연구소).....	88
(1) 2011 추계 분양 후 현장적용시험.....	88
(2) 2012 하계 분양 후 현장적용시험.....	110
4. 결 론	110
제4장 해삼양식(씨뿌림식 · 축제식 · 수조식 등)기술 개발	121
1. 서 론.....	123
2. 씨뿌림 양식 기술개발 연구.....	126
가. 씨뿌림 양식 적지 광역조사.....	126
나. 전남 진도 대마도지구.....	141
(1) 재료 및 방법.....	141
(2) 연구결과.....	141
다. 충남 태안군 남면 지구.....	163
(1) 재료 및 방법.....	163
(2) 연구결과.....	163
3. 축제식 양식기술개발 연구.....	170
가. 재료 및 방법.....	170
(1) 축제식 시험장소.....	170
(2) 양식장 조성.....	171
(3) 해삼 종묘 입식.....	174
(4) 축제식 양식장 환경조사 및 성장도 측정.....	175
나. 연구결과.....	175
(1) 수질환경.....	175
(2) 축제식 양식장의 해삼 성장.....	179
(3) 축제식 바닥 그물가두리 양성기에서의 해삼 성장.....	179
(4) 축제식 양식 경제성 분석.....	182
4. 육상수조식 양식기술개발 연구.....	184
가. 재료 및 방법.....	184
(1) SRS (Shallow Raceway System).....	184
(2) RAS (Recirculation Aquaculture System).....	187

(3) 복합양식(전복-해삼).....	188
나. 연구결과.....	192
(1) SRS (Shallow Raceway System).....	192
(2) RAS (Recirculation Aquaculture System).....	203
(3) 복합양식(전복-해삼).....	209
5. 조하대 양식시스템 검토.....	217
6. 결 론.....	224
가. 씨뿌림 양식.....	224
나. 축제식 양식.....	234
다. 육상수조식 양식.....	238
 제5장 고부가가치 해삼 가공기술 개발.....	 241
1. 서 론.....	243
2. 해삼 영양학적 성분 비교분석.....	247
가. 재료 및 방법.....	247
(1) 분석시료.....	247
(2) 일반성분.....	247
(3) 아미노산.....	247
(4) 지방산.....	248
(5) 콜라겐.....	248
나. 연구결과.....	249
(1) 일반성분.....	249
(2) 아미노산.....	251
(3) 지방산.....	253
(4) 콜라겐.....	255
3. 해삼 안정성 검사.....	256
가. 재료 및 방법.....	256
(1) 분석시료.....	256
(2) 항생제 잔류량 검사.....	256
(3) 중금속 검사.....	260
나. 연구결과.....	260

(1) 항생제 잔류량 검사.....	260
(2) 중금속 검사.....	262
4. 건해삼 제조 및 평가.....	263
가. 1차 건해삼 제조.....	263
(1) 실험방법.....	263
(2) 실험결과.....	263
나. 2차 건해삼 제조.....	268
(1) 실험방법.....	268
(2) 실험결과.....	268
다. 3차 건해삼 제조.....	269
(1) 실험방법.....	269
(2) 실험결과.....	269
라. 건해삼 복원력 테스트.....	271
(1) 실험방법.....	271
(2) 실험결과.....	272
마. 건해삼 평가 품평회.....	275
바. 건해삼 제조 공정.....	277
5. 건해삼 시장 동향.....	278
6. 결 론.....	288
제6장 해삼 종묘 · 양식단계별 사료개발.....	293
1. 서 론.....	295
2. 먹이생물 배양.....	299
가. 배양해수 처리 및 배지 조제.....	301
나. 먹이생물 배양방법.....	305
다. 먹이생물 장기보존방법.....	309
3. 해삼 부유유생 먹이실험.....	310
가. 재료 및 방법.....	310
(1) 어미해삼 구입 및 산란유발	310
(2) 수정란 부화 및 발생.....	311
(3) 부유유생 먹이실험.....	311

나. 연구결과	315
(1) 산란유발 및 실험준비	315
(2) 먹이생물에 따른 부유유생 사육실험	315
4. 어린해삼 배합사료 개발	325
가. 재료 및 방법	325
(1) 어린해삼 선별 및 관리	325
(2) 사육환경	328
(3) 사육수조 및 부착기질 소독	328
(4) 사료원 및 실험 배합사료 제조	329
나. 연구결과	332
(1) 사육환경	332
(2) 배합사료별 어린해삼 사육실험	334
(3) 해적생물	340
5. 결 론	341
가. 부유유생 먹이실험	341
나. 어린해삼 배합사료 개발	343
 제7장 해삼 인공어초 개발	 347
1. 서 론	349
가. 해삼 인공어초 개발개념	349
나. 과업의 내용 및 추진전략	350
2. 해삼 인공어초 기능성 영향인자 분석	353
가. 재료 및 방법	353
(1) 해삼의 생태특성	353
(2) 기존 인공어초 개발 경향	369
나. 연구결과	375
(1) 해삼 생태를 고려한 인공어초 설계요소	375
(2) 기존 해삼 인공어초의 개발경향 및 특징	377
(3) 해역특성에 따른 인공어초의 개발	380
3. 해삼 운동특성 실험 연구	383
가. 재료 및 방법	383

(1) 실험조건	383
(2) 실험방법	393
나. 연구결과	394
(1) 해삼의 이동특성	394
(2) 체형에 따른 운동특성	397
(3) 저면 재질에 따른 운동특성	402
(4) 저면 경사에 따른 운동특성	407
4. 해삼 인공어초 개발 연구	411
가. 해삼 인공어초의 설계요소 및 개발방향	411
나. 해삼 인공어초(파균형 다층 해삼 인공어초)의 특징	414
다. 해삼 인공어초(파균형 다층 해삼 인공어초)의 세부특징	417
(1) 파균형 다층 표면형상	417
(2) 유공 표면과 연결기둥	420
(3) 표준화 된 다층형 인공어초	421
(4) 해저면 보호를 위한 저질보호용 친환경 어초형상	423
(5) 씨뿌림식 해삼유도용 배치	425
라. 해삼 인공어초(파균형 다층 해삼 인공어초)의 효과 검토	425
(1) 성장률 및 생존율	425
(2) 수익성	426
5. 해삼 인공어초의 안정성	429
가. 재료 및 방법	429
(1) 실험시설	429
(2) 계측장비 및 주변장치	431
(3) 모형의 축척과 제작	432
(4) 실험조건	434
(5) 실험항목	436
나. 연구결과	437
6. 결 론	443
가. 파균형 다층 해삼 인공어초 개발	443
나. 인공어초의 효과검토	444
● 참고문헌	447
● 부 록(해삼양식 가이드북 자료집)	

List of Figures

그림 2-1.	2차 조기종묘생산용 어미해삼 확보.....	14
그림 2-2.	2차 조기종묘생산용 어미해삼 사육관리.....	16
그림 2-3.	1차 조기종묘생산용 어미해삼 성숙도 조사.....	17
그림 2-4.	2차 조기종묘생산용 어미해삼 성숙도 조사.....	18
그림 2-5.	한반도 근해 수온 분포 위성사진.....	22
그림 2-6.	한반도 근해 수온분포도(2012. 4. 29 ~ 5. 5).....	23
그림 2-7.	여수시 남면 안도산 어미해삼.....	24
그림 2-8.	어미해삼 운반 냉장포장.....	24
그림 2-9.	어미해삼 수조 관리	26
그림 2-10.	어미해삼 채란전 생식소 및 난 상태.....	26
그림 2-11.	해삼 산란.....	30
그림 2-12.	해삼 수정란 난분할과정.....	32
그림 2-13.	해삼 부유유생 관리 사각 환수틀.....	36
그림 2-14.	해삼 유생관리 중 수온변화(℃).....	37
그림 2-15.	해삼 부유유생 중국산 농축 먹이.....	38
그림 2-16.	해삼 부유유생 발달단계.....	40
그림 2-17.	해삼 부유유생 및 착저 후 어린해삼 개체수 변화.....	41
그림 2-18.	1차 조기종묘 월별 생존율.....	43
그림 2-19.	착저유생 채묘 파판.....	45
그림 2-20.	파판부착 어린해삼.....	46
그림 2-21.	초기해삼종묘.....	47
그림 2-22.	수조에 대량으로 발생한 요각류.....	48
그림 2-23.	적산수온에 따른 해삼 산란.....	51
그림 2-24.	어미해삼 산란 자극 시설.....	52
그림 2-25.	해삼 유생 관리 시설.....	53
그림 2-26.	해삼 유생 부착 파판 및 구조류 배양.....	53
그림 3-1.	시험수조 배치 및 내부 전경.....	59
그림 3-2.	해삼 실내중간육성 시험 사육수 환경.....	61
그림 3-3.	사육 밀도별 생존율 변화.....	64

그림 3-4.	사육 밀도별 총중량 변화.....	65
그림 3-5.	사육 밀도별 평균 개체 중량 변화.....	66
그림 3-6.	실외 중간육성 시험 침전조.....	68
그림 3-7.	통발 및 실외 중간육성 시험 모식도.....	69
그림 3-8.	해삼 실외중간육성 시험 사육수 환경.....	72
그림 3-9.	수심 1m에서 밀도별 사육 시험결과.....	73
그림 3-10.	수심 3m에서 밀도별 사육 시험결과.....	74
그림 3-11.	해삼 복합 중간양성 시험에 사용한 전복.....	75
그림 3-12.	시험 수조 전경.....	76
그림 3-13.	해삼-전복 중간육성 시 수온 변화.....	77
그림 3-14.	해삼-전복 중간육성 시험 결과.....	78
그림 3-15.	해삼 부유유생기의 생존 개체수(단위: 만마리).....	82
그림 3-16.	어린해삼 사육기간 동안의 생존율 및 수온 변화.....	87
그림 3-17.	중간육성 기간 동안의 생존율 및 수온 변화.....	87
그림 3-18.	해삼 종묘생산 및 중간육성 시 출현한 유령명게.....	88
그림 3-19.	해삼 사육동 내부.....	89
그림 3-20.	해삼사료 제조.....	90
그림 3-21.	사육수조 청소 및 해삼 수거.....	90
그림 3-22.	해삼종묘 선별.....	91
그림 3-23.	해삼 선별시 유령명게 제거.....	91
그림 3-24.	해삼종묘 입식.....	92
그림 3-25.	망지 및 파관 중간육성 사육.....	92
그림 3-26.	동절기 해삼수조 공급용 가온수조.....	92
그림 3-27.	사육 수조별 월평균 수온 변화.....	94
그림 3-28.	사육 수조별 월평균 염분 변화.....	94
그림 3-29.	사육 수조별 월평균 pH 변화.....	95
그림 3-30.	사육 수조별 월평균 DO 변화.....	95
그림 3-31.	사육 수조별 NH_4^- 농도 변화.....	96
그림 3-32.	사육 수조별 NO_2^- 농도 변화.....	96
그림 3-33.	사육 수조별 NO_3^- 농도 변화.....	97
그림 3-34.	사육 수조별 PO_4^- 농도 변화.....	97
그림 3-35.	해삼종묘의 생존율.....	99
그림 3-36.	해삼종묘의 증중률(g).....	99

그림 3-37.	중간육성 해삼의 축제식 입식	100
그림 3-38.	무환수시스템(BFT)을 이용한 넙치사육 모습	101
그림 3-39.	무환수시스템(BFT) 사육수조의 에어 및 수류 공급 장치	102
그림 3-40.	BFT시스템 수조내의 수온, 염분 변화	103
그림 3-41.	BFT시스템 수조내 pH, 용존산소(DO) 변화	103
그림 3-42.	박테리아 우점비율	105
그림 3-43.	조류 및 진핵생물 우점비율	105
그림 3-44.	무환수시스템(BFT) 사육 해삼의 관찰 및 측정	109
그림 3-45.	실내 및 실외 중간육성 시 해삼의 생존율과 성장률	112
그림 3-46.	대련 금주지역 해삼종묘 생산장	114
그림 3-47.	대련 금주지역 해삼종묘생산방식과 생산된 종묘	115
그림 3-48.	와항텐 지역 해삼종묘 생산장	115
그림 3-49.	와항텐 해삼 종묘생산	116
그림 4-1.	우리나라 해삼 생산량 변화	124
그림 4-2.	중국 축제식 양식장	124
그림 4-3.	중국 장자도 주요 씨뿌림 어장	125
그림 4-4.	2009년 9월에서 2010년 10월까지 표층 위성 관측 수온 분포	128
그림 4-5.	2010년 6월 29일에서 9월 20일까지 관측한 표층수온 위성자료 (7일 간격 평균 분석 결과)	129
그림 4-6.	진도, 태안, 인천 경기만 해역의 수온 변동(2004년~2008년)	130
그림 4-7.	진도, 태안, 인천 경기만 해역의 염분 변동(2004년~2008년)	131
그림 4-8.	진도, 태안, 인천 경기만 해역의 pH 변화(2004년~2008년)	134
그림 4-9.	진도, 태안, 인천 경기만 해역의 DO 변화(2004년~2008년)	135
그림 4-10.	진도, 태안, 인천 경기만 해역의 COD 변화(2004년~2008년)	136
그림 4-11.	진도, 태안, 인천 경기만 해역의 TN 변화(2004년~2008년)	137
그림 4-12.	진도, 태안, 인천 경기만 해역의 TP 변화(2004년~2008년)	138
그림 4-13.	진도, 태안, 인천 경기만 해역의 Chl- <i>a</i> 변화(2004년~2008년)	139
그림 4-14.	대마도 지구 조사정점	141
그림 4-15.	진도 대마도 지구 수온 분포	142
그림 4-16.	진도 대마도 지구 염분 분포	143
그림 4-17.	진도 대마도 지구 DO 분포	143
그림 4-18.	진도 대마도 지구 Chl- <i>a</i> 분포	144
그림 4-19.	진도 대마도 지구 DIN 분포	144

그림 4-20.	진도 대마도 지구 DIP 분포	145
그림 4-21.	진도 대마도 지구 SS 분포	145
그림 4-22.	진도 대마도 지구 저질 입도 분포	146
그림 4-23.	진도 대마도 지구 저질 강열감량(IL) 분포	146
그림 4-24.	진도 대마도 지구 저질 화학적산소요구량(COD) 분포	147
그림 4-25.	진도 대마도 지구 저질 산취발성황화물(AVS) 분포	147
그림 4-26.	진도 대마도 지구 잠수 저서생물상 조사 결과	148
그림 4-27.	진도 대마도 지구 서식 해삼	148
그림 4-28.	진도 대마도 지구 인근 대조기	149
그림 4-29.	진도 대마도 지구 해삼 분포 지역	150
그림 4-30.	진도 대마도 지구 해삼 씨뿌림 가능지역	150
그림 4-31.	진도 대마도 지구 해삼산업화 Pilot 모델 시험어장 지정 공고문	151
그림 4-32.	씨뿌림용 해삼운반을 위한 어린해삼 포장	152
그림 4-33.	씨뿌림을 위한 어린해삼 운반	153
그림 4-34.	진도 대마도 지구 해삼산업화 Pilot 모델 시험어장 해삼 씨뿌림	154
그림 4-35.	해삼시범연구사업 및 씨뿌림 해삼 포획금지 설명	155
그림 4-36.	2011년 5월 해삼시험어장 씨뿌림 효과조사	160
그림 4-37.	2012년 3월 씨뿌림 해역 해삼 자원량 조사	161
그림 4-38.	2012년 6월 씨뿌림 해역과 인근해역 해삼 자원량 조사	162
그림 4-39.	충남 태안군 남면 신온리 해삼 씨뿌림 어장	164
그림 4-40.	2011년 6월~9월까지 수온분포 위성사진	166
그림 4-41.	2011년 7월부터 2012년 6월까지 충남북부 월평균 수온 변화	167
그림 4-42.	태안군 남면 씨뿌림 해역의 대조시	167
그림 4-43.	태안군 남면 씨뿌림 지역 저서생물 및 수질조사	168
그림 4-44.	태안군 남면 씨뿌림 지역 자연서식 해삼	169
그림 4-45.	태안군 남면 씨뿌림 지역 해삼종묘 입식	169
그림 4-46.	해삼 축제식 시험 양식장 위치(충남 보령시 웅천읍 관당리)	170
그림 4-47.	축제식 해삼 양식장 주변 암반에 자연 서식하고 있는 해삼	171
그림 4-48.	해삼 축제식 시험 양식시설 기본 설계도	172
그림 4-49.	축제식 양식장 호지 정리	173
그림 4-50.	축제식 양식장 돌무더기 조성	173
그림 4-51.	축제식 양식장 돌무더기(이랑식 및 원반형) 조성 이후 중간육성 과정을 거친 해삼 종묘 입식	174

그림 4-52.	축제식 양식장 수온 변화(2011년~2012년).....	175
그림 4-53.	축제식 양식장 염분 변화(2011년~2012년).....	176
그림 4-54.	축제식 양식장 용존산소(DO) 변화(2011년~2012년).....	177
그림 4-55.	축제식 양식장 pH 변화(2011년~2012년).....	178
그림 4-56.	축제식 양식장에서 해삼 포획(2011년 12월).....	180
그림 4-57.	축제식 바닥 그물가두리 양성기 성장조사.....	181
그림 4-58.	SRS 사육수조 평면도(a), 측면 내부구조(b).....	186
그림 4-59.	육상수조 양성실험에 사용한 순환여과양식시스템 평면 구조.....	187
그림 4-60.	전복-해삼 복합양식 실험용 수조.....	189
그림 4-61.	해삼 복합양식에 이용한 전복.....	190
그림 4-62.	복합양식 사육수조.....	190
그림 4-63.	복합양식에 이용한 전복 축양 가두리.....	191
그림 4-64.	실험에 사용한 전복 급이 다시마.....	191
그림 4-65.	SRS 양성밀도 실험기간동안 기초수질(수온, 염분, DO, pH) 시계열 변화.....	194
그림 4-66.	SRS 양성밀도 실험기간동안 DIN, DIP 및 COD시계열 변화.....	196
그림 4-67.	SRS양성 실험기간 동안 해삼 생존율(%).....	198
그림 4-68.	SRS 양성 실험기간 동안 따른 해삼 성장률(%).....	201
그림 4-69.	순환여과시스템(RAS) 양성실험기간 동안 수온, 염분, DO 및 pH 변화.....	205
그림 4-70.	순환여과시스템(RAS) 양성실험기간 동안 DIN, DIP 및 COD 변화.....	206
그림 4-71.	RAS 양성 실험기간 동안 해삼 생존율(%).....	207
그림 4-72.	순환여과시스템으로 양성한 해삼의 성장률.....	208
그림 4-73.	복합양식(전복-해삼) 실험기간 동안 수온, 염분, DO 및 pH 변화.....	210
그림 4-74.	복합양식(전복-해삼) 실험기간 동안 DIN, DIP 및 COD 변화.....	211
그림 4-75.	복합양식(전복-해삼) 실험기간 동안 생존율.....	213
그림 4-76.	복합양식(전복-해삼) 실험기간동안 성장율.....	214
그림 4-77.	복합양식(전복-해삼) 시험기간 동안 수온 변화.....	216
그림 4-78.	복합양식(전복-해삼) 성장결과.....	216
그림 4-79.	해수 반폐쇄형 해삼 양식 개념도.....	217
그림 4-80.	중국 패류양식장 구획경계.....	218
그림 4-81.	국내 패류양식장 구획경계 사례.....	219
그림 4-82.	다공질 블록 제작과정.....	220
그림 4-83.	다공질 블록 시공과정.....	221
그림 4-84.	갯벌둑 사이 해수 유출에 의한 세굴발생.....	222

그림 4-85.	소규모 지오투브 시설 시험	223
그림 4-86.	지오투브 설치 전경	224
그림 4-87.	충남 태안군 안면읍 승언리 등 해삼 관련 양식어장	227
그림 4-88.	충남 태안군 안면읍 승언리 해삼 연도별 생산 동향	228
그림 4-89.	동해형 해삼 전복 복합사육기	229
그림 4-90.	해삼양성기	231
그림 4-91.	해삼 양성기 실험 결과	232
그림 4-92.	200마리 시험구에서 성장한 해삼	232
그림 4-93.	양성기 내부에 서식하는 유령명게	233
그림 4-94.	먹이공급형 양성기 개념도	233
그림 4-95.	새만금 간척용지의 대규모 해삼양식 산업화 활용(예시)	237
그림 4-96.	간척농업용지의 복합적 활용(화성지구) 예시	237
그림 5-1.	국내 해삼 건조방법별 일반성분 함량 변화	250
그림 5-2.	건해삼 국내지역별 일반성분 함량 변화	250
그림 5-3.	건조방법별 필수아미노산과 총아미노산 비교	252
그림 5-4.	건해삼 국내지역별 필수아미노산과 총아미노산 비교	252
그림 5-5.	국내 해삼 건조방법별 콜라겐 함량 변화	255
그림 5-6.	건해삼 국내지역별 콜라겐 함량	255
그림 5-7.	1차 건해삼 제조조건 및 공정도	264
그림 5-8.	염장농도 0%일 때 건조조건별 건해삼 제조 결과	265
그림 5-9.	염장농도 5%일 때 건조조건별 건해삼 제조 결과	265
그림 5-10.	염장농도 10%일 때 건조조건별 건해삼 제조 결과	266
그림 5-11.	염장농도 15%일 때 건조조건별 건해삼 제조 결과	266
그림 5-12.	염장농도 20%일 때 건조조건별 건해삼 제조 결과	267
그림 5-13.	염장농도 20~40% 전처리 조건별 건해삼 제조 결과	268
그림 5-14.	3차 건해삼 제조조건 및 공정도	270
그림 5-15.	건해삼 복원력 시험	271
그림 5-16.	제조 건해삼 및 중국산 건해삼 비교	275
그림 5-17.	건해삼 품평회	276
그림 5-18.	건해삼 제조 공정도	277
그림 5-19.	중국 대련시 해삼 판매거리	279
그림 5-20.	중국 대련시 해삼판매 상가 내부	279
그림 5-21.	공항에서 해삼광고 및 판매되는 제품	280

그림 5-22.	중국 관광지 해산품 상가(상) 및 판매되고 있는 해삼 제품(하).....	281
그림 5-23.	최고가 건해삼 제품들.....	282
그림 5-24.	홍콩 약재 도매상 거리.....	287
그림 5-25.	호주산 및 일본산 건해삼.....	287
그림 5-26.	해삼 냉동, 냉장 편의식품.....	290
그림 6-1.	중국 대련 대표해삼사료 제조회사(대련교통사료중심).....	297
그림 6-2.	배양중인 미세조류 원종.....	302
그림 6-3.	먹이생물 배양현황.....	306
그림 6-4.	튜블러원심분리기를 이용한 미세조류 농축 및 수확 과정.....	309
그림 6-5.	동결건조기를 이용한 미세조류 건조분말화.....	309
그림 6-6.	건강한 어미해삼 산란유발.....	310
그림 6-7.	해삼 부유유생 먹이실험 수조 및 먹이 급이.....	311
그림 6-8.	부유유생 먹이급이 관찰용 실체현미경.....	312
그림 6-9.	아우리쿨라리아 전장 측정 방법.....	312
그림 6-10.	부유유생 종류별 먹이생물 급이, 생먹이, 냉동농축, 건조분말, 중국농축사료.....	314
그림 6-11.	부화후 해삼 낭배기(좌, 12시간 후)과 아우리쿨라리아유생(우, 36시간 후).....	315
그림 6-12.	생먹이생물 공급에 따른 해삼 부유유생 성장 변화 관찰.....	316
그림 6-13.	냉동농축먹이생물 공급에 따른 해삼 부유유생 성장 변화 관찰.....	317
그림 6-14.	건조분말 먹이생물 공급에 따른 해삼 부유유생 성장 변화 관찰.....	318
그림 6-15.	중국냉동농축사료 공급에 따른 해삼 부유유생 성장 변화 관찰.....	319
그림 6-16.	해삼 부유유생(아우리쿨라리아) 위충만도(급이 4일째, 7월 2일).....	321
그림 6-17.	흰반점 및 피부궤양이 발생한 해삼 부유유생(7월 11일, 냉동농축 실험구).....	322
그림 6-18.	종류별 먹이에 따른 해삼 부유유생의 성장률.....	322
그림 6-19.	생먹이생물 실험수조 해삼부유유생의 성장 관찰.....	324
그림 6-20.	먹이 종류별 실험구에서 해삼 부유유생의 생존율(%).....	324
그림 6-21.	사료개발 실험을 위한 어린해삼 선별작업.....	326
그림 6-22.	어린해삼 사료개발 실험을 위해 제작된 실험수조 전경.....	327
그림 6-23.	다항목수질측정기(Horiba, U-51).....	328
그림 6-24.	사료개발 실험 수조 청소.....	328
그림 6-25.	어린해삼 배합사료원.....	330
그림 6-26.	어린해삼 중간점검. 무게측정 및 개체수 파악.....	331
그림 6-27.	어린해삼 사료개발 실험기간동안 수조 내 환경변화.....	333
그림 6-28.	3번 수조와 9번 수조 어린해삼 폐사개체(5월 31일).....	335

그림 6-29.	어린해삼 사료개발 실험기간동안 실험구별 평균 개체수 변화.....	336
그림 6-30.	실험기간동안 실험구별 평균중량변화(g).....	337
그림 6-31.	섭이활동중인 어린해삼(좌)과 섭이활동 후 어린해삼 배설물(우).....	339
그림 6-32.	사육수 내 출현한 해삼의 해적생물.....	340
그림 7-1.	연구의 추진전략.....	352
그림 7-2.	연도별 해삼생산량 추이.....	354
그림 7-3.	우리나라 해삼의 분포.....	355
그림 7-4.	해삼의 내부구조.....	356
그림 7-5.	해삼의 종류.....	357
그림 7-6.	우리나라 동·남·서해의 지형특성.....	363
그림 7-7.	전해역 심해설계파랑의 분포.....	364
그림 7-8.	해역별 발달하는 파랑제원.....	365
그림 7-9.	해역에 발달하는 조류특성.....	368
그림 7-10.	중국 축제식 양식장의 투석.....	371
그림 7-11.	셸터형 해삼 인공어초.....	372
그림 7-12.	블록형 해삼어초(태안군 남면).....	373
그림 7-13.	다양한 해삼양성기의 기질.....	374
그림 7-14.	파형 표면에서의 와류에 의한 유기물의 침적.....	379
그림 7-15.	해삼 인공어초의 설치 위치에 따른 인공어초 특성.....	380
그림 7-16.	실험수조의 모식도.....	384
그림 7-17.	실험수조의 설치모습.....	384
그림 7-18.	해삼운동모니터링 관측시스템.....	386
그림 7-19.	모니터링 영상 예.....	387
그림 7-20.	실험용 저질시료.....	389
그림 7-21.	파관의 형상.....	389
그림 7-22.	실험용 해삼의 조건.....	390
그림 7-23.	실험용 해삼의 모습.....	391
그림 7-24.	해삼의 이동(연동운동).....	395
그림 7-25.	해삼의 먹이지향 운동.....	396
그림 7-26.	해삼의 이동조건.....	396
그림 7-27.	체형에 따른 해삼의 이동특성(A그룹).....	398
그림 7-28.	체형에 따른 해삼의 이동특성(B그룹).....	399
그림 7-29.	체형에 따른 해삼의 이동특성(C그룹).....	400

그림 7-30.	체형에 따른 해삼의 이동특성(D그룹).....	401
그림 7-31.	저질조건에 따른 해삼의 이동특성(사질).....	403
그림 7-32.	저질조건에 따른 해삼의 이동특성(석분).....	404
그림 7-33.	저질조건에 따른 해삼의 이동특성(쇄석).....	405
그림 7-34.	저면형상에 따른 해삼의 이동특성(파판).....	406
그림 7-35.	저면경사에 따른 해삼의 이동특성(5°).....	408
그림 7-36.	저면경사에 따른 해삼의 이동특성(10°).....	409
그림 7-37.	해삼의 이동특성.....	410
그림 7-38.	파균형 다층 해삼 인공어초.....	414
그림 7-39.	파균형 해삼 인공어초의 세부형상.....	415
그림 7-40.	파균형 다층 해삼 인공어초의 특징.....	416
그림 7-41.	파균의 형성.....	417
그림 7-42.	다양한 체형에 적용가능한 파균형 어초형상.....	417
그림 7-43.	파균형 인공어초표면에서의 와동에 의한 유기물 침적.....	418
그림 7-44.	타원형 트랙구조에 의한 해삼의 이동동선.....	418
그림 7-45.	∩자형 형태로 내파성능(전복, 활동) 증대.....	419
그림 7-46.	요철형 파형표면.....	419
그림 7-47.	유공표면과 연결기둥을 이용한 해삼의 상하 이동 동선확보.....	420
그림 7-48.	표준화된 인공어초 블록의 다양한 조합.....	422
그림 7-49.	인공어초하부의 공간확보를 통한 해저면 보호.....	423
그림 7-50.	침하를 고려한 해삼의 동선 확보.....	424
그림 7-51.	파균형 해삼 인공어초의 배치.....	425
그림 7-52.	해삼 인공어초의 표준규격.....	428
그림 7-53.	단면수로 모식도.....	430
그림 7-54.	해삼 인공어초의 설치모습(Type-1).....	439
그림 7-55.	해삼 인공어초의 설치모습(Type-2).....	440
그림 7-56.	해삼 인공어초의 실험결과와 활동모습(T = 3.0sec, H = 1.5m).....	441
그림 7-57.	해삼 인공어초의 안정성 실험결과(규칙파).....	442

List of Tables

표 2-1.	1차 어미해삼 초기 성 성숙도 조사 결과	19
표 2-2.	2차 어미해삼 성숙도 변화	20
표 2-3.	자연산란 유도 해삼 단기관리 조기종묘 생산을 위한 어미해삼 확보	25
표 2-4.	1차 조기종묘생산 수정란 계수 및 수정률, 부화율 조사	29
표 2-5.	2차 조기종묘생산 수정란 생산 및 수정률, 부화율 조사	29
표 2-6.	수정란 및 수정율, 부화율 조사	31
표 2-7.	해삼의 유생 단계별 소요일자	34
표 2-8.	1차 조기종묘생산 시험 해삼 부유유생기의 생존율	35
표 2-9.	2차 조기종묘생산 시험 해삼 부유유생기의 생존율	35
표 2-10.	해삼 유생 성장 단계별 먹이생물 급이량	39
표 2-11.	1차 조기종묘생산 일별 채묘율	43
표 2-12.	자연산 해삼 단기관리 종묘생산 실험 부유유생 채묘율	46
표 2-13.	조기종묘 및 일반종묘생산 비교	50
표 2-14.	해삼 종묘생산 비용분석	50
표 3-1.	시험 구간별 어린해삼 입식량	58
표 3-2.	시험 구간별 어린해삼 입식량	70
표 3-3.	시험구간별 입식량	76
표 3-4.	수정란 수량 및 수정율, 부화율 조사	79
표 3-5.	검출된 박테리아(원핵생물)	106
표 3-6.	검출된 조류(진핵생물)	107
표 3-7.	해삼 중간육성 실용화 진단 기관	110
표 3-8.	해삼 중간육성 소요 경비	114
표 3-9.	해삼 질병 및 통제방안(식량농업기구 권장)	118
표 4-1.	서해연안 냉수대 해역 해삼 산업화 여건 비교 분석	140
표 4-2.	대마도 지역 시험어장 2011년 3월 수질환경조사결과	156
표 4-3.	대마도 지역 시험어장 2011년 3월 퇴적환경 분석결과	156
표 4-4.	대마도 지역 시험어장 2012년 3월 수질환경 조사결과	157
표 4-5.	대마도 지역 시험어장 2012년 3월 퇴적환경 조사결과	157
표 4-6.	대마도 지역 시험어장 2012년 6월 수질환경 조사결과	158

표 4-7.	대마도 지역 시험어장 2012년 6월 퇴적환경 조사결과	158
표 4-8.	씨뿌림 해역 해삼 자원량 조사 결과	159
표 4-9.	축제식 양식장 입도분석	178
표 4-10.	축제식 양식장 경제성 분석	183
표 4-11.	SRS 시험구별 해삼양성 밀도 및 환경조건	185
표 4-12.	SRS 양성밀도 실험기간동안 기초수질(수온, 염분, DO, pH) 결과	193
표 4-13.	SRS 양성밀도 실험기간동안 DIN, DIP 및 COD결과	195
표 4-14.	SRS 수조를 이용한 양성밀도별 해삼 생존률(%)	197
표 4-15.	씨뿌림 양식 재포율 분석 결과	225
표 4-16.	해삼 종묘 방류 크기 생존율 및 성장	226
표 4-17.	일본 전북 축제식 양식 해삼 성장 및 재포율	235
표 5-1.	해삼 포화지방산 분석결과	253
표 5-2.	해삼 불포화지방산 분석결과	254
표 5-3.	포화지방산 및 불포화 지방산 함량(%)	254
표 5-4.	Tetracyclines 분석을 위한 HPLC 분석 조건	257
표 5-5.	Quinolone계 항생물질 분석을 위한 HPLC 조건	258
표 5-6.	Oxolinic acid 분석을 위한 HPLC 조건	260
표 5-7.	해삼 항생물질 잔류량 검사 결과	261
표 5-8.	해삼 중금속 검사 결과	262
표 5-9.	1차 건해삼 제조조건별 건해삼 중량 복원 분석 결과	272
표 5-10.	1차 건해삼 제조조건별 건해삼 길이 복원 분석 결과	272
표 5-11.	2차 건해삼 제조시 염장 조건별 건해삼 중량 복원 분석 결과	273
표 5-12.	2차 건해삼 제조시 염장 조건별 건해삼 길이 복원 측정 결과	273
표 5-13.	3차 건해삼 제조시 삶기 및 스팀 처리 조건별 건해삼 중량 복원 측정 결과	274
표 5-14.	3차 건해삼 제조시 삶기 및 스팀 처리 조건별 건해삼 길이 복원 측정 결과	274
표 5-15.	홍콩 건해삼 수입현황	284
표 5-16.	국가별 건해삼 수입단가	285
표 6-1.	여과해수 소독 및 안정화 작업	303
표 6-2.	먹이생물 배양용 배지 조성표(Conwy medium)	304
표 6-3.	미세조류 보유현황	307
표 6-4.	배지의 첨가농도	307
표 6-5.	중간배양(5~50L) 시 사용배지 투여량	308
표 6-6.	대량배양(60~1,000L) 및 노지배양 시 사용배지 투여량	308

표 6-7.	어린해삼 배합사료 원료 배합비율(%)	330
표 6-8.	어린해삼 배합사료개발 실험 개체수 변화양상	335
표 6-9.	실험기간동안 실험구별 평균 개체수 변화	336
표 6-10.	실험기간동안 실험구별 평균중량변화(g)	337
표 6-11.	실험구별 어린해삼의 평균 성장률(g)	338
표 7-1.	연차별 과업내용	351
표 7-2.	연도별 해삼 어획량 동향(자연산)	354
표 7-3.	해삼의 생태특성을 고려한 인공어초의 설계요소	376
표 7-4.	기존 인공어초의 특징	378
표 7-5.	실험용 저질/저면의 조건	388
표 7-6.	실험조건	392
표 7-7.	해삼의 운동 특성을 고려한 인공어초 설계요소	412
표 7-8.	해삼 인공어초의 개발방향	413
표 7-9.	단면수로 및 조파기 특성	430
표 7-10.	Froude 상사법칙 적용 예	434
표 7-11.	실험파랑제원	435
표 7-12.	파균형 다층 해삼 인공어초의 안정성 실험결과	438



| 제1장 |

서 언

1. 과업의 개요
2. 해삼양식의 현황과 여건분석

제1장 서 언



1. 과업의 개요

가. 연구 배경

우리나라 갯벌은 청정갯벌로 위상이 높고 이곳에서 생산되는 수산물은 가히 친환경 수산물로 경쟁력이 높으며, 특히 갯벌에서 패류양식은 종패살포 후 환경관리를 잘해 주면 자연에 의존하는 양식으로 별도의 화석에너지가 필요하지 않아 녹색성장 산업으로 기대가치가 크다고 할 수 있다.

최근 FTA 및 수산물 수입 증가로 위협받고 있는 우리나라 수산업의 미래 안전성을 확보하기 위해서는 양식품종 다변화라는 의미와 함께 세계적으로 경쟁력을 갖는 품종개발이 필요하다.

특히 해삼은 국제적인 자원관리 위기종으로 위협받고 있으나 최근 웰빙 수산물로 인식되면서 전 세계적으로 소비량이 꾸준히 증가하고 있다. 해삼은 Seller's Market 품종으로 중화권 사람들에게 인기가 높으며, 일본 원전 사태와 중국 연안의 환경오염 등으로 친환경적인 수산물 수요가 높아지고 있는 여건에서 삼면이 바다인 우리나라에서 친환경적인 해삼을 생산하여 수출할 경우 블루오션 전략 품종으로 그 경쟁력이 높다고 할 수 있다. 그러나 우리나라 해삼 생산은 아직까지 산업화가 정착되어 있지 않다. 이러한 전략 품종을 산업화하기 위한 본격적인 기술 개발이 필요하다.

나. 목적과 필요성

(1) 과업의 목적

꺾별자원을 이용한 신소득원 창출의 일환으로 소비량이 급증하고 있는 해삼을 대상으로 대량종묘생산에서 중간양성·본 양성·가공·수출까지 일원화된 산업화 모델 개발을 위한 요소 기술 연구 및 우리나라 해삼 양식의 문제점을 도출하고 해결방안을 마련하여 산업화 조기정착 유도하는데 본 연구 목적이 있다.

(2) 과업수행의 필요성

우리나라의 자연산 해삼생산량은 1990년 2,491톤, 2000년에는 1,419톤, 2002년 833톤으로 줄어들다가, 최근에는 인공종묘에 의한 소규모의 씨뿌림 양식이 시도 되면서 약간씩 회복되어 2005년에는 1,136톤, 2007년 2,936톤, 2010년에는 2,687톤 수준을 유지하고 있다.

해삼은 고부가가치 수출전략품종으로서 상당히 가치가 있다. 특히 중화권시장에서는 고가로 판매되고 있어 지속적인 자원회복 뿐만 아니라 수산업 경제에 활력을 불어넣기 위해서는 인공종묘의 대량생산 및 씨뿌림 방류에 의한 자원조성과 함께 수요증가에 대응하기 위한 대량 양식생산이 필수적이다. 그러나 현재 국내 해삼 양식 기술은 산업화 정착 초기 단계로 현장애로 기술 해결 및 산업화 기술이 조기정착을 위한 노력이 필요하다.

국내·외 해삼 수요는 지속적으로 증가하고 있으나 해삼양식에 기술은 미흡하여 소극적 방법에 의한 양식으로 안정적 대량생산을 위한 현장 어업인의 요구가 매우 큰 실정으로 우량종묘생산, 양식, 가공, 사료개발 등 해삼 산업화를 위한 기술 집약형 해삼양식 산업화 요소기술 개발이 시급한 실정이며, 향후 신성장동력 산업으로 육성하기 위한 정책적인 방안도 마련되어야 할 것이다.

다. 내용과 범위

(1) 해삼 종묘생산 기술개발

해삼 산업화 정착을 위해서는 우선 우량종묘 대량생산이 필요하다. 본 연구에서는 우량종묘 대량 생산에 대한 진단을 추진하였다. 특히 조기종묘생산은 크게 요구되어 어미해삼 관리를 통한 인위적 성성숙 유도와 연안에 서식하는 해삼의 자연산란 유도를 통한 조기종묘생산 가능성을 진단하고 문제점 및 앞으로의 해결방안을 살펴보았다.

(2) 해삼 중간육성 기술개발

건강한 종묘를 생산하기 위해서는 중간육성이 필수적이다. 또한 개발된 기술의 산업화를 위해 현장실용화 진단이 요구된다. 본 연구에서는 중간육성 시 발생할 수 있는 문제점을 조사하고 이에 대한 해결방안을 살펴보았으며, 실내·외 중간육성, 복합중간육성 방법 및 결과를 비교 분석하였다. 또한 생산된 초기 종묘를 현장에 입식하여 실용화 가능성과 문제점 및 해결방안 등을 살펴보았다.

(3) 해삼 양식기술 개발

해삼 대량생산을 위해서는 해삼양식 기술 정착이 요구된다. 본 연구에서는 씨뿌림 양식에 대한 효과분석 및 축제식 양식에 대한 진단, 육상수조식 양식에 대한 가능성을 살펴보았다.

(4) 고부가가치 건해삼 가공기술 개발

해삼의 상품화 및 판매를 위해서는 고부가가치 해삼 가공기술이 개발되어야 한다. 본 연구에서는 우선 해삼의 영양학적 성분 및 안정성에 대해 살펴보고, 건해삼 제조를 위한 비교실험을 실시하였다.

(5) 해삼 성장단계별 사료개발

해삼 종묘 생산을 위해서는 먹이생물 및 사료는 필수적이라 할 수 있다. 본 연구에서는 해삼 유생사육을 위한 먹이생물과 어린해삼 단계에서 요구되는 사료 개발 실험을 실시하였다.

(6) 해삼 인공어초 개발

해삼의 새로운 서식처 및 은식처를 위해서는 바다에 인공구조물 설치가 필요하다. 본 연구에서는 해삼 서식 생태를 고려한 인공어초 개발을 추진하였다.

라. 수행방법

(1) 해삼 종묘생산 기술개발

해삼 조기종묘생산을 위하여 어미해삼 관리를 통한 인위적 성성숙 유도를 통한 종묘생산 가능성을 진단하였다. 인위적 성성숙 유도는 가을부터 익년 봄까지 어미해삼을 전문적으로 관리하며 3월에 수정란 생산을 시도하는 중국 산둥성 지역 방법과 채란 한 두 달 전에 어미해삼을 육상으로 끌어 올려 어미해삼관리를 통해 종묘생산을 추진하는 요녕성 지역 방법을 가지고 1차적으로 추진하였다. 2차적으로 국내 수온 분포를 분석하여 조기 자연산란 유도가 가능한 지역의 해삼을 포획하여 조기종묘생산을 시도하였으며 이상의 3가지 방법에 대한 결과를 분석하였다.

(2) 해삼 중간육성 기술개발

실내·외 중간육성의 사육밀도 실험 및 결과를 비교분석하였다. 또한 전복 복합을 이용한 중간육성 가능성을 진단하고 향후 필요연구를 살펴보았으며, 중간육성 실용화 진단을 위하여 추계와 하계에 현장 분양을 실시하여 비교분석하였다.

(3) 해삼 양식기술 개발

씨부림 양식에 대해서는 현장조사를 통하여 해삼 방류지역과 비방류지역에 대한 자원조사를 통하여 효과분석을 실시하였으며, 추가적으로 춘계에 씨부림을 실시하였다. 축제식 양식에 대해서는 축제식 양식장을 조성하여 축제식 양식의 가능성을 진단하였다. 육상수조식 양식에 대해서는 SRS(Shallow Raceway System), RAS(Recirculation Aquaculture System)과 전복복합양식 시험구를 설정하여 생산성 및 생존율 등을 비교분석하여 육상수조식 양식의 방향성을 살펴보았다. 또한, 조하대 양식을 위한 공학적인 방법과 양성기 양식의 가능성 등을 조사하였다.

(4) 고부가가치 건해삼 가공기술 개발

건해삼의 건조방법별 및 국내산지별로 일반성분, 지방산, 아미노산, 콜라겐 등 영양학적 비교분석을 실시하였으며, 항생제와 중금속에 대한 안정성을 살펴보았다. 건해삼 제조조건을 파악하기 위하여 건조조건별, 염장농도별로 하여 최적조건을 살펴보고, 제조된 건해삼에 대한 전문가 품평회를 추진하였다.

(5) 해삼 성장단계별 사료개발

해삼의 부유유생단계의 먹이생물을 개발하기 위하여 생먹이, 냉동농축, 냉동건조분말, 중국산 농축먹이생물을 가지고 유생의 사육을 통해 성장도 및 생존율 등을 비교분석하였다. 해삼 사료개발을 위하여 개발 실험사료 3종과 중국산 사료를 이용하여 급이에 따른 어린해삼의 성장도, 생존율을 살펴보고 최적의 사료조건을 분석하였다.

(6) 해삼 인공어초 개발

해삼 인공어초 개발을 위하여 해삼의 행동 특성과 기질 반응 특성을 해삼의 크기, 저질조건 변화 등을 통해 살펴보았으며, 이를 바탕으로 인공어초 설계인자를 도출하고 인공어초를 개발하였다. 개발한 인공어초에 대한 안정성 및 효과 등을 분석하였다.

2. 해삼양식의 현황과 여건분석

해삼을 상업적으로 양식하는 대표적인 국가는 한국과 중국(축제식 양식 및 씨뿌림), 일본(연안 수산자원 조성) 등이며, 특히 중국의 생산량 및 소비량은 세계 최고 수준으로 다양한 요리와 음료, 건강보조식품 등으로 개발, 보급되고 있다.

현재 국내 해삼 양식은 산업화 진입단계로 볼 수 있다. 종묘생산 분야는 대량 종묘생산을 위한 기술은 확보되었으며, 조기종묘생산 등 일부기술이 정착되면 종묘의 대량생산은 박차를 가할 수 있을 것으로 보인다. 해삼 양식은 현재 씨뿌림에 의존하고 있어 계획생산이 가능한 축제식 양식의 기술개발 및 다양한 양식기술이 개발되어 해삼생산량을 끌어올려야 한다. 이에 반해 중국은 해삼 양식 선진국으로 종묘생산 및 축제식 양식이 발달되어 있어 해삼생산이 가장 많다. 일본은 자원관리형 위주로 해삼생산을 하며, 종묘생산은 자체기술을 개발하여 정착단계에 있다. 해삼은 최근 웰빙 수산물로 인식되면서 전 세계적으로 소비량이 꾸준히 증가하고 있으며 앞서 말한 것처럼 해삼은 Seller's Market 상품으로 중국의 연안오염 및 일본의 원전사고로 인해 한국산 해삼은 경쟁력을 확보할 수 있는 기회가 생겼으며, 이에 발맞추어 대량생산 체계가 정착될 경우 블루오션 산업으로 발전할 수 있다. 이러한 여건에서 우리나라에서 해삼은 수출전략 품종으로 선정되어 2020년까지 10억 마리 종묘생산 및 해삼생산 4만5천9백톤을 목표로 하고 해삼 산업화를 위한 R&D 및 대단위 양식단지조성 등 적극적인 정책 방안을 마련하고 있는 실정으로 해삼산업이 육성될 수 있는 대내외적 환경은 긍정적으로 조성되고 있다.



| 제2장 |

해삼 종묘생산 기술개발

1. 서 론
2. 조기종묘생산 어미해삼 관리
3. 산란유도 및 수정란 생산
4. 해삼 부유유생 관리
5. 부착 및 어린해삼 관리
6. 결 론

제2장 해삼 종묘생산 기술개발



1. 서론

해삼과 관련된 연구는 최(1963)에 의한 해삼의 형태와 생태 및 양식 등에 관한 종합적인 연구가 있으며, 종묘생산기술은 포항 및 주문진, 제주종묘시험장 시험 연구 사업보고, 이와 박(1999) 등에 의한 해삼 유생의 성장과 생존에 미치는 먹이 및 수용밀도의 영향에 관한 연구가 이루어졌으며, 해양수산부(2006)에서 해삼 양식기술개발을 실시하였다. 2006년에 완료한 해삼양식기술개발은 본격적인 해삼 양식에 관한 해삼산업화를 위한 기초를 다진 연구로 인공종묘 대량생산 기술개발, 육상수조식 양식 기술개발, 해삼과 전복의 육상수조 복합양식 기술개발, 해삼 월하방안 연구, 축제식 양식 기술개발, 씨부림 양식 기술개발을 통하여 인공종묘 대량생산 기술 보급 및 마을어장 씨부림 자원조성 기술 산업화 유도를 시도하였다. 그러나 현재까지 해삼양식의 산업화가 정착된 상황은 아니다.

해삼양식 산업화의 가장 중요한 요소는 경제적인 방법으로 적정크기의 양질의 인공종묘를 대량 생산하는 것이다. 국내에서 해삼의 인공종묘생산 시도는 1990년대 초반부터 이루어져 왔으나 산업화로 진전되지는 못했다. 이와 같은 원인은 대량종묘생산 기술이 미흡하여 소량의 종묘생산에 그쳤고 양식에 대한 관심도가 낮아 일부 씨부림 방류에만 치중했기 때문이다. 그러나 최근 들어서는 자연어획량의 급격한 감소와 함께 어류 등 양식 산업의 어려움으로 환경 친화적인 대체 품종 개발요구가 대두되면서 특히 중국 해삼양식 기술의 급성장 발전에 자극받아 양식기술개발 요구가 급증하고 있다.

2006년 개발한 한국형 인공종묘 생산기술(해양수산부, 2006)은 암컷과 수컷을 분리시킨 선별채란으로 수정율과 부화율을 향상시키고 적정량만을 채란하여 어미 사용량을 중국 방식에 비해 20% 이하 수준으로 낮추었다. 또한 유생사육을 위한 먹이생물 배양은 해삼유생의 성장과 생존율 향상이 가능한 최적의 식물플랑크톤(*Chaetoceros simplex*, *Pavlova lutheri*, *Isocrysis galbana*) 먹이를 유생 사육량에 따라 직접배양 공급하였고, 채묘 이후 일정기간 동안 인공 배양된 규조류와 지층이(*Sargassum thunbergii*) 등의 해조류 즙을 발효시킨 먹이를 공급하여 고밀도의 육성이 가능하였다. 본 연구에서 진행한 연구는 암·수 혼합채란에 의한 다중 수정으로 채묘의 성공률을 높이고 인공먹이생물을 이용하여 손쉽게 대량생산체제를 이루는 방법이다. 해삼 종묘생산기술은 중국기술을 도입 한국형으로 개량하여 어느 정도 본 궤도에 올라왔다고 할 수 있다. 그러나 적기에 우량종묘를 공급하기 위해서는 빠른 시간에 속성으로 종묘를 키워내야 한다. 조기종묘 생산 방법은 중국과 일본에서 이미 진행되고 있는 방법으로 중국의 경우 발해만을 중심으로 산동성 지역에서는 가을부터 익년 봄까지 어미해삼을 전문적으로 관리하며 3월에 수정란 생산을 시도하고 있으며, 요녕성 지역에서는 채란 한 두 달 전에 어미해삼을 육상으로 끌어 올려 어미해삼 관리를 통해 종묘생산을 3월에 하고 있다. 일반종묘생산은 1차 년도에 가능성이 진단되었기 때문에 이를 토대로 본 연구에서는 해삼 종묘생산에 필요기술인 조기종묘생산에 대해 집중적으로 추진하였다. 인위적 성성숙유도를 통한 조기종묘생산은 두 가지 방법으로 추진하였다. 1차 조기종묘생산에서는 중국 산동성 지역의 방법을 이용하였으며, 2차 조기종묘생산에서는 중국 요녕성 지역의 방법을 활용하였다. 마지막으로 3차에서는 자연산란 유도 조기종묘생산 방법으로 우리나라 수온 분포 분석을 통하여 따뜻한 지역에서 서식하는 해삼을 조기에 채집하여 어미해삼관리를 통해 조기종묘생산과 속성 성장 유도방법을 살펴보았다.

2. 조기종묘생산 어미해삼 관리

우리나라 및 중국 요녕성, 산둥성 지역의 자연산 해삼이 성숙하여 어미로 활용할 수 있는 시기는 5월~8월이다. 따라서 자연산 어미를 이용하여 종묘생산을 할 경우 10월~11월에 1~5g/마리의 종묘를 생산할 수 있다. 그러나 중국은 대부분 축제식과 씨부림식에 의해 양성을 하고 있는 추세여서 10월~11월에 종묘를 입식할 경우 만 3년이 지나야 판매할 수 있는 어미해삼을 생산할 수 있으며 겨울철 저수온에 의한 종묘의 폐사가 우려되기도 한다. 따라서 조기에 우량종묘 확보에 대한 필요성을 가지게 되었으며, 최근 들어 중국은 11월 또는 2월경에 자연산 어미해삼이나 축제식양식장에서 어미해삼을 확보하여 2~5개월간 육상수조에서 성숙관리하고 3월에서 4월에 수정란을 생산하여 2~3개월 자연산란기 보다 앞당겨 종묘생산을 추진하고 있다. 이는 7월~8월경 1~5g/마리 종묘를 생산하여 축제식 또는 씨부림식으로 양성하거나 육상수조에서 50g/마리의 중간종묘를 생산하여 양식 할 경우 어미해삼 생산시기를 만 2년으로 단축시켜 생산성을 높일 수 있는 장점이 있다. 또한 여름~가을에 어린해삼을 방류할 경우 늦가을에 방류한 어린해삼에 비해 생존율과 성장률이 높기 때문에 생산성을 향상시킬 수 있다.

가. 인위적 성성숙 유도 조기종묘 생산

(1) 어미해삼 선정

1차 해삼종묘 조기생산 시험에 이용한 어미해삼은 2010년 6월 4일 전라남도 진도군 해역과 충청남도 태안군 해역에서 구입하여 수정란을 생산하였고 관리한 어미해삼 중 150g 이상 80마리(13kg)와 2010년 12월 20일 전라남도 완도군 해역에서 잠수어업으로 어획한 자연산 해삼 중 외관상 이상이 없고 체중이 210g 이상인 개체 80마리(17kg)를 선별하여 조기종묘생산 어미해삼으로 사용하였다.

2차 시험에 이용한 어미해삼은 전라남도 여수시 돌산읍 소울마을 해역에서 어획한 평균체중 187.2g의 어미해삼 320마리 60kg을 2012년 1월 20일~3월 21일까지 성숙 관리하여 수정란 생산에 이용하였다(그림 2-1).



(a) 어미해삼 어획 및 포장



(b) 어미해삼 연구소 운송

그림 2-1. 2차 조기종묘생산용 어미해삼 확보

(2) 어미해삼 운송

1차 조기종묘생산 어미해삼 어획당시 채집 장소(완도)의 평균수심은 5m 내외였으며 수온은 표층 8.1~8.5℃, 저층 10.1~10.8℃였고, 2차 조기종묘생산 어미해삼 어획당시 해역(여수 돌산)의 수온은 7.8℃였다. 어획된 해삼은 운송 전까지 양과 망을 이용하여 선박에 매달아 보관하였다. 어미해삼 운송은 20L 직사각형 스티로폼 상자의 바닥에 아이스팩을 깔고, 그 위에 신문지를 10장씩을 덮어 아이스팩과 해삼이 직접적으로 접촉되지 않도록 하였다. 물기를 제거한 어미해삼은 비닐 봉지에 5kg씩 수용하였고, 공기를 완전히 제거하여 밀봉한 후 연구소까지 운송하였다. 1, 2차 시험에 사용한 어미해삼은 어획해역의 수온과 배양수조 수온을 동일한 조건으로 입식하여 수온편차에 의한 스트레스를 최소화 하였다.

(3) 어미해삼 및 사육환경 관리

어미해삼은 가로 5m×세로 5m×높이 2.3m(유효수량 45톤)의 정사각형 수조에 여과해수를 채우고 수용하였다. 여과해수는 30 μ m까지 여과할 수 있는 자동여과기를 통과한 해수를 10 μ m 여과능력의 필터백을 이용하여 2차 여과시켰고, 배합사료가 급이되기 전까지 매일 50%를 환수하였고, 배합사료가 급이되는 시점부터 100% 환수하였다(그림 2-2). 1차, 2차 시험기간 동안 적산수온 800℃ 내외(성숙

유효 하한수온 8℃)로 설정하였고, 누적 적산수온은 8℃를 기초수온으로 하여 8℃ 이상부터 적산수온에 가산하였다. 수온 유지는 자동온도조절기를 부착한 히터(3kw)를 이용하여 1차 시험은 2010년 12월 30일(8℃)부터 2011년 1월 24일 (20℃)까지 26일간 매일 0.5℃씩 수온을 상승시켰고, 2011년 3월 21일 채란시기까지 57일간 20℃를 유지하였다. 채란일자의 적산수온은 834℃였다. 사육기간 중의 염분은 31.8~32.2psu이었다. 에어공급은 수조 당 16개의 에어스톤을 설치하여 DO 7~8mg/L을 유지하였다. 2차 시험은 2012년 1월 20일(8℃)부터 1월 30일까지 매일 1℃씩 상승시켜 산란을 유도했던 4월 8일까지 18℃를 유지하였다. 이 시기까지 적산수온은 796℃였다. 사육기간 중의 염분은 30.2~32.8psu이었다. 에어공급은 수조 당 16개의 에어스톤을 설치하여 DO 7~9mg/L을 유지하였다. 어미해삼의 생식소 중량지수(GSI)는 1차 시험에서는 시작단계의 완도산과 연구소 관리해삼을 각각 10마리씩 조사하였고, 2차 시험에서는 시작단계와 채란일자의 적산수온 796℃에서 각각 5마리씩 조사하였다.



(a) 어미해삼 양성 수조(가로 5m×세로 5m×높이 2m 유효수량 45톤)
에어스톤 16개(직경 3cm×10cm), 3kw 수중전기히터 10개 설치



(b) 어미해삼 양성 수조 청소



(c) 어미해삼 배합사료 급이

그림 2-2. 2차 조기종묘생산용 어미해삼 사육관리

(4) 어미해삼 배합사료 급이

1차 시험기간 동안 어미해삼은 2010년 12월 20일부터 2011년 1월 11일의 사육 수온 10℃까지는 배합사료를 급이하지 않았고, 사육수온이 10℃ 이상 되는 시점인 2011년 1월 11일부터 1회/일 총 체중 30kg에 대한 1.5~5%를 동일량의 모래와 혼합하여 급이하였고, 수조 내 사료의 잔여 유무에 따라 급이량을 증감하였다. 2011년 3월 18일부터 채란일인 3월 21일까지는 내장의 내용물을 비우기 위해 배

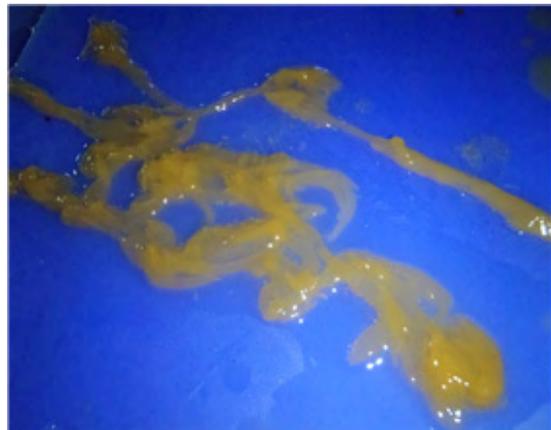
합사료를 급이하지 않았다. 2차 시험기간 동안 어미해삼은 2012년 1월 20일부터 1월 22일의 사육수온 10℃까지는 배합사료를 급이하지 않았고, 사육수온이 10℃ 이상 되는 시점인 2012년 1월 23일부터 1차 시험과 동일한 방법으로 배합사료를 급이하였다. 2012년 4월 6일부터 채란일인 4월 8일까지는 내장의 내용물을 비우기 위해 배합사료를 급이하지 않았다.

(5) 어미해삼 성성숙

1차 조기종묘생산을 위해 완도에서 구입한 어미해삼은 연구소에 도착하여 수조에 수용하고 10마리를 무작위 추출하여 암·수의 총 체중에 대한 생식소 중량을 측정하였으며, 2010년 6월 21일 종묘생산에 이용하고 관리해온 어미해삼에서 선별한 개체를 무작위로 10마리 추출하여 암·수의 총 체중에 대한 생식소 중량을 측정하였다(그림 2-3). 2차 조기종묘생산을 위해 구입한 어미해삼도 연구소에 도착 즉시 10마리를 무작위 추출하여 암·수의 총 체중에 대한 생식소 중량을 측정하였다(그림 2-4).



(a) 성숙관리 전 미성숙한 어미해삼 생식소



(b) 성숙관리 후 발달한 어미해삼 생식소

그림 2-3. 1차 조기종묘생산용 어미해삼 성숙도 조사



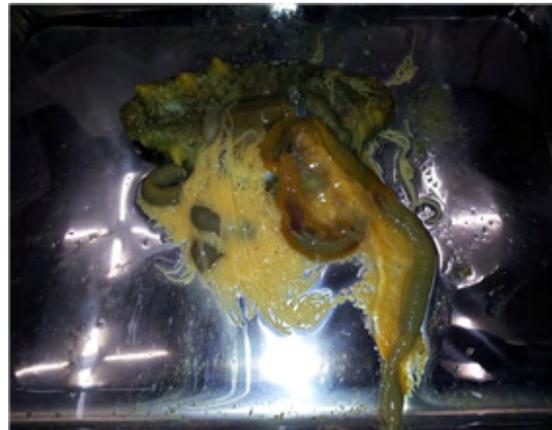
(a) 어획당시 미성숙한 어미해삼 정소



(c) 관리 후 발달한 어미해삼 정소



(b) 어획당시 미성숙한 어미해삼 난소



(d) 관리 후 발달한 어미해삼 난소

그림 2-4. 2차 조기종묘생산용 어미해삼 성숙도 조사

1차 조기종묘 생산 어미해삼의 평균체중은 완도산 233g, 연구소 관리해삼이 156g으로 나타났다. 초기 성숙도의 경우 완도산이 최고 4.82, 연구소에서 관리한 어미해삼이 2.22로 완도산이 높게 나타났다. 내장을 체외로 배출하여 내장 및 생식소가 전혀 보이지 않는 개체가 1마리, 내장은 있으나 생식소가 미성숙하여 구분이 되지 않는 개체가 13마리로 나타났다(표 2-1).

2차 조기종묘생산용 어미해삼의 평균체중은 성숙관리 전이 244.5g, 관리 후 240.2g으로 평균체중은 감소한 것으로 나타났으며, 생식소 중량지수 또한 평균 4.60에서 3.76로 감소한 것을 볼 수 있었다. 시작단계에서는 5마리 중 3마리에서

생식소 구분이 가능하였고 성숙관리 후에도 5마리 중 3마리에서 암수 구분이 가능하였다(표 2-2).

2차 조기종묘생산을 위한 어미해삼의 성숙지수 및 생식소 중량이 시작단계에 비해 감소하는 현상을 볼 수 있는데, 조도나 영양공급 등 어떤 조건하에서 원활하게 성숙이 이루어질 수 있는지 성숙조건이 명확하게 규명되어야 할 것으로 사료된다.

표 2-1. 1차 어미해삼 초기 성 성숙도 조사 결과

구분	완도산				연구소 관리 해삼			
	체중(g)	성별	생식소 중량(g)	GSI	체중(g)	성별	생식소 중량(g)	GSI
1	213	-	토장	-	153	-	미성숙	-
2	222	♂	7.5	3.37	157	♀	3.5	2.22
3	275	♀	3.2	1.16	154	♀	2.8	1.81
4	232	♀	11.2	4.82	153	-	미성숙	-
5	241	♀	2.6	1.07	161	-	미성숙	-
6	273	-	미성숙	-	155	-	미성숙	-
7	207	-	미성숙	-	159	-	미성숙	-
8	210	-	미성숙	-	160	-	미성숙	-
9	225	-	미성숙	-	163	-	미성숙	-
10	240	♀	미성숙	-	153	♀	미성숙	-
총계	2,338				1,568			
평균	233				156			

표 2-2. 2차 어미해삼 성숙도 변화

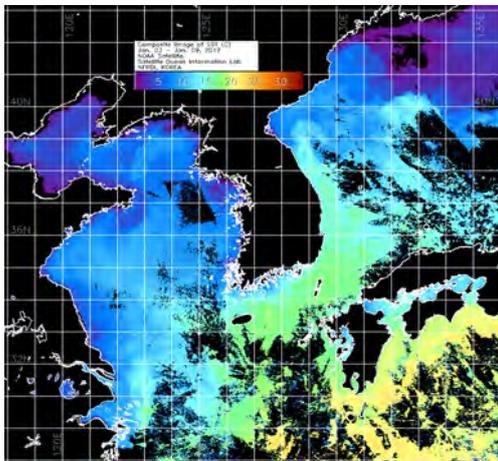
구분	성숙관리 전(2012.1.20)				성숙관리 후(2012.3.29)			
	체중(g)	성별	생식소 중량(g)	GSI	체중(g)	성별	생식소 중량(g)	GSI
1	423.3	♂	20.3	4.80	368.3	♂	5.71	6.35
2	244.2	♀	16.5	6.76	268.2	♀	19.1	9.28
3	186.6	♀	21.3	11.42	176.8	♀	3.56	3.14
4	226.3	-	0	0	183.2	-	0	0
5	142.3	-	0	0	204.7	-	0	0
총계	1,222.7		58.1	22.98	1,201.2		28.37	18.77
평균	244.5		11.62	4.60	240.2		5.68	3.76

나. 자연산란 유도 조기종묘 생산

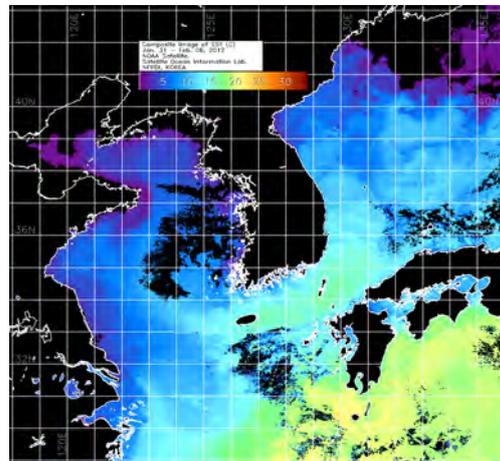
(1) 어미해삼 확보 후보지 분석

종묘생산의 효율성과 안정성을 위해서는 건강하고 성숙한 어미해삼으로부터 대량의 난자와 정자를 얻는 것이 중요하다. 성숙한 어미해삼의 확보는 해삼의 산란기에 임박하여 자연산 어미를 구입하는 방법과 산란기 이전부터 인위적으로 관리하는 방법이 있다. 본 연구는 자연산란이 가능한 단기적인 인위적 어미해삼 관리를 통해 조기종묘생산을 유도하는 데 목적이 있다. 우선 어미해삼을 구하기 위한 후보지를 선택해야 한다. 국내에서 해삼의 성숙속도는 통영에서부터 남해안을 거쳐 서해안과 동해안으로 이어지는 것으로 통상적으로 알려져 있다. 2012년 1월부터 5월까지 한 달 간격 수온 분포 위성사진을 살펴보면 남해와 대한해협은 다른 지역에 비해 대마난류로 인하여 표층 수온이 높게 유지되고 있다. 특히 1월의 경우 동해안에서는 대마난류 북상으로 인해 높은 수온 상태를 유지하지만 2

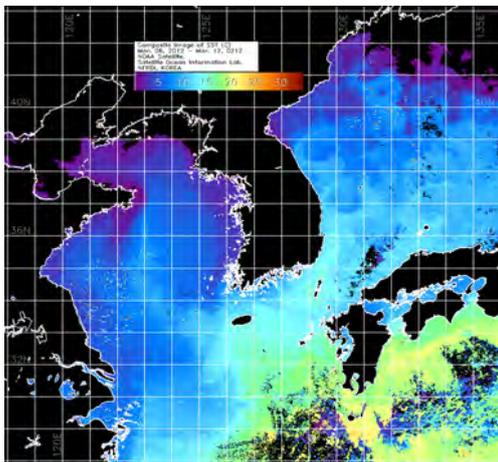
월부터는 저수온으로 바뀌었다. 4월로 접어들면서 전체적으로 수온은 상승하는 것으로 나타났다(그림 2-5). 실제적인 수온 분포 위성사진을 자세히 살펴보면 4월 29일에서 5월 5일 사이 남해 근해는 16℃ 수온을 유지하며 15℃ 등온선은 여수 앞바다까지 깊숙이 들어와 있으며, 다른 지역에 비해 여수지역을 기점으로 서쪽으로는 상대적으로 저수온대이며 통영 및 부산지역으로는 고수온으로 구분된다(그림 2-6). 본 조기종묘생산에서 시도한 자연산 어미해삼 단기관리 채란 기술 연구에서는 후보지로 여수 소라도 인근해역인 안도지역을 어미해삼 확보 후보지로 정하였다.



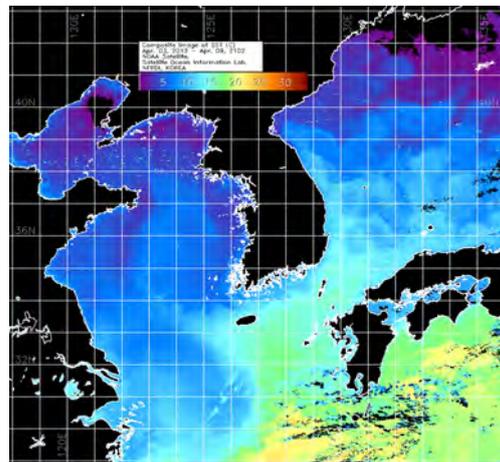
(a) 1월 3일~1월 9일



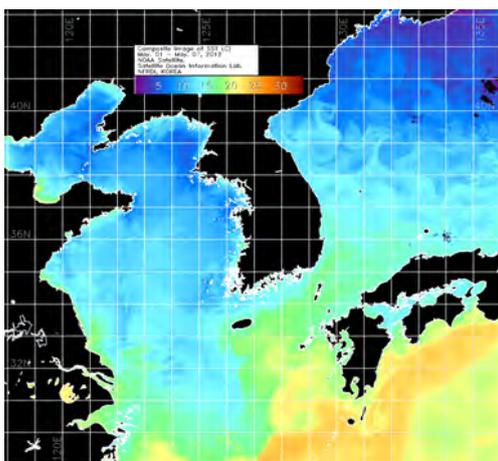
(b) 1월 31일~2월 6일



(c) 3월 6일~3월 12일



(d) 4월 3일~4월 9일



(e) 5월 1일~5월 7일

그림 2-5. 한반도 근해 수온 분포 위성사진

◆ 위성관측수온 ◆

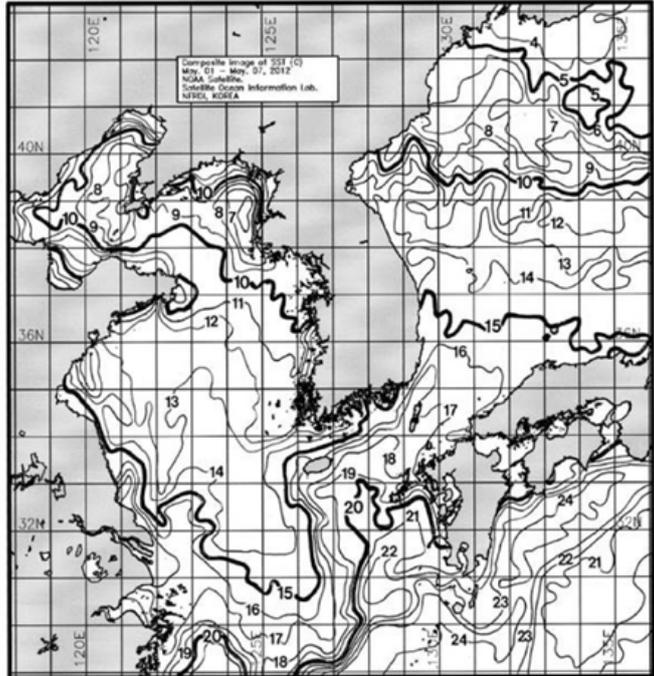


그림 2-6. 한반도 근해 수온분포도(2012. 4. 29 ~ 5. 5)

(2) 어미해삼 확보 및 운반

어미해삼은 2차에 걸쳐 여수 남면 안도해역에서 해녀가 채취한 해삼을 구입하였다(그림 2-7). 현장에서 구입한 해삼은 10kg씩 분리하여 그물망에 담아 아이스 박스에 담아 외부 기온과 차단하여 빠르게 연구소로 운반하였다(그림 2-8). 수송 시간은 약 4시간이 소요되었으며 수온상승과 운반도중 스트레스에 의해 내장이 배출된 개체는 나타나지 않았다. 구입한 세부 내역을 살펴보면 1차 구입 시기는 4월 18일로 수량은 40kg으로 여수남면 지역 수온은 12.5℃였다. 2차 구입은 산란이 가능한 개체 중량으로 200g 이상 크기의 어미해삼 20kg을 구입하여 연구소로 신속히 운반하였으며 채집당시 수온은 14.5℃이었다(표 2-3).



그림 2-7. 여수시 남면 안도산 어미해삼



그림 2-8. 어미해삼 운반 냉장포장

표 2-3. 자연산란 유도 해삼 단기관리 조기종묘 생산을 위한 어미해삼 확보

구 분	1차	2차
일 시	2012. 4. 18.	2012. 4. 24
장 소	여수시 남면 안도	여수시 남면 안도
수 량	40kg	20kg
수 온	12.5℃	14.5℃

(3) 어미해삼 관리

구입 당일 여수 남면 안도지역 수온은 14.5℃였다. 연구소로 운반한 해삼은 같은 수온대를 유지한 수조에 입식하여 해삼 내장에서 분비물을 자연적으로 배설하여 제거하도록 하였다(그림 2-9). 수조 수온은 1일 1℃씩 상승하여 16℃로 관리하였으며 먹이는 급이하지 않았다. 사육수 가온은 히트펌프를 이용하였다. 어미해삼을 수용할 수조는 차아염소산나트륨(유효염소 5%, NaClO)을 100배 희석하여 브러시로 벽면 및 바닥면을 소독하였고, 담수를 이용하여 충분히 세척하여 차아염소산나트륨이 잔류하여 나타나는 독성을 제거하였다. 어미해삼은 가로 5m×세로 5m×높이 2.3m(유효수량 45톤)의 정사각형 수조에 여과해수를 채우고 수용하였다. 여과해수는 30 μ m까지 여과할 수 있는 모래여과기를 통과한 해수를 10 μ m 여과능력의 필터백을 이용하여 2차 여과시켰고, 매일 50%를 환수하였고 염분은 32.2psu이었다. 에어공급은 수조 당 16개의 에어스톤을 설치하여 DO 7~8mg/L을 유지하였다.



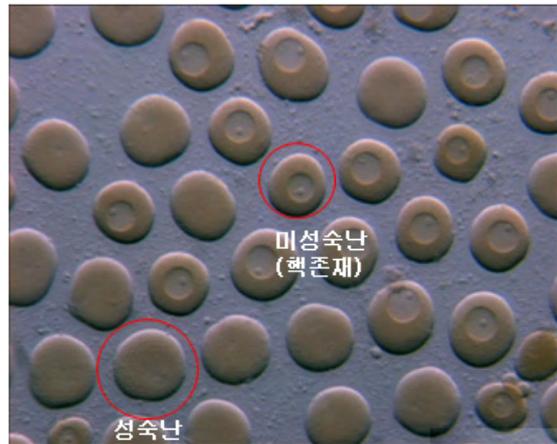
그림 2-9. 어미해삼 수조 관리

(4) 어미해삼 성숙속

여주시 남면 안도에서 구입한 어미해삼에 대한 성숙속 분석을 하였다. 생식소 중량지수(GSI)는 평균 7.6이었다. 어미해삼을 16℃로 성숙 관리 후 채란전 생식소 중량지수를 분석한 결과 GSI 13이상 성숙속 개체수는 22.7%였다(그림 2-10).



어미해삼 생식소



해삼 난 상태

그림 2-10. 어미해삼 채란전 생식소 및 난 상태

3. 산란유도 및 수정란 생산

가. 인위적 성성숙 유도 조기종묘 생산

(1) 산란유도

(가) 간출자극

1차 시험에서 어미해삼을 수용한 사육수조의 해수를 전량 배수하여 60분간 상온에 노출시켰다. 2차 시험에서 어미해삼을 수용한 사육수조의 해수를 전량 배수하여 40분간 상온에 노출시켰다.

(나) 표면자극

1차, 2차 시험에서 상온에 각각 60분, 40분간 노출된 어미해삼을 1/3HP 수중양수기에서 나오는 수압을 이용하여 60분간 어미해삼의 표면에 살포하였다.

(다) 수온자극

1차 시험은 표면자극을 완료한 후 최종 사육수온인 20℃보다 4℃ 높은 24℃의 해수(유효수량 45톤)를 채웠고, 자동온도조절기가 부착된 3kw 히터봉을 이용하여 산란이 종료되는 시점까지 유지시켰다. 2차 시험은 표면자극을 완료한 후 최종 사육수온인 18℃보다 4℃ 높은 22℃의 해수(유효수량 45톤)를 채웠고, 1차 시험과 동일한 방법으로 온도를 유지시켰다. 사육수 가온은 히트펌프를 이용하였다.

(라) 정자 현탁액 살포

어미해삼이 수용된 수조에 만수위가 채워진 후 총 체중에 대한 생식소 중량이 5% 이상으로 육안으로 충분히 발달한 수컷의 정소를 2마리에서 추출하여 80 μ m 물리가체에 담아 짜내어 여과해수 10L에 희석한 정자 현탁액을 제조하여 어미해삼이 수용된 수조에 살포하였다.

(2) 산란, 수정란 부화 및 발생

1차 조기종묘생산 시험에서 어미해삼의 방란·방정이 완료된 2011년 3월 22일

8:50분에 수조내의 어미해삼을 전량 수거한 후 평판 PVC재질로 제작한 가로 50cm×세로 25cm의 뜸판을 이용해 수조 저면에서 수정란을 부상시킨 후 10ml 피펫을 이용하여 수정란을 계수하여 총 입식수량 45톤에 대한 개체수를 산정하였다. 수정율은 만능투영기(NICON, V-12B)를 이용하여 100개체의 수정란을 검경하여 정상적으로 분열하는 개체를 계수하였다. 부화율은 아우리쿨라리아 유생으로 변태한 2011년 3월 24일 10ml 피펫을 이용하여 부화개체를 계수하여 총 입식수량 45톤에 대한 수정율 대비 부화율을 산정하였다.

1차 조기종묘생산 시험에서 산란은 수컷 1마리가 방정을 시작하였고 50분 후에 암컷이 1마리 방란하였다. 2012년 4월 8일에 실시한 2차 조기종묘생산 시험에서 암컷과 수컷은 모두 1차와 같이 수컷과 암컷 1마리 산란하였다. 방란, 방정은 두부의 생식공을 통하여 이루어졌으며 방란·방정 직전의 어미해삼은 수조 벽면 상층부에서 두부를 좌우로 흔들었다. 암컷에서 생식공을 통해 배출된 난은 담황색의 한줄기 선으로 되며 수류의 흐름을 따라 흘러가다 천천히 수면 아래로 가라앉았다. 수컷에서 배출된 정액은 유백색으로 연기가 흩어지듯이 수중에서 흩어져 수조내부의 해수를 혼탁하게 하였다. 수정란이 수용된 수조에는 에어를 약하게 공급하고 부화 완료 시점까지 1시간 간격으로 뜸판을 이용해 수정란을 부상시켜 주었다.

1차 조기종묘생산 시험에서 성숙된 난자는 구형이며 직경이 126~175 μ m이었고, 외피막의 두께는 약 13~18 μ m이었다. 수정 후 주위로부터 한 층의 수정막이 모이고 수정란과 난 세포사이에 일정한 간격이 형성되었다. 수정 후 10분경에 난의 동물극에서 첫 극체가 형성되었고, 20분부터 두 번째 극체가 형성되는 것을 관찰할 수 있었다. 분열된 배체는 매우 정연하고 규칙적이며, 수온 22℃에서 49분부터 1차분열(2세포기)이 시작되었다. 2차분열(4세포기)은 54분부터 시작되었고 3차분열(8세포기)은 72분부터 시작되었다. 4차분열(16세포기)은 109분부터 시작되었고, 포배기는 9시간 45분부터 시작되었으며, 수정란 내부의 배낭이 회전하는 시점은 12시간 후부터 시작되었다. 낭배기는 수정 후 20시간 20분부터 시작되었

고 아우리쿨라리아로 변태하는 시점은 수정 후 24시간이 소요되었다. 1차 시험의 조기종묘생산에 따른 수정란 생산량 및 수정율 및 부화율은 표 2-4에 나타난 바와 같다. 수정란 생산량은 200백만개로 정상적인 어미해삼 1마리의 산란량이 150~200만 개체임을 감안할 경우 1마리의 암컷에서 산란한 것으로 추정된다. 수정란 100개체를 검경한 결과 정상 발생하는 난이 95개로 조사되었으며, 50ml 비이커로 부화 개체를 계수한 결과 평균 1.8마리 내외가 조사되어 부화율은 84%를 나타내었다(표 1-4).

표 2-4. 1차 조기종묘생산 수정란 계수 및 수정률, 부화율 조사

일 자	수정란(만마리)	수정률(%)	부화율(%)	비 고
2011. 3. 22	200	95	84	
※ 수정란 100개체 중 95개체 정상 발생 ※ 수정란 200만마리 중 160만마리 부화				

2012년 4월 8일에 실시한 2차 조기종묘생산 시험에서는 100만개의 수정란을 확보하였다. 수정란이 수용된 수조에는 에어를 약하게 공급하고 부화 완료 시점까지 1시간 간격으로 뜬판을 이용해 수정란을 부상시켜 주었다. 수정란부터 부화 시까지 사육수 수온은 22℃, 염분은 32psu, DO는 6~8mg/L이었고, 부화율은 약 80%였다(표 2-5).

표 2-5. 2차 조기종묘생산 수정란 생산 및 수정률, 부화율 조사

일 자	수정란(만마리)	수정률(%)	부화율(%)	비 고
2012. 4. 8	100	90	80	
※ 수정란 100만마리 중 80만마리 부화				

나. 자연산란 유도 조기종묘 생산

(1) 산란유도

4월 18일 안도에서 1차 구입한 해삼 40kg와 4월 24일 2차 구입한 20kg 해삼을 수온 16℃인 45톤 수조에서 관리하여 산란을 유도하였다. 산란유도는 16℃로 가온 관리하면서 자연적으로 산란이 되도록 유도하였다. 이는 산란할 수 있는 생식소 지수가 초기에 평균 7.6였으며 단기간 내에 충분히 자연적인 산란을 유도할 수 있을 것으로 판단하였다. 이미 2차에 거친 조기종묘 산란 유도에서 인위적 유도로는 충분한 효과를 거둘 수 없었다. 따라서 지속적으로 산란여부를 관찰하였으며 자연산란을 수조 내에서 유도하여 5월 2일 21시에 수컷의 방정과 함께 암컷의 방란이 시작하였다.(그림 2-11).



그림 2-11. 해삼 산란

(2) 산란, 수정란 부화 및 발생

2012년 5월 2일 21:00에 수컷 5마리가 방란을 시작하였고 사육수가 유백색으로 변하는 시점부터 수면근처 벽면에서 방정하는 수컷은 제거하였다. 어미해삼의 방란·방정이 완료된 2012년 5월 3일 3:30에 수조내의 어미해삼을 쪽대(망목크기 10mm)를 이용하여 전량 수거하여 별도의 수조에 수용하였다. 어미해삼을 전량 수거한 후 평판 PVC재질로 제작한 가로 50cm×세로 25cm의 뜰판을 이용해 1시

간 간격으로 상하로 움직이면서 수정란을 부상하도록 하였다. 총 5,000만 개의 수정란을 생산하였다.

산란한 해삼 난의 전체적인 수정률은 98%이고, 부화율은 94%를 유지하였으며, 수정란부터 부화 시까지 사육수 수온은 16℃, 염분은 32psu, DO는 7~8mg/L이었고, 내부조도는 암흑 상태를 유지하였다(표 2-6). 수정란의 난 발생은 기존과 같이 거의 동일한 단계를 거쳐 난분할이 이루어졌고 아우리쿨라리아로 부화하였으며 소요시간은 23시간 정도 소요되었다(그림 2-12).

표 2-6. 수정란 및 수정율, 부화율 조사

일 자	수정란(만마리)	수정률(%)	부화율(%)	비 고
2012. 5. 2	5,000	98	93.8	
※ 수정란 5,000만마리 중 4,700만마리 부화				

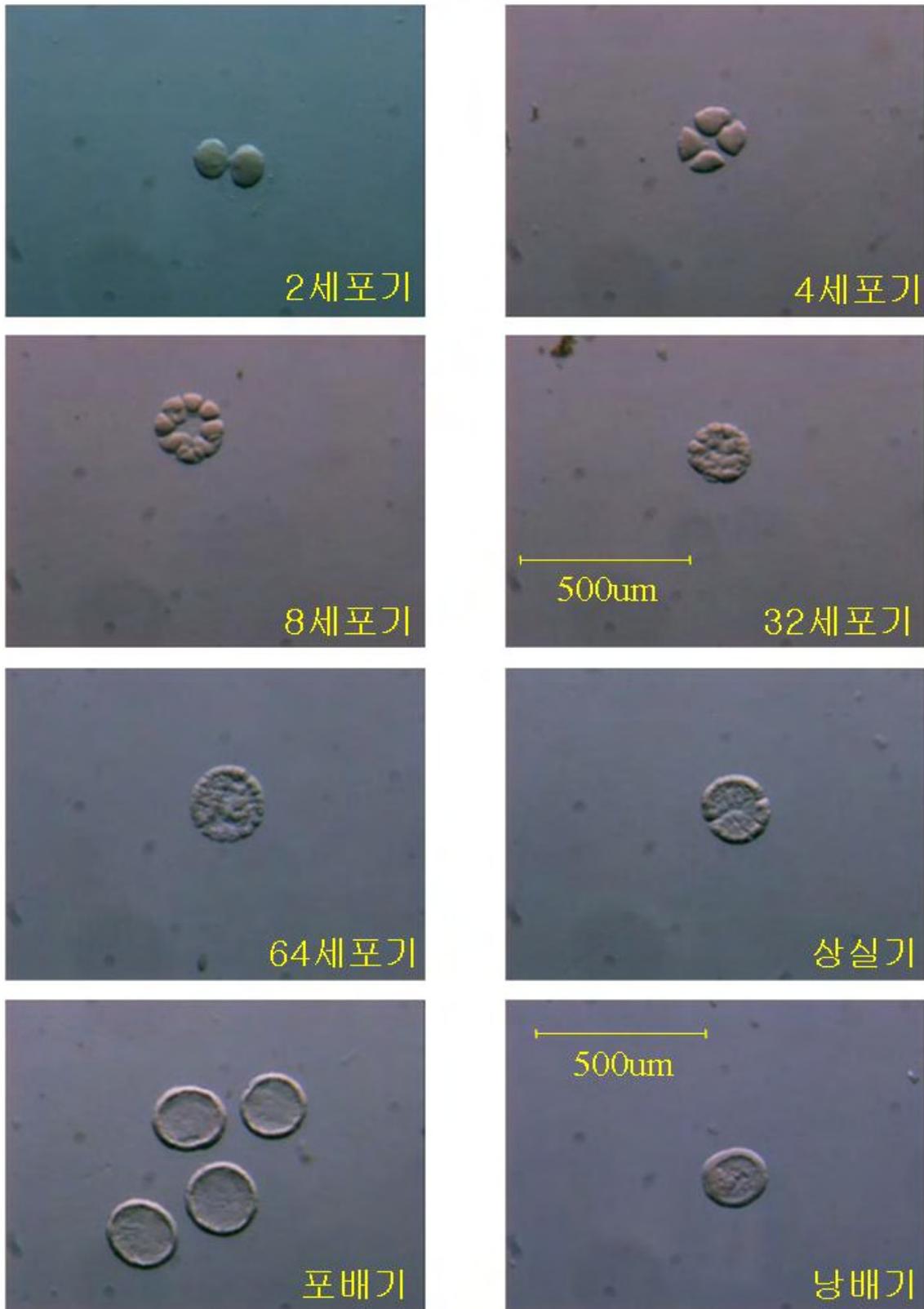


그림 2-12. 해삼 수정란 난분할과정

4. 해삼 부유유생 관리

가. 인위적 성성숙 유도 조기증묘 생산

(1) 환경관리

1차·2차 조기증묘 시험 기간 동안 환수는 낭배기에 사육수의 50%를 배수하고 만수위가 되는 시점까지 일일 10~20cm씩 증수시켰다. 만수위가 되는 시점부터는 일일 50%를 배수하고 만수위를 채우는 방법으로 환수하였다. 환수하는 시간은 먹이생물 급이 후 5시간이 경과한 시점에서 환수를 시작하였다. 환수틀을 이용하여 환수하는 경우에는 환수틀 망목에 부착되는 유생을 떨어뜨려 주기 위해 환수틀 안에서 사육수를 수시로 뿌려주었다. 사육수의 산소공급은 각 수조에 직경 3cm, 길이 10cm의 에어스톤 16개를 설치하여 공기방울이 약하게 분산되도록 조정하여 공급하였다. 사육기간 동안의 사육실 내부 조도는 1,000lux가 넘지 않도록 하였다. 1차 조기증묘생산 시험에서 해삼 유생관리 수온은 20℃로 유지하도록 하였으며, 2차 조기증묘생산 시험에서는 해삼 유생관리 수온을 16~17℃로 유지하였다.

(2) 부유유생 관리

1차·2차 조기증묘 생산 시험에서 아우리쿨라리아부터 초기 펜탁툴라 유생까지 중국에서 수입한 1L 용량의 농축 먹이생물 3종(각모조(*Chaetoceros* spp., 1억 cells/ml), 효모(*Yeast, Rhodotorula* colony, 100억cells/ml), 염조(*Dunaliella salina*, 5,000만cells/ml))을 혼합하여 급이하였다. 냉동된 농축 먹이생물은 흐르는 해수에 용기를 담가서 해동한 후 20L들이 플라스틱 용기에 여과해수 15L를 담고 희석하여 50 μ m 물러가제로 고형물을 제거한 후 여과해수에 희석하여 수면에 고르게 살포하여 급이 하였다. 일일 급이량은 1~3회까지 수색을 보며 급이량을 조정하였다.

1차 조기증묘 시험에서는 부유유생인 아우리쿨라리아기에서 착저 유생인 펜탁툴라기까지 도달하는데 총 17일이 소요되었다. 아우리쿨라리아 유생동안 총 10일이 소요되었으며 초기 아우리쿨라리아는 수정란에서 변태 후 2일, 중기는 4일,

후기는 4일 썩 유지되었다. 돌리올라리아는 후기 아우리쿨라리아에서 2일 만에 변태하였고, 착저기에 들어가는 펜탁툴라는 부화후 13~17일, 어린해삼은 18~20일 안에 변태하였다(표 2-7).

표 2-7. 해삼의 유생 단계별 소요일자

부유유생 단계	(부화후)경과일수	비 고
초기 아우리쿨라리아	1~2일	
중기 아우리쿨라리아	5~6일	
후기 아우리쿨라리아	10일	
돌리올라리아	12일	
펜탁툴라	13~17일	
어린해삼	18~21일	

우리나라의 경우 해삼 유생 시기 때에 수온은 20℃ 미만이 적수온으로 기록된 자료가 있으나, 중국에서는 사육수온을 22℃ 내외로 유지하여 후기 돌리올라리아 유생의 착저 비율을 높이고 있다. 본 실험에서는 예정 착저 시기보다 다소 늦게 착저하여 어린해삼으로 변태하였다. 정상 변태를 거치는 유생은 사육수온을 22℃로 유지할 경우 10일 전후로 착저에 들어가야 정상이며 13일 이후에도 착저하지 않는 경우에는 어린해삼의 기형발생과 생존율에 좋지 않은 영향을 미친다고 보고되고 있다.

1차 조기종묘생산 시험에서 돌리올라리아기부터 펜탁툴라기까지 사육기간 중의 유생 생존율은 표 2-8에 나타난 바와 같다. 초기 아우리쿨라리아는 전장이 380 μ m 내외였으며 후기에는 640 μ m까지 성장하였다. 이후 돌리올라리아 시기에는 전장이 급격히 줄어들어 320 μ m를 나타내었다. 유생시기의 생존율은 초기 아우리쿨라리아 시기에는 160만 마리에서 착저기 유생인 후기 돌리올라리아 시기에는 150만 마리로 94%의 생존률을 나타냈다(표 2-8).

표 2-8. 1차 조기종묘생산 시험 해삼 부유유생기의 생존율

부유유생 단계	생존율(만마리)	생존율(%)	비 고
아우리쿨라리아	160	100	
돌리올라리아	157	98	
펜탁툴라	150	94	

2차 조기종묘 시험에서는 부유유생기인 아우리쿨라리아에서 착저 유생인 펜탁툴라기까지는 25일이 소요되었다. 이는 부유유생 관리 수온이 16~17℃로 일반적인 유생관리 수온인 22℃ 보다 저수온으로 관리한 경우로 유생관리 기간이 길어지고 변태율 및 채묘율이 낮았다(표 2-9).

표 2-9. 2차 조기종묘생산 시험 해삼 부유유생기의 생존율

부유유생 단계	생존율(만마리)	생존율(%)	비 고
아우리쿨라리아	80	100	
돌리올라리아	20	20	
펜탁툴라	10	10	

나. 자연산란 유도 조기종묘 생산

(1) 환경관리

부유유생을 분조할 수조는 차아염소산나트륨(유효염소 5%, NaClO)을 100배 희석하여 브리시로 벽면 및 바닥면을 소독하였고, 담수를 이용하여 충분히 세척하여 차아염소산나트륨이 잔류하여 나타나는 독성을 제거하였다. 수정란에서 변태하여 부유유생이 시작되는 2012년 5월 3일 아우리쿨라리아에서 착저기인 2012년 5월 14일까지 사육수는 모래여과기를 통과한 여과해수를 10 μ m 필터백을 이용하

여 2번 여과한 해수를 사용하였다. 사육수 환수는 부유유생 밀도 조정을 위해 수조를 분조한 경우에는 분조 후 증수하여 만수위를 채워 일일 40%의 환수량을 유지하여 주었고, 분조가 없는 경우에는 유생크기를 고려한 물리가제를 이용하여 가로 1m×세로 1m×높이 1.3m로 제작한 환수틀을 이용하여 총 사육수량의 40%를 배수하고 만수위를 채우는 방법으로 환수하였다(그림 2-13). 환수하는 시간은 먹이생물 급이 후 5시간이 경과한 시점에서 환수를 시작하였다. 환수틀을 이용하여 환수하는 경우에는 환수틀 망목에 부착되는 유생을 떨어뜨려 주기 위해 환수틀 안에서 사육수를 수시로 뿌려주었다. 사육수의 산소공급은 각 수조에 직경 3cm, 길이 10cm의 에어스톤 16개를 설치하여 공기방울이 약하게 분산되도록 조정하여 공급하였다. 부유유생 관리기간 동안 수온은 5월 5일까지 일일 1℃씩 증가시켜 20℃로 가온하였으며 6월 1일 부터는 25℃로 관리하였다(그림 2-14). 가온수 관리는 히트펌프를 이용하였으며 8개 사육수조의 40% 가온수를 확보할 수 있도록 가온수조를 이용하여 저장하였다. 가온된 물은 다시 해삼유생 관리동에 1차 여과하여 저장하였고 이를 다시 환수에 2차 여과하여 사용하였다.



그림 2-13. 해삼 부유유생 관리 사각 환수틀

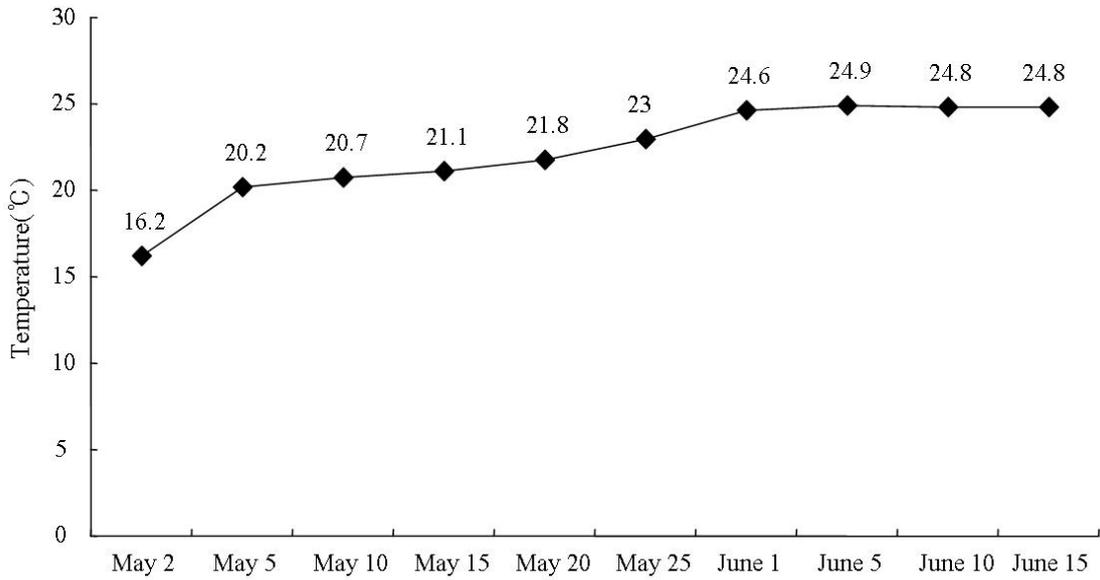


그림 2-14. 해삼 유생관리 중 수온변화(°C)

(2) 부유유생 관리

수정란을 수용한 1개 수조에서 아우리쿨라리아로 변태한 유생은 4,700만 마리로 8개 수조로 분조하여 유생 관리를 하였다. 아우리쿨라리아부터 초기 펜탁틀라 유생까지 12일간 중국에서 수입한 1L 용량의 농축 먹이생물 3종(홍효모 100억 cells/ml, 각모조 1억cells/ml, 염조 5,000만cells/ml, 제조사 익삼보)을 혼합급이하였다(그림 2-15). 착저기에 임박한 돌리올라리아기에는 유생이 3,800만 마리, 펜탁틀라 단계에서는 3,000만 마리로 유지되었다(표 2-10, 그림 2-16, 그림 2-17). 냉동된 농축 먹이생물은 흐르는 해수에 용기를 담가서 해동한 후 20L 플라스틱 용기에 여과해수 15L를 담고 희석하여 50 μ m 물러가제로 고형물을 제거한 후 급이할 수조 갯수에 동일하게 분배하여 여과해수를 채운 후 1L 플라스틱 바가지를 이용하여 수면에 고르게 살포하여 급이하였다. 일일 급이량은 1~3회까지 조정하였으며 유생의 위내용물을 현미경으로 관찰하여 먹이소화 정도를 관찰하며 급이량을 조절하였다. 세부적인 급이관계는 표 2-10과 같다.



그림 2-15. 해삼 부유유생 중국산 농축 먹이

표 2-10. 해삼 유생 성장 단계별 먹이생물 급이량

일자 (2012)	발생단계	유생수량 (만마리)	사육수조 (45톤)	총 급이량 (L/일)	급이횟수 (회/일)	환수율 (%)	
5.2	수정란	5,000	1	-	-		
5.3	아우리 쿨라리아	4,700	3			30	
5.4		4,700	4	각모조 8ℓ 홍효모 1.6ℓ	1	40	
5.5		4,700	8	각모조 8ℓ 홍효모 1.6ℓ	1	40	
5.6		4,600	8	각모조 10ℓ 홍효모 2.8ℓ	2	40	
5.7		4,000	8	각모조 12ℓ 홍효모 3.2ℓ 염조 6ℓ	2	40	
5.8		4,000	8	각모조 12ℓ 홍효모 4ℓ 염조 5.12ℓ	2	40	
5.9		4,000	8	각모조 12ℓ 홍효모 4ℓ 염조 8ℓ	3	40	
5.10		4,000	8	각모조 12ℓ 홍효모 4ℓ 염조 8ℓ	3	40	
5.11		돌리올라리아	3,800	8	각모조 12ℓ 홍효모 4ℓ 염조 8ℓ	3	40
5.12			3,800	8	각모조 16ℓ 홍효모 4ℓ 염조 8ℓ	3	40
5.13	펜탁틀라	3,000	8	각모조 16ℓ 홍효모 8ℓ 염조 12ℓ	3	40	
5.14		3,000	8	각모조 16ℓ 홍효모 8ℓ 염조 12ℓ	3	40	

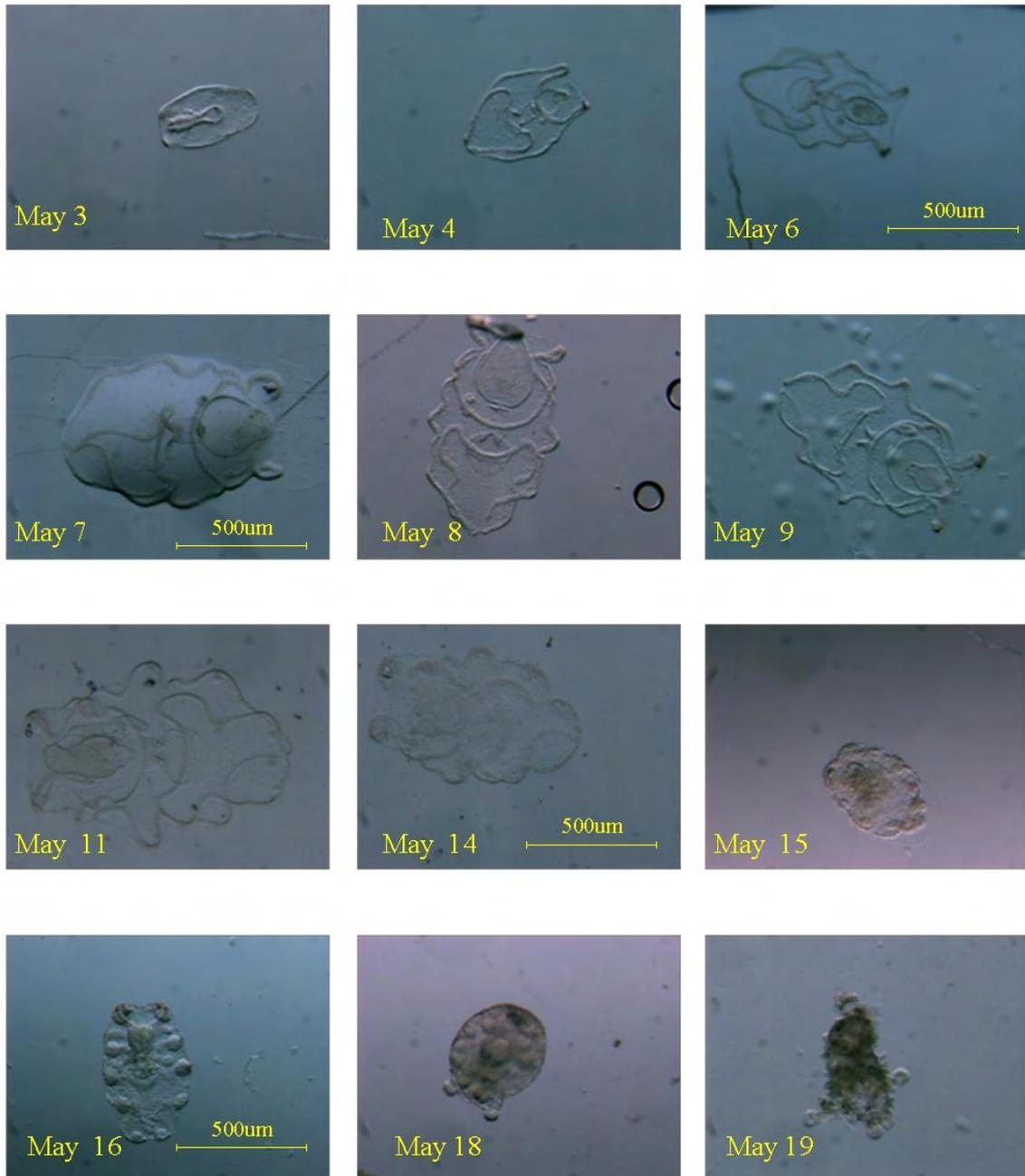


그림 2-16. 해삼 부유유생 발달단계

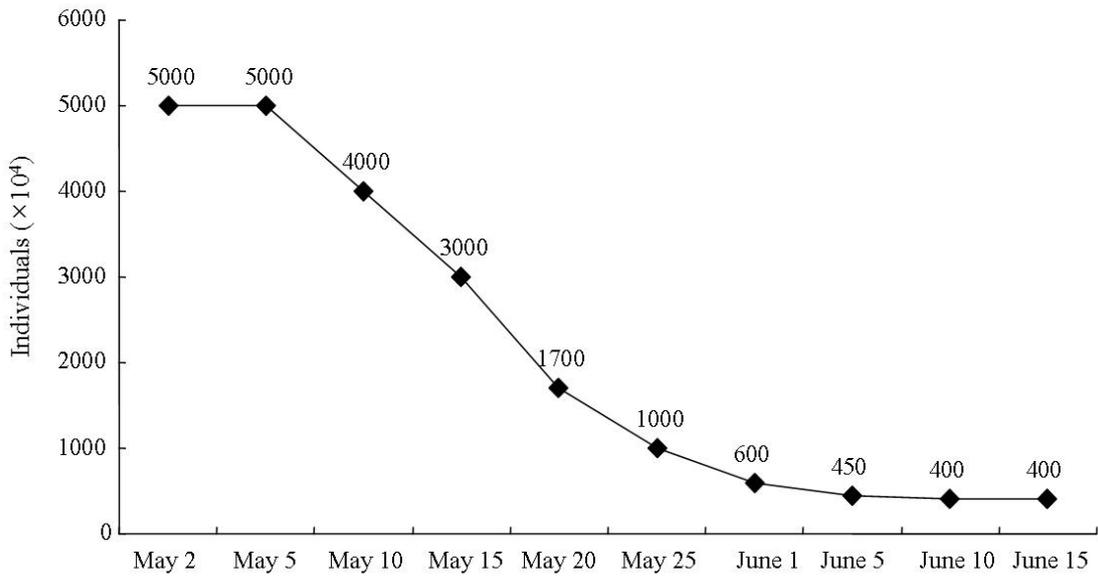


그림 2-17. 해삼 부유유생 및 착저 후 어린해삼 개체수 변화

5. 부착 및 어린해삼 관리

가. 인위적 성성숙 유도 조기종묘 생산

(1) 착저유생 사육관리

1차 조기종묘에서는 착저기에 들어가는 후기 돌리올라리아가 출현한 2011년 4월 2일 염화비닐 골파판(가로 50cm×세로 30cm) 18장이 한 세트인 홀더 86세트를 수평으로 투입하였다. 사육수 환수는 착저기 유생인 펜탁틀라 유생기간 동안 유생크기를 고려한 물러가제를 이용하여 가로 1m×세로 1m×높이 1.3m로 제작한 환수틀을 이용하여 10 μ m까지 여과한 자연해수를 매일 50%를 배수하고 만수위를 채우는 방법으로 환수하였다.

이 시기의 먹이사료는 2010년도와 동일한 방법으로 급이하였다. 부유유생과 착저유생이 공존하는 초기에는 농축 먹이생물 3종과 유삼기 배합사료를 각각 급이하였다. 급이량 산정은 파판에 남아있는 사료의 잔량을 감안하여 사육해수 1톤당 일일 1~3g을 유동적으로 급이하였다. 사육기간중 발생하는 병원성 요각류 구제를

위해 파판 또는 벽면에 요각류가 발견될 경우에는 트리클로로폰 제제를 1ppm 농도로 살포하고 5시간 후부터 100% 환수하였다.

(2) 어린해삼 사육관리

어린해삼으로 변태하는 2011년 4월 9일부터 배합사료만 급이하기 시작하였으며 배합사료를 급이하는 16시 이전인 매일 8시부터 15시까지 유수식으로 사육수량의 50%를 환수하였다. 그러나 요각류 또는 세균성 질병에 의한 약육 처리 시에는 환수량을 200% 이상으로 증수하였다. 사육수는 30 μ m 섬유여과기를 통과한 여과해수를 5 μ m 필터백을 이용하여 2번 여과한 해수를 사용하였다. 배합사료 제조는 착저 유생기에 급이한 방법과 동일하게 제조하여 급이하였다. 어린해삼 사육기간 중 수온은 22 $^{\circ}$ C였으며 5월 13일까지 일정하게 동일 수온을 유지하였다. 2차 조기종묘 실험에서도 어린해삼관리는 1차와 동일한 방법으로 추진하였다. 수온관리는 5월 2일 이후에 일일 1 $^{\circ}$ C씩 증가하여 22 $^{\circ}$ C로 관리하다가 6월부터는 25 $^{\circ}$ C로 관리하였다. 관리기간 동안 요각류 출현은 관찰되지 않았다.

(3) 착저유생 및 어린해삼의 생존율

1차 조기종묘에서 착저유생 및 어린해삼의 생존율은 2011년 4월 10일부터 전장 1cm 내외까지 성장한 2011년 5월 13일까지 2주 간격으로 파판에 부착된 해삼을 무작위로 계수하여 생존율을 조사하였다.

1차 조기종묘생산에서 펜탁톨라 유생은 4일 동안 전량 부착기질에 착저하였다. 2011년 4월 2일 부착기질인 파판을 투여한 결과 4월 6일에는 부유하는 개체를 관찰할 수 없었다. 일자별 채모율은 표 2-11에 나타난 바와 같이 2011년 4월 2일 20%, 4월 3일 25%, 4월 4일 40%, 4월 5일 75%, 4월 6일 100%가 착저하였다. 부유유생기의 먹이생물 급이량이 부족하거나 적정수온이 유지되지 못하는 등 사육환경이 적절하지 못할 경우에는 부유유생이 착저하지 못하고 장시간 부유하는 경우가 발생한다. 따라서 양질의 먹이생물을 부족하지 않도록 충분히 급이하고,

사육수 환수를 통해 깨끗한 사육환경을 조성하고 급격한 수온변동이 없도록 관리해야 한다.

표 2-11. 1차 조기종묘생산 일별 채묘율

일 자 (2011년)	채묘율	착저 유생수 (만마리)	착저밀도 (마리/장)	비 고
4. 2	20%	30	-	
4. 3	25%	38	-	
4. 4	40%	60	-	
4. 5	75%	113	-	
4. 6	100%	150	969	

1차 조기종묘 실험에서 4월에 150만개의 어린해삼을 생산하여 5월에 전장 1cm 내외로 성장하였고, 8월에 체중 1~8g 까지 성장하였다. 실험 완료시기인 10월 31일까지 체중 3~25g 종묘 1만 마리를 생산하였다(그림 2-18).

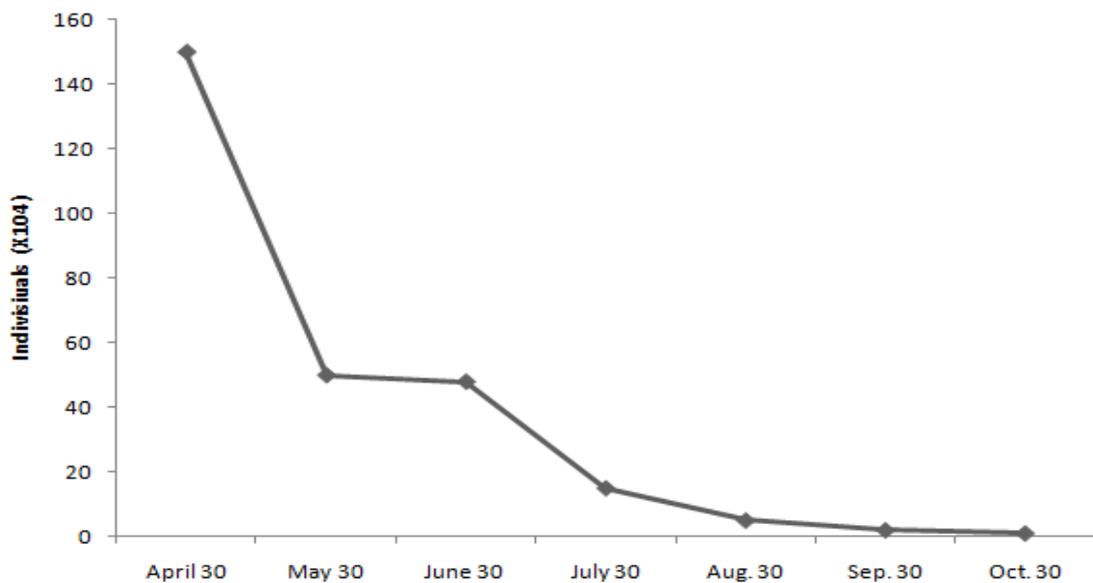


그림 2-18. 1차 조기종묘 월별 생존율

2차 조기종묘생산에서 착저 부착 까지 약 25일 정도 소요되었으며, 부착율은 50%내외 였다. 이는 16~17℃ 정도 저수온 관리로 변태기간이 길어지면서 유생관리에 약점으로 작용하였으며 변태율도 낮았다. 평균 1cm 도달 시기는 7월 10일이었으며 이때 까지 해삼 개체수는 3만 마리아었다. 선별된 개체는 중간육성 실용화 실험을 위해 분양하였다.

나. 자연산란 유도 조기종묘 생산

(1) 환경관리

착저기 유생인 후기 돌리올라리아기와 착저가 완료된 후기 펜탁툴라 유생기 동안 사육수 환수는 유생크기를 고려한 물러가제를 이용하여 가로 1m×세로 1m×높이 1.3m로 제작한 환수틀을 이용하였고, 10 μ m까지 여과한 자연해수를 매일 40~80%를 환수하였다. 사육수의 산소공급은 각 수조에 직경 3cm, 길이 10cm의 에어스톤 16개를 설치하여 공기방울이 약하게 분산되도록 조정하여 공급하였다. 사육기간 동안 수온은 25℃, 염분은 32psu, DO는 7~8mg/L을 유지하였고, 사육실 내부 조도는 600lux 미만을 유지하였다.

(2) 채 모

처음 사용하는 파판과 홀더는 제품생산에서 부착하는 기름성분을 제거하기 위하여 담수를 채운 수조에 수산화나트륨(NaOH, 98%)을 500ppm 농도로 녹여 24시간 침지한 후 담수를 이용하여 충분히 세척하여 사용하였다.

이후 파판 및 채모망은 담수를 이용하여 충분히 세척한 후 재사용하였다. 부유 유생기를 거쳐 착저기에 들어가는 후기 돌리올라리아가 출현한 2012년 5월 12일 총 8개 수조에 각 수조당 염화비닐 골파판(가로 50cm×세로 30cm) 18장이 한 세트로 구성된 홀더 86세트를 수평으로 투입하여 총 688세트 12,384장이 채모에 이용되었다.

채묘시기 판단은 후기 돌리올라리아의 출현율이 30%정도 일 때로 정하여 채묘 파판을 조심스럽게 수조에 투입하였다(그림 2-19). 후기 돌리올라리아는 24시간 이내에 펜탁톨라로 변태하여 착저가 완료되어, 3일 동안 전량 부착기질에 착저하였다(그림 2-20). 2012년 5월 12일 부착기질인 파판을 투여한 결과 5월 15일에는 부유하는 개체를 거의 볼 수 없었으며 채묘율은 표 2-12에 나타낸 바와 같다. 부유유생의 착저에 있어 중요한 것은 먹이생물 급이량과 수온이다. 먹이생물량이 부족하거나 적정수온이 유지되지 못하는 등 사육환경이 적절하지 못할 경우에는 부유유생이 착저 하지 못하고 장시간 부유하는 경우가 발생한다.

22℃ 수온관리에서는 부화 후 8일부터 부착하기 시작하나 저수온일 경우 이보다 훨씬 길어질 수 있다. 따라서 양질의 먹이생물을 부족하지 않도록 충분히 급이하고, 사육수 환수를 통해 깨끗한 사육환경을 조성하고 급격한 수온변동이 없도록 관리해야 한다.



그림 2-19. 착저유생 채묘 파판



그림 2-20. 파판부착 어린해삼

표 2-12. 자연산 해삼 단기관리 종묘생산 실험 부유유생 채묘율

일 자 (2012년)	채묘율	착저 유생수 (만마리)	비 고
5. 15	78.9%	3,000	
※ 2012년 5월 12일 후기 돌리올라리아 유생 3,800만마리를 100%로 산정			

(3) 어린해삼 관리

착저시기 초기 동안은 배합사료 및 먹이생물을 동시에 급이하였다. 후기 돌리올라리아에서 초기 펜탁툴라까지는 부유하는 개체와 착저하는 개체가 동시에 발생하기 때문에 중국에서 제조한 농축 먹이생물 3종과 배합사료를 각각 급이하였다. 기본 배합사료 제조는 배합사료원, 서미조(지층이 분말), 스피룰리나를 담수 또는 여과해수에 희석하여 끓인 후 상온에 식혔다. 기타 첨가제로는 복합비타민, 효모다당, 면역다당, 수산효모를 정량 배합하여 3종의 끓인 기본 배합사료가 식은 후 같이 첨가하여 두었다가 16시에 각각 정량을 분배하여 급이하였다. 배합사료

급이량은 파판에 남아있는 사료의 잔량을 감안하여 사육해수 1톤당 일일 5~7.5g을 유동적으로 급이하였다.

착저한 어린해삼의 배합사료 제조는 부착 유생기에 급이 한 방법과 동일하게 제조하였다. 배합사료 급이량은 전장 1cm 내외까지는 파판 및 채모망에 남아있는 사료의 잔량을 감안하여 사육해수 1톤당 일일 5~7.5g을 유동적으로 급이하였다.

사육수 환수는 매일 80%를 유지하였으며, 수온은 25℃를 유지하였다. 부착이 완료된 5월 15일부터 어린해삼으로의 성장은 6월 25일에 평균 1cm까지 성장하였으며 약 300만 마리가었다(그림 2-21).

어린해삼 사육시 발생하는 요각류 구제는 안정적인 종묘생산을 위하여 필수적으로 해결해야 할 문제이다(그림 2-22). 3차 조기종묘 생산 시험에서는 히트펌프를 통과한 가온수에서는 요각류 발생이 저감되었다. 이는 히트펌프를 통과한 여과해수가 가열되면서 요각류 발생에 영향을 주는 것으로 사료된다.

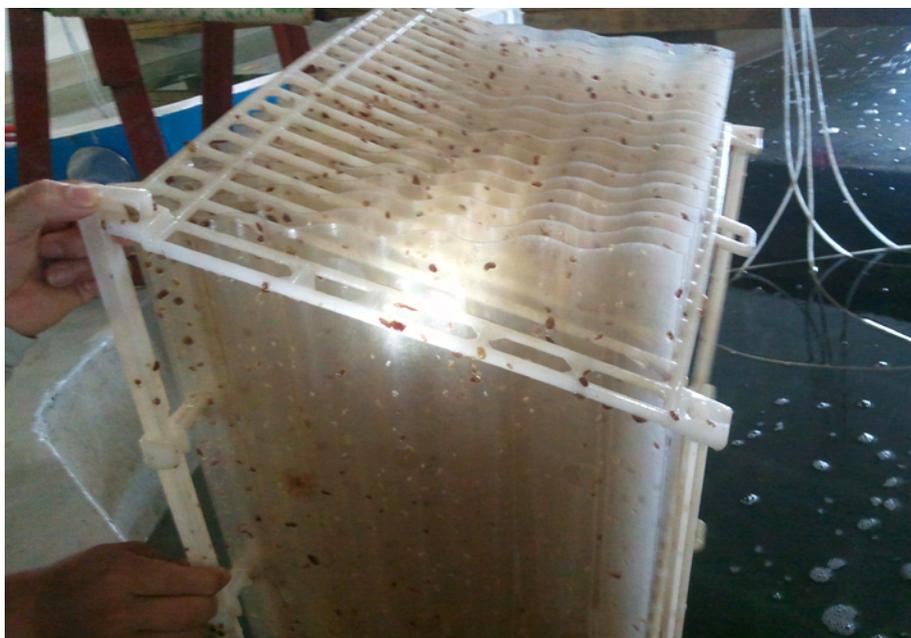


그림 2-21. 초기해삼종묘

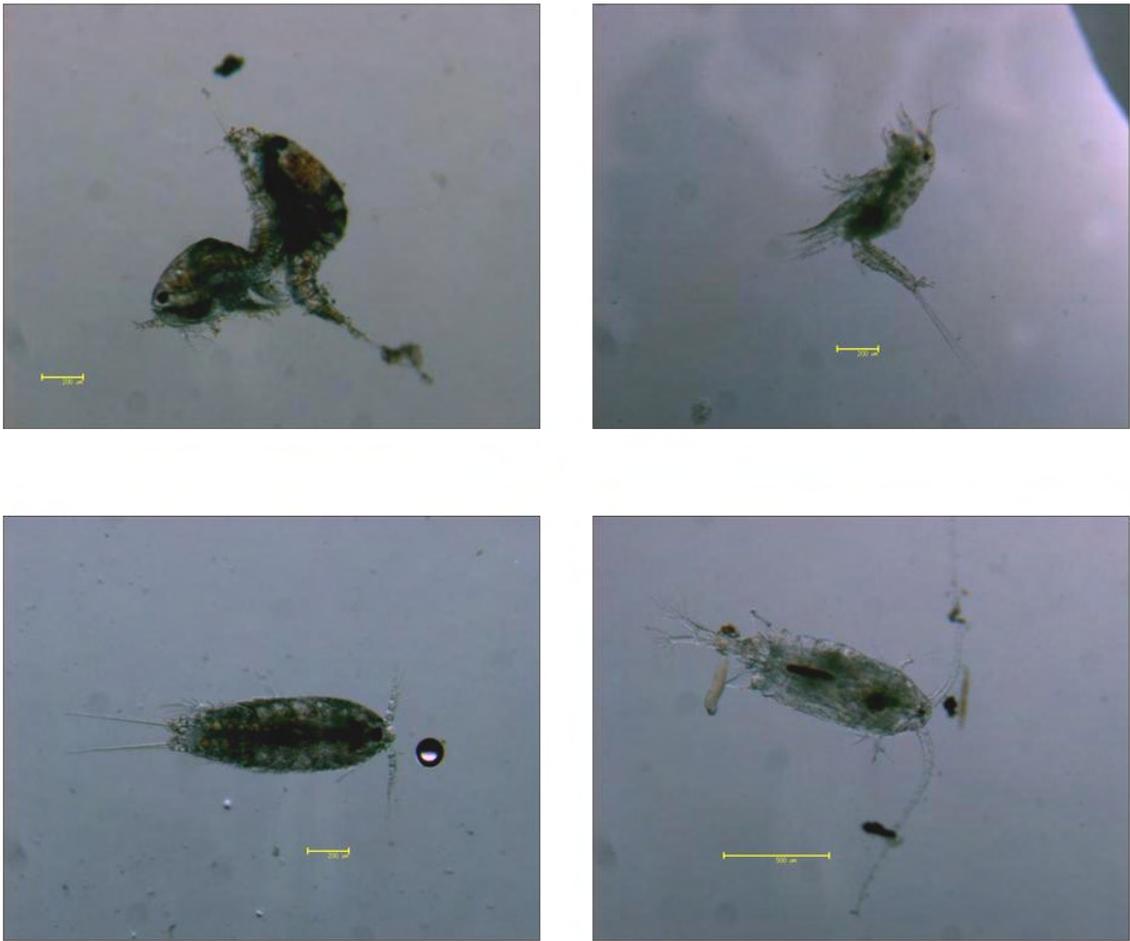


그림 2-22. 수조에 대량으로 발생한 요각류

6. 결 론

가. 기술비교 분석

(1) 일반종묘생산 vs. 조기종묘생산

중국의 경우 자연산란기 동안 일반종묘를 생산하는 업체도 있으나 대부분 겨울철 어미해삼을 가온 관리하여 조기종묘생산을 하고 있다. 이는 종묘생산 단가가 높지만 씨부림 또는 축제식 양성을 했을 경우 생산기간을 1년 정도 앞당길 수 있어 생산성을 높일 수 있기 때문이다. 양성에 소요되는 종묘의 크기도 지역 또는 업체에 따라 다양하지만 대부분 같은 조건이면 큰 종묘를 선호한다(표

2-13). 씨뿌림 또는 축제식 양식의 경우 여름철 1g 내외를 입식한 종묘가 가을철 5g 종묘를 입식했을 때와 성장률을 비교해 보면 같은 시기에 동일한 크기로 성장하기 때문에 더욱 조기종묘생산에 주력하고 있다. 최근 중국은 전장 1cm 내외의 종묘를 조기에 생산하여 하절기 이전에 축제식 양식장에 소형 가두리를 설치하고 중간육성하여 생산비를 줄이고 생산량을 대폭 증대시키고 있다.

이번 2년간의 연구사업을 통해 일반 종묘는 대량으로 생산할 수 있는 가능성을 보았다. 생산 면적 600m², 수량 800m³을 사용하여 3~8g/마리 종묘를 100만 마리 생산하였다. 이는 중국 생산량에 비해 높은 수준이다. 아직까지 국내 조기종묘생산 기술력은 부족하지만 안정적인 성숙 조건만 규명한다면 충분히 종묘를 조기에 생산하여 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

1cm 크기 해삼 종묘 생산을 위한 비용분석을 살펴보면 300만 마리 생산 시 2.5개월이 소요되며, 인건비 4명에 25백만원, 모삼구입비 1.2백만원, 파판구입 등 10.56백만원, 먹이생물 및 사료, 영양제 구입 등 6.95백만원, 운영비 0.8백만원으로 총 44.51백만원으로 개체 당 15월으로 추정된다(표 2-14). 이는 생산량 및 배양장 여건에 따라 변동될 수 있다.

표 2-13. 조기종묘 및 일반종묘생산 비교

구 분	조기 종묘	일반종묘	비 고
어미해삼 확보	전년 11 ~ 2월	당년 산란기	
채란시기	3월 ~ 4월	6월 ~ 8월	
어린해삼 생산시기	4월 ~ 5월	6월 ~ 9월	
중간종묘 생산시기	7월 ~ 8월	10월 ~ 11월	
사육기간 중 생존율	높다	낮다	
생산비	높다	낮다	유류비 및 노동력 투여
방류 및 분양시기	여름철 수온상승기	가을철 수온하강기	
분양 후 생존율	높다	낮다	
질병감염 및 해적생물 출현 빈도	낮다	높다	
당년 성장도	높다(10g/마리)	낮다(최대 5g/마리)	
어미해삼 생산기간	2년	3년	생산성 향상

표 2-14. 해삼 종묘생산 비용분석

구 분	금 액(백만원)	비 고
인건비	25	4인
먹이생물 및 사료비	6.95	
모삼구입	1.2	
파판 등	10.56	
기 타	0.8	히트펌프
총 계	44.51	15원/cm/개체

(2) 외국 기술개발 실태

조기종묘생산은 당년에 우량해삼종묘를 생산하기 위해서는 필요한 기술로, 중국에서는 이미 이에 대한 기술을 확보하고 있다. 산동성 지역에서는 11월부터 어미해삼을 관리하여 익년 2~3월에 종묘생산에 사용하고 있으며, 요녕성 지역에서는 종묘생산 한두 달 전에 어미해삼을 구하여 관리하여 종묘생산을 시도하고 있다. 중국에서는 산란 가능한 적산수온 산정은 하한수온을 8℃로 하여 이때부터 증가된 수온을 누적하여 계산하며 적산수온을 800℃로 잡고 있다.

일본에서 조기종묘생산을 위한 어미해삼 관리는 중국과 시기적으로 약간 비슷하지만 기준은 좀 다르다. 보통 홋카이도에서는 10월 정도에 어미해삼 관리가 들어간다. 이것의 기준은 중국과 달리 기초수온을 기준으로 계산하지 않고 해삼소화기관 생성 시기를 기준으로 적산수온을 산정한다. 이때부터 하루에 2℃ 온도를 올려 18℃정도를 유지한다. 적산수온이 1,200℃정도 되면 산란이 시작되며 1,800~2,000℃가 가장 적기이다(그림 2-23). 3,000℃가 넘으면 산란은 하지 않는 것으로 제시하고 있다. 홋카이도에서는 지역에 따라 5~6월, 8~9월에 종묘를 받을 수 있는 데 인위적 성성숙 관리를 통해 종묘생산을 앞당길 수 있으며 4월경에 가능한 것으로 조사되었다.

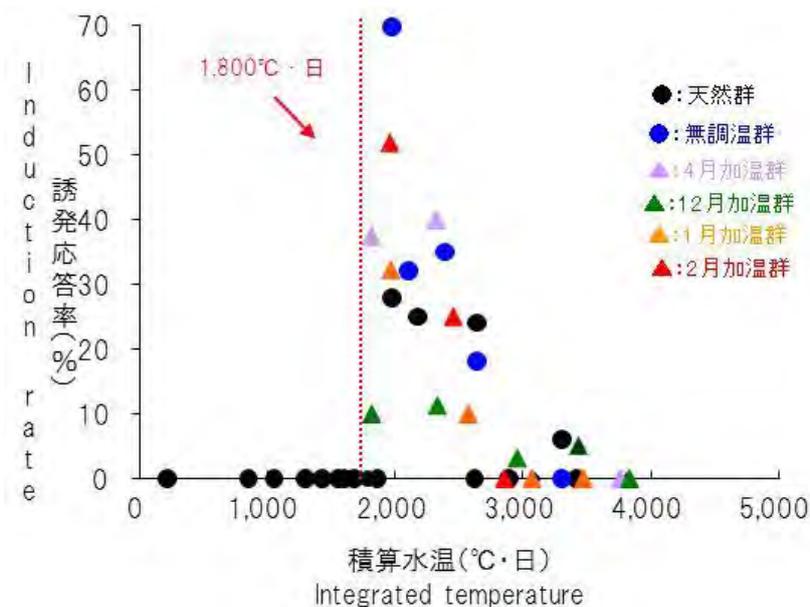


그림 2-23. 적산수온에 따른 해삼 산란

산란유도는 개별 관리를 통한 온도자극으로 산란을 유도하며 자연 상태의 해삼에서 산란한 난과 동일한 크기의 난을 방란하고 보통 온도자극에 의해 30% 산란율을 보인다고 한다(그림 2-24).



그림 2-24. 어미해삼 산란 자극 시설

또한 일본에서는 유생관리를 소규모 고밀도 방식을 유지한다. 이번 종묘 생산 연구의 경우 1ml당 0.1개체를 유지하지만, 일본에서는 1~2개체/ml, 최대 5개체/ml 까지 유생밀도를 높이는 것으로 조사되었다. 수조는 200L 크기를 사용한다(그림 2-25). 이것은 유생을 사육하는 시스템 및 먹이생물 공급의 차이로 보인다. 일본의 경우 소형 수조에서 고밀도를 유지할 수 있는 방법은 유생과 난이 아래로 가라앉지 않도록 에어 공급을 1.5~2L/min을 함으로써 유생의 침강을 방지하여 사멸을 막을 수 있고 생먹이를 공급하여 수질을 관리하기 때문이다. 또한 유생이 부착 할 때 까지 환수는 거의 없다고 한다. 먹이생물은 *Chaetoceros gracilis* 로 1ml 당 유생 한 개체일 경우 10,000cells/ml 기준으로 공급한다. 해삼 부유유생 부착은 파판을 사용하며 부착규조를 먹이로 공급한다(그림 2-26).



그림 2-25. 해삼 유생 관리 시설



그림 2-26. 해삼 유생 부착 파판 및 규조류 배양

핵심 사항

- 해삼 조기종묘 생산을 위해서는 어미해삼 관리가 필수적임
- 조기종묘생산은 이미 중국과 일본에서 기술이 정착되어 있어 일반종묘 생산 보다 2~4개월 빨리 종묘를 생산하여 양식장에 입식함
- 중국 요녕성 지역에서는 종묘생산 1~2개월 전에 어미해삼을 관리하여 종묘생산에 이용하며, 산둥성 지역에서는 10월에 어미해삼 관리에 들어가서 다음해 3월 경 해삼 종묘생산을 시작함. 중국에서는 적산수온을 하한수온 8℃로 시작하여 800℃로 보고 있음
- 일본(홋카이도)에서는 중국과 달리 해삼이 하면(夏眠)에서 깨어난 후 소화관이 생성 활성화 되는 시기인 10월에 어미해삼을 관리하며 적산수온이 1,800~2,000℃에 이르렀을 때 종묘생산을 시작함
- 국내에서는 인위적 성성숙을 통한 조기종묘생산이 정착되기 전에 자연산 해삼의 조기 산란 유도 시험을 추진한 결과 성공적이었음
- 조기 산란을 위한 어미해삼 확보는 국내 연안 수온 분포를 보았을 때 남해안 지역이 유리한 것으로 조사됨
- 또한 일반종묘보다 조기에 종묘생산을 추진하므로 요각류 등에 의한 피해가 줄어들었으며, 가온수는 히트펌프를 활용한 결과 효과적이었음
- 인위적으로 온도 제어가 가능하므로 일반종묘 보다 성장을 앞당길 수 있는 장점을 보임



| 제3장 |

해삼 중간육성 기술개발

1. 서 론
2. 해삼 중간육성 기술개발 연구
3. 중간육성 현장실용화 진단
4. 결 론

제3장 해삼 중간육성 기술개발



1. 서 론

해삼 종묘생산에서 중간육성은 아주 중요한 단계이다. 실질적으로 종묘생산단계에서 구분이 잘 되지 않는 공정이기도 하나, 일반적으로 1cm 크기의 초기 종묘까지를 종묘생산, 1cm 크기에서 5g 크기까지 성장을 중간육성으로 구분하고 있다. 초기 종묘를 입식하여 중간육성 단계에서는 대부분 배합사료에 의존하고 있으며 이 시기에 많은 폐사가 발생할 수 있다. 따라서 중간육성에 필요한 적절한 기술이 정립되어야 한다. 이에 필요한 요소로는 수질환경관리, 해충 및 질병 예방, 사료 급이 그리고 적정 육성 밀도라 할 수 있다. 본 연구에서는 우선 기본적인 중간육성의 적정 사육밀도 및 실내·외 중간육성, 복합중간육성을 비교 실험하여 적절한 중간육성기술을 규명하고자 하였다. 또한 실제적으로 초기종묘 분양을 통한 중간육성 시기와 현장실용화 진단을 통해 대량생산 가능성을 살펴보았다.

2. 해삼 중간육성 기술개발 연구

가. 실내 중간육성 시험

(1) 재료 및 방법

(가) 대상 및 기간

시험 대상 생물은 2011년 6월에 종묘를 생산하여 육상수조식 콘크리트 수조에

서 양성관리해 온 해삼으로 1.81~12.40g의 어린해삼을 선별하여 시험에 사용하였다. 본 시험은 2012년 5월 8일에 시작하여 6월 29일에 종료하였으며, 총 3회에 걸쳐 생존율, 전중량 및 개체 평균중량 변화 등을 조사하였다.

(나) 사육 환경 조사

시험기간 중 사육 수조 내 수질환경 조사는 1~2일 간격으로 오후 4시경에 실시하였으며, 다항목수질측정기(Horiba, U-51)를 이용하여 수온, 염분농도, 용존산소(DO), pH를 측정하였다. 사육수는 모래여과기를 거친 여과해수를 사용하였으며, DO 유지를 위해 에어블러워를 이용하여 산소를 공급한 경우를 제외한 다른 조건은 인위적 조절 없이 시험어장의 환경 변화에 따랐다.

(다) 사육수조

사육수조는 가로 1m×세로 1m×높이 1m의 사각 플라스틱 수조를 사용하였으며, 내부에는 그물망 가두리를 설치하고, 수심은 30cm(수량 300L)를 유지하였다. 가두리 내에는 파판을 2틀 넣어 해삼이 부착할 수 있는 부착면을 제공하였으며, 유수식으로 해수를 공급하고자 각 수조에 해수 공급 배관을 시설하였다(표 3-1). 시험수조는 4조로 구성하였으며, 시험 개시 전 각 수조별 사육량은 75g, 150g, 300g, 600g(사육수 1톤 기준 시 0.25, 0.5, 1, 2kg)이 되도록 어린해삼을 입식하였다. 각 수조별 사육 조건은 사육량을 제외하고 모두 동일하게 하였다(그림 3-1). 수조 청소는 주 2회 실시하였으며, 소구경 사이펀을 이용하여 수조 바닥 침전물을 제거하였다.

표 3-1. 시험 구간별 어린해삼 입식량

입식기준밀도 (kg/ton)	사육수량 (L)	입 식 량			
		개체수	전중량(g)	평균중량(g)	중량범위(g)
0.25	300	20	75.71	3.79	1.81~6.04
0.50	300	37	151.58	4.10	2.62~12.40
1.00	300	88	300.37	3.41	1.88~6.98
2.00	300	155	605.32	3.91	1.33~6.87



그림 3-1. 시험수조 배치 및 내부 전경

(라) 급이관리

먹이는 배합사료, 지충이, 미역분말, 머드, 효모 등을 혼합한 것으로 10일치 급이 분량을 만들어 냉장 보관하면서 급이 하였다. 급이량은 각 수조 당 1일 60g씩 오전 및 오후 2회로 나누어 급이 하였다. 먹이 급이 후 3시간 동안 사육수 주수를 중지하여 충분히 섭이할 수 있도록 하였다.

(2) 연구결과

(가) 사육 환경

시험기간 동안 사육수온은 초기에 다소 낮았으나, 5월 중순 이후부터 시험 종료 시까지 꾸준히 상승하는 경향을 나타냈다(그림 3-2). 시험기간 동안 각 사육 밀도별 수조의 수온 범위는 0.25kg/ton 밀도구간 16.6~23.3℃, 0.5kg/ton 밀도구간 16.6~23.8℃, 1kg/ton 밀도구간 16.6~23.3℃ 2kg/ton 밀도구간 16.6~23.3℃였다.

사육 해수의 염분농도는 시험기간 동안 30psu 전후로 유지되었다. 시험기간 동안 각 사육밀도별 수조의 염분농도 범위는 0.25kg/ton 밀도구간 29.7~33.7psu, 0.5kg/ton 밀도구간 29.9~33.7psu, 1kg/ton 밀도구간 29.3~33.8psu, 2kg/ton 밀도구간 29.1~33.8psu였다.

사육 해수의 DO는 수온 상승 및 에어브로워를 이용한 인위적 산소 공급으로

시험기간 동안 다소의 변화가 있었다. 시험 초기에는 7~9mg/L의 수준을 유지했으며, 사육수온의 상승과 함께 6월 중순에는 5mg/L 이하까지 낮아져 산소공급량을 늘여 6mg/L 내외를 유지하도록 하였다. 시험기간 동안 각 사육밀도별 수조의 DO 범위는 0.25kg/ton 밀도구간 4.54~9.50mg/L, 0.5kg/ton 밀도구간 4.32~9.43mg/L, 1kg/ton 밀도구간 3.97~8.90mg/L, 2kg/ton 밀도구간 3.97~8.64mg/L였다.

사육해수의 pH는 일시적인 상승 또는 하강이 있었으나, 대체적으로 pH 8 전후를 유지하였다. 시험기간 동안 각 사육밀도별 수조의 pH 범위는 0.25kg/ton 밀도구간 7.1~9.0, 0.5kg/ton 밀도구간 7.2~9.0, 1kg/ton 밀도구간 7.7~9.0, 2kg/ton 밀도구간 7.4~8.9였다.

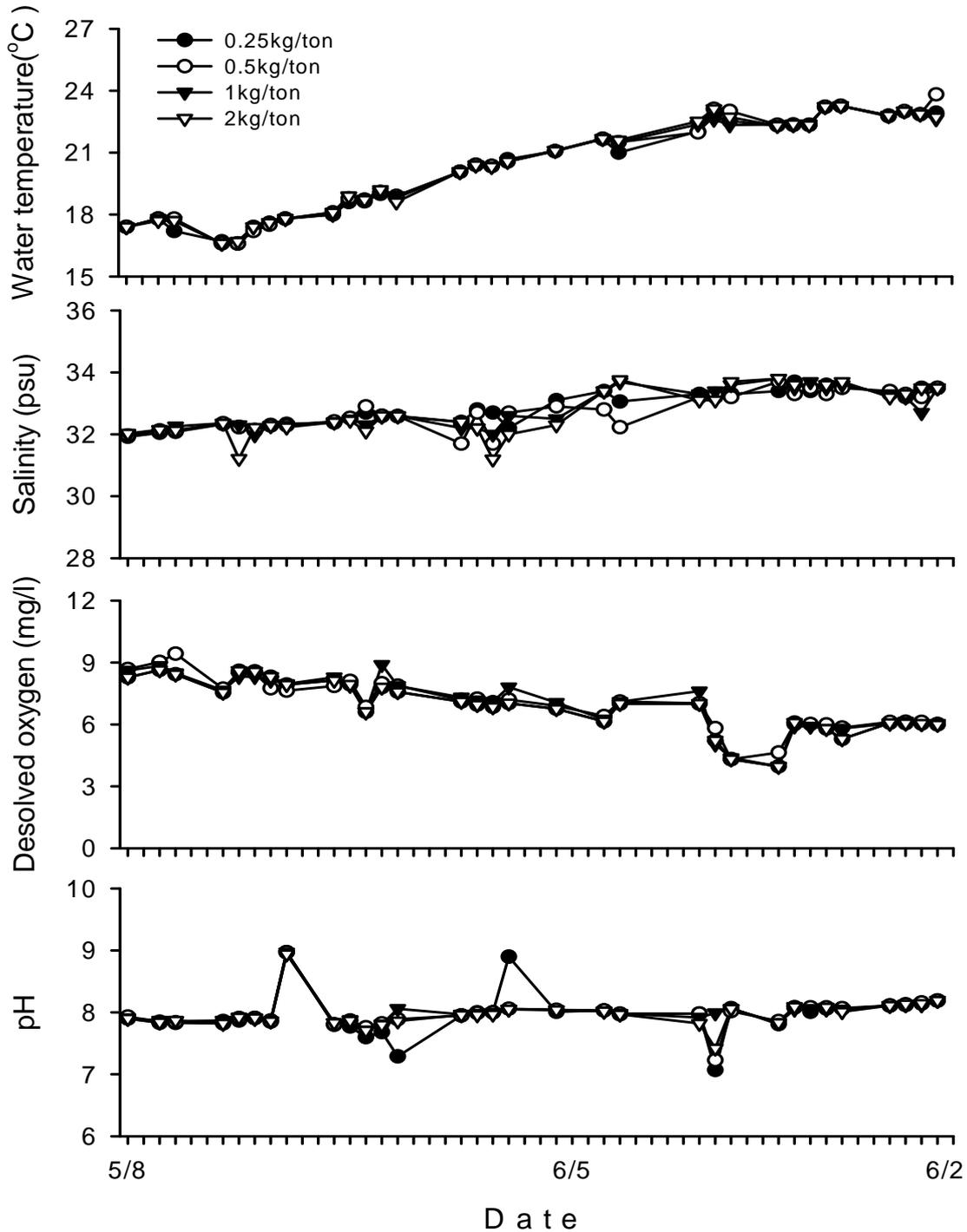


그림 3-2. 해삼 실내중간육성 시험 사육수 환경

(나) 사육 밀도별 생존율 변화

0.25kg/ton 밀도구간은 5월 8일에 어린해삼 20마리를 입식하여 6월 5일에 19마리, 6월 29일에 18마리가 생존하여 최종 90.0%의 생존율을 나타내었으며, 0.5kg/ton 밀도구간은 5월 8일에 37마리를 입식하여 6월 5일에 31마리, 6월 29일에 29마리가 생존하여 최종 78.4%의 생존율을 나타내었다. 1kg/ton 밀도구간은 5월 8일에 88마리를 입식하여 6월 5일에 79마리, 6월 29일에 74마리가 생존하여 최종 84.1%의 생존율을 보였으며, 2kg/ton 밀도구간은 5월 8일에 155마리를 입식하여 6월 5일까지 폐사는 없었으며 6월 29일까지 150마리가 생존하여 최종 96.8%의 생존율을 나타내었다(그림 3-3).

(다) 사육 밀도별 총중량 변화

0.25kg/ton 밀도구간에서 어린해삼의 총중량은 5월 8일에 75.7g을 입식 후 6월 5일에 175.1g, 6월 29일에 461.8g까지 증가하여, 입식 중량 대비 510.0% 증가한 것으로 나타났다. 0.5kg/ton 밀도구간은 5월 8일에 151.6g을 입식하여 6월 5일에 276.8g, 6월 29일에 703.9g까지 증가하여 시험 기간 동안 364.3%의 성장률을 보였다. 1kg/ton 밀도구간은 5월 8일에 300.4g을 입식하여 6월 5일에 542.9g, 6월 29일에 1,198.7g까지 성장하여 최종 299.0%의 체중 증가율을 나타내었다. 2kg/ton 밀도구간은 5월 8일에 605.3g을 입식하여 6월 5일에 1,033.9g, 6월 29일에 1,380.6g까지 증가하여, 입식량 대비 총중량 증가율이 128.1%인 것으로 나타났다(그림 3-4).

(라) 사육 밀도별 평균 개체 중량 변화

0.25kg/ton 밀도구간에 입식한 어린 해삼의 평균중량은 3.8g이었으며, 6월 5일에 9.2g, 6월 29일에 25.7g까지 성장하여 입식 시기 대비 576.3%의 성장률을 나타내었다. 0.5kg/ton 밀도구간은 5월 8일에 평균 4.1g의 어린해삼을 입식하여 6월 5일에 8.9g, 6월 29일에 24.3g까지 성장하여 입식 중량 대비 492.7%의 성장을 보였다. 1kg/ton 밀도구간은 5월 8일에 평균 중량 3.4g의 어린해삼을 입식하여 5월 8일에 6.9g, 6월 29일에 16.2g까지 성장하여 입식 대비 376.5%의 성장률을 나타

내었다. 2kg/ton 밀도구간은 5월 8일에 평균 중량 3.9g의 어린 해삼을 입식하여 6월 5일에 6.7g, 6월 29일에 9.2g으로 성장하여 입식 중량 대비 135.9%의 성장률은 나타내었다(그림 3-5).

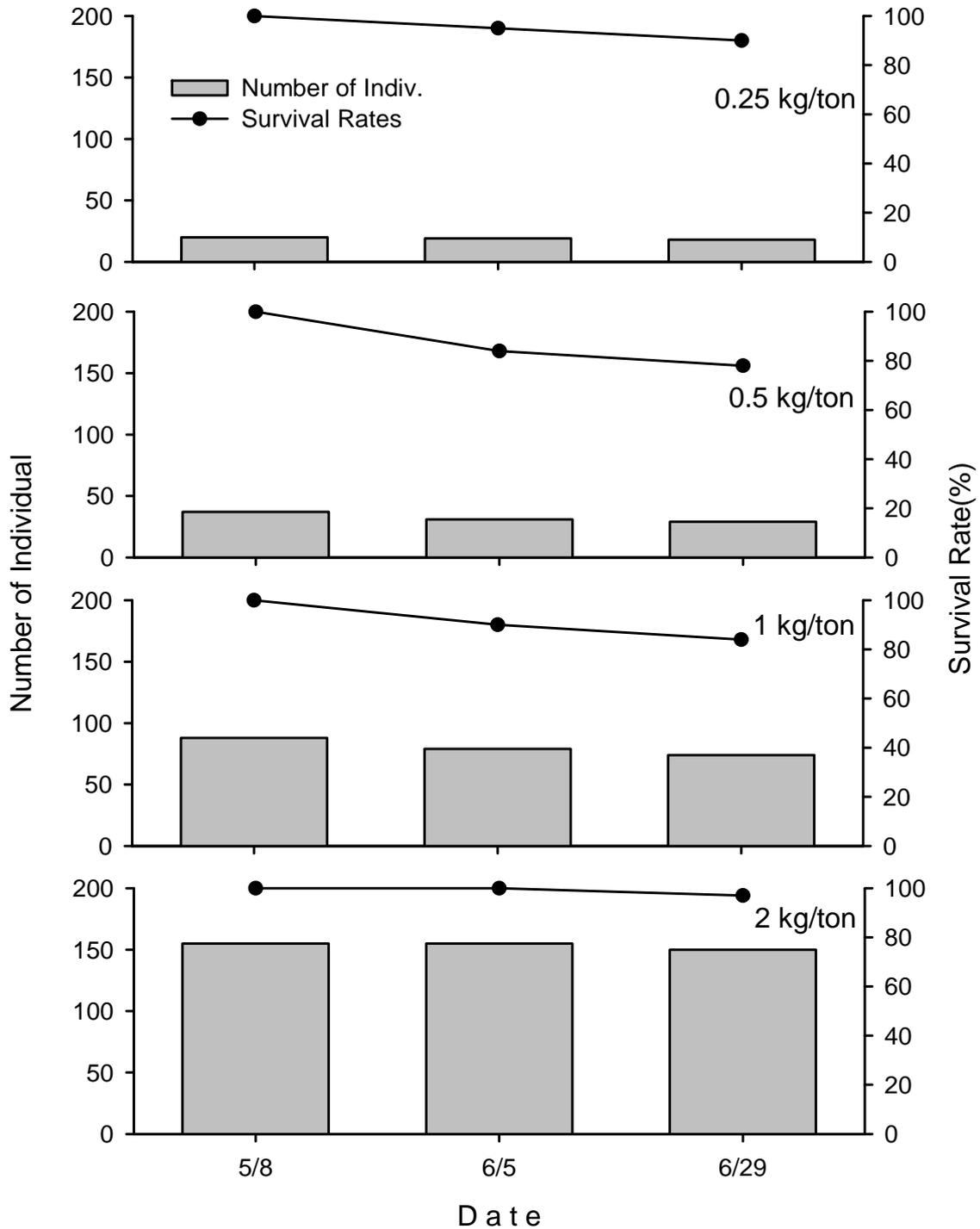


그림 3-3. 사육 밀도별 생존율 변화

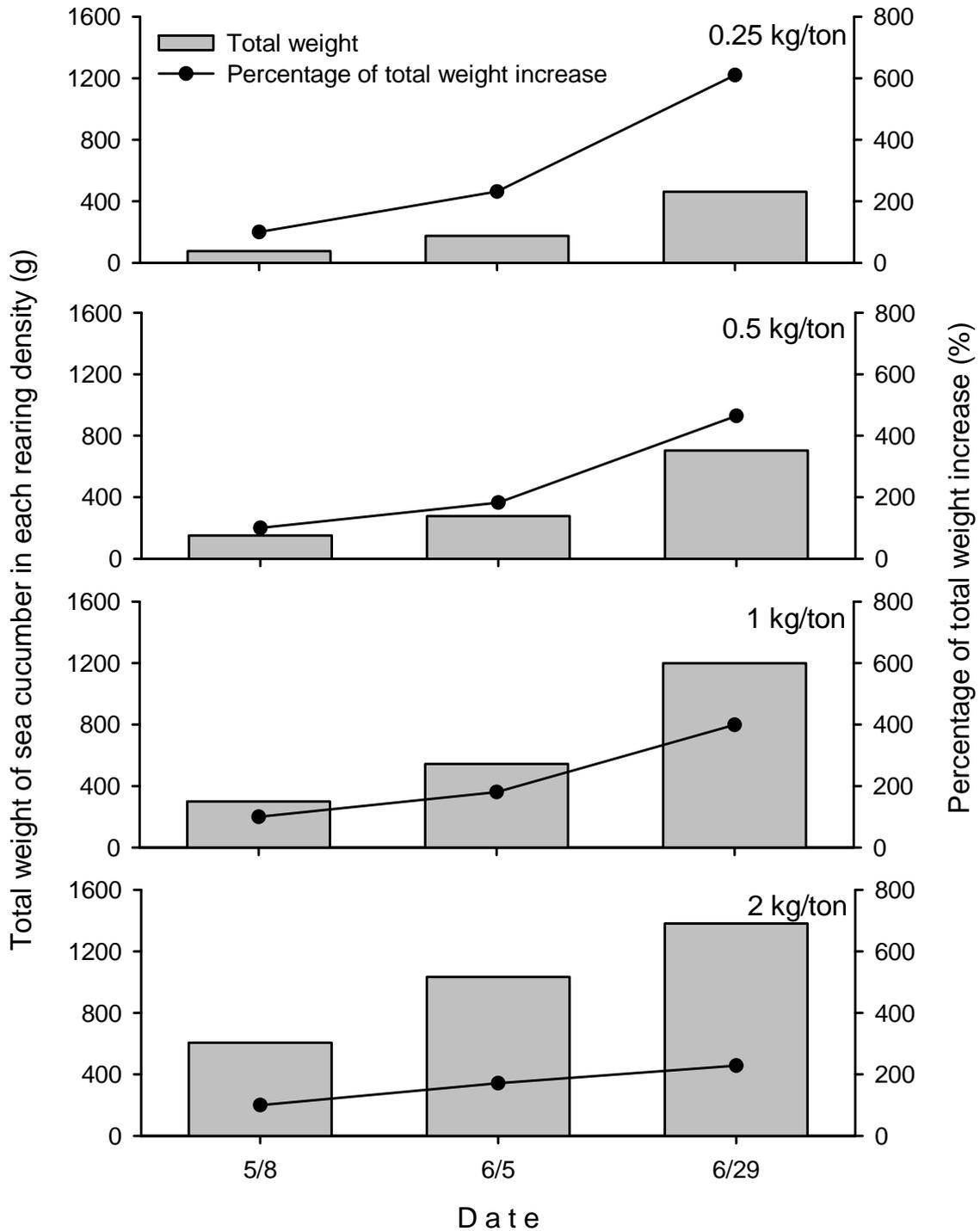


그림 3-4. 사육 밀도별 총중량 변화

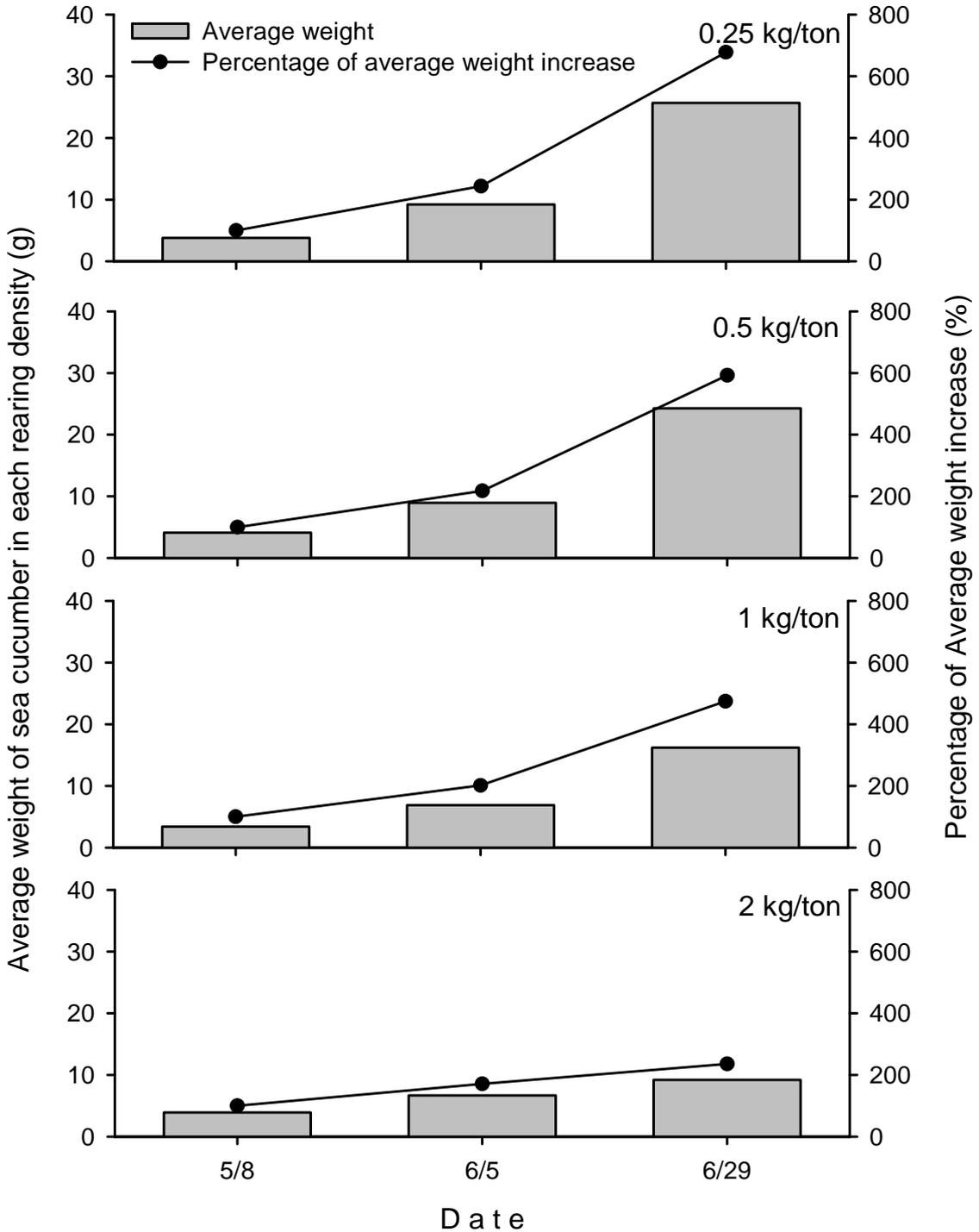


그림 3-5. 사육 밀도별 평균 개체 중량 변화

나. 실외 중간육성 시험

(1) 재료 및 방법

(가) 대상 및 기간

시험 대상 생물은 2011년 6월에 종묘를 생산하여 육상수조식 콘크리트수조에 서 양성 관리해 온 해삼으로 1.9~3.3g의 어린 해삼을 선별하여 시험에 사용하였다. 본 시험은 2012년 5월 7일에 시작하여 7월 5일에 종료하였으며, 총 3회에 걸쳐 생존율 및 성장률 변화를 조사하였다.

(나) 사육 환경 조사

시험어장 수질환경 조사는 1~2일 간격으로 오후 4시경 실시하였으며, 다항목 수질측정기(Horiba, U-51)를 이용하여 수온, 염분농도, 용존산소(DO), pH를 측정하였다.

(다) 시험 조건

어린 해삼의 실외 중간 육성을 위한 시험어장으로는 전라남도 해양수산과학원 국제갯벌연구센터의 해수 침전조를 활용하였다(그림 3-6). 침전조는 가로 30m, 세로 15m, 깊이 4m의 콘크리트 구조물이며, 해수는 비슷한 규모의 2개 침전조에서 순차적으로 부유물 침전 후 인입되고, 수량은 1,000톤이 유지되며 평균 환수율은 일일 40% 이다.

해삼은 사각 통발(25cm×25cm×60cm)에 각각 10마리, 20마리, 40마리를 넣어 수심 1m 및 3m에 3반복으로 사육하였다(그림 3-7, 표 3-2).



그림 3-6. 실외 중간육성 시험 침전조

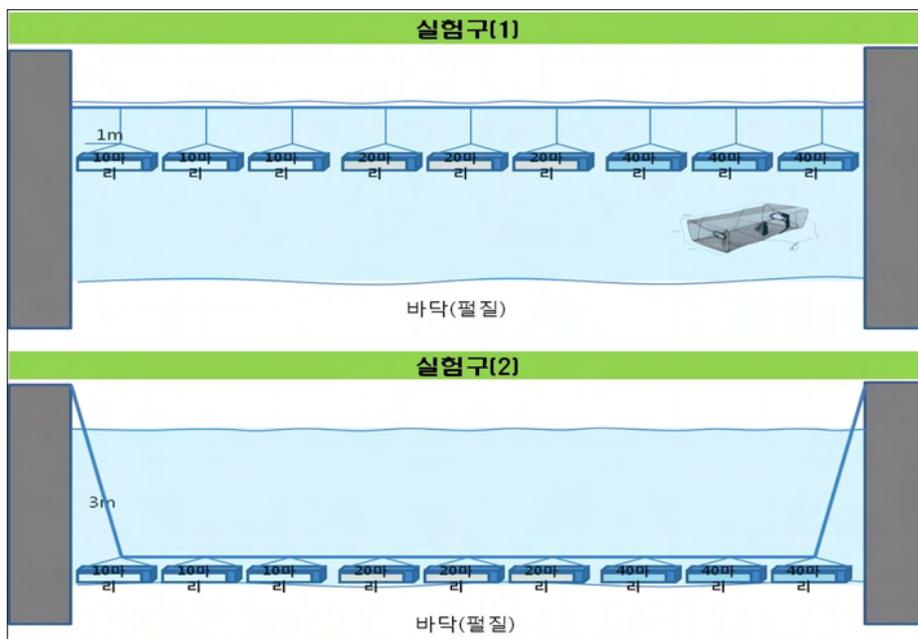
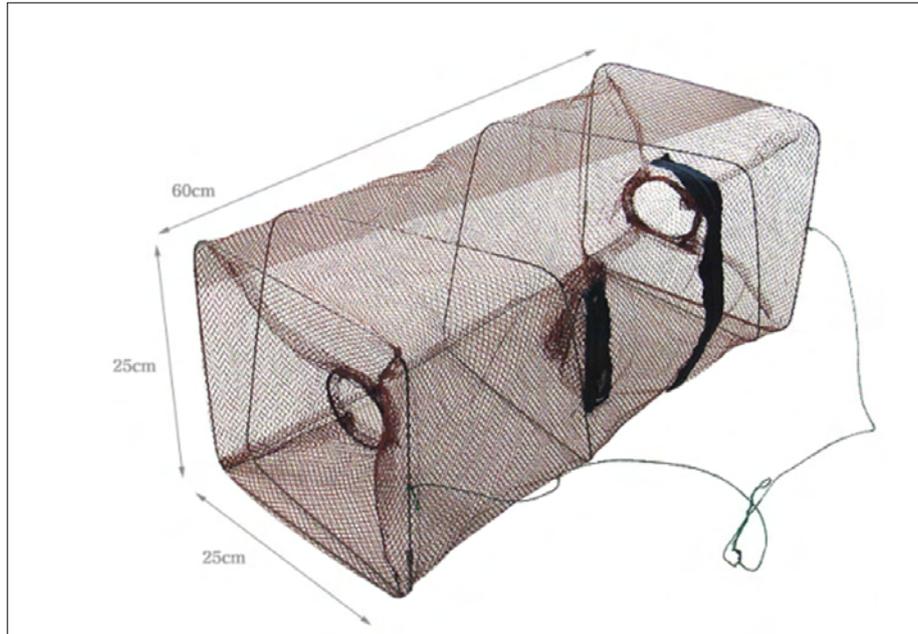


그림 3-7. 통발 및 실외 중간육성 시험 모식도

표 3-2. 시험 구간별 어린해삼 입식량

	수심 1m								
입식량(마리)	10	10	10	20	20	20	40	40	40
평균중량(g)	2.1	3.3	2.2	2.4	2.2	2.4	2.7	2.4	3.1
	수심 3m								
입식량(마리)	10	10	10	20	20	20	40	40	40
평균중량(g)	2.5	2.2	1.9	2.2	2.3	2.2	2.3	2.2	2.3

(2) 연구결과

(가) 사육 환경

수온은 기온의 상승과 함께 5월 중순부터 서서히 상승하는 경향을 나타내었으며, 시험기간 동안 수온 범위는 16.9~24.7℃였다. 염분농도는 자연 해수가 계속 주입됨에 따라 큰 변화는 나타나지 않았으며, 시험기간 동안 29.9~33.8psu 범위를 유지하였다. DO는 수온이 상승함에 따라 낮아지는 경향을 나타냈으며, DO는 5.81~9.15mg/L이었다. pH는 큰 변화 없이 꾸준히 8 내외를 유지하였으며 7.8~8.6의 범위를 나타냈다(그림 3-8). 시험기간 동안 침전조 내 부유물질은 9.16~104.52mg/L 범위를 나타냈다.

(나) 수심 1m에서 밀도별 사육

10마리/통발 밀도 구간은 5월 7일에 평균 2.5g의 어린 해삼을 입식하여 6월 4일에 8.7마리, 7월 5일에 8.3마리가 생존하여 시험 종료 시 83.0%의 생존율을 나타내었으며, 평균 체중은 6월 4일에 3.2g, 7월 5일에 3.6g으로 성장하여 시험기간 동안 44.0%의 성장률을 보였다.

20마리/통발 밀도 구간은 5월 7일에 평균 2.3g의 어린 해삼을 입식하여 6월 4일에 17.3마리, 7월 5일에 16.7마리가 생존하여 시험 종료 시 83.5%의 생존율을 나타내었으며, 체중은 6월 4일에 2.9g으로 26.1%의 성장률을 보였으나, 7월 5일에 2.9g으로 시험 후반기에는 성장이 없었던 것으로 나타났다.

40마리/통발 밀도 구간은 5월 7일에 평균 2.7g의 어린 해삼을 입식하여 6월 4일에 37.7마리, 7월 5일에 32.0마리가 생존하여 시험 종료 시 80.0%의 생존율을 나타내었으며, 체중은 6월 4일에 2.8g으로 3.7%의 성장률을 보였으나, 7월 5일에는 2.2g으로 시험 후반기에는 체중이 오히려 18.5% 감소한 것으로 나타났다(그림 3-9).

(다) 수심 3m에서 밀도별 사육

10마리/통발 밀도 구간은 5월 7일에 평균 2.2g의 어린 해삼을 입식하여 6월 4일에 9.0마리, 7월 5일에 7.3마리가 생존하여 시험 종료 시 73.0%의 생존율을 나타내었으며, 평균 체중은 6월 4일에 2.8g, 7월 5일에 2.9g으로 성장하여 시험기간 동안 31.8%의 성장률을 보였다.

20마리/통발 밀도 구간은 5월 7일에 평균 2.2g의 어린 해삼을 입식하여 6월 4일에 19.7마리, 7월 5일에 19.7마리가 생존하여 시험 종료 시 98.5%의 생존율을 나타내었으며, 체중은 6월 4일에 2.8g으로 27.3 %의 성장률을 보였으나, 7월 5일에 2.7g으로 시험 후반기에는 오히려 체중이 감소하였다.

40마리/통발 밀도 구간은 5월 7일에 평균 2.3g의 어린 해삼을 입식하여 6월 4일에 33.7마리, 7월 5일에 32.0마리가 생존하여 시험 종료 시 80.0%의 생존율을 나타내었으며, 체중은 6월 4일에 2.7g으로 17.4%의 성장률을 보였으나, 7월 5일에는 2.2g으로 시험 후반기에는 체중이 감소하여 입식 대비 -4.3%의 성장률을 나타내었다(그림 3-10).

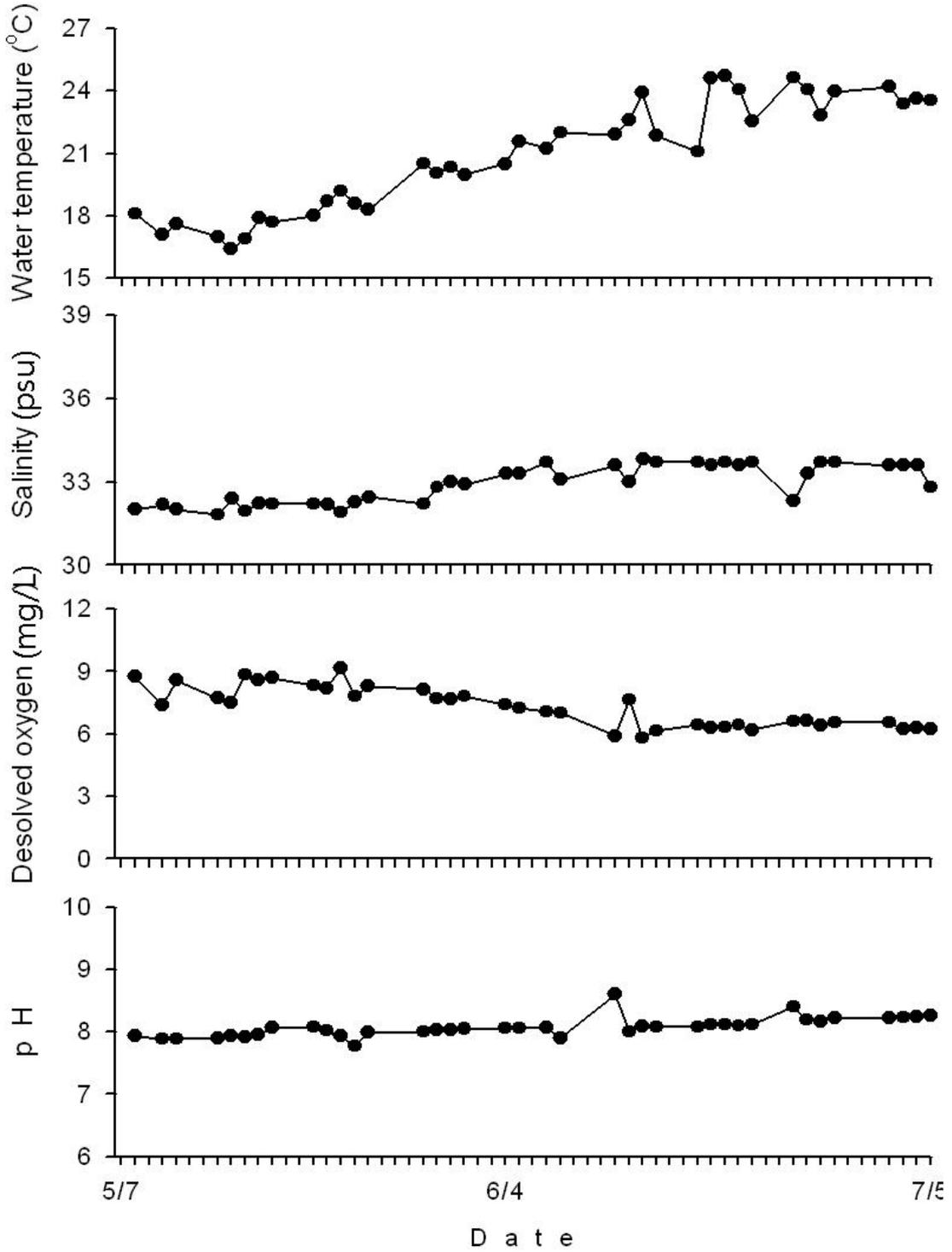


그림 3-8. 해삼 실외 중간육성 시험 사육수 환경

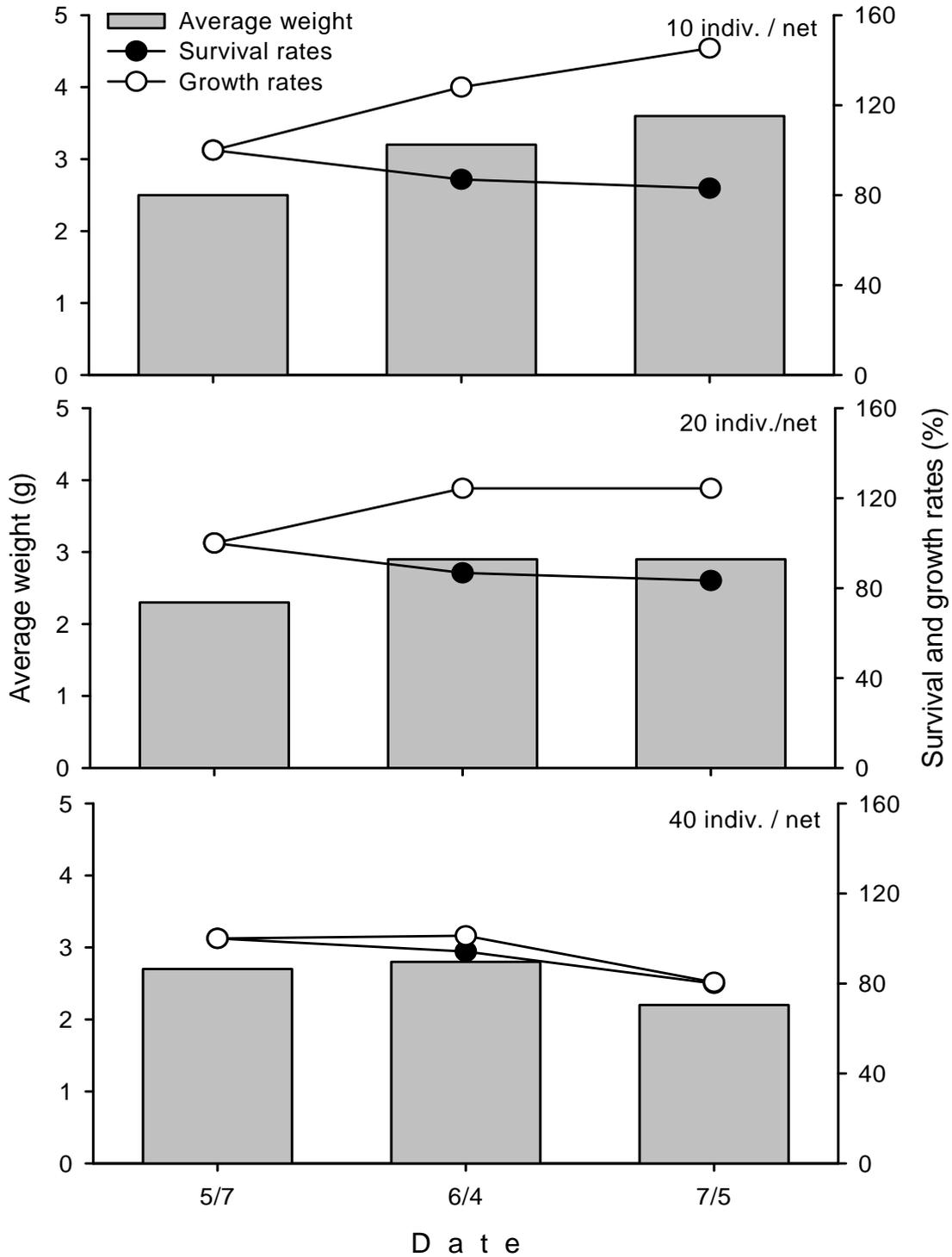


그림 3-9. 수심 1m에서 밀도별 사육 시험결과

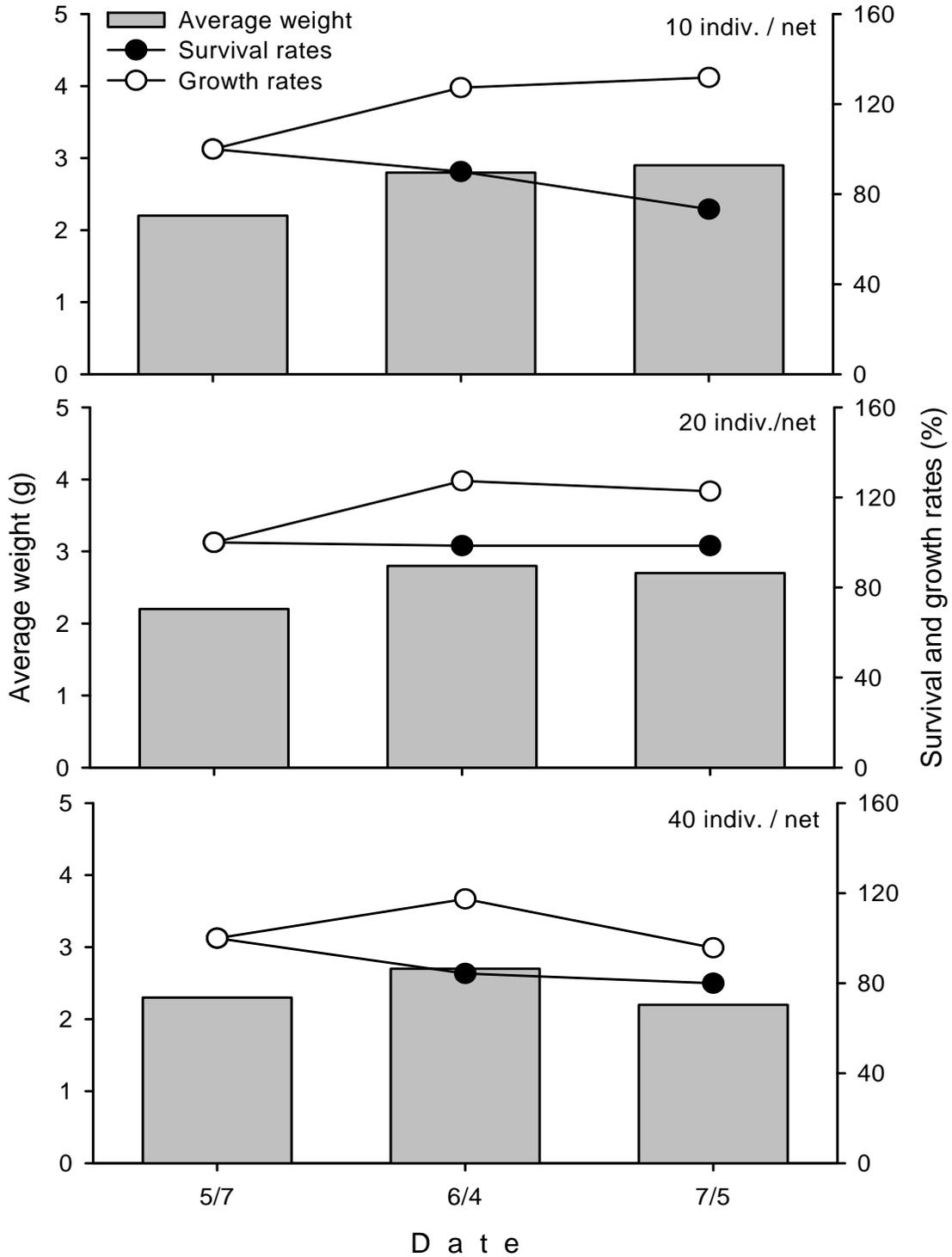


그림 3-10. 수심 3m에서 밀도별 사육 시험결과

다. 복합(해삼-전복) 중간육성시험

(1) 재료 및 방법

(가) 대상 및 기간

해삼-전복 복합 중간육성시험은 양식공간 활용과 이종개체간의 물질순환을 통한 중간육성의 가능성을 진단한 예비시험으로 본 시험에서는 구체적인 중간육성 기술개발보다는 가능성을 제시하고자 하였다.

해삼은 2011년 6월에 종묘 생산하여 육상수조식 콘크리트수조에서 사육한 것으로 5g 이하의 소형개체를 선별하여 시험에 사용하였으며, 전복은 2010년산으로 17~18마리/kg의 것을 사용하였다(그림 3-11). 사육실험은 2012년 5월 7일부터 7월 13일까지 실시하였다.



그림 3-11. 해삼 복합 중간양성 시험에 사용한 전복

(나) 실험 수조

사육수조는 길이 8.8m, 폭 2.2m, 수심 1.0m의 콘크리트 수조와 가로 1.5m, 세로 2.2m, 높이 0.9m의 가두리로 구성되어 있으며, 해삼은 콘크리트 수조에 살포하고 전복은 가두리에 넣어 콘크리트 수조 내에 시설하였다(그림 3-12).



그림 3-12. 시험 수조 전경

(다) 실험 구간

본 실험은 콘크리트 수조 내에 해삼 입식량을 달리하여 사육 후 성장률을 비교하였다. 실험구 1(Exp. 1)은 평균 중량 0.7g 해삼 529마리, 실험구 2(Exp. 2)는 평균 중량 2.2g 해삼 912마리, 실험구 3(Exp. 3)은 평균 중량 3.8g 해삼 205마리를 입식하였으며, 먹이는 전복 급이를 위한 다시마만을 공급하였다(표 3-3). 68일간 사육 후 일부를 재포하여 개체 평균 중량 변화를 조사하였으며, 사육 수온은 매일 측정하였다.

표 3-3. 시험구간별 입식량

구 분	입식량(마리)	중량(g)	평균중량(g)
실험구 1	529	351	0.7
실험구 2	912	2,031	2.2
실험구 3	205	781	3.8

(2) 연구결과

(가) 사육 환경

사육기간 동안의 수온은 시간이 경과함에 따라 꾸준히 상승하는 경향을 나타내었다(그림 3-13). 시험개시일인 5월 7일에 14.6℃였던 수온은 종료일인 7월 13일에 21.6℃까지 이르렀으며, 시험기간 동안 7월 9일에 21.8℃로 가장 높게 나타났다.

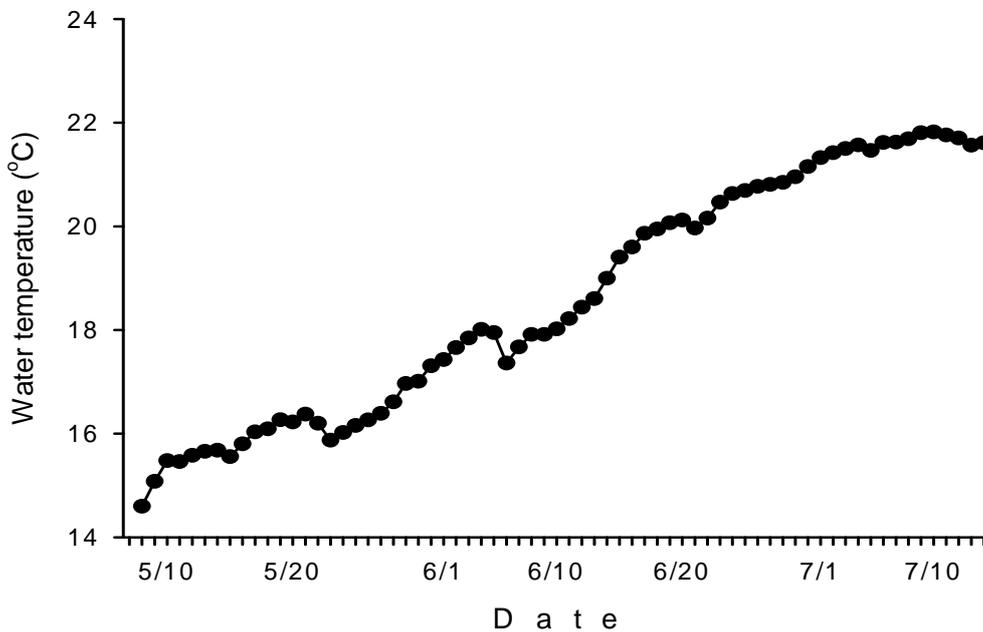


그림 3-13. 해삼-전복 중간육성 시 수온 변화

(나) 성장도

실험구 1에서는 평균 0.7g의 어린 해삼이 7.4g까지 성장하여 실험 시작 시 체중 대비 957.1%의 체중 증가율을 보였으며, 실험구 2에서는 2.2g에서 5.5g으로 성장하여 실험 시작 시 체중 대비 150% 증가하였고, 실험구 3에서는 3.8g에서 5.5g으로 성장하여 44.7%의 체중 증가율을 나타내었다(그림 3-14).

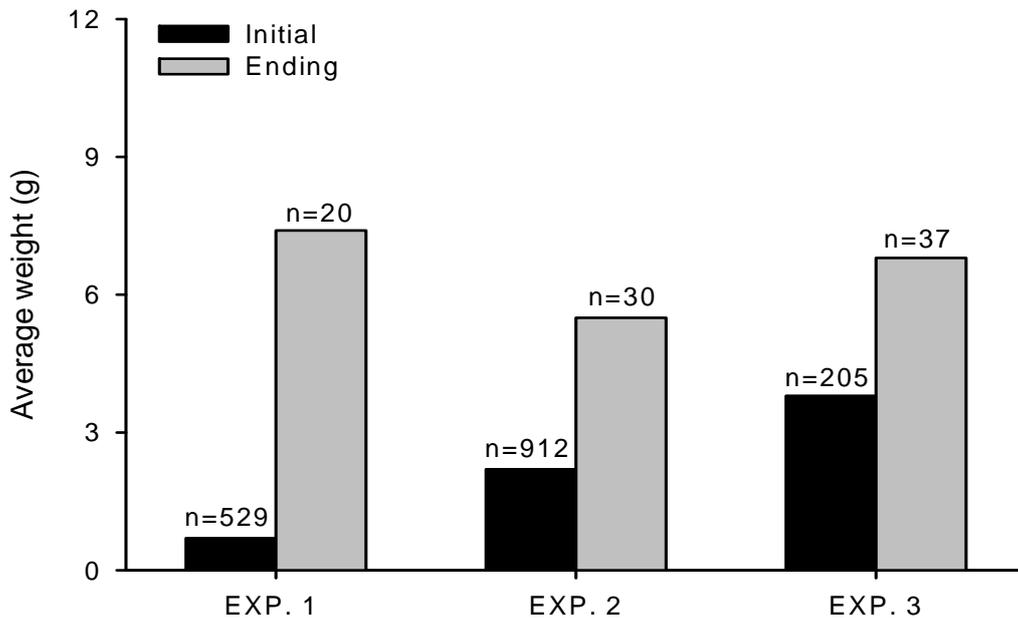


그림 3-14. 해삼-전복 중간육성 시험 결과

3. 중간육성 현장실용화 진단

가. 해삼 종묘생산 및 중간육성(전라남도 국제갯벌연구센터)

(1) 어미해삼 구입 및 운송

2011년 6월 18일 전라남도 완도군 해역에서 어획한 해삼에서 마리당 체중 325g 이상의 개체 100kg을 선별하여 구입하였다. 어미해삼은 20L 직사각형 스티로폼에 아이스팩을 깔고 그 위에 신문지를 10장씩 덮어 해삼이 아이스팩에 직접적으로 접촉되지 않게 포장하여 연구소까지 운송하였다. 구입한 현지 수온은 16℃였다.

(2) 수정란 생산

(가) 수온자극

어미해삼 구입 해역의 수온보다 4℃높은 해수를(유효수량 45톤)채웠고, 자동온도 조절기가 부착된 3kw 히터봉을 이용하여 산란이 종료되는 시점까지 유지시켰다.

(3) 산 란

2011년 6월 19일 산란유도를 위하여 수온자극 후 5시간 후에 방정과 방란이 시작되었으며, 수정란 필요 수량 1억 2천만 개체가 확인된 후 어미해삼을 제거하였다.

(4) 수정란 부화 및 발생

(가) 수정란 계수 및 수정률, 부화율 조사

어미해삼의 방란·방정이 완료된 2011년 6월 19일 수조 내의 해삼을 전량 수거한 후 평판 PVC 재질로 제작한 가로 50cm×세로 25cm의 뜬판을 이용해 수조 저면에서 수정란을 부상시켜 10ml 피펫을 이용하여 수정란을 계수하여 총 입식 수량 45톤에 대한 개체수를 산정하였다. 수정율은 만능투영기(NICON, V-12B)를 이용하여 100개체의 수정란을 검경하여 정상적으로 분열하는 개체를 계수하였다. 부화율은 부화가 완료된 2011년 6월 20일 10ml 피펫을 이용하여 부화개체를 계수하여 총 입식수량 45톤에 대한 수정율 대비 부화율을 산정하였다.

(나) 수정란 관리

수정란이 수용된 수조에는 에어를 공급하지 않고 부화 완료 시점까지 1시간 간격으로 뜬판을 이용해 수정란을 부상시켜주었다. 수정란에서 부화시까지의 사육수 수온은 20~22℃였다.

(다) 수정율 및 부화율

수정란 수량 및 수정율, 부화율은 표 3-4에 나타낸 바와 같다.

표 3-4. 수정란 수량 및 수정율, 부화율 조사

일 자	수정란(만개)	수정률(%)	부화율(%)	비 고
2011. 6. 18~20	12,000	87	83	
※ 수정란 100개체 중 87개체 정상 발생 ※ 수정란 12,000만개 중 10,000만마리 부화				

(5) 부유유생 사육관리

(가) 사육관리

1) 사육환경

부유유생이 시작되는 아우리쿨라리아에서 착저 유생기인 후기 돌라올라리아가 출현한 기간 동안 사육수온, DO 및 염분의 측정은 수질측정기(YSI, 556MPS)로 매일 오전 9시에 조사하였다. 사육수는 30 μ m 섬유여과기를 통과한 여과해수를 10 μ m 필터백을 이용하여 2번 여과한 해수를 사용하였다. 사육수 환수는 부유유생 밀도 조절을 위해 수조를 분조한 경우에는 분조 후 증수하여 만수위를 채워 일일 50%의 환수량을 유지하였고, 분조가 없는 경우에는 유생크기를 고려한 물려가제를 이용하여 가로 1m×세로 1m×높이 1.3m로 제작한 환수틀을 이용하여 총 사육수량의 50%를 배수하고 만수위를 채우는 방법으로 환수하였다. 환수하는 시간은 먹이생물 급이 후 5시간이 경과한 시점에서 환수를 시작하였다. 환수틀을 이용하여 환수하는 경우에는 환수틀 망목에 부착되는 유생을 떨어뜨려 주기 위해 환수틀 안쪽에서 사육수를 수시로 뿌려주었다. 사육수의 산소공급은 수조 당 직경 3cm, 길이 10cm의 에어스톤 16개를 설치하여 공기방울이 약하게 분산되도록 조정하여 공급하였다.

2) 부유유생 사육수조 소독

부유유생을 분조할 수조는 차아염소산나트륨(유효염소 5%, NaClO)을 100배 희석하여 브러시로 벽면 및 바닥면을 소독하였고, 담수를 이용하여 충분히 세척하여 차아염소산나트륨이 잔류하여 나타나는 독성을 제거하였다.

(나) 부유유생 사육밀도 조정

1) 사육수조 분조

부유유생 기간 동안 가로 5m×세로 5m×높이 2.3m(유효수량 45톤)의 정사각형 수조를 이용하였다. 수정란을 수용한 1개 수조의 유생 밀도는 2.2ml였고 10,000마리로 매일 2배로 밀도를 낮추어 착저 시기인 후기 돌리올라리아기에는 0.1마리로 사육수조를 분조하였다. 분조에 사용한 호스는 직경 50mm 투명호스를 이용하였

고, 분조할 수조에 미리 15cm 내외의 사육수를 받아 사이펀 시 유생이 입을 수 있는 피해를 최소화 하였다.

(다) 먹이생물 급이

1) 먹이생물 급이

아우리쿨라리아기부터 초기 펜탁톨라 유생까지 중국에서 수입한 1L 용량의 농축 먹이생물 3종(홍효모 100억cells/ml, 각모조 1억cells/ml, 염조 5,000만cells/ml, 제조사 익삼보)을 혼합급이하였다. 냉동된 농축 먹이생물은 흐르는 해수에 용기를 담가서 해동한 후 20L들이 플라스틱 용기에 여과해수 15L를 담고 희석하여 50 μ m 물러가제로 고형물을 제거한 후 급이 할 수조에 동일하게 분배하여 여과해수를 채운 후 1L 플라스틱 바가지를 이용하여 수면에 고르게 살포하여 급이 하였다. 일일 급이량은 1~3회까지 수색을 보며 급이량을 조정하였다.

(라) 생존율

부유유생기인 아우리쿨라리아부터 부착기 유생인 초기 펜탁톨라까지 단계별로 10ml 피펫을 이용하여 각 수조 당 5~6개소를 관찰하여 평균치로 나타내었다. 아우리쿨라리아부터 펜탁톨라까지 사육기간 중의 유생 생존율은 그림 3-15에 나타난 바와 같다. 부유유생기의 생존율은 초기 아우리쿨라리아 시기에는 10,000만 마리에서 착저기 유생인 후기 돌리올라리아 시기에는 8,000만 마리로 80%의 생존율을 나타내었다.

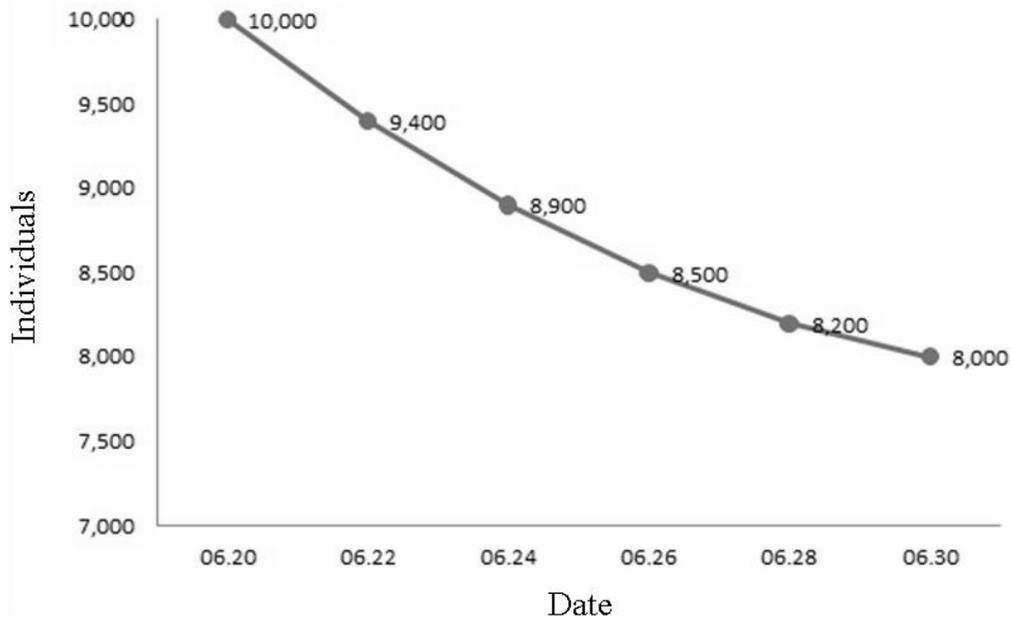


그림 3-15. 해삼 부유유생기의 생존 개체수(단위: 만마리)

(6) 착저유생 사육관리

(가) 사육환경

착저기 유생인 후기 돌리올라리아와 착저가 완료된 후기 펜탁틀라 유생기간 동안 사육수 환수는 파판이 투여된 수조는 유생크기를 고려한 물리가제를 이용하여 가로 1m×세로 1m×높이 1.3m로 제작한 환수틀 또는 한 변이 50cm, 높이 100cm로 제작한 삼각뿔 형태의 환수틀을 이용하여 10 μ m까지 여과한 자연해수를 매일 50%를 배수하고 만수위를 채우는 방법으로 환수하였다. 사육수의 산소공급은 각 수조에 직경 3cm, 길이 10cm의 에어스톤 16개를 설치하여 공기방울이 약하게 분산 되도록 조정하여 공급하였다. 사육기간 동안 수온은 22℃, DO는 7~8mg/L을 유지하였고, 사육실 내부 조도는 600lux 미만을 유지하였다.

(나) 배합사료 급이

후기 돌리올라리아에서 초기 펜탁틀라까지는 부유하는 개체와 착저하는 개체가 동시에 발생하기 때문에 중국에서 제조한 농축 먹이생물 3종과 유삼기 배합사료(유삼배합사료, 제조사 교룡)를 각각 급이 하였다. 배합사료 제조는 배합사

료, 서미조(지층이 분말), 활성흙(머드 분말)은 담수 또는 여과해수에 희석하여 끓인 후 상온에 식혔다. 기타 첨가제로는 복합비타민, 효모다당, 면역다당, 스피룰리나, 수산효모를 정량 배합하여 물에 녹여 3종의 끓인 배합사료가 식은 후 같이 첨가하여 두었다가 16시에 각각 정량을 분배하여 급이 하였다. 배합사료 급이량은 파판 및 채묘망에 남아있는 사료의 잔량을 감안하여 사육해수 1톤 당 일일 3~10g을 유동적으로 급이 하였다.

(다) 채묘기질

부유유생기를 거쳐 착저기에 들어가는 후기 돌리올라리아가 출현한 총 14개 수조는 각 수조당 염화비닐 골파판(가로 50cm×세로 30cm) 18장이 한 세트로 구성된 홀터 88세트를 수평으로 투입하여 총 1,232세트 22,176장이 채묘에 이용되었다.

(7) 어린해삼 사육관리

(가) 사육환경

어린해삼의 기준은 펜탁톨라 유생에서 5개의 촉수를 가지는 시점으로 보며 일반적으로 착저기부터 사육수온과 먹이생물의 공급량 등 다양한 환경조건에 따라 15~25일 정도 소요되는 것으로 기존 연구에서 보고되고 있다. 본 실험기간동안 수온 22℃ 내외에서 2011년 7월 3일에 착저를 완료하였고, 7월 7일 5개의 촉수를 가진 어린해삼으로 성장하였으며 외관상 어미해삼과 비슷한 형태를 갖춘 모습으로 성장하는 시점은 7월 19일로 착저 후 17일이 소요되었다. 어린해삼으로 변태하는 시점부터 배합사료를 급이 하는 16시 이전인 매일 8시부터 15시까지 우수식으로 사육수량의 100%를 환수하였다. 그러나 요각류 또는 세균성 질병에 의한 약육 처리시에는 환수량을 200% 이상으로 증수하였다. 사육수는 30 μ m 섬유여과기를 통과한 여과해수를 10 μ m 필터백을 이용하여 2번 여과한 해수를 사용하였다.

(나) 배합사료 급이

배합사료 제조는 부착 유생기에 급이한 방법과 동일하게 제조하였다. 다만, 유삼기 전용 배합사료에서 어린해삼 전용 배합사료로 전환하여 배합하였다. 어린해삼 전용 배합사료(어린해삼 배합사료, 제조사 교룡), 서미조(지충이 분말), 활성훈(머드 분말)은 담수 또는 여과해수에 희석하여 끓인 후 상온에 식혔다. 기타 첨가제로는 복합비타민, 효모다당, 면역다당, 스피룰리나, 수산효모를 정량 배합하여 물에 녹여 3종의 끓인 배합사료가 식은 후 같이 첨가하여 두었다가 매일 16시에 각각 정량을 분배하여 급이 하였다. 배합사료 급이량은 전장 1cm 내외까지는 파판 및 채모망에 남아있는 사료의 잔량을 감안하여 사육해수 1톤당 일일 3~10g을 유동적으로 급이하였다. 1cm 이상부터는 어린해삼의 총 체중과 수온을 감안하여 섭이율에 따라 유동적으로 조정해가며 급이하였다.

(다) 사육수조 및 부착기질 소독

1) 사육수조 소독

어린해삼을 수용할 수조는 차아염소산나트륨(유효염소 5%, NaClO)을 100배 희석하여 브러시로 벽면 및 바닥면을 소독하거나, 이산화염소제(Chlorine Dioxide, ClO₂ 3%)를 소량의 해수에 희석하여 브러시로 벽면 및 바닥면을 소독한 후 담수를 이용하여 충분히 세척하여 소독제에 의한 잔류독성을 제거하였다.

2) 부착기질 소독

처음 사용하는 파판과 홀더는 제품생산에서 부착하는 기름성분을 제거하기 위하여 담수를 채운 수조에 수산화나트륨(NaOH, 98%)을 500ppm 농도로 녹여 24시간 침지한 후 담수를 이용하여 충분히 세척하여 사용하였다. 이후 파판은 담수를 이용하여 충분히 세척한 후 재사용하였다.

(라) 선별 및 분조

1) 선별

어린해삼 선별은 최하 전장이 1cm 내외인 시점에서 시작하였다. 파판에 부착된 어린해삼은 직경 2m FRP 원형수조에 파판을 수용하고 1/3HP 수중양수기에

서 나오는 압력을 이용하여 파관을 세척하듯 박리시켰고, 바닥 또는 벽면에 남아 있는 어린해삼은 배수구를 통해 나오는 어린해삼을 279 μ m 물리가제로 제작한 채집망을 통해 수거하였다. 채묘망에 부착한 어린해삼은 수조가 만수위 된 상태에서 채묘망을 좌우로 흔들어 어린해삼을 박리시키고 사이편을 이용해 사육수를 배수한 후 배수구를 통해 나오는 어린해삼을 279 μ m 물리가제로 제작한 채집망을 통해 수거하였다. 어린해삼의 선별은 성장함에 따라 망목의 크기가 0.7mm, 2.4mm, 5mm, 6mm, 10mm, 12mm인 선별기를 차례로 선별하여 크기별로 분류하여 수조에 수용하였다.

(마) 질병치료 및 예방

1) 요각류 및 섬모충 치료

어린해삼 사육시 발생하는 요각류 및 섬모충 구제를 위해 트리클로로폰(역가 100%) 제제를 1ppm으로 사용하였다. 본 제제의 약육시간은 대상 기생충의 폐사 및 활력 여부에 따라 6~12시간이었고, 여과해수를 이용해 유수식으로 100% 환수하였다.

2) 세균성 질병 치료 및 예방

해삼의 체표가 하얗게 변색되거나 궤양이 발생한 경우에는 현미경 검경을 통해 기생충에 의한 질병원인을 조사하고 기생충에 의한 질병발생이 아닌 경우에는 옥시테트라사이클린(oxytetracycline), 스트렙토마이신(streptomycin)을 혼합하여 1~5ppm 농도로 살포하여 12~16시간동안 약육 후 100% 환수하였다. 또한, 분조 및 선별 후에는 동일 제제와 방법으로 약육하여 질병감염을 예방하였다.

(바) 어린해삼 분양

2011년 10월 20일자로 충남수산연구소에 평균 체중 0.02g(전장 1cm) 내외의 어린 해삼 110만 마리를 중간육성 실용화 진단용 시험으로 분양하였다.

(8) 종묘생산 및 중간육성 분석

어린해삼 및 중간육성 사육기간 동안의 수온변화는 그림 3-16에 나타난 바와

같다. 사육 기간 중의 수온변화는 그림 3-17에 나타낸 바와 같이 2011년 8월 15일은 최고 수온인 26.5℃를 나타내었고 2011년 12월 26일 최저 수온인 6.6℃로 나타났다.

생존율을 살펴보면 9월 초에 원생동물의 대량발생으로 인해 5,000만 마리의 어린해삼이 380만 마리로 감소하였다(그림 3-16). 이 기간 동안 국내에서 판매되는 기생충 구제제로 주기적인 약육 처리를 했음에도 구제 효과는 낮았다.

사육시 발생하는 유령명게는 해삼에 직접적인 해를 주지 않으나 해삼의 서식 공간을 차지하고 해삼먹이를 섭이함으로써 해삼성장에 영향을 줄 수 있다. 아직까지 유령명게 구제를 위한 약제는 개발되어 있지 않아 직접 수작업으로 제거하였다(그림 3-18).

12월 초에 수온이 12~8℃로 하강하는 시기에 어린해삼의 대량폐사가 발생하였다(그림 3-17). 이때 중국의 경우에는 가온을 통해 12℃의 수온보다 높게 사육하거나 12℃ 이하로 수온이 하강하기 전에 축제식 또는 씨부림 용으로 분양한다. 우리나라의 경우 겨울철 안정적인 월동 관리를 위한 가온관리는 유류비의 부담이 크게 작용하기 때문에 가급적 12℃ 이상의 수온에서 분양을 완료해야 한다고 사료된다.

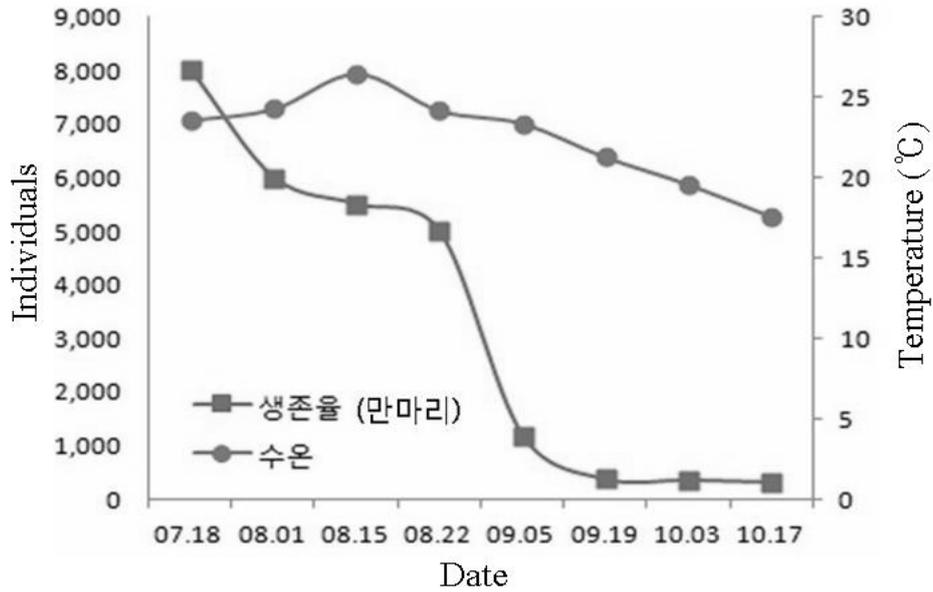


그림 3-16. 어린해삼 사육기간 동안의 생존율 및 수온 변화

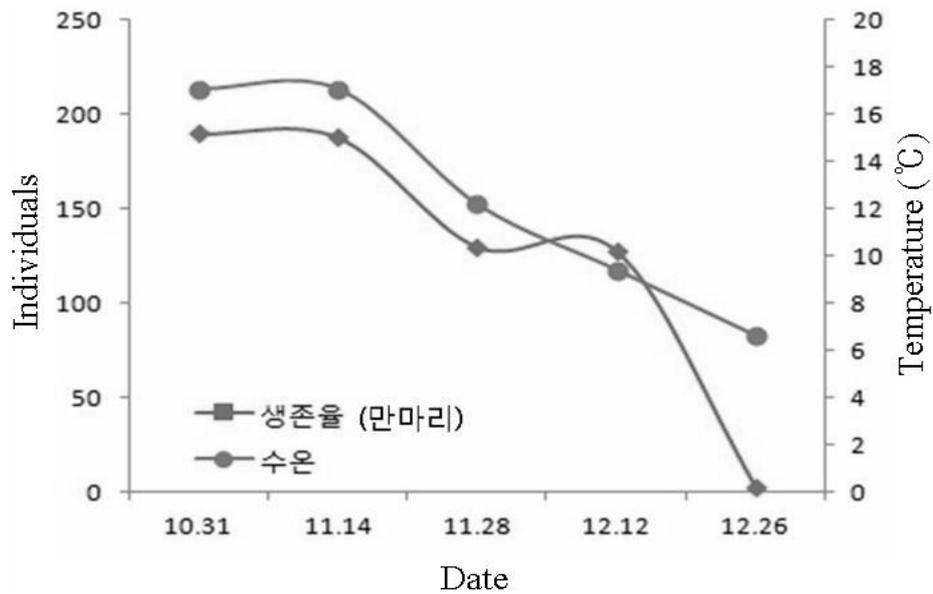


그림 3-17. 중간육성 기간 동안의 생존율 및 수온 변화



그림 3-18. 해삼 종묘생산 및 중간육성 시 출현한 유령명게

나. 현장적용시험(충남수산연구소)

(1) 2011 추계 분양 후 현장적용시험

(가) 육상수조 중간육성

1) 재료 및 방법

해삼 중간육성 실용화 진단을 추진한 과정은 그림 3-19~그림 3-26과 같다.

㉠ 사육수조 준비

해삼종묘(0.02g, 1cm 내외)의 중간육성을 위해서 콘크리트 사각수조(7톤)(그림 3-19), 콘크리트 원형수조(75톤)를 브러시로 세척한 후 소독제(차아염소산나트륨 NaClO, 유효염소 5%)를 100배 희석하여 바닥면을 소독하였으며, 지하수를 이용하여 잔류염소가 남지 않도록 충분히 세척하여 독성을 제거하였다.

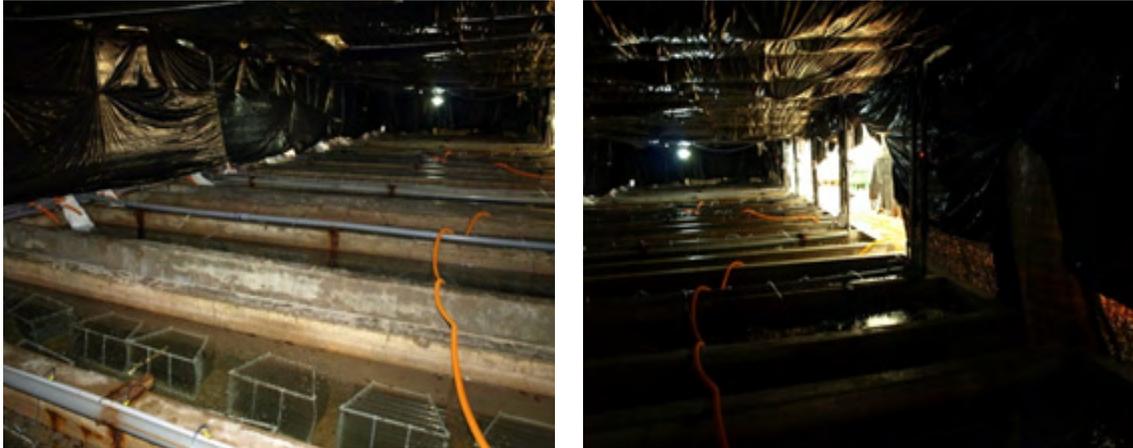


그림 3-19. 해삼 사육동 내부

㉠ 해삼종묘 부착기질 소독

해삼종묘 입식 전에 사용할 파판 및 육성망은 제품생산에서 부착된 기름성분을 제거하기 위하여 담수를 채운 수조에 수산화나트륨(NaOH, 98%)을 500ppm 농도로 녹여 48시간을 침지한 후 지하담수를 이용하여 충분히 세척하여 사용하였다.

㉡ 공급해수 및 환수

공급해수는 10 μ m 자루필터와 3 μ m 이중필터를 통과한 여과해수를 공급하였으며, 해삼종묘를 입식 후 1일 최소 1회전(100%)이상 유지되도록 환수 하였다.

㉢ 배합사료 제조 및 급이량

해삼종묘에 공급하는 배합사료는 3종으로 어린해삼용 배합사료, 서미조(지충이 분말), 다시마 분말 3가지를 혼합하여 여과 해수에 끓인 후 상온에서 식혔다(그림 3-20). 여기에 기타 첨가제로는 복합비타민, 효모다당, 면역다당, 스피룰리나, 복합바실러스를 오전 8시경에 정량 배합하여 여과해수에 녹여 배합사료가 식은 후 혼합하여 사료 공급시간(17시)까지 상온 보관 하다가 수조별로 정량을 분배하여 급이 하였다. 사료 공급량은 해삼 종묘의 전체 체중의 1~3%를 유동적으로 조정하면서 급이하였다. 다만 동절기 10 $^{\circ}$ C 정도로 수온이 하강하는 시기에는 2일 1회로 사료 급이 횟수를 줄여가면서 사료 급이량을 조절하였다.



그림 3-20. 해삼사료 제조

㉔ 사육수조 청소 및 선별

사육수조 청소는 종묘 선별과 동시에 이루어졌으며, 파관에 부착한 해삼은 1/3HP 수중양수기에서 나오는 압력을 이용하여 파관을 세척하듯 박리시켰고, 바닥 또는 수조벽면에 남아 있는 해삼은 배수구를 통해 수조 밖으로 해수와 함께 배수구로 흘려보내 제작된 수집망(279 μ m)을 이용하여 수거하였다(그림 3-21). 육성망에 붙은 해삼은 수조 내에서 육성망을 흔들어서 박리시켰으며, 파관과 동일한 방법으로 수거하였다. 해삼의 선별은 선별기(0.7mm, 2.4mm, 5mm, 6mm, 10mm, 12mm)를 이용하여 수조에 수용하였고(그림 3-22), 사육시 발생한 유령명게는 직접 손으로 제거하였다(그림 3-23).



그림 3-21. 사육수조 청소 및 해삼 수거



그림 3-22. 해삼종묘 선별



그림 3-23. 해삼 선별시 유령명게 제거

㉔ 해삼입식 및 성장률 조사

사육해삼의 성장률 및 생존율은 선별과 동시에 이루어졌으며, 해삼종묘(체장 1 cm)를 입식한 2011년 10월 27일부터 약 2주간 안정화 시킨 다음 1차로 성장률과 생존율을 조사하고 그 이후로는 월 1회 간격으로 사육수조에 대한 성장률 및 생존율을 조사하였다. 생존율은 총 중량에 대한 개체당 평균 체중을 대비하여 조사하였다. 중간육성에 사용한 해삼은 전남도 국제갯벌연구센터에서 분양한 해삼종묘(0.02 g, 1cm 내외) 중 700천 마리를 이용하였고, 체장 5mm이하 크기는 선별사육 중에 제거하였다(그림 3-24~그림 3-26).



그림 3-24. 해삼종묘 입식



그림 3-25. 망지 및 파판 중간육성 사육



그림 3-26. 동절기 해삼수조 공급용 가온수조

㉔ 사육수질 환경조사

수온, 염분, DO, pH는 휴대용 수질측정기(YSI)로 조사하였으며, 암모니아 등의 분석은 해양환경공정시험법(해양수산부, 2005)에 따라 분석하였다.

2) 연구결과

㉕ 사육수질 환경

사육수조의 수온은 시험시작인 2011년 11월에 평균 14.2℃였으며 점차 하강하여 2012년 2월에는 6.6~7.1℃의 범위를 보였다 수온은 3월부터 상승하기 시작하여 5월에 13.6~15.6℃까지 상승하였다(그림 3-27). 동절기 사육기간 중에는 보일러를 가동하여 5℃ 이상으로 유지한 결과 수온하강에 따른 대량 폐사현상은 없었다. 1차년도 해삼시범연구사업 보고서에 의하면 수온 2~10℃ 사이에서 환수량이 적을 경우 요각류의 대량번식이 발생하여 어린해삼의 폐사를 야기시킬 수 있다고 지적하고 있어 동절기에 철저한 환수 및 정기적인 수조청소를 병행하였다. 사육기간 중 특이한 염분변화는 보이지 않았으며, 월 평균 염분이 31.6~32.7psu로 해삼의 성장과 생존에 영향을 미치는 염분의 하강은 나타나지 않았다(그림 3-28). 사육기간 중 수온이온농도(pH)는 7.8~8.2 범위를 나타내었고(그림 3-29), 용존산소(DO)는 7~10mg/L내외를 유지하였다(그림 3-30). 두 개의 호지를 대상으로 암모니아 계열을 조사한 결과 시험기간 동안 NH_4^- 0.030~0.116mg/L, NO_2^- 0.002~0.956mg/L, NO_3^- 0.017~0.351mg/L, PO_4^- 0.003~0.042mg/L 범위로 특이한 변화는 보이지 않았다(그림 3-31~그림 3-34).

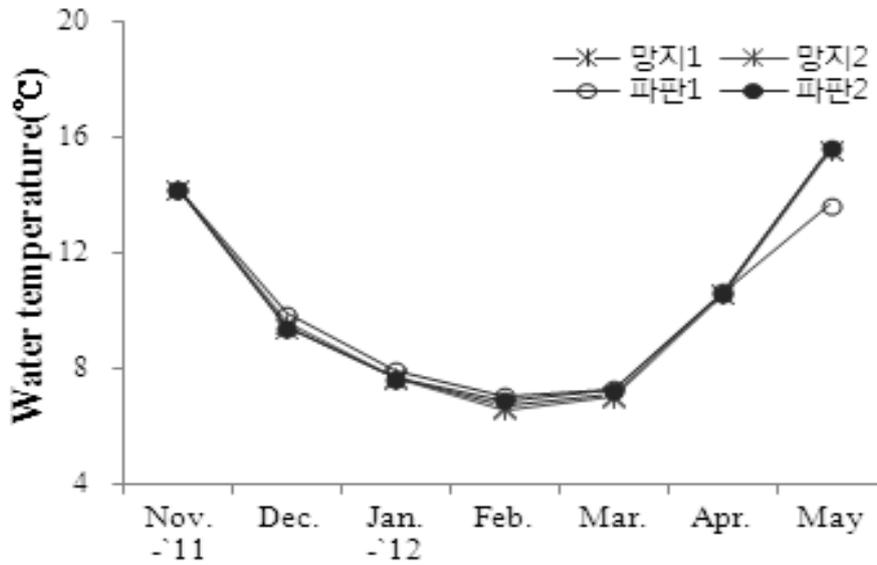


그림 3-27. 사육 수조별 월평균 수온 변화

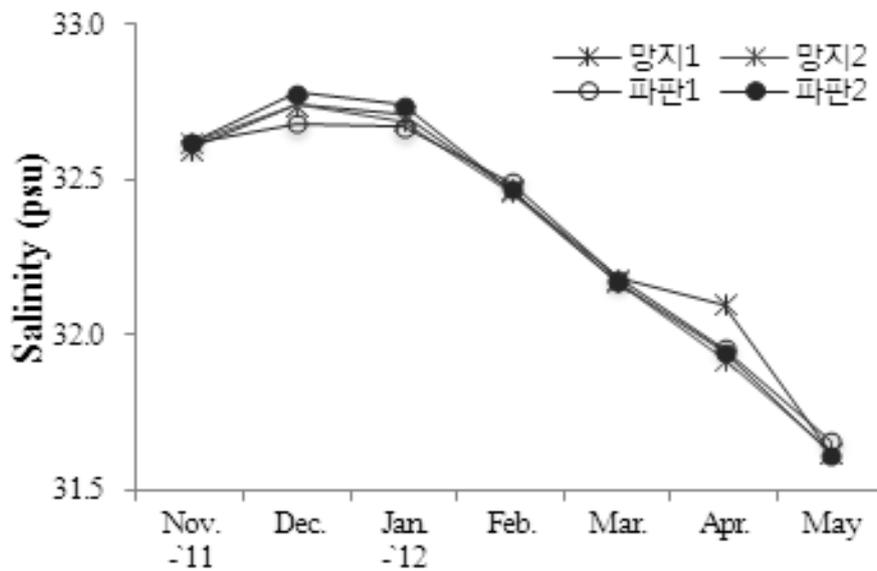


그림 3-28. 사육 수조별 월평균 염분 변화

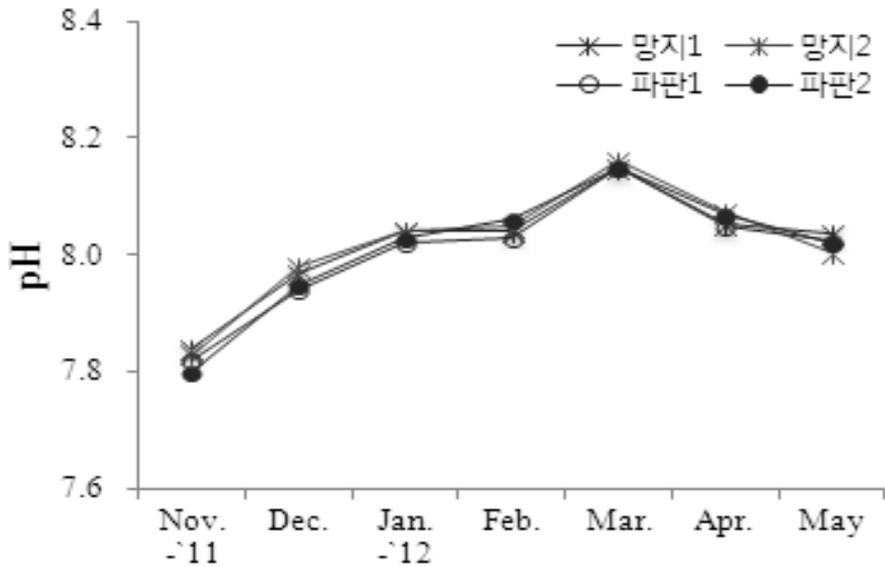


그림 3-29. 사육 수조별 월평균 pH 변화

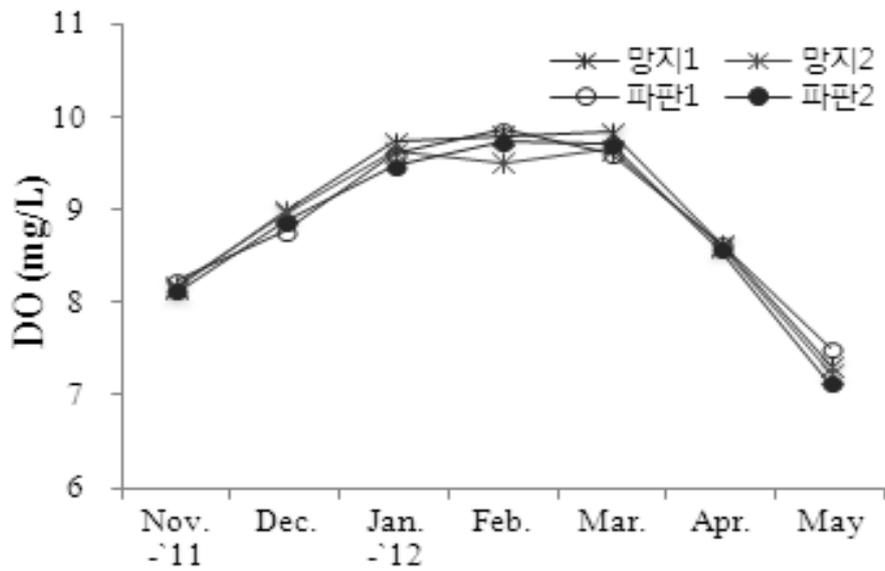


그림 3-30. 사육 수조별 월평균 DO 변화

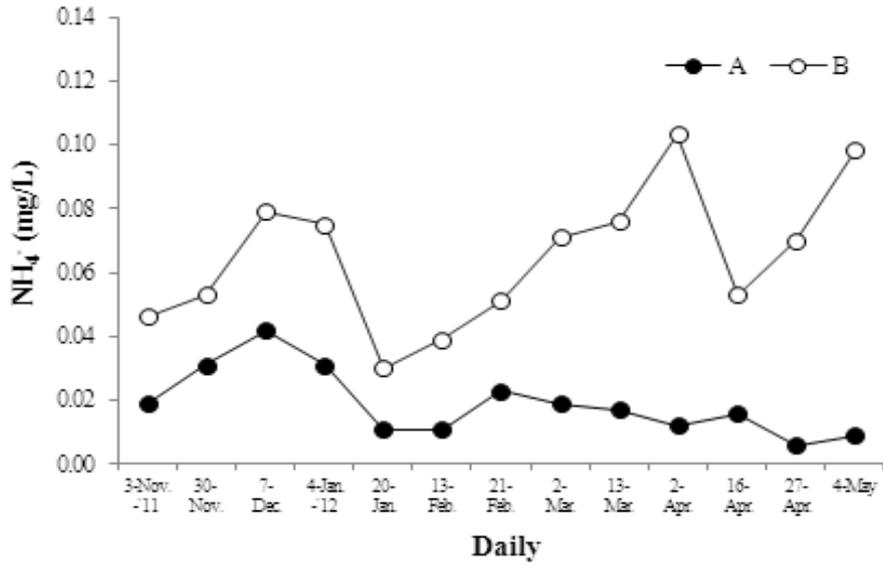


그림 3-31. 사육 수조별 NH₄⁻ 농도 변화

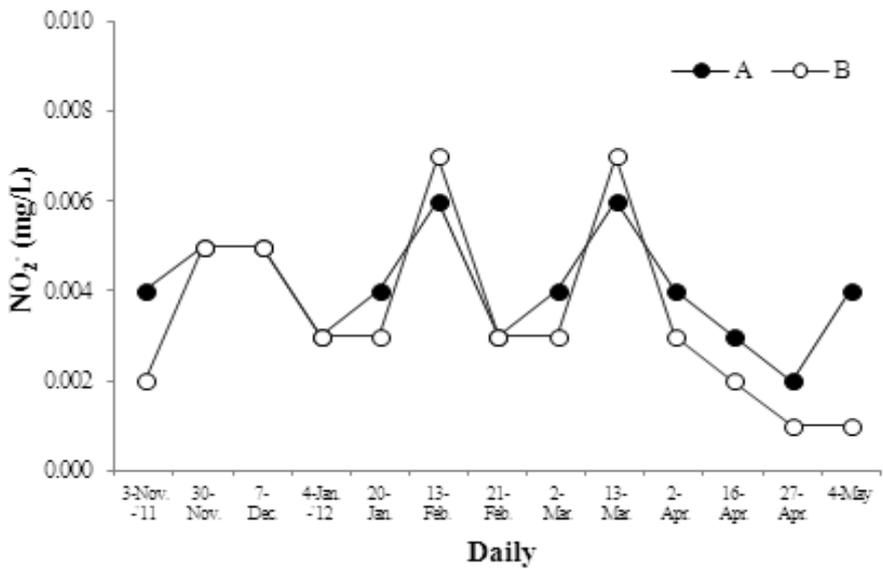


그림 3-32. 사육 수조별 NO₂⁻ 농도 변화

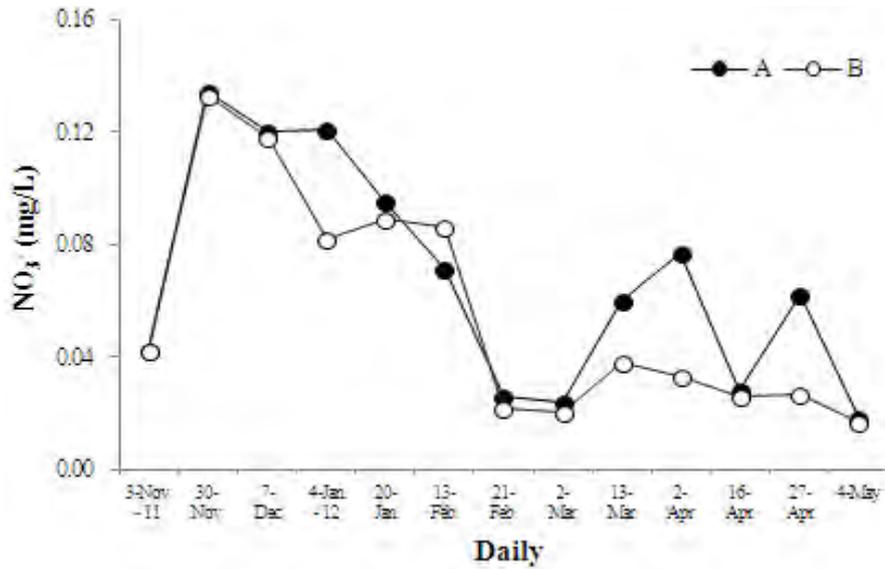


그림 3-33. 사육 수조별 NO₃⁻ 농도 변화

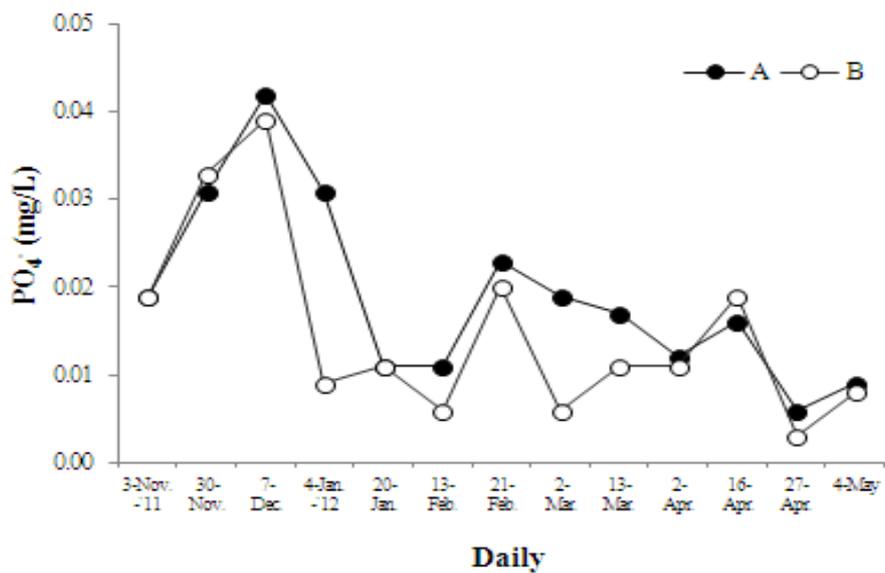


그림 3-34. 사육 수조별 PO₄⁻ 농도 변화

㉔ 해삼의 성장 및 생존율

해삼 종묘 운반 입식(10월 27일) 후 안정화시기(약 2주일)를 거쳐 2011년 11월 10일과 15일에 1차 생존율 조사를 실시하였다(그림 3-35). 육상 수조에서 중간육성 시험은 입식 해삼 700천 마리 중 체장 5mm이하 크기(배설물 혼합 등으로 측정 불가 등)의 소형개체 및 사망개체를 제외한 114천 마리(16.3%)를 시험용으로 활용하였다.

입식 후 2주간의 성장은 평균중량 0.02g(체장 5mm 이상 크기)에서 0.17g으로 성장하였다(그림 3-36). 한편 2011년 10월에 선별 과정에서 나온 체장 5mm 이하 크기의 소형개체(0.01g 이하)는 2012년 3월 까지도 개체 당 평균중량이 0.016g 정도에 불과하여 시험용으로 사용이 불가하였다. 따라서 추계에 해삼종묘를 이용한 중간 육성 시에는 수온 및 환경변화 등에 적응력이 강한 0.5~1g정도 크기의 해삼종묘를 이용하는 것이 바람직할 것으로 여겨진다.

2011년 11월 15일 1차 선별된 종묘 114천 마리를 대상으로 한 중간육성 시험 결과 2012년 3월 선별 시 생존량은 59천 마리로 51.8%의 생존율을 보였고, 이후에도 꾸준히 감모가 지속되었다. 최종 시험 종료일인 2012년 5월 30~31일까지 생산된 해삼종묘는 평균중량이 1g이었으며, 생산된 50천 마리 종묘 중 30천 마리는 축제식 양식장에 입식하였고, 20천 마리는 씨부림 어장에 입식하여 해삼 중간육성 시험을 종료 하였다(그림 3-37).

최종 생산된 50천 마리(평균중량 1g)의 해삼종묘 중 2~5g 이상 크기의 해삼은 12,000마리로 24%를 나타내었고, 2g 미만은 38,000마리로 76%를 차지하였다. 따라서 원활한 중간종묘(5g) 생산을 위해서는 춘계 종묘생산을 조기(3~4월)에 실시하여 추계에 1g 이상의 우량종묘를 확보하여 중간 육성할 경우 생존율 향상과 함께 다음해 4월경에 4~5g의 종묘생산 비율을 높일 수 있을 것으로 여겨진다.

사육기간 동안 질병에 의한 폐사는 관찰되지 않았지만 수조 청소 및 선별 후에는 2일간 약욕(페니실린 계열)을 2ppm으로 6~10시간 동안 실시하였다. 섭이상태는 2011년 12월부터 수온이 10℃이하로 떨어지면서 섭이가 급격히 떨어지는 현상을 보여 동절기 사육 시에는 사료의 가감(2일 1회)하는 등의 조치가 필요할 것으로 판단된다.

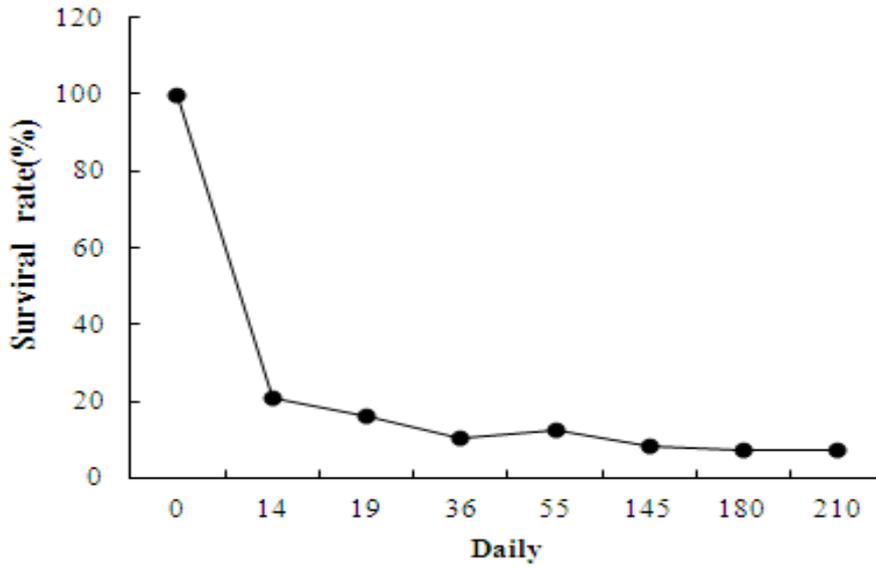


그림 3-35. 해삼종묘의 생존율

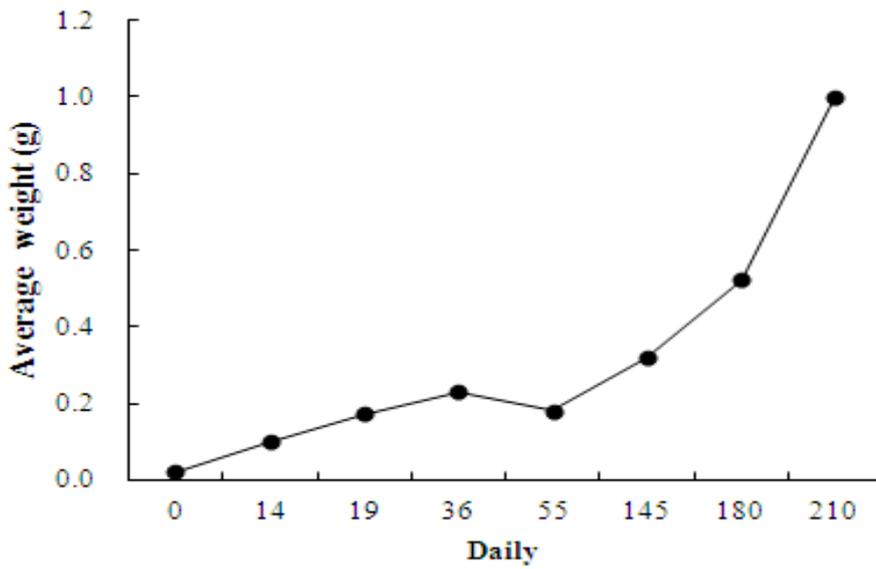


그림 3-36. 해삼종묘의 증중률(g)



그림 3-37. 중간육성 해삼의 축제식 입식

(나) 무환수시스템(BFT) 중간육성

1) 재료 및 방법

㉔ 무환수시스템(BFT)이란

무환수시스템의 원리는 바이오플락(biofloc), 즉, 유기물을 분해하는 미생물을 대량 번식시켜 타가영양세균을 활성화시켜 잔류유기물(사료찌꺼기, 배설물 등)을 제거하는 원리이다. 농림수산식품부 보고서(2012) “BFT를 이용한 친환경 고생산성 새우양식기술개발” 연구결과에 의하면 새우양식 시 연중 2모작이 가능한 것으로 나타났고, 흰다리새우에서는 실내에서도 성장촉진과 고밀도 사육이 가능한 크기의 중간육성 종묘생산이 가능한 시스템이다. 무환수시스템의 장점은 사육해수를 교환하지 않기 때문에 외부 질병유입의 차단과 함께 고밀도 사육이 가능하며, 다량의 해수가 필요하지 않고, 사료 값이 절감되는 이점이 있다. 또한 동절기

유수식 사육에 비하여 가온해수가 배출되지 않아 수온유지에 필요한 연료 절감 효과가 큰 장점을 지닌 시스템으로 최근에는 어류 양식에도 개발 연구가 진행 중이다(그림 3-38).



그림 3-38. 무환수시스템(BFT)을 이용한 넙치사육 모습

㉞ 시험연구 장소

시험 장소는 다년간 흰다리새우를 대상으로 무환수시스템(BFT)을 적용하여 생산시스템을 갖추고 있는 충남 청양군 소재 민간배양장으로 배양장 내의 콘크리트 수조(6m×20m×1m)를 이용하여 시험하였다. 해삼종묘 입식 2주일 전에 차아염소산나트륨(유효염소 5%)을 이용하여 수조를 소독한 후 담수로 충분히 세척하여 독성을 제거한 다음 자체 보유하고 있는 바이오플락(biofloc)을 대량으로 번식시켰다.

㉞ 시설 장치

무환수시스템 시설에서 가장 중요한 것은 배설물 등의 찌꺼기가 바닥에 가라앉지 않고 수중에 부유시키면서 분해하는 것으로써 수류와 에어를 공급하는 시설에 따라 효율이 좌우될 수 있다(그림 3-39). 이번 실험에 사용된 에어 공급시설은 에어 리프트 장치 설치 이외의 별도의 시설 장치는 없었다.



그림 3-39. 무환수시스템(BFT) 사육수조의 에어 및 수류 공급 장치

㉔ 종묘 입식

실험에 사용된 종묘는 2011년 10월 27일 전남도 국제갯벌연구센터에서 사육 관리된 평균 체장 1cm 내외 크기의 종묘 300천 마리를 분양 받아 바이오플락 (biofloc) 사육지에 분산 수용하였다.

㉕ 사료공급

사료는 해삼전용 분말사료를 1일 150g 전후로 공급하였으며, 수조 내 수온 및 환경상태에 따라 가감하였다. 동절기에는 수온저하에 따라 사료공급 횟수를 2일에 1회 정도로 줄여 공급하였다.

㉖ 수질측정 및 미생물분석

수온, 염분, pH, DO는 주 1회 휴대용(YSI) 수질측정기를 이용하여 수질을 측정하였으며, 수조 내 미생물 분석은 Ribosomal DNA library screening의 방법에 의해 측정하였다.

2) 연구결과

㉑ 수질 환경

조사기간 중 수온은 8.8~20.1℃ 였다. 입식당시 19℃ 전후로 유지하였던 수온은 동절기에 8℃ 내외로 하강하였다. 염분은 28.2~29.4 psu를 유지하였다. 수소이온농도(pH)는 7.6~8.2로 나타났으며, 용존산소(DO)는 6~8mg/L의 범위를 보였다 (그림 3-40~그림 3-41).

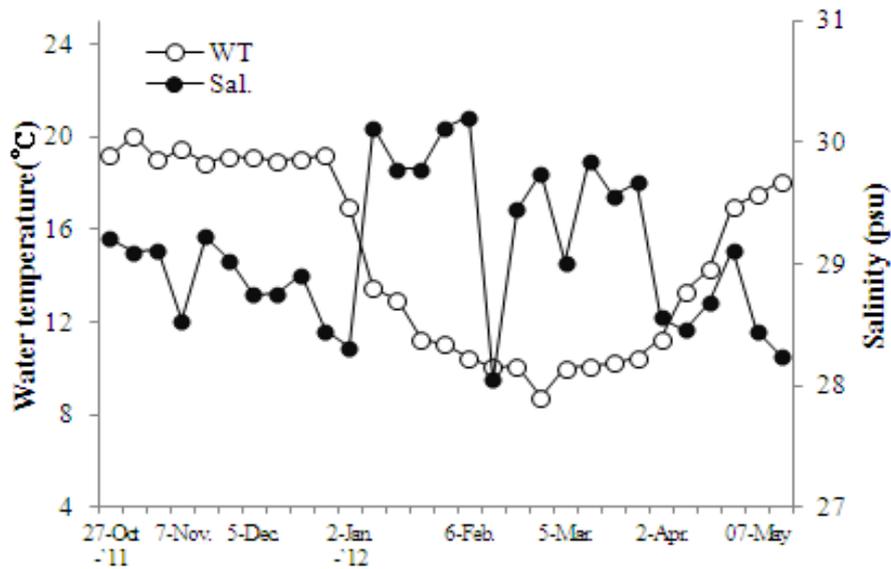


그림 3-40. BFT시스템 수조내의 수온, 염분 변화

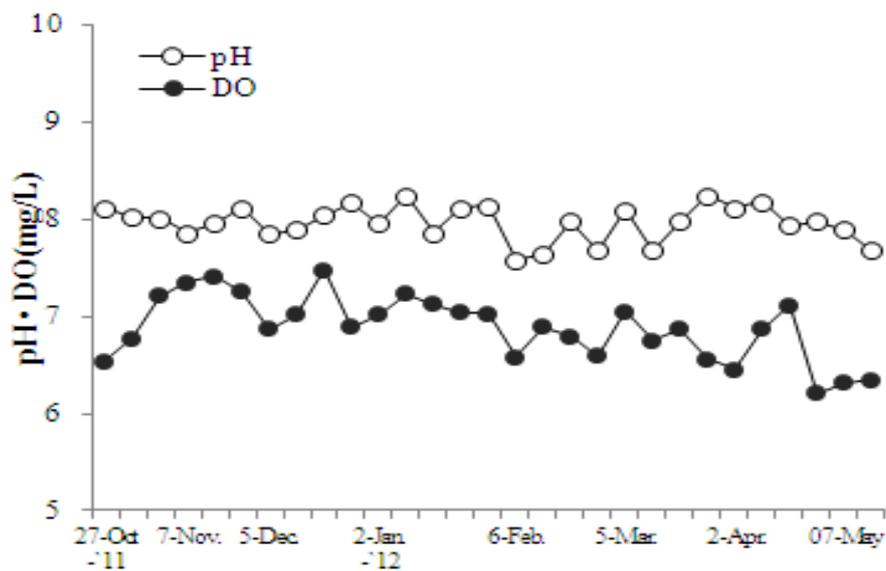


그림 3-41. BFT시스템 수조내 pH, 용존산소(DO) 변화

㉔ 미생물 분석

시료 50ml로 부터 제작된 박테리아 clone library 57개를 분석한 결과 검출된 박테리아(bacteria)는 총 30종이 검출되었고, 우점종은 57개의 clone 중 *Jannaschia* sp.가 8개 발견되어 전체의 14%를 차지하였고, 그 다음으로는 *Acanthopleuribacter pedis*(미기록)가 6개 발견되어 전체의 10.5%를 차지하였다(그림 3-42, 표 3-5). 그 외 *Prevotella paludivivens*, Uncultured bacterium clone 3M34_002, Uncultured bacterium clone SHZZ567 가 각각 4개씩 발견되어 각각 7%를 차지하였다. 이들 5종이 차지하는 전체 비율은 47.37%로 나타났다. 우점종인 *Jannaschia* sp.는 전형적인 광합성 해양세균으로 해수, 모래사장 또는 조류(algae)에 부착하여 서식하는 종들로 알려져 있고, 과도하게 자라게 되면 물 색깔을 황색 또는 홍색으로 보이게 만드는 균이다. 이 균은 해수 속에서 광합성을 통해 산소를 공급하는 역할을 하는 박테리아로 빛이 없는 해수에도 다량으로 존재하며 빛을 조사하면 급격한 성장을 보이는 균으로 알려져 있다.

조류 clone library 61개를 분석한 결과 검출된 조류(algae) 및 진핵생물은 총 17종이 검출되었다(그림 3-43, 표 3-6). 그 중 조류(algae)는 7종, 편·섬모충류는 10종이 검출되었고, 조류 중 최우점종은 Uncultured Banisveld eukaryote clone P1-3m9로 전체의 52.5%를 차지하였고 *Oxyrrhis marina*는 8개가 발견되어 전체의 13.1%를 차지하였다. Uncultured Banisveld eukaryote clone P1-3m9는 아직 어떤 종인지 분류되지 않은 조류로 현재 이 종에 대한 분류 특성, 환경상태에서의 역할에 대한 연구가 없어 그 특성을 알 수 없는 종이다. 최초 보고는 혐기성 시료에서 발견되었으나 갯벌, 해수 등의 호기성 상태에서도 발견된다.

해삼의 먹이원으로 추정되는 박테리아 종은 *Jannaschia* sp. J5-8, Uncultured gamma proteobacterium, 조류 종으로는 Uncultured Banisveld eukaryote clone P1-3m9, *Oxyrrhis marina*, *Stephanopyxis turris* (미기록), *Thalassiosira nordenskiöldii* strain FB02-19, 편모·편모충류로는 *Oxytricha granulifera* (미기록), *Codonosiga gracilis* (미기록), *Cohnilembus verminus*, *Homalogastra setosa*, *Metaurostylopsis salina*, *Metaurostylopsis* sp. WWS-2010a 종들이 분석되었다. 따라서 해삼의 먹이

로 추정되는 종들과 해삼류의 먹이원으로 보고된 기존연구(Andrew 2001, Wang 2007)들에서 밝혀진 미생물 종들을 대량 배양할 수 있는 무환수시스템(BFT)을 연구한다면 해삼의 성장과 생산성을 증대시킬 수 있을 것으로 여겨진다.

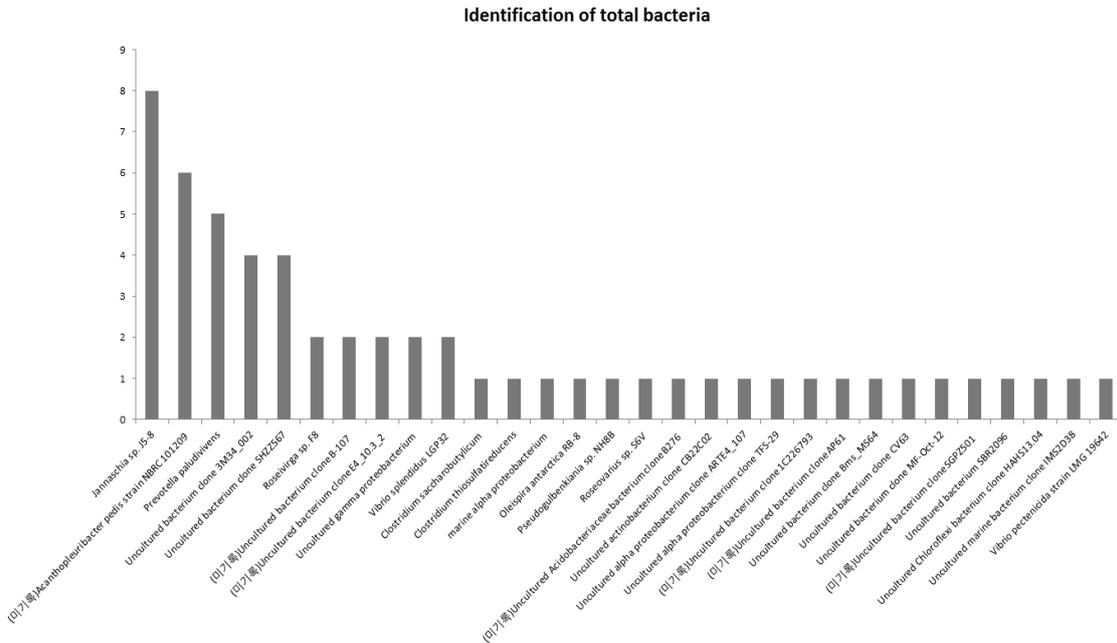


그림 3-42. 박테리아 우점비율

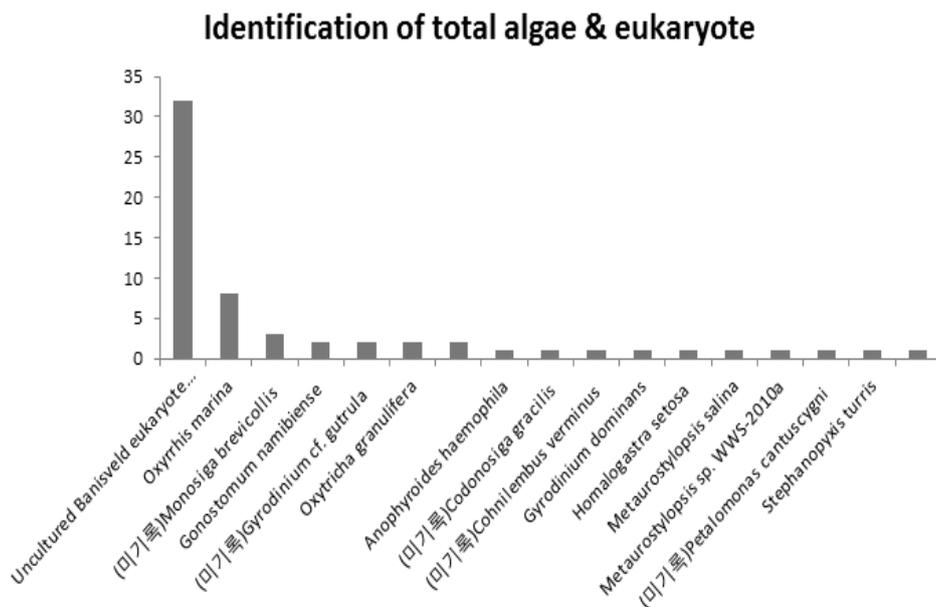


그림 3-43. 조류 및 진핵생물 우점비율

표 3-5. 검출된 박테리아(원핵생물)

번호	미생물 종명	검출된 개수	비율(%)
1	<i>Jannaschia</i> sp. J5-8	8	14.0
2	(미기록) <i>Acanthopleuribacter pedis</i> strain NBRC 101209	6	10.5
3	<i>Prevotella paludivivens</i>	5	8.8
4	Uncultured bacterium clone 3M34_002	4	7.0
5	Uncultured bacterium clone SHZZ567	4	7.0
6	<i>Roseivirga</i> sp. F8	2	3.5
7	(미기록) Uncultured bacterium clone B-107	2	3.5
8	(미기록) Uncultured bacterium clone E4_10.3_2	2	3.5
9	Uncultured gamma proteobacterium	2	3.5
10	<i>Vibrio splendidus</i> LGP32	2	3.5
11	<i>Clostridium saccharobutylicum</i>	1	1.8
12	<i>Clostridium thiosulfatireducens</i>	1	1.8
13	marine alpha proteobacterium	1	1.8
14	<i>Oleispira antarctica</i> RB-8	1	1.8
15	<i>Pseudogulbenkiania</i> sp. NH8B	1	1.8
16	<i>Roseovarius</i> sp. S6V	1	1.8
17	(미기록) Uncultured Acidobacteriaceae bacterium clone B276	1	1.8
18	Uncultured actinobacterium clone CB22C02	1	1.8
19	Uncultured alpha proteobacterium clone ARTE4_107	1	1.8
20	Uncultured alpha proteobacterium clone TFS-29	1	1.8
21	(미기록) Uncultured bacterium clone 1C226793	1	1.8
22	(미기록) Uncultured bacterium clone AP61	1	1.8
23	Uncultured bacterium clone Bms_MS64	1	1.8
24	Uncultured bacterium clone CV63	1	1.8
25	Uncultured bacterium clone MF-Oct-12	1	1.8
26	(미기록) Uncultured bacterium clone SGPZ501	1	1.8
27	Uncultured bacterium SBR2096	1	1.8
28	Uncultured Chloroflexi bacterium clone HAHS13.04	1	1.8
29	Uncultured marine bacterium clone IMS2D38	1	1.8
30	<i>Vibrio pectenicida</i> strain LMG 19642	1	1.8
합 계		57	100%

표 3-6. 검출된 조류(진핵생물)

번호	미생물 종명	검출된 개수	비율(%)
1	Uncultured Banisveld eukaryote clone P1-3m9	32	52.5
2	<i>Oxyrrhis marina</i>	8	13.1
3	(미기록) <i>Monosiga brevicollis</i>	3	4.9
4	<i>Gonostomum namibiense</i>	2	3.3
5	(미기록) <i>Gyrodinium</i> cf. <i>guttrula</i>	2	3.3
6	<i>Oxytricha granulifera</i>	2	3.3
7	Uncultured stramenopile clone AB3F14RJ10F01	2	3.3
8	<i>Anophyroides haemophila</i>	1	1.6
9	(미기록) <i>Codonosiga gracilis</i>	1	1.6
10	(미기록) <i>Cohnilembus verminus</i>	1	1.6
11	<i>Gyrodinium dominans</i>	1	1.6
12	<i>Homalogastra setosa</i>	1	1.6
13	<i>Metaurostylopsis salina</i>	1	1.6
14	<i>Metaurostylopsis</i> sp. WWS-2010a	1	1.6
15	(미기록) <i>Petalomonas cantuscygni</i>	1	1.6
16	<i>Stephanopyxis turris</i>	1	1.6
17	(미기록) <i>Thalassiosira nordenskiöldii</i> strain FB02-19	1	1.6
합 계		61	100%

㉔ 무환수시스템(BFT)에서의 해삼 성장 및 생존율

2011년 10월 27일 해삼종묘(0.02g)를 입식 후 2주간 안정화를 유도한 후 체장 5mm 이하 크기의 소형 개체 및 사망개체를 제외한 100천 마리의 해삼을 이용하여 성장과 생존율을 조사 하였다(그림 3-44). 1차 측정 시(2012년 2월) 전수조사 결과 총 1,480마리가 생존하는 것으로 확인되었으며, 중간 생존율은 1.48%로 매우 낮았다. 그러나 생존개체의 평균 중량은 1g 내외까지 성장하였다. 본 시험기간 중의 대량감모 발생 원인은 무환수시스템(BFT)에서의 수질 및 먹이생물 등의 불균형에 의한 것으로 추정되고 있으며, BFT에 의한 양식기술 개발을 위해서는 금후 1g 이상의 대형 종묘에 의한 추가적인 시험이 필요한 것으로 나타났다. 본 시험 결과 BFT 방식에서의 해삼 성장은 가능한 것으로 여겨지며, 미생물 분석결과 해삼의 먹이원(섬모충류, 편모충류)으로 추정되는 미생물들을 대량으로 접종하는 사육시스템으로 개량한다면 육상에서 무환수 양식 시스템 개발 가능성이 있는 것으로 여겨진다.



그림 3-44. 무환수시스템(BFT) 사육 해삼의 관찰 및 측정

(2) 2012 하계 분양 후 현장적용시험

1차 해삼 중간육성 실용화 진단에서 수온하강기 저수온에 접어들면서 종묘의 성장 및 생존율이 좋지 않아 수온상승기의 조기 분양이 해삼 중간육성에 유리한 것으로 분석되었다. 따라서 올해 조기 생산된 종묘의 중간육성 실용화 진단을 위하여 2개소에 300만 마리를 분양하였다. 분양은 농림수산식품부로부터 직접 추천 받아 선정하였으며(표 3-7), 2012년 7월 17일부터 22일 사이에 각각 1cm 크기의 종묘를 선별하여 분양하였다. 분양 입식 후 종묘는 안정화 상태에 접어들었으며 성장이 양호한 것으로 나타났다.

표 3-7. 해삼 중간육성 실용화 진단 기관

기 관 명	분양마리수	비 고
전남해양수산과학원 진도지소	150만 마리	해삼산업연구센터
인하대학교	150만 마리	

4. 결 론

해삼 양성을 위한 종묘의 효과적인 중간육성 방법을 알아보고자, 본 연구에서는 소형 파일럿 규모(1m×1m×1m, 수량 300L 유지)의 실내 중간육성 시험, 국제갯벌센터 해수 침전조를 이용한 수심 및 밀도별 실외 중간육성 시험 및 해삼-전복 복합 중간육성 시험을 실시하였다.

실내 중간육성시험에서 해삼의 생존율은 80% 이상으로 대체적으로 양호한 편이었다. 이 중 입식밀도가 가장 높은 실험구(155마리, 평균중량 3.91g)의 생존율이 96.8%로 가장 높게 나타났다. 전중량 및 개체 평균중량은 실험기간 중 해삼 일부가 폐사되었음에도 불구하고 꾸준히 증가한 것으로 나타났으며, 입식 밀도와 반비례하는 성장률을 보였다. 입식밀도가 가장 낮았던 실험구는 전중량과 개체

평균중량이 75.7g, 3.8g에서 461.8g, 25.7g으로 성장하여 각각 510.0% 및 576.3%의 높은 성장률을 보인 반면, 사육 밀도가 가장 높았던 실험구에서는 전중량과 개체 평균중량이 각각 605.3g, 3.9g에서 1,380.6g, 9.2g으로 성장하여 128.1% 및 135.9%의 낮은 성장률을 보였다. 이러한 결과를 종합하면, 일정기간동안 실내에서 중간육성을 할 경우 성장을 빠르게 하기 위해서는 사육밀도를 낮게 유지하는 것이 좋으며, 생존유지를 위한다면 사육밀도가 다소 높아도 무방할 것으로 추정된다. 하지만, 산업적 관점에서 적정 사육밀도를 밝히기 위해서는 다양한 환경 요건에 대한 변수를 고려한 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

국제갯벌연구센터의 해수 침전조를 이용한 수심 및 밀도별 실외 중간육성 시험에서 생존율은 모든 구간에서 80% 이상으로 전반적으로 양호하였다. 그러나 시험기간 동안 개체 평균중량은 -18.5%~44.0%로 성장도가 낮은 결과를 나타내었다. 수심 1m의 경우 통발 당 10마리 실험구는 44.0%의 성장률을 보인 반면 통발 당 40마리 실험구는 체중이 오히려 18.5% 감소한 것으로 나타났다. 수심 3m 실험구에서도 통발 당 10마리 실험구는 체중이 31.8% 증가한 반면 통발 당 40마리 실험구는 4.3%가 감소한 것으로 나타났다. 실내 중간육성과 비교하여 통발을 이용한 실외 중간육성의 생존율은 유사한 경향을 나타내었으나, 성장률은 큰 차이를 보였다. 이는 인위적 사료공급을 하지 않고 해수에 자연적으로 존재하는 먹이를 섭이해야하는 어려운 환경으로 인해 체중 증가율이 낮거나 오히려 감소한 것으로 추정된다. 따라서, 실외 중간육성에 의한 생산성 향상을 위해서는 적정한 인위적 사료 공급이 필요할 것으로 사료된다.

해삼-전복 복합 중간육성 시험에서 전복 먹이만을 공급하여 사육하였음에도 개체 평균 중량 0.7g의 소형개체를 입식한 실험구에서는 체중이 7.4g으로 957.1%까지 증가하였으며, 평균 중량 3.8g의 개체를 입식한 구간에서도 6.8g으로 44.7% 성장하였다. 이러한 결과는 해삼-전복 복합 중간육성방법으로 해삼이 성장할 수 있는 가능성을 보여 주었다. 해삼-전복 복합양식이 종묘 중간육성만을 목적으로 하기에는 다소 무리가 있을 것이다. 복합 양성하는 전복에 의한 경제성 또한 주요

고려 대상이기 때문이다. 따라서 해삼-전복 이종간 복합양식의 목적을 뚜렷이 하기 위해서는 해삼과 전복의 복합양식을 위한 적정 사육밀도 평가 후 경제성 분석을 통해 해삼 중간육성 방법으로 활용할지 아니면 전복과 함께 최종 출하 크기까지 사육해야 할지의 판단은 향후 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

실내 중간육성과 실외 중간육성 실험을 비교분석하였다. 생존율은 두 시험조건에서 큰 차이를 보이지 않았지만, 성장도에 있어서는 실내 중간육성이 훨씬 좋은 것으로 나타났다(그림 3-45). 이는 실외의 경우 먹이공급이 이루어지지 않은 결과 성장도에서 차이가 나는 것으로 생각되며 향후 먹이공급에 따른 실외 중간육성 및 관리 방안에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 보인다.

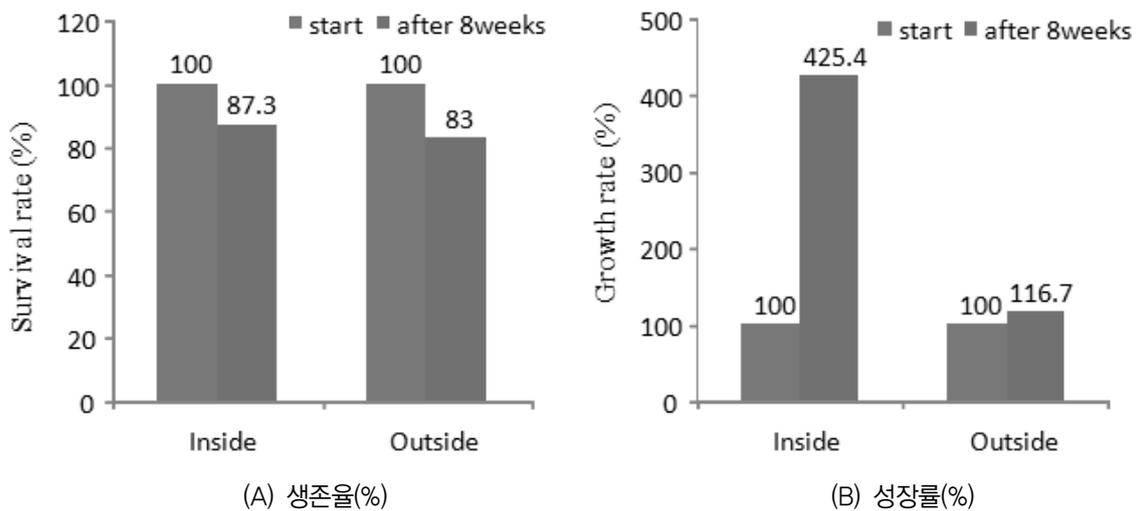


그림 3-45. 실내 및 실외 중간육성 시 해삼의 생존율과 성장률

1cm 종묘를 5g까지 키우기 위하여 분양 후 현장적용시험 진단을 실시하였다. 1차 진단은 2011년 10월에 1cm 크기 종묘를 충남수산연구소에 분양하였다. 충남수산연구소에서는 육상수조에서의 중간육성과 무환수시스템을 이용한 중간육성을 진행하였다.

시험 결과 가을철 입식에서 초기 감모가 대량 발생하였으며, 그 이후 안정화 상태를 유지하였다. 이는 운반과정 중 스트레스 및 수온하강기에 접어들면서 발생한 폐사로 생각된다. 향후 종묘분양을 위한 안정적인 운송방법에 대한 추가적

인 연구가 필요할 것으로 보인다. 전남국제갯벌연구센터에서 진행한 대량 중간육성 실험에서도 결과는 유사하였다. 이것은 수온하강기에 접어들어 저수온으로 가면서 종묘의 성장환경이 불리하여 대량 감모가 발생한 것으로 추정되며 이러한 결과를 바탕으로 종묘의 대량 중간육성을 위해서는 가을철 보다 빨리 분양이 이루어져 수온상승기에 입식되어야 종묘의 중간육성에 유리할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 2012년 조기종묘 생산된 1cm 종묘를 7월 고수온상태가 유지되는 시기에 인하대학교, 전남해양수산과학원 진도지소 해삼산업연구센터에 분양하였으며 분양 후 점검결과 상태가 양호한 것으로 나타났다.

2012년 조기종묘로 생산되어 2개 기관에 분양된 종묘는 중간육성을 거쳐 2012년 11월까지 체중 2~3g으로 성장이 가능할 것으로 예상되며, 이 정도의 크기에서는 씨뿌림 양식은 물론 일부 축제식 양식 종묘로 사용이 가능할 것으로 예측된다.

따라서 금후 해삼종묘생산 방향은 3~4월 중 조기종묘 생산기술을 정착시켜 중간육성 과정을 거쳐 당년(10~11월)에 씨뿌림 및 축제식 양식용으로 입식이 가능한 우량종묘 생산에 치중할 필요성이 있다. 또한 자연 산란시기에 종묘를 생산할 경우에는 6월까지 종묘생산을 완료한 후 8월경부터 중간육성을 실시하고, 7월 이후의 종묘생산은 겨울철 월동 시 가온비용 및 폐사량의 증가로 경제성이 낮아질 수 있기 때문에 지양하는 것이 바람직하겠다.

중간육성의 종묘생산 경제성을 분석해 보면 1g 이상 중간육성 종묘 100만마리 생산 기준으로 필요한 종묘비 150백만원, 인건비 60백만원 등 총 240백만원이 소요되며 개체당 생산비용으로 환산하면 240원의 비용이 소요될 것으로 추정된다(표 3-8). 이것은 배양장 등 토지비용과 연구인력 투입 인건비가 제외된 것으로 개체당 소요비용은 이것을 고려할 경우 변동될 수 있으며 참고적인 내용이다.

표 3-8. 해삼 중간육성 소요 경비

구 분	금 액(백만원)	비 고
종묘비	150	1000만(1cm 종묘)
인건비	60	6인
배합사료	10	
파판 등	10	감가상각(5년), 50백 만원
기 타	10	약품, 소모물품 및 전기요금 등
총 계	240	240원/g/개체

중국의 종묘생산 실태를 살펴보면 요녕성 대련 금주지역의 해삼종묘 생산장은 시설이 규모화, 현대화되어 있다(그림 3-46).



그림 3-46. 대련 금주지역 해삼종묘 생산장

위와 같은 곳은 수면적 9,000m²으로 종업원수는 약 36명이다. 6개 생산동, 본관, 보일러실, 모래여과시설을 갖추고 있다. 수조크기는 7m×3m×1.5m로 보유 수조수는 336개이며 9년 전 종묘배양장 건설시 소요된 건설비는 1,500만 위안이었다. 이 지역에서 생산하는 해삼종묘는 망지를 이용하며, 먹이는 배합사료를 사용한다. 종묘생산 시기는 3~11월이며 종묘생산방법은 파판채묘 후 선별 망지 육성하는 것으로 조사되었다. 조기종묘생산체제로 어미해삼관리는 연태지역에서는

어미해삼관리 전문업체가 있었지만 이곳에서는 자체관리를 하며 관리방법은 산동과 동일하다(그림 3-47).



그림 3-47. 대련 금주지역 해삼종묘생산방식과 생산된 종묘

위 시설에서의 연간 생산량은 5톤이며, 출하크기는 5g 중량(200~240위안/100미)이다. 가온을 위한 석탄연료 사용량 1,000톤(980위안/톤)이며, 배합 사료량은 3.5톤 정도 소요되는 것으로 조사되었으며 인건비는 2,000위안/월/인이었다. 요녕성의 와황텐 지역에 있는 종묘장에서 생산 실태를 살펴보면, 이 지역 또한 규모화 및 현대화 되어 있는 종묘생산 시설을 갖추고 있다(그림 3-48).



그림 3-48. 와황텐 지역 해삼종묘 생산장

수면적은 10,000m²로 종업원수 30명이며, 종묘 생산동, 본관, 보일러실, 모래여과시설을 갖추고 있다. 수조크기는 7m×3m×1.5m로 시설된 수조는 400개이며 건설비는 10년 전 1,500만 위안이 소요되었다. 이곳에서도 금주지역과 마찬가지로 망지선발 육성을 하고 있다(그림 3-49). 연간 생산량은 5g 크기 10톤(300위안/100미/500g)이며, 석탄연료 사용량은 300톤, 배합사료는 4톤, 인건비는 2,000위안/월/인 수준 이었다. 이 지역에서도 장기사육시간 확보와 원생동물 방제를 위하여 해삼종묘를 조기 생산하는 체제를 유지하고 있었다.



그림 3-49. 와항텐 해삼 종묘생산

해삼 종묘생산 또는 중간육성 과정에서 발생하는 다양한 질병감염은 생산량을 감소시키며 상품의 가치를 하락시키는 주요 원인이 된다. 아직까지 바이러스성 질병감염의 치료제는 개발되지 않아 초기에 감염 여부를 발견하더라도 적절한 치료방법이 없다. 대부분 세균성 질병은 비브리오 감염증으로 위와 표피에 흰색 궤양 증상을 보이기 때문에 지속적인 관찰로 초기에 발견하여 항생제 처리를 하면 질병의 확산과 치료를 할 수 있다. 요각류의 발생은 종묘생산 또는 중간육성 과정에서 흔히 볼 수 있는 현상으로 개체수가 과다 번식하면 해삼 표피에 상처를 주어 세균성 질병을 2차로 발병시키는 원인이 된다. 일정 개체수 이상 증식하면 수산용 트리클로로폰으로 약육하면 증식을 저해시키거나 사멸시켜 제거할 수 있다.

모든 생물이 건강한 상태를 유지하게 되면 질병감염 확률을 낮출 수 있기 때문에 사육과정에서 해삼이 필요로 하는 다양한 영양성분을 공급하여 면역력을 높여 준다. 해삼 질병 감염 시 사용하는 항생제는 테트라사이클린 계열(테라마이신, 옥시테트라사이클린)과 페니실린 계열(페니실린, 암피실린, 스트렙토마이신)이 주로 사용되며, 약육시 한 가지 항생제를 사용하거나 이 두 계열의 항생제를 복합적으로 사용하기도 한다. 약육 농도는 질병감염 정도에 따라 1~5ppm 농도로 약육 후 환수하며 치료 여부를 관찰하여 1~3일간 처리한다. 요각류 제거를 위해서는 트리클로로폰 제제를 사용하며 1ppm 농도로 6~10시간 약육 후 환수하며 요각류의 사멸 여부를 관찰하여 격일제로 약육을 1~2회 추가로 처리한다. 해삼 종묘생산이나 중간육성을 위해서는 해삼 질병 관리 및 치료가 우선적으로 되어야 종묘생산과 중간육성의 안정화를 가져 올 수 있다. 그러나, 국내에는 아직까지 해삼 전용 약제가 개발되어 있지 않았지만, 해삼 양식의 선진국인 중국은 다양한 해삼 약제가 개발되어 있다. 국내에서도 해삼산업을 발전 육성하기 위해서는 해삼질병관련 연구가 시급히 이루어져야 하며, 연구 성과가 나오기 전에는 한정적으로 당분간 해삼종묘생산 및 중간육성에 중국 약품 사용의 허가가 필요할 것으로 보인다.

해삼의 영양결핍이나 환경에 이상(염분 저하, 수온의 급변 등)이 발생한 경우에도 해삼은 몸을 수축하거나 섭이를 하지 않는 등 이상 증상이 발생한다. 해삼이 요구하는 영양성분의 충분한 공급과 지속적인 관찰을 통해 이상 여부를 관찰하여 적정 환경 조건을 맞춰 준다면 질병 발생을 최소한으로 줄일 수 있을 것이다.

아래 표 3-9는 해삼의 질병 대처 방안으로 항생제 및 약품의 사용이 기재되어 있는데, 이들은 식량농업기구가 공식 또는 권장하는 항생제 및 약품 안이다. 이 안들에 대하여 특별한 전문가 및 기관은 규명되지 않았으나 많은 시행착오 중 나온 결과인 만큼 참고자료로 유용하게 활용될 것이다.

표 3-9. 해삼 질병 및 통제방안(식량농업기구 권장)

질 병	질병원	유 형	증후군	대처방안
급성구기부종증 (Acute persitomal oedema disease)	Coronaviridae	바이러스	급성구기부종 및 착지능력 저하	미상
연부식증후군 (Rotting edge symptom)	<i>Vibrio</i> sp.	박테리아	아우리쿨라리아 유생의 가장자리가 검게 되며, 녹아 없어지게 됨	미상
위궤양증후군 (Stomach ulceration symptom)	미상의 박테리아	박테리아	유생의 위장벽에서 궤양이 생기면서 폐사함	사용이 허용된다면, 3~5ppm 페니실린 또는 스트렙토마이신 등과 같은 항생제가 효력있음
탈락증후군 (Off plate syndrome)	<i>Vibrio</i> spp. 및 미상의 박테리아	박테리아	착저한 어린해삼의 몸체가 수축되면서 기질에 부착하지 못함	미상
표피궤양병 (Skin ulcer disease)	미상의 박테리아	박테리아	몸체가 수축되면서 작은 흰반점이 생기는 피부궤양이 생김	사용이 허용된다면, 3~5ppm 테라마이신, achemycin, sulphanilamides 등의 항생제가 효력이 있음
박테리아성궤양증후군 (Bacterial ulceration symptom)	그람음성 박테리아	박테리아	몸체가 수축되며 구기 주위에 작은 병소가 나타남. 감염된 표피는 침식되기 시작함	미상
곰팡이병 (Fungal disease)	곰팡이	박테리아	유두가 흰색으로 되면서 피부가 침식됨	미상
원생동물 감염 (Protozoan infection)	원생동물	원생동물	내장과 호흡수가 체외로 방출됨	미상
편형동물병 (Platyhelminthiasis)	규명되지않은 편형동물	편형동물	입과 항문 주위에 궤양 생성. 이후 몸 표면전체로 퍼짐	미상
요각류에 의한 피식 (Predation by copepods)	<i>Microsetella</i> sp.	요각류	공격을 당한 새끼 들의 몸체에 상처가 생기고 허약해지면서 결국 폐사	가능하다면 1~2ppm 트리클로로폰에서 8~12 시간 약욕
요각류에 의한 피식 (Predation by copepods)	<i>Tigriopus japonicus</i>	요각류	공격을 당한 새끼 들의 몸체에 상처가 생기고 허약해지면서 결국 폐사	요각류의 개체수를 줄이기 위해 망목 45um망을 사용하여 여과

핵심 사항

- 해삼 중간육성을 위한 실내 및 실외 시험결과, 실내중간육성 방법이 종묘관리 및 먹이 공급 등으로 성장도가 좋은 것으로 나타남. 아직까지 중간육성은 실내에서 진행되는 것이 좋으며, 입식 밀도는 0.5~1.0kg/ton이 좋으나 사육여건 및 경제성을 고려하여 조절할 수 있음
- 실내에서 어린종묘의 중간육성 시 생존율은 대체적으로 양호하나, 성장률은 사육밀도가 낮을수록 뛰어남으로 산업적 적용을 위해서는 육성 어장의 여건 및 관리자의 기술력 등을 고려하여 현장별 여건에 맞는 적정 사육 밀도 적용 필요
- 실외에서 어린종묘의 중간 육성 또한 생존율은 전반적으로 양호하나, 자연 먹이에 의존하는 여건상 성장률은 실내 중간육성에 비해 현저히 낮게 나타남. 따라서 실외 중간육성이 경쟁력을 갖추기 위해서는 인위적인 먹이공급이 필요할 것으로 사료됨
- 해삼과 전복의 이종간 복합 중간육성 시 해삼의 성장률은 우수한 것으로 나타났으나, 산업적 적용을 위해서는 적정 사육밀도 평가, 경제성 분석 등 추가적인 연구 필요
- 해삼 중간 종묘 육성을 위해서는 조기종묘생산을 통한 하계 분양이 효과적임
 - 수온 하강기인 가을철 분양시 겨울철 저수온(8~12℃)으로 인해 대량 폐사가 발생하였으며, 추가적인 가온비로 인해 비용이 상승함
 - 수온 상승기인 하계에 분양할 경우 해삼 종묘의 경우 고수온에서 하면하지 않고 성장에 유리하므로 종묘 분양은 하계가 좋음
- 해삼 중간 종묘 육성 시 요각류, 원생생물 등에 의한 피해가 발생할 수 있으나, 아직까지 해삼질병 및 약제에 대한 연구가 이루어지지 않아 종묘생산의 안정화를 확보하기 힘들. 따라서 향후 해삼 질병관리에 관한 추가적인 연구가 시급히 필요함



| 제4장 |

해삼양식(씨뿌림식·축제식·수조식 등)기술 개발

1. 서 론
2. 씨뿌림 양식기술개발 연구
3. 축제식 양식기술개발 연구
4. 육상수조식 양식기술개발 연구
5. 조하대 양식시스템 검토
6. 결 론

제4장

해삼양식(씨뿌림식·축제식·수조식 등)기술 개발



1. 서 론

해삼은 전 세계적으로 새로운 양식품종으로 각광받고 있으며 바다의 인삼으로 불리고 있는 차세대의 전략 양식품목이다. 해삼은 생리적 특성상 여름에 하면하여 연중 생산되지 못하고 있으며, 최근 세계 해삼의 90%를 소비하는 중국의 경제성장으로 그 수요가 폭발적으로 증가하고 있고 일본 후쿠시마 원전사태로 인한 일본의 대중국 수출 중단으로 공급이 부족한 실정이다. 해삼은 특히 중국의 급격한 소비증가로 대량생산 시 고가로 수출가능성이 크다는 점에서 해삼의 대량생산은 시급히 해결해야 할 사항이다. 우리나라의 해삼양식이 규모화 산업화되기 위해서는 우량 종묘생산의 안정적인 정착과 경제성 확보가 가능한 양식기술 개발이 이루어져야 한다. 현재 종묘분야는 거의 대량생산 수준으로 올라왔다고 볼 수 있으며, 국내에서 이루어지고 있는 양식방법은 전적으로 씨뿌림 양식에만 의존하고 있다. 해삼은 펄 속의 유기물을 섭취하여 성장하는 종으로 생태계의 청소자 역할 뿐만 아니라 이동거리도 짧아 씨뿌림 양식 효과가 높은 종이다. 우리나라의 해삼 생산은 방류사업이 시작되기 이전인 2002년에는 833톤이었으나 2010년에는 2,687톤으로 증가하고 있는 실정이다(그림 4-1).

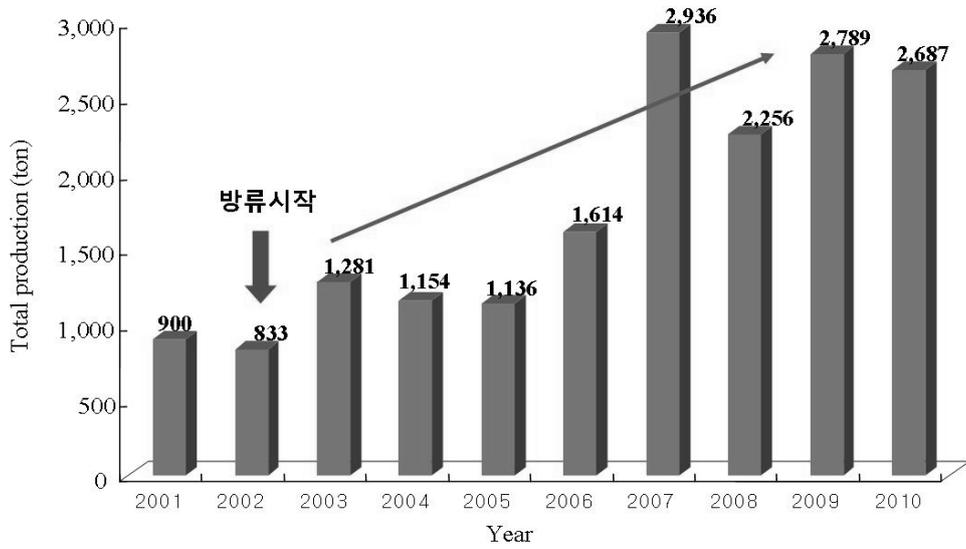


그림 4-1. 우리나라 해삼 생산량 변화

해삼 최대 소비국인 중국의 해삼 생산량은 연간 11~13만 톤 수준에 이르며, 생산량의 약 75%는 축제식 양식으로 생산되고, 나머지 약 25%는 씨뿌림 양식과 기타 육상양식으로 생산되고 있다.(그림 4-2, 4-3).

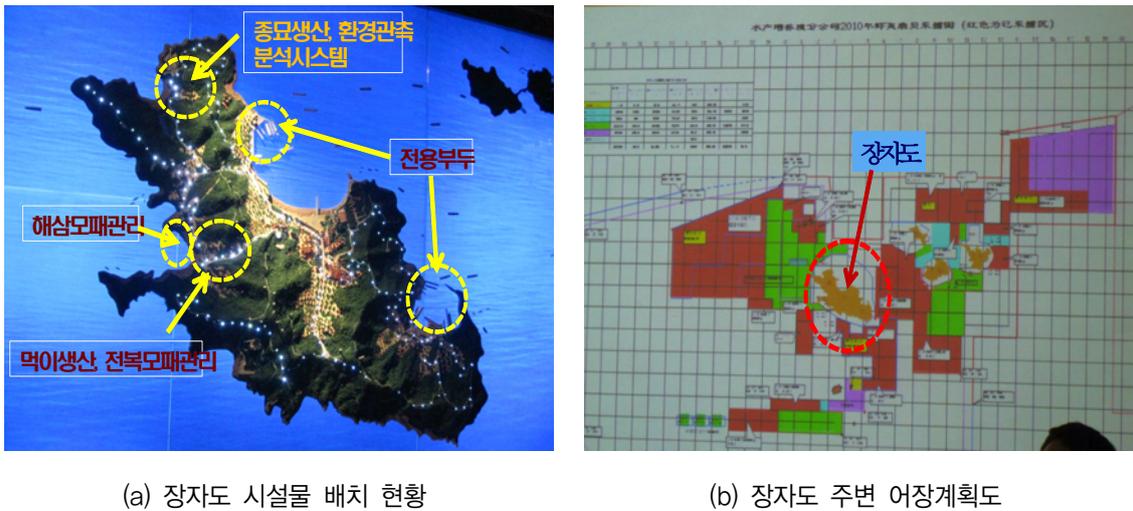


(a) 중국 연태 장도지역 해삼 축제식 양식장 시설



(b) 중국 대련지역 해삼 축제식 양식시설

그림 4-2. 중국 축제식 양식장



(a) 장자도 시설물 배치 현황

(b) 장자도 주변 어장계획도

그림 4-3. 중국 장자도 주요 씨뿌림 어장

일본은 인공종묘의 자원화 방안으로 방류사업을 중점으로 추진하고 있으며, 자연 생산력에 의한 자원회복 기술을 개발 중이며, 연간 종묘 생산량은 크기 2cm 이하로 평균 500만 마리로 자체 인공종묘생산 기술은 정착되었지만 대량생산체제는 이루어지지 않고 있다. 이러한 양식 방법들은 국내에서는 아직까지 체계화된 양식기술은 아니다. 또한 이 양식방법들은 먹이를 공급하지 않은 자연재생력에 의존하는 조방적 양식 방법으로 자연생산력을 초과할 수 없다는 한계를 가지고 있다. 그러나 자연의 거대한 수용력을 바탕으로 하기 때문에 추가적인 시설비용이 들지 않으므로 체계적인 양식관리 방법이 이루어진다면 대량생산의 근간이 될 수 있다. 해삼 단독 씨뿌림 양식을 비롯하여 전복 씨뿌림 양식장에서 복합양식, 전복 가두리 양식장의 그물 안에서 전복과의 복합양식, 바닥(저질)을 활용한 복합양식, 굴 수하식 양식장 바닥(저질)을 활용한 복합양식, 환수 조건이 좋은 축제식 양식 등 생산성 향상을 위한 다양한 양식방법 개발이 요구된다.

이러한 자연친화적인 조방적 양식방법 외에도 중국과 경쟁력을 갖추기 위해서는 시설을 이용한 육상수조식 양식방법 또한 강구되어야 한다. 자연 의존형 양식은 자연에 그대로 노출되기 때문에 해삼성장의 최적 수온기가 한정되어 있고 하면을 하므로 연중 수온 제어가 가능한 양식 방법의 필요성이 제기된다. 해삼의 제한된 성장으로 산업적인 측면에서 원만한 물량확보가 힘들 수 있다. 즉 생산량

변동이 심할 수 있어 최근에는 육상양식의 필요성이 대두되고 있다. 지금까지 국내에서도 씨뿌림에 대한 양식은 지속적으로 추진되고 있으나 이에 대한 효과나 체계적인 관리방안은 제시되지 않았다. 또한, 축제식 양식에 대한 가능성을 일부 살펴보았으나 축제식 양식의 생산성을 올릴 수 있는 방안은 아직 미흡(해양수산부, 2006)하며, 일부에서는 육상수조에서의 연구도 이루어졌으나 산업적 효과는 거두지 못했다(농림수산식품부, 2010). 따라서 국내에서 해삼의 계획생산을 위해서는 축제식과 육상수조식 등의 양식기술개발이 시급하다.

본 연구에서는 해삼의 산업화를 위한 다양한 양식기술 연구에 대해 살펴보고자 한다. 첫째, 씨뿌림 효과 조사와 적지조사에 대해 살펴보고, 둘째, 축제식 양식장의 가능성 및 생산성을 향상 시킬 수 있는 새로운 방안을 제시하고, 셋째, 육상수조에서의 해삼양식 가능성을 진단하였다.

2. 씨뿌림 양식기술개발 연구

가. 씨뿌림 양식 적지 광역조사

국내 연안의 저수온역, 냉수대 지역을 살펴보기 위하여 2009년 9월에서 2010년 10월까지 월 합성 인공위성 표층 수온분포 자료를 이용하여 분석하였다(그림 4-4). 2009년 9월부터는 수온이 하강하는 시기로 크게 뚜렷한 저수온역이 구별되지 않았다. 10월에 접어들어서는 한반도 서해연안이 빨리 냉각되기 시작하여 2010년 2월까지 수온이 낮은 상태를 보였다. 6월에 접어들면서 외해에서부터 연안과 수온이 뚜렷이 구별되었으며 7, 8월에 높은 수온을 보였다. 이 중 백령도, 태안권역, 진도~흑산도 권역에서 주변해역보다 여름철에도 수온이 낮은 상태가 유지되는 것을 알 수 있다. 이에 대한 정밀분석을 위하여 2010년 6월 29일에서 9월 20일 까지 관측한 위성자료를 이용하여 7일 간격으로 평균한 인공위성 수온분포자료를 분석하였다(그림 4-5). 백령도와 황해도 연안은 여름철에 외해수보다 1~3℃ 낮은 해수가 지속적으로 존재하였다. 흑산도 및 진도연안에서는 5℃까지

낮은 수온이 여름철 지속적으로 유지되었고, 태안반도 지역에서도 주변해수보다 1~3℃ 정도 수온이 낮은 물이 존재한 것으로 나타났다. 일차적으로 국내 서해안 안에서는 여름철에 백령도, 태안권역, 진도 권역에 저수온 냉수대가 형성되는 것으로 파악되었다. 이 세 권역에 대한 해양환경오염관측망 자료를 이용하여 5개년(2004년~2008년) 동안 해양환경학적 특성을 살펴보았다. 진도군 주변 해역의 평균수온은 표층 15.5℃, 저층 15.0℃이며, 비교지역인 태안은 표층 14.0℃, 저층 13.3℃, 인천은 표층 14.0℃, 저층 13.5℃이었다. 조사기간 동안 최고 수온은 진도의 경우 표층에서 24.8℃, 저층에서 23.5℃, 태안에서는 표층에서 23.9℃, 저층에서 23.0℃, 인천에서는 표층에서 24.9℃, 저층에서 24.1℃이었다(그림 4-6). 수온은 수산생물의 생리작용에 중요한 환경요인이다. 특히 해삼은 고수온에 생장이 약화되고 하면하는 생물로 냉수대에서 양식하는 것은 유리한 조건이라 할 수 있다. 위의 분석결과를 종합해 볼 때 진도 권역, 태안권역 및 경기만 권역은 1차적으로 수온에 관해 해삼 산업화 양식에 유리한 조건을 갖추고 있다고 할 수 있다. 염분은 진도군 주변 해역에서 평균 표층 32.2psu, 저층 33.1psu이며, 태안은 표층 30.9psu, 저층 31.5psu, 인천은 표층 29.2psu, 저층 29.7psu이었다(그림 4-7).

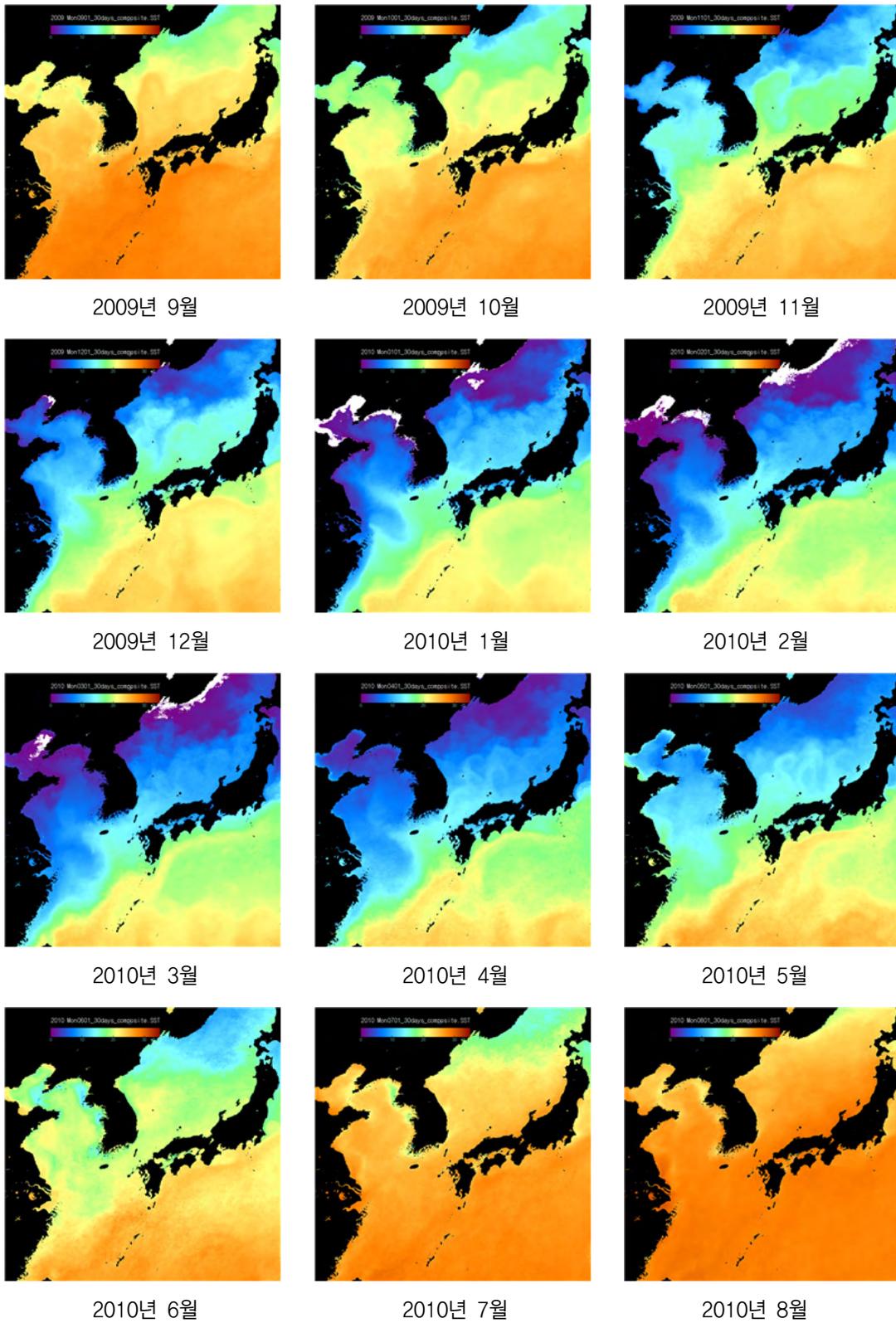
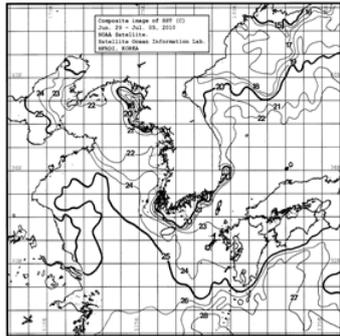
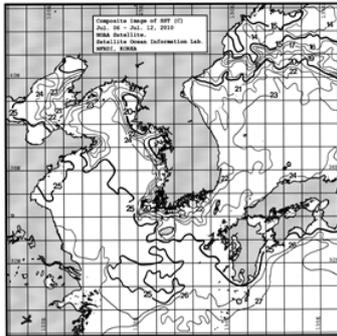


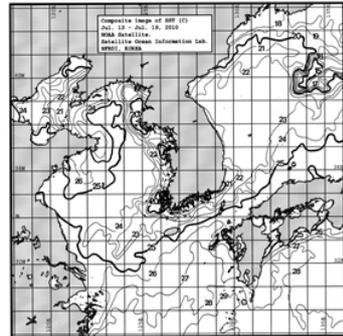
그림 4-4. 2009년 9월에서 2010년 10월까지 표층 위성 관측 수온 분포
(자료 : 국립수산과학원)



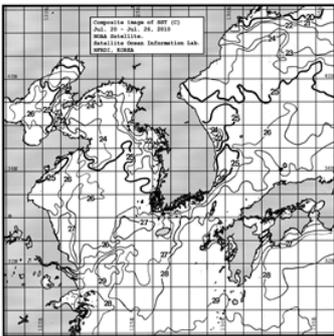
6.29~7. 5



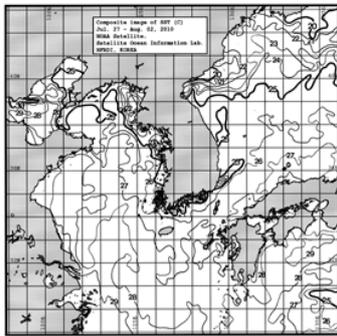
7. 6~7.12



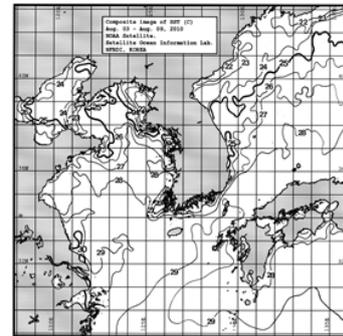
7.13~7.19



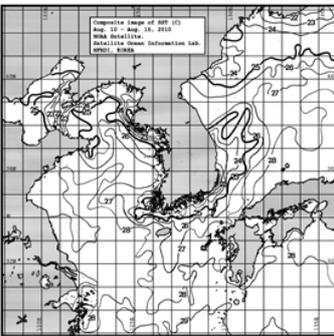
7.20~7.2



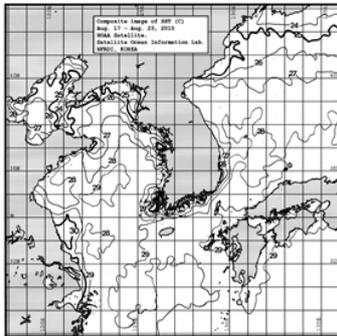
7.27~8.2



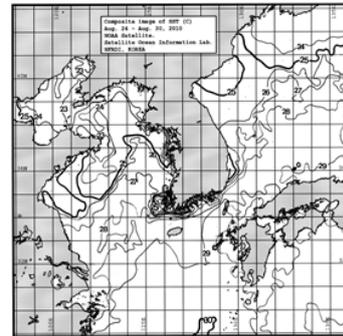
8. 3~8. 9



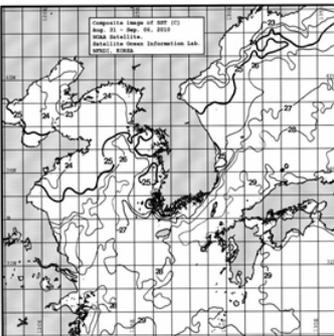
8.10~8.16



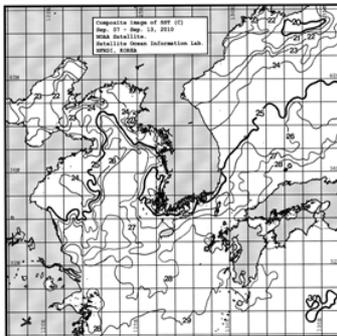
8.17~8.23



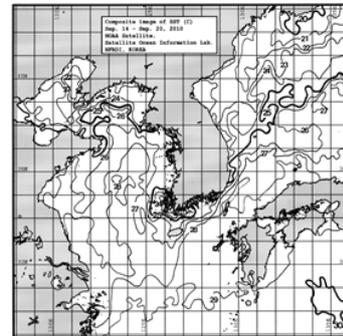
8.24~8.30



8.31~9. 6

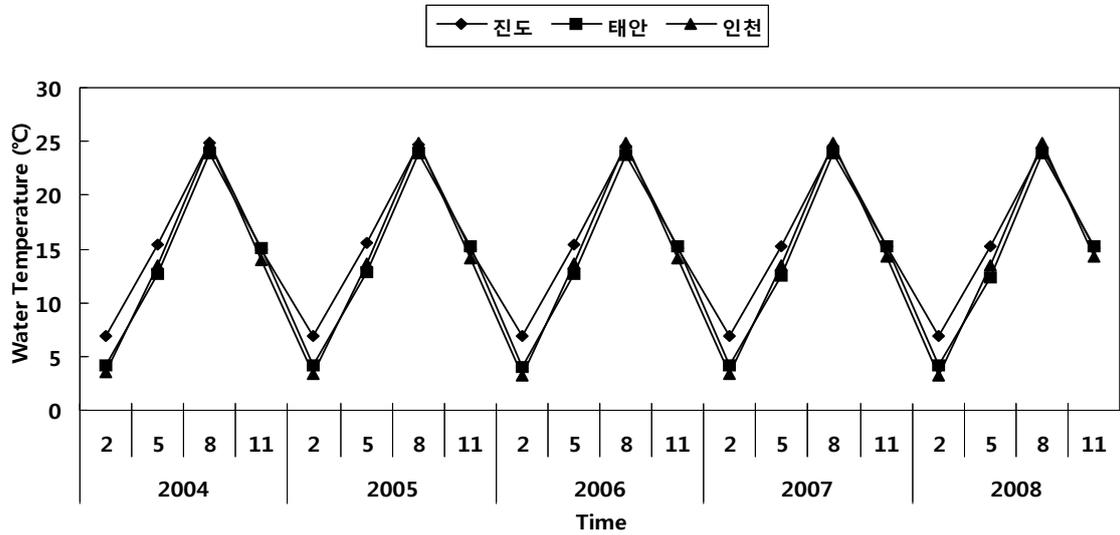


9. 7~9.13

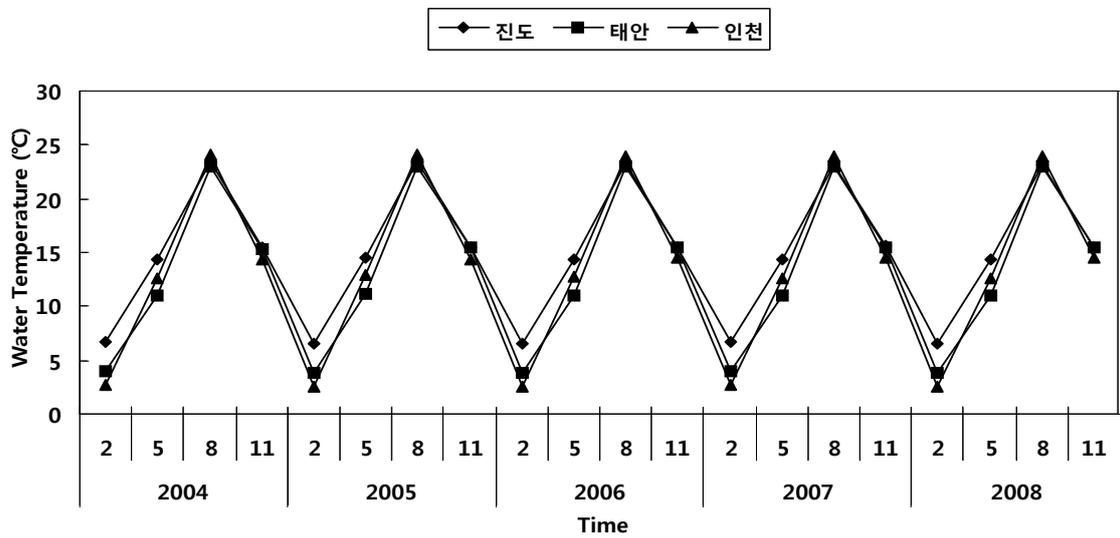


9.14~9.20

그림 4-5. 2010년 6월 29일에서 9월 20일까지 관측한 표층수온 위성자료
(7일 간격 평균 분석 결과)

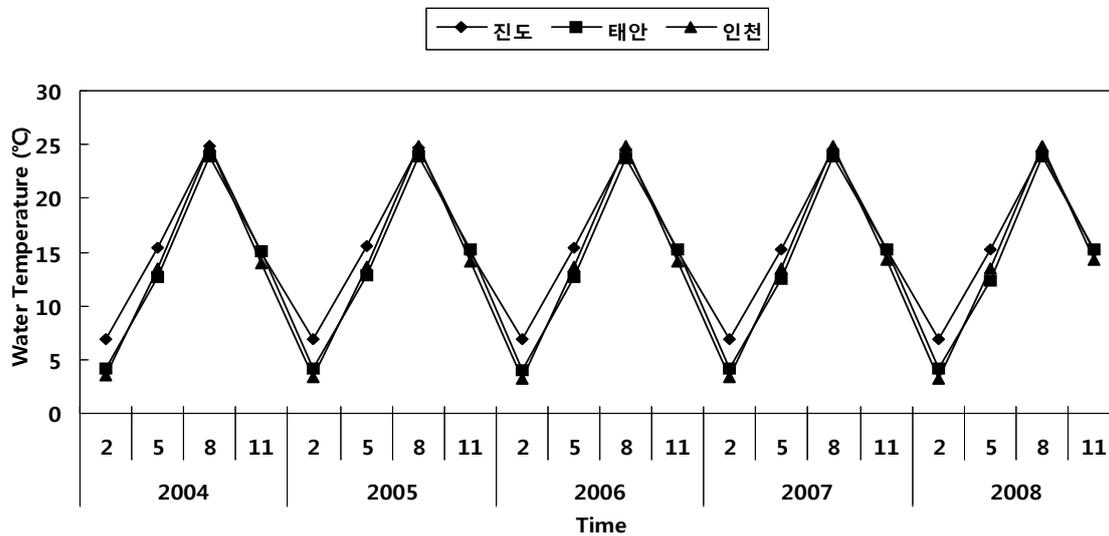


(a) 표층

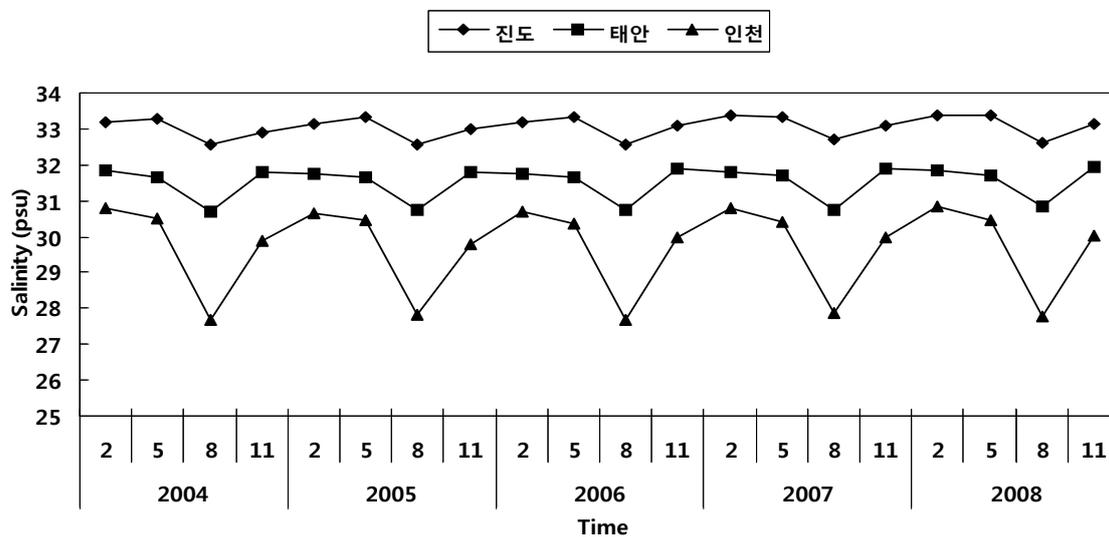


(b) 저층

그림 4-6. 진도, 태안, 인천 경기만 해역의 수온 변동(2004년~2008년)



(a) 표층



(b) 저층

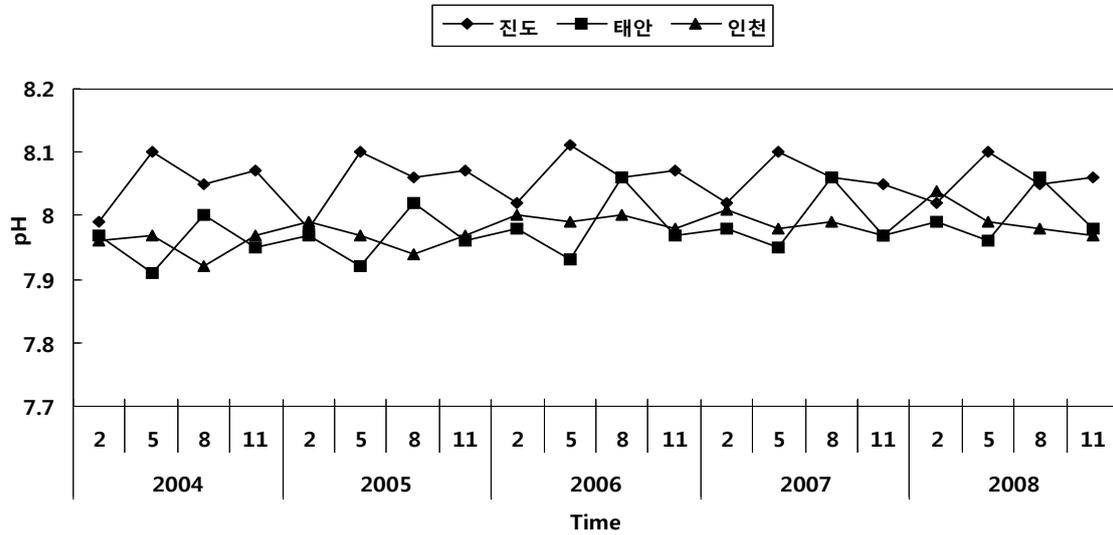
그림 4-7. 진도, 태안, 인천 경기만 해역의 염분 변동(2004년~2008년)

특히 한강에 영향을 받는 경기만 인천지역은 담수방출로 인하여 다른 비교 지역에 비해 다소 염분이 낮게 나타났다. pH는 평균적으로 진도해역은 표층 8.1, 저층 8.0, 태안과 인천 경기만 해역은 표, 저층 모두 8.0으로 지역 간 큰 차이는 없었으며(그림 4-8), 용존산소는 평균적으로 진도군 주변 해역에서 표층 8.5mg/L, 저층 8.2mg/L, 태안해역은 표층 8.8mg/L, 저층 8.5mg/L, 인천 경기만 해역은 표층 8.6mg/L, 저층 8.4mg/L으로 지역별 큰 차이를 보이지 않았으며, 해역수질생활환경 기준 I 등급에 해당하였다. 수온에 영향을 많이 받는 용존산소는 계절적으로는 수온이 낮은 겨울철에 높고, 수온이 높은 여름철에 낮았으며 여름철 최저값은 저층에서 6.5~6.8mg/L이었다(그림 4-9). 화학적산소요구량은 평균적으로 진도군 주변 해역에서 표층 1.06mg/L, 저층 0.98mg/L, 태안해역은 표층 1.15mg/L, 저층 1.22mg/L, 인천 경기만 해역은 표·저층 1.54mg/L로 지역별로 태안과 인천 경기만해역에서 상대적으로 다소 높게 나타났다(그림 4-10). 진도지역은 해역수질생활환경기준 I 등급 수준에 해당하고, 인천 경기만과 태안해역은 해역수질생활환경기준 II 등급 수준을 보였다. 계절적 변동은 표층에서 인천지역은 겨울철에 높았으며, 진도와 태안해역은 여름철에 다소 높은 경향을 보였다. 저층에서는 인천 경기만과 태안해역은 겨울철에 높은 특성을 보였으며, 진도해역은 큰 계절변동은 없었다. 총질소는 평균적으로 진도군 주변 해역에서 표층 0.473mg/L, 저층 0.452mg/L, 태안해역은 표층 0.390mg/L, 저층 0.409mg/L, 인천 경기만은 표층 0.926mg/L, 저층 0.843mg/L으로 해역별로 진도와 태안은 평균적으로 해역수질생활환경기준 II 등급 수준으로 지역 간 큰 차이가 없었으나, 인천 경기만은 해역수질생활환경기준 III등급 수준으로 나타났다(그림 4-11). 계절적 변동은 여름철에 높고, 가을철에 감소하여 다시 겨울철부터 증가 추세를 보이는 특성을 나타내었다. 총인은 평균적으로 진도군 주변 해역에서 표층 0.047mg/L, 저층 0.049mg/L, 태안해역은 표층 0.039mg/L, 저층 0.042mg/L, 인천지역은 표층 0.066mg/L, 저층 0.069mg/L으로 지역별로 진도해역과 태안지역은 평균적으로 해역수질생활환경기준 II 등급 수준으로 지역 간 큰 차이가 없었으나, 인천지역은 해역수질생활환경기준 III등급 수준으로 오염도가 높았고 계절적 변동은 인천 경기만 해역은 가을철에 높고, 진도와 태

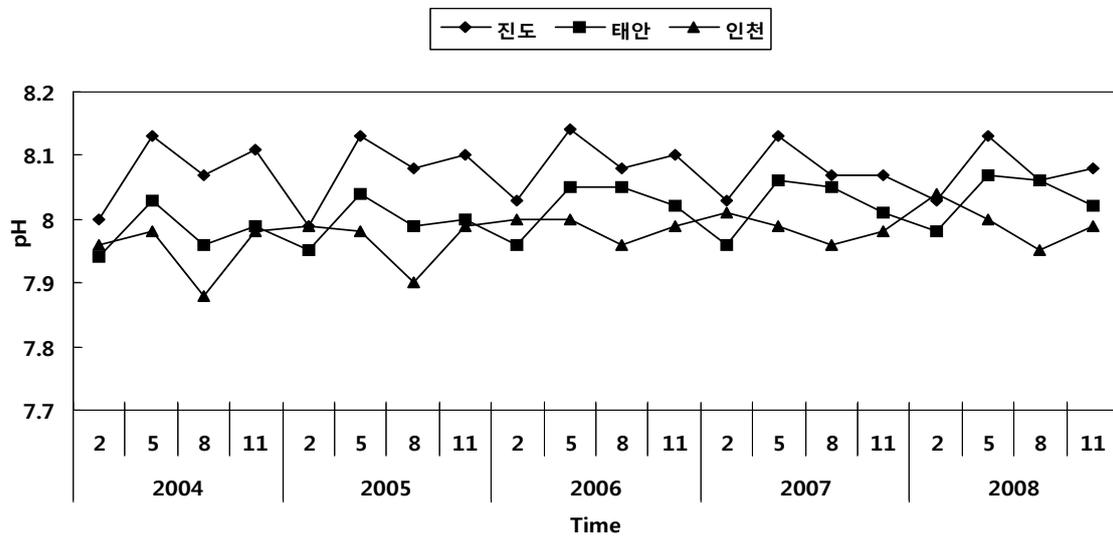
안지역은 다소 겨울철에 높은 특징을 보였다(그림 4-12). 엽록소 *a* (chl-*a*)는 평균적으로 진도군 주변 해역에서 표층 2.67 μ g/L, 저층 2.54 μ g/L, 태안해역은 표층 2.18 μ g/L, 저층 2.33 μ g/L, 인천 경기만 해역은 표층 4.58 μ g/L, 저층 4.33 μ g/L로 나타나 진도해역과 태안지역은 큰 차이가 없었으나 인천 경기만에서 높게 나타났다. 계절적 변동은 인천지역은 겨울철에 높고, 진도는 봄철, 태안지역은 다소 여름철에 높은 특징을 보였다(그림 4-13).

지금까지 해역의 해삼 산업화를 위하여 냉수대해역의 해양환경 특성을 살펴보았다. 앞선 환경결과로부터 서해연안에서 냉수대 형성지역으로 진도군 권역, 태안반도, 경기만을 들 수 있다. 서해연안 냉수대 3개소에 대한 냉수대 지속성 및 강도를 비교해 보았을 때(표 4-1) 냉수대 강도는 진도권역 및 태안권역에서 우수한 것으로 나타난 반면에 경기만은 넓은 조간대 발달로 여름철 갯벌에 유입된 열로 인해 다소 강도가 낮게 나타났다. 냉수대 지속성은 진도권역과 태안권역에서 여름철 동안 지속적으로 유지되었지만, 경기만 권역에서는 일시적으로 저수온역이 사라져 상대적으로 두 지역에 비해 지속성은 떨어지는 것으로 분석되었으나 큰 차이는 없었다. 외해역에 비해 여름철에도 2~3 $^{\circ}$ C 낮은 저수온역이 분포하는 것으로부터 여름철 고수온시 하면에 들어가 성장속도가 낮은 해삼서식에 적합하며, 대량 양식에 유리한 조건을 제공해 준다. 이러한 점을 감안 할 때 서해 권역에서 경기만 백령도, 태안지역, 진도지역에서 해삼은 좋은 상태를 유지 할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 진도지역에 대해서는 2010년에 적지후보조사를 수행하고 추계에 종묘를 방류하였으며, 이에 대한 적지조사 결과 개요와 방류 후 상태를 살펴 보았다. 그리고 태안지역에 대해서는 춘계방류를 위하여 2012년도 새로운 적지 후보지 조사를 실시하였다.

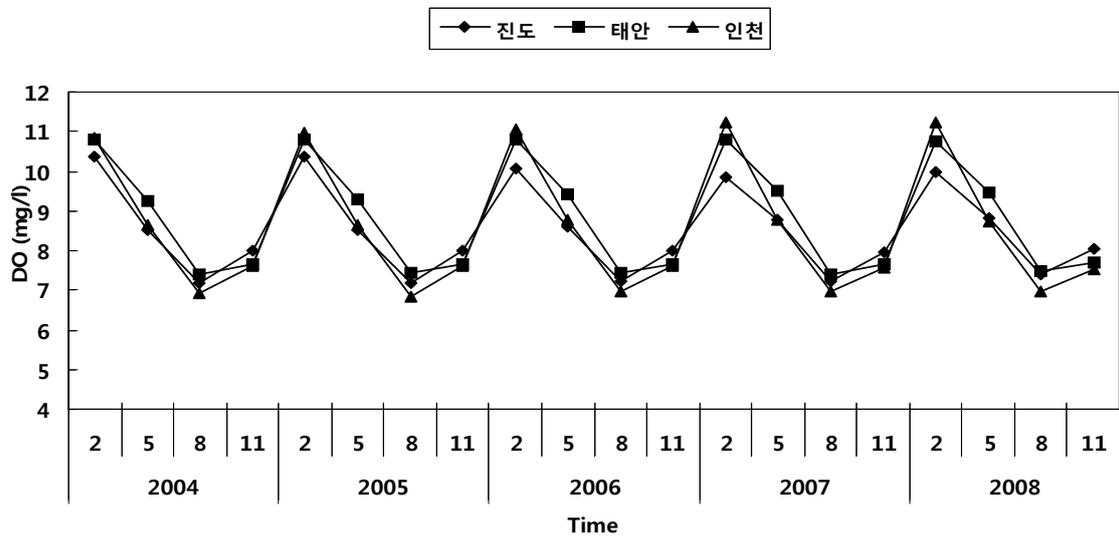


(a) 표층

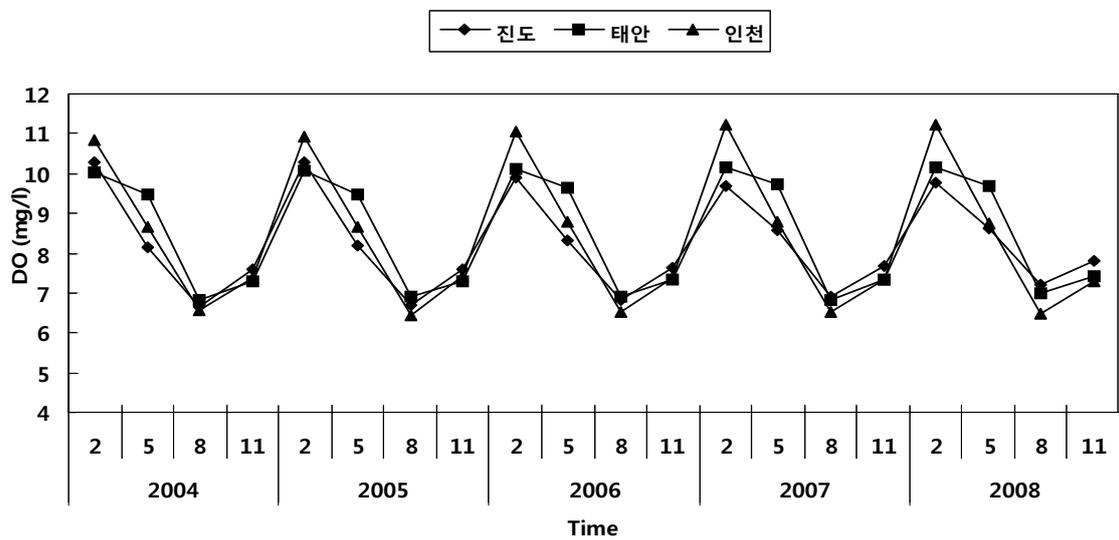


(b) 저층

그림 4-8. 진도, 태안, 인천 경기만 해역의 pH 변화(2004년~2008년)

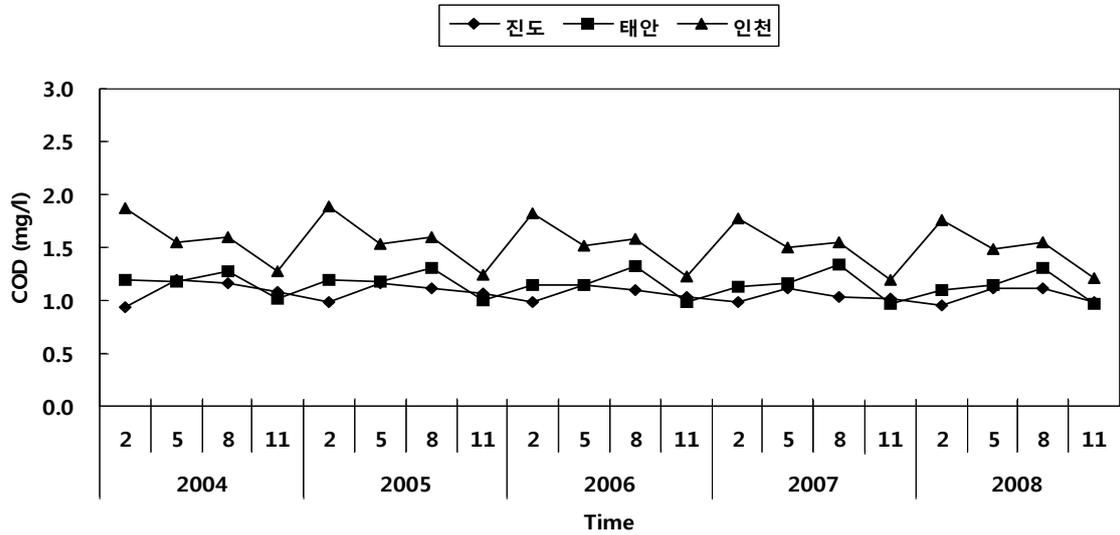


(a) 표층

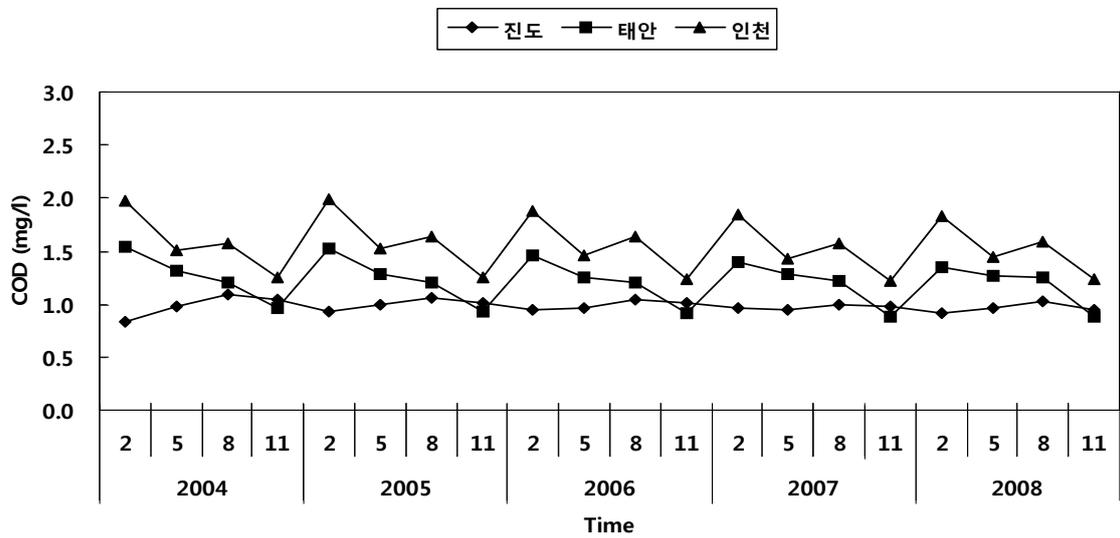


(b) 저층

그림 4-9. 진도, 태안, 인천 경기만 해역의 DO 변화(2004년~2008년)

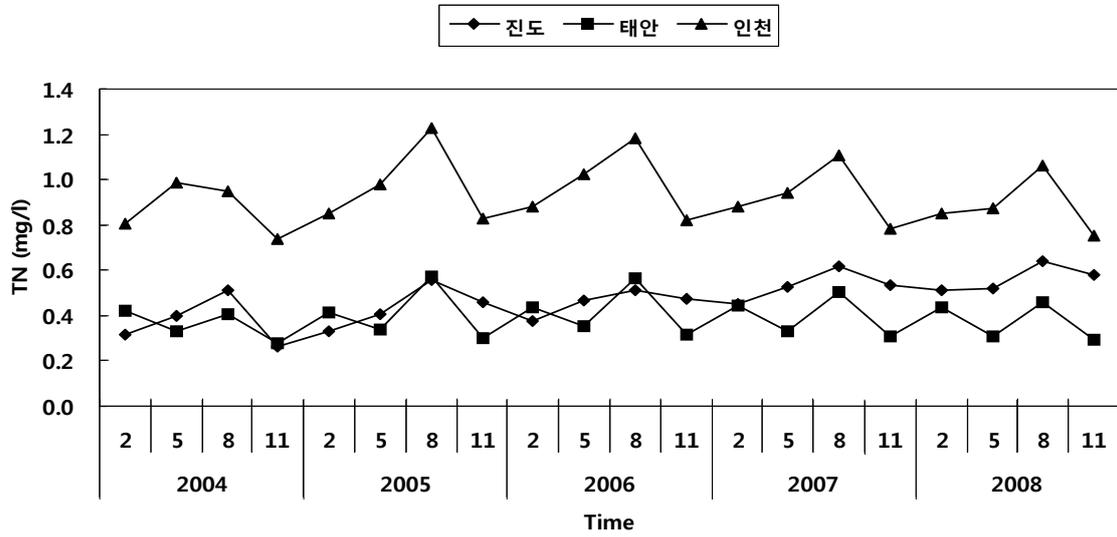


(a) 표층

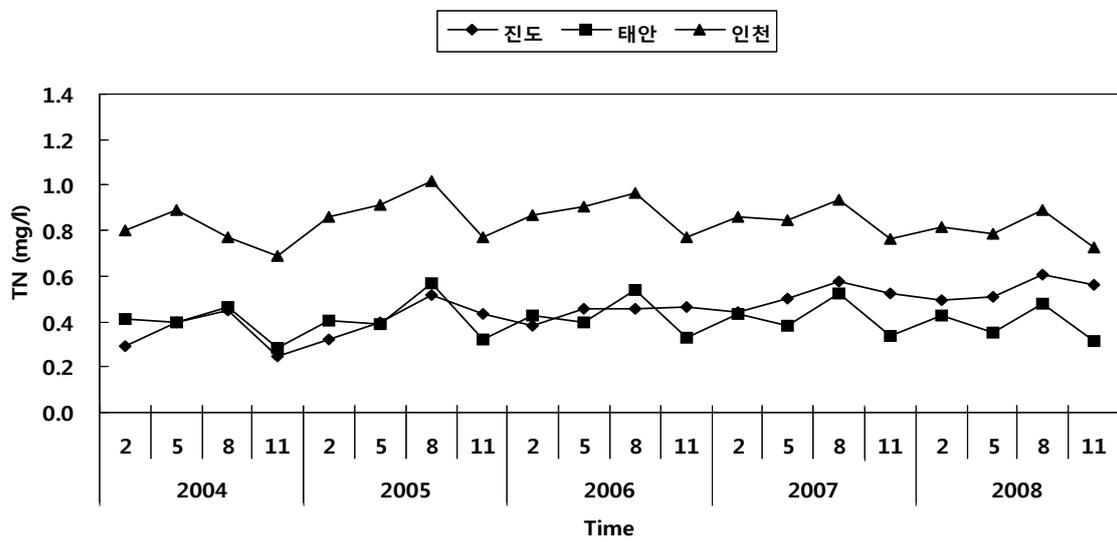


(b) 저층

그림 4-10. 진도, 태안, 인천 경기만 해역의 COD 변화(2004년~2008년)

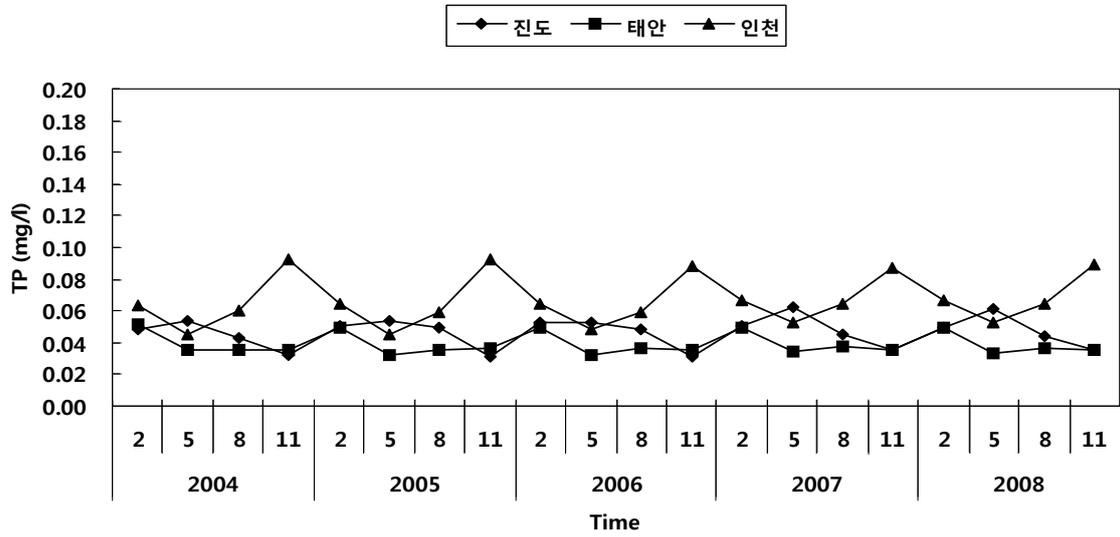


(a) 표층

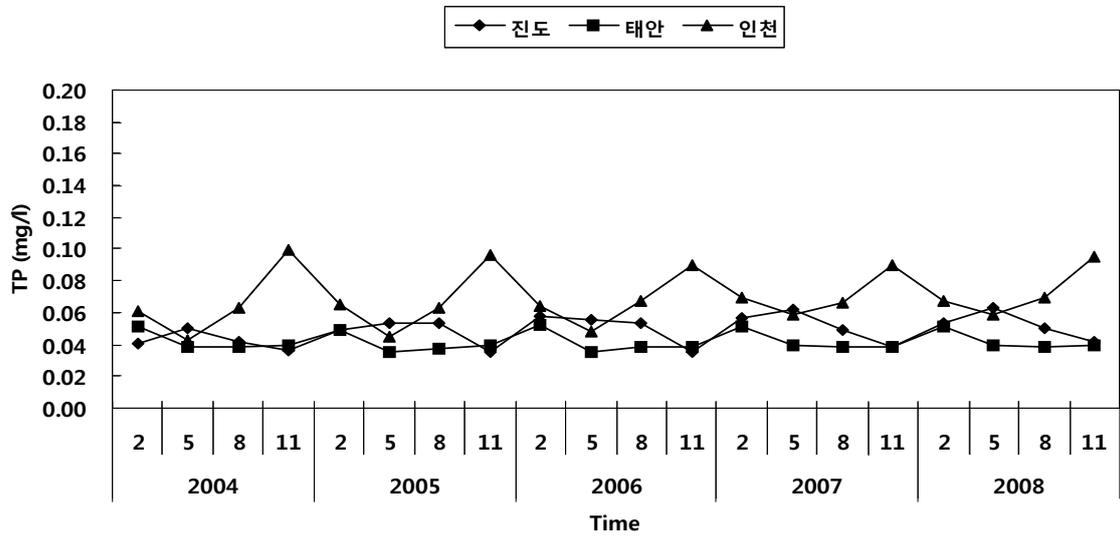


(b) 저층

그림 4-11. 진도, 태안, 인천 경기만 해역의 TN 변화(2004년~2008년)

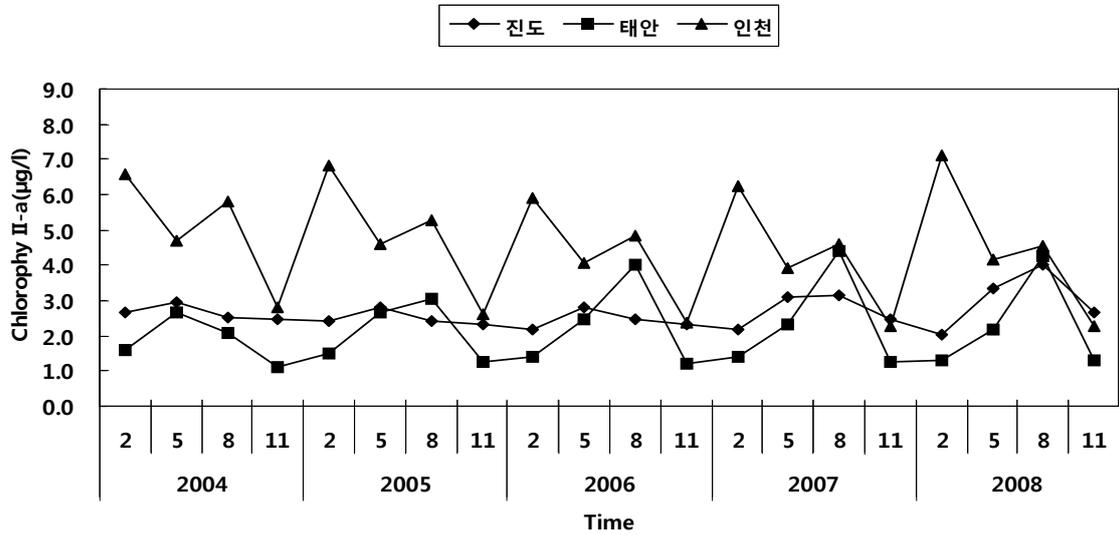


(a) 표층

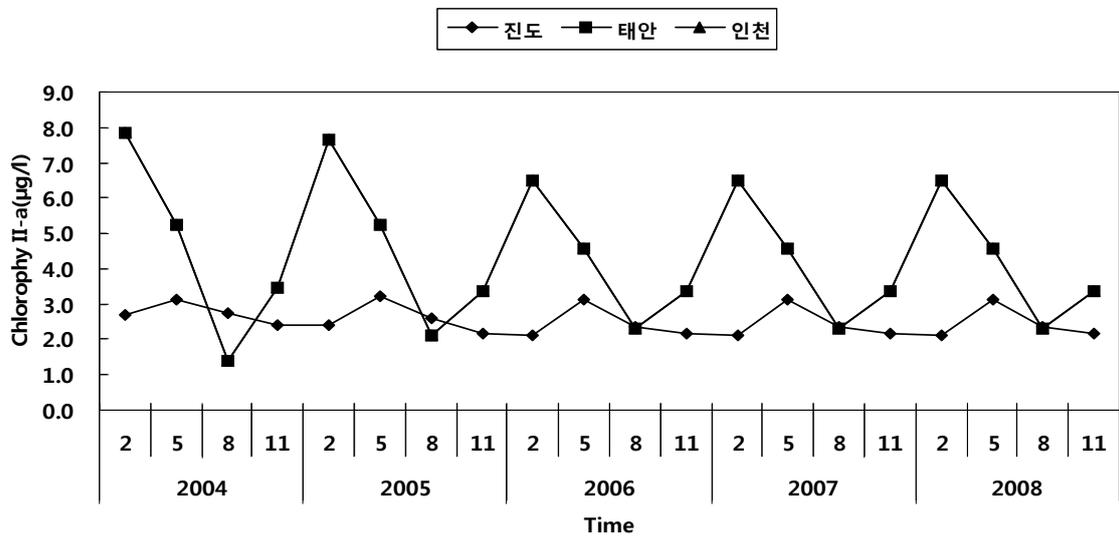


(b) 저층

그림 4-12. 진도, 태안, 인천 경기만 해역의 TP 변화(2004년~2008년)



(a) 표층



(b) 저층

그림 4-13. 진도, 태안, 인천 경기만 해역의 Chl-a 변화(2004년~2008년)

표 4-1. 서해연안 냉수대 해역 해삼 산업화 여건 비교 분석

구 분	진도권역	태안권역	경기만
여름철 냉수대 강도	강	강	중
여름철 냉수대 지속성	지속성유지	지속성유지	일시적으로 소멸
염분변화	거의 없음	거의 없으나 주변 간척지 및 금강하구로부터 담수대량방류로 인해 염분 하강 가능	한강하구 담수 대량방류로 저염분
환경상태	양 호	양 호	양 호
어장개발 잠재적 여건	섬이 많고, 해안선이 길고, 리아스식 해안으로 해삼양식장 개발 조건 좋음	리아스식 해안	리아스식 해안이나 냉수역은 북한쪽에 인접하여 발달
접근성	본도로부터 접근이 좋음	수도권과 가까우며, 국내 해삼 최대 생산지역	백령도 지역은 접근성이 불리하나 양질의 해삼생산

나. 전남 진도 대마도지구

(1) 재료 및 방법

2010년 10월 진도 대마도 해역의 4개 정점에 대해서 현장조사(환경/서식생물)를 실시하여 해삼 씨뿌림 지역 적합여부를 분석하였다(그림 4-14).

수질환경 및 퇴적환경은 해양환경공정시험법(2010)에 준하여 분석하였으며, 저서생물조사는 잠수조사를 통해 실시하였다. 수온, 염분, DO 현장관측은 RBR-CTD를 이용하였다.



그림 4-14. 대마도 지구 조사정점

(2) 연구결과

(가) 환경조사

그림 4-15~그림 4-21은 진도 조도면 대마도 지구에서 조사한 수질환경 분석 결과 이다. 항목별 분포 특성을 살펴보면 다음과 같다.

정점별로 수온은 16.1~16.9℃(그림 4-15) 염분은 32.4~32.7psu 범위를 보였다(그림 4-16). 용존산소(DO)는 7.53~8.35mg/L로 양호하였다(그림 4-17). Chl-*a*는 0.35~0.90 μ g/L이었다(그림 4-18). 용존무기질소(DIN)는 0.126~0.139mg/L이었으며

(그림 4-19), 용존무기인(DIP)은 0.029~0.032mg/L이었다(그림 4-20). 부유물질은 표층이 6~23mg/L의 범위로 정점에 따라 차이를 보였다(그림 4-21).

저질입도에 대한 분석결과는 그림 4-22와 같다. 표층 평균입도는 6.47~8.05phi으로 퇴적상은 sM(Sandy mud)나 M(mud)로 니사질 또는 니질의 퇴적상을 보였다. 정점별 입도조성비를 살펴보면 정점 1에서는 gravel 4.92%, sand 24.04%, mud 71.04%, 정점 2에서는 sand 14.35%, mud 73.25%, 정점 3에서도 sand 1.71%, mud 98.29%, 정점 4에서도 sand 9.32%, mud 90.68%의 조성비를 보였다. 저질의 전체적인 함수율은 43.22~50.23%로 저질 강열감량(IL)은 6.80~9.48%로 정점 1에서 다소 높게 나타났다(그림 4-23). 저질화학적산소요구량(COD)은 12.23~16.40mg/g으로 분석되었다(그림 4-24). 산취발성황화물(AVS)은 0.002~0.308mg/g으로 정점별로 큰 차이를 보였다(그림 4-25).

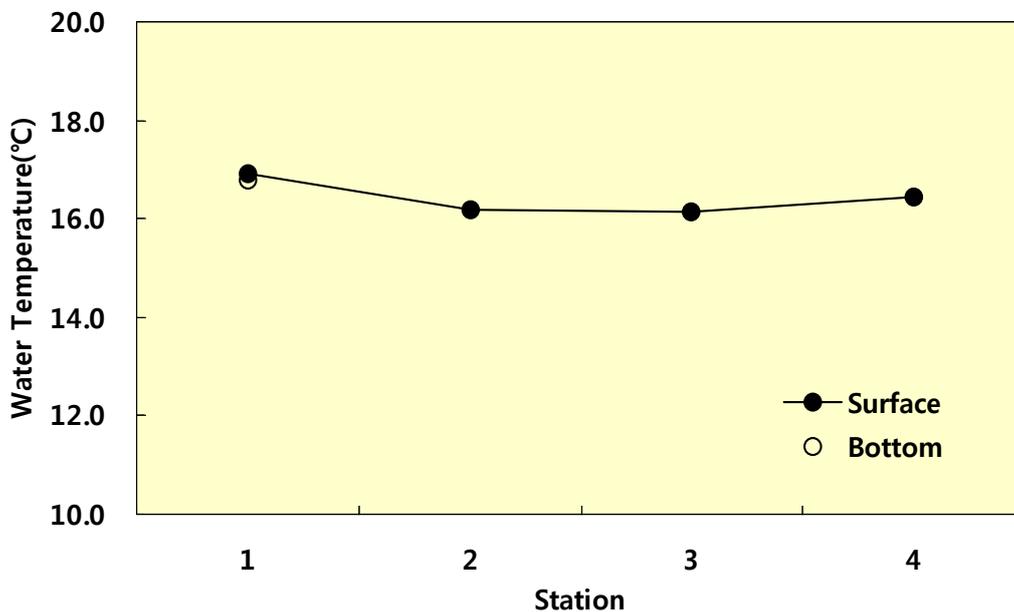


그림 4-15. 진도 대마도 지구 수온 분포

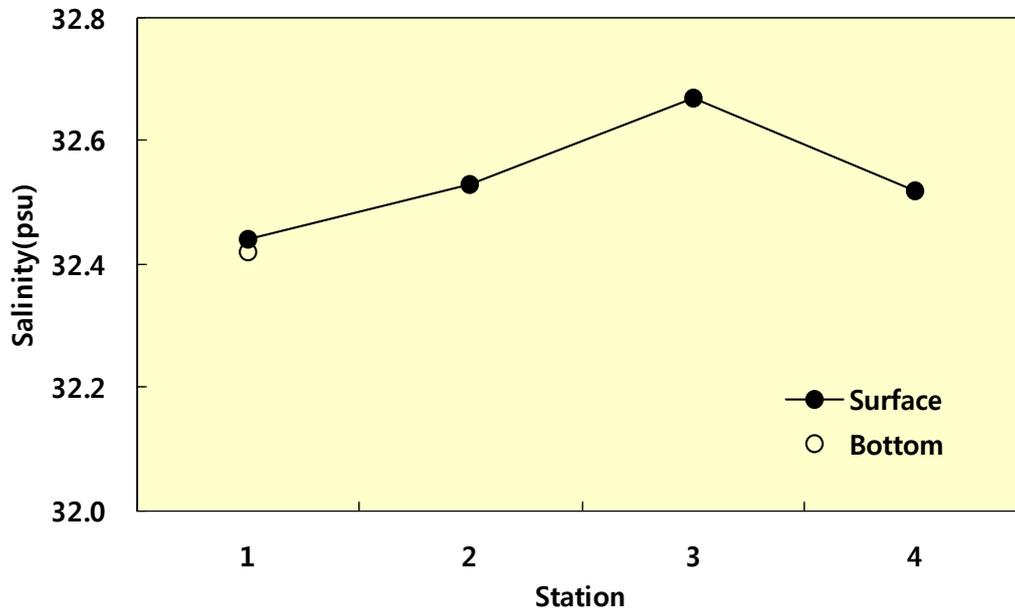


그림 4-16. 진도 대마도 지구 염분 분포

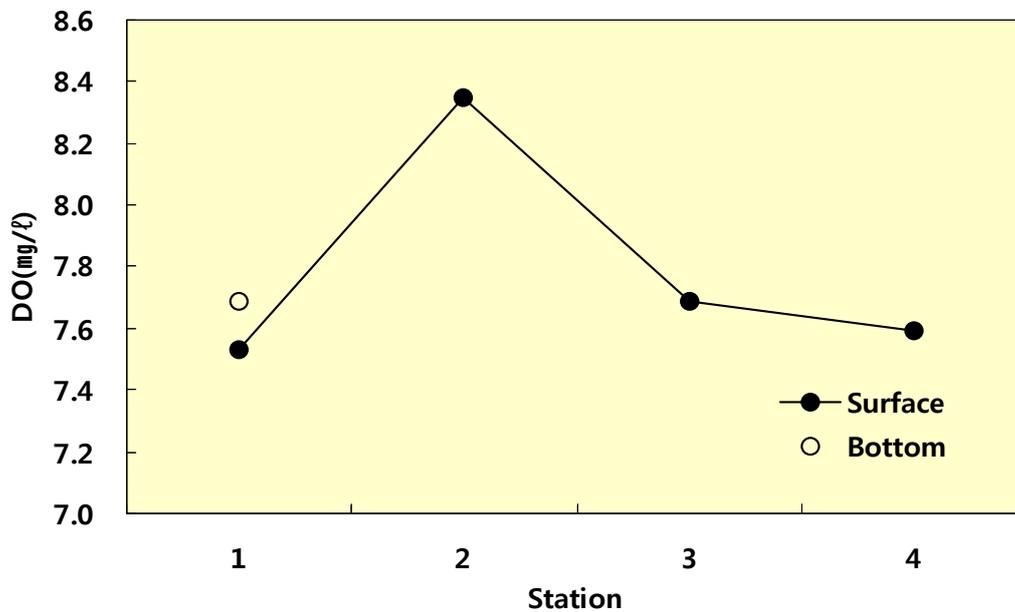


그림 4-17. 진도 대마도 지구 DO 분포

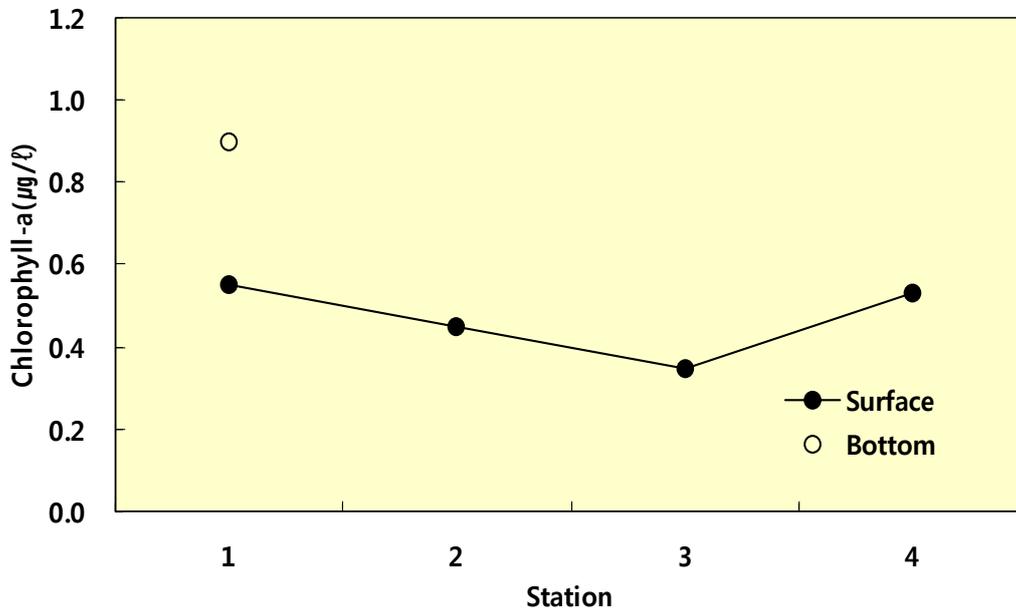


그림 4-18. 진도 대마도 지구 Chl-a 분포

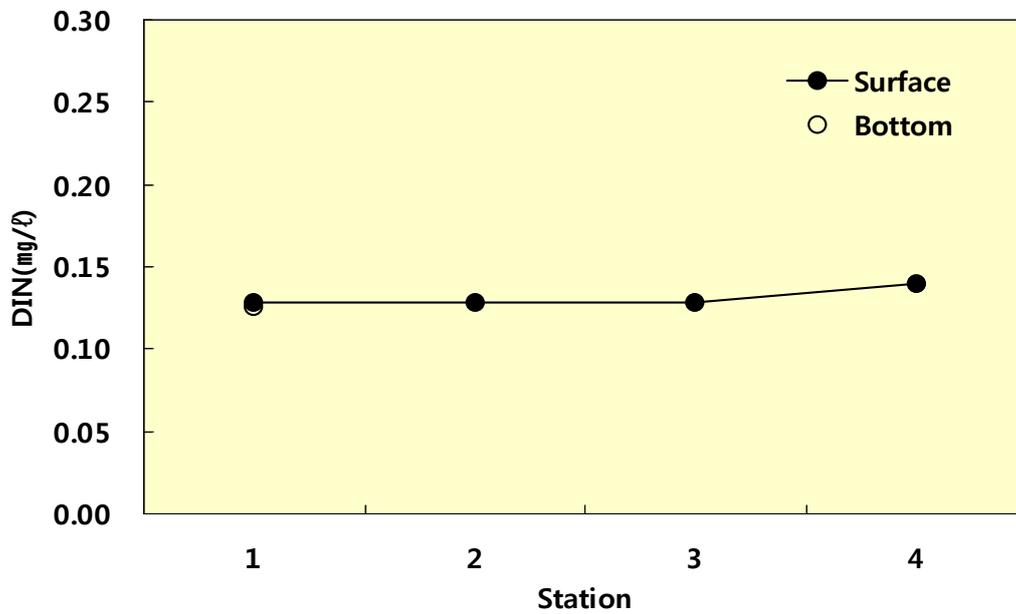


그림 4-19. 진도 대마도 지구 DIN 분포

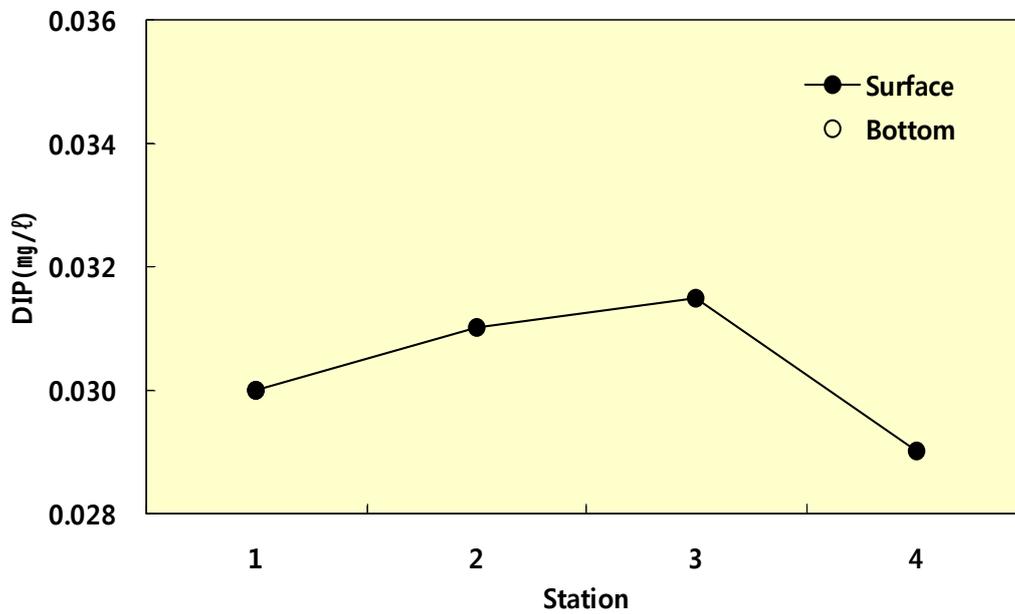


그림 4-20. 진도 대마도 지구 DIP 분포

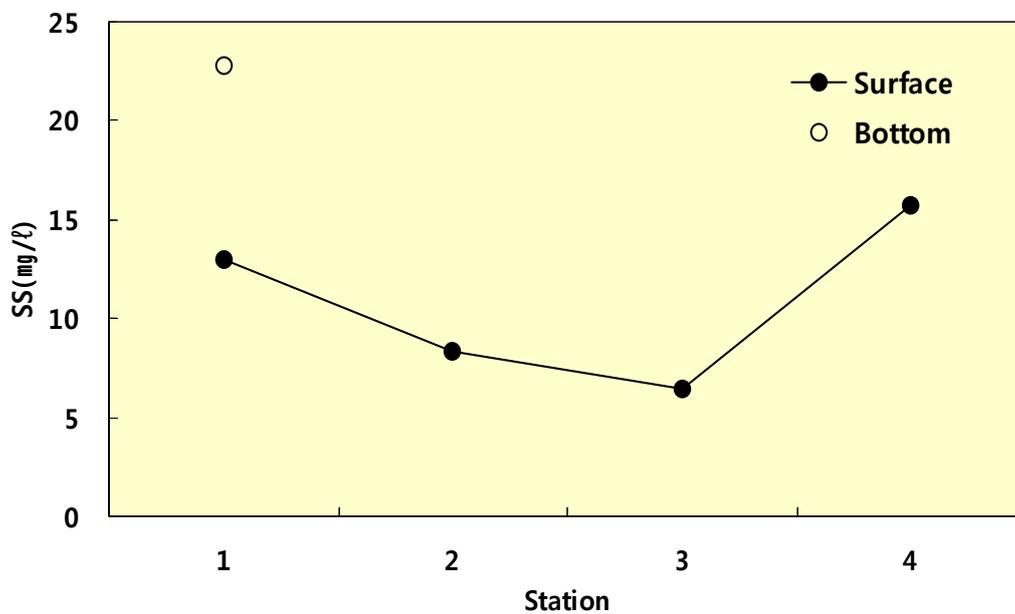


그림 4-21. 진도 대마도 지구 SS 분포

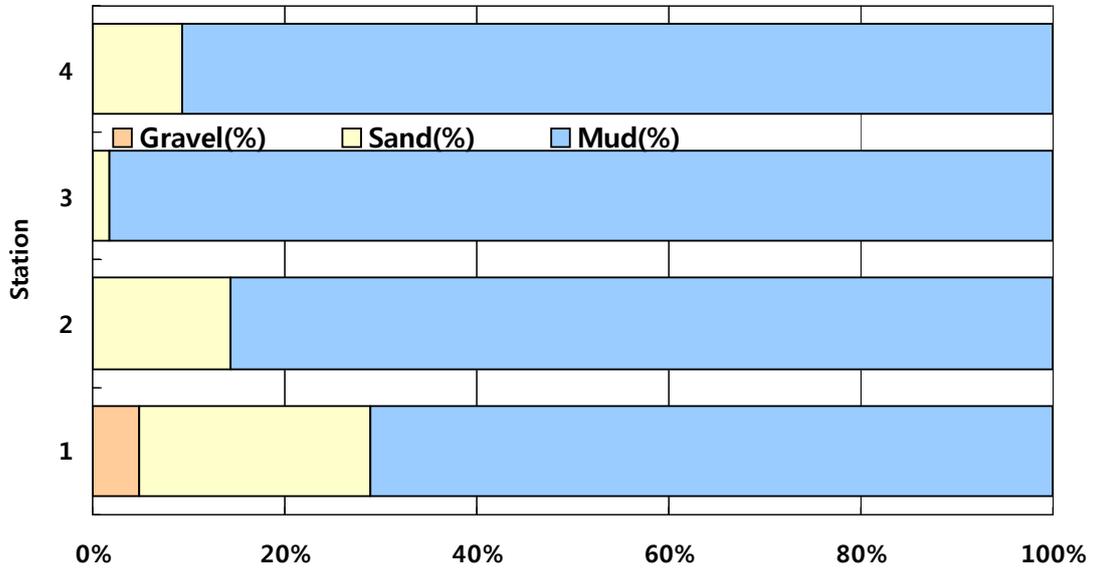


그림 4-22. 진도 대마도 지구 저질 입도 분포

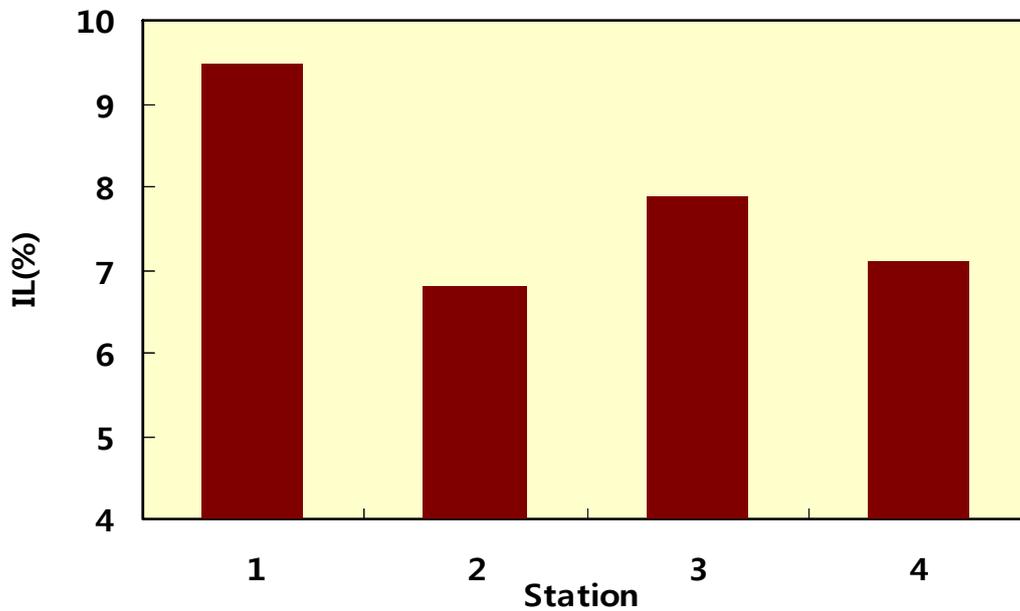


그림 4-23. 진도 대마도 지구 저질 강열감량(IL) 분포

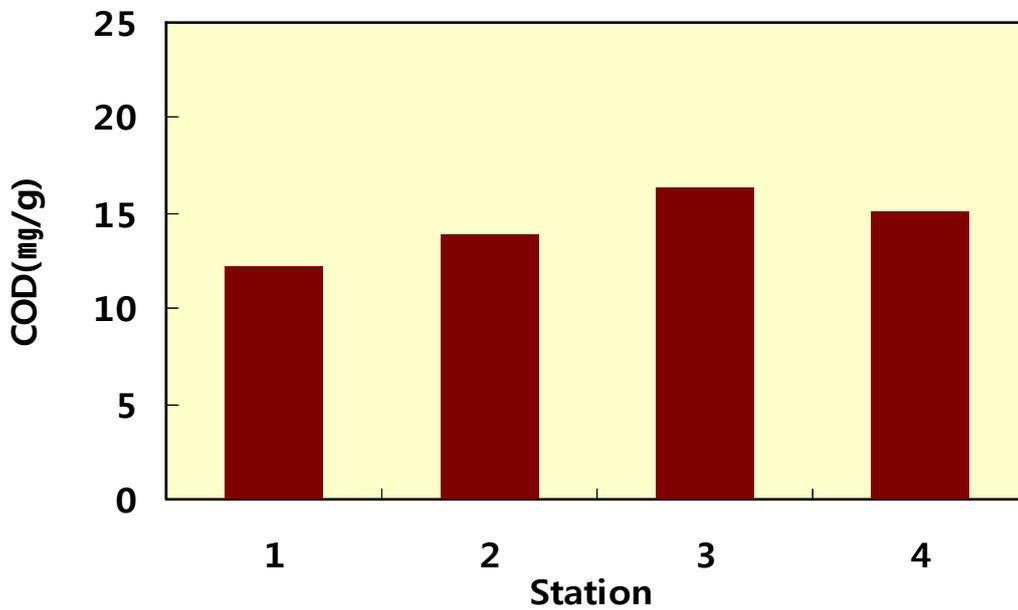


그림 4-24. 진도 대마도 지구 저질 화학적산소요구량(COD) 분포

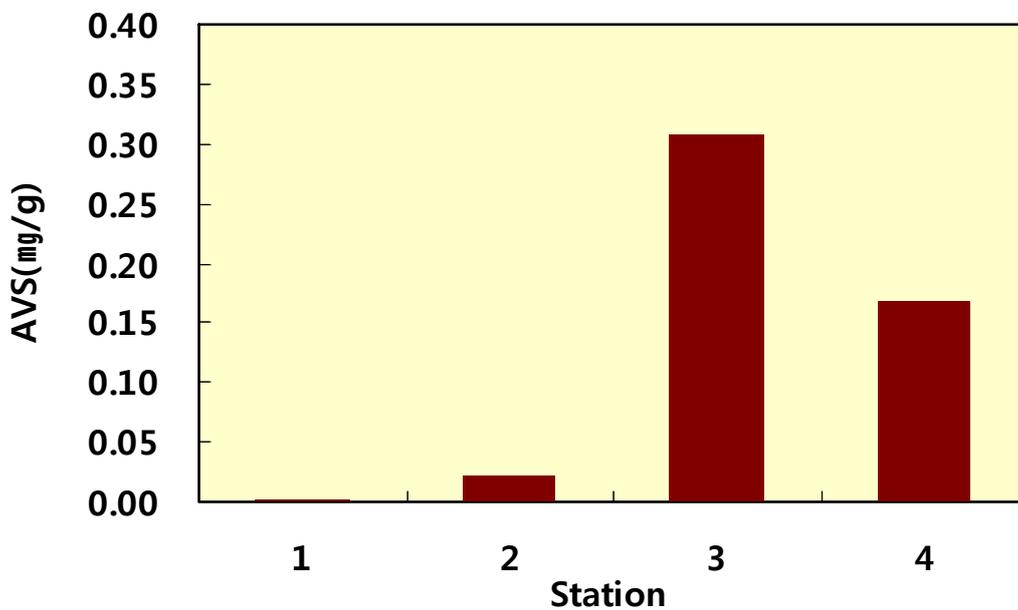


그림 4-25. 진도 대마도 지구 저질 산화발성황화물(AVS) 분포

잠수조사를 통한 저서생물 분석결과 불가사리, 보라성게 등 극피동물과 전복, 산호류, 홍조류 및 잘피류가 다량 서식하였으며 해삼서식을 확인할 수 있었다(그림 4-26). 서식하는 해삼은 55.35~241.5g 중량을 보였다(그림 4-27).



그림 4-26. 진도 대마도 지구 잠수 저서생물상 조사 결과

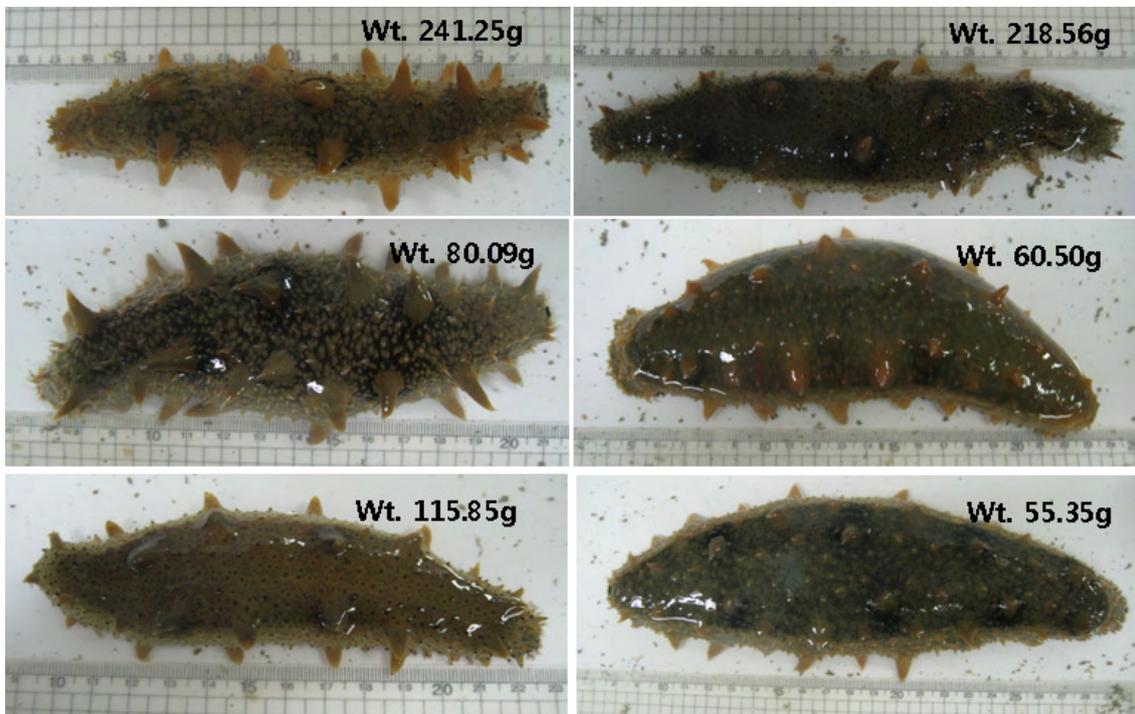
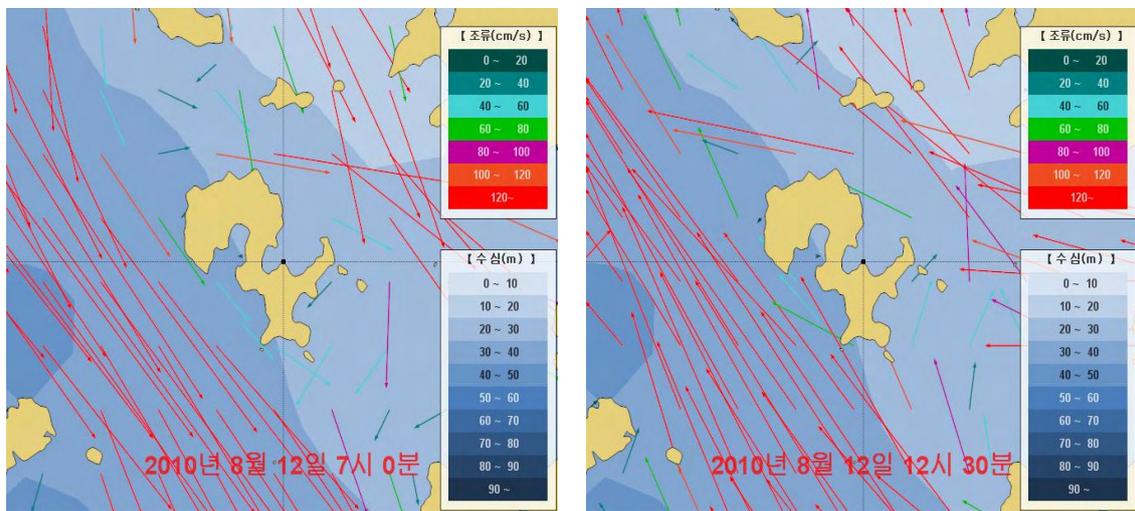


그림 4-27. 진도 대마도 지구 서식 해삼

대마도 인근 해역에서는 대조기에 빠른 유속을 보이지만 대마도 지형상 요철 지역에서는 안정된 해수면을 유지하고 있어 해삼 및 다른 저서생물이 서식하기에는 적합하다(그림 4-28). 진도 조도면 대마도 지구는 지형학적 구조상 요철 형태로 되어 있고 주변에 전복 및 해삼 등이 많이 서식하는 것으로 조사되었다(그림 4-29). 대마도 지구에서 해삼 씨뿌림 시험어장으로는 두 지역이 선발되었다(그림 4-30). 이 중 35ha에 대해서 우선 적지로 선정하고 시험어장으로 지정하여 공고하였다(그림 4-31).



낙조류

창조류

그림 4-28. 진도 대마도 지구 인근 대조기



그림 4-29. 진도 대마도 지구 해삼 분포 지역

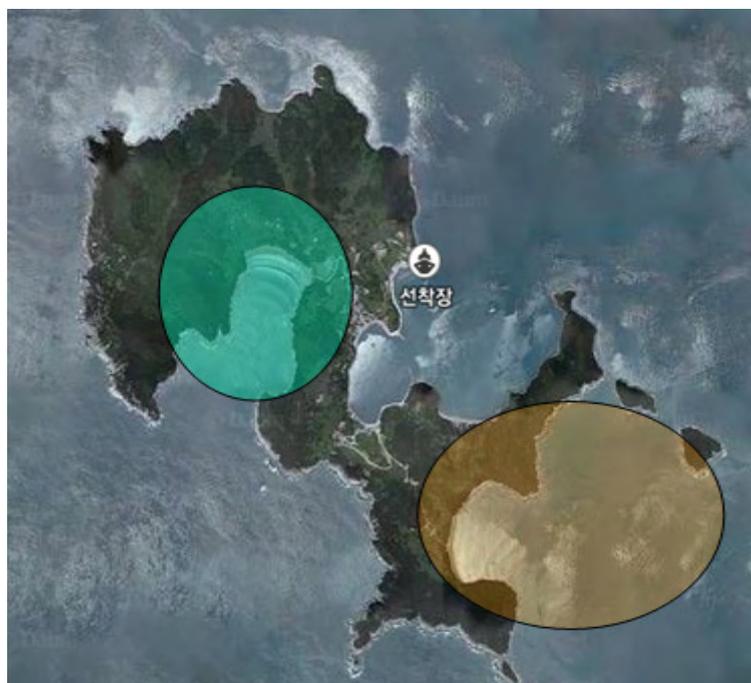


그림 4-30. 진도 대마도 지구 해삼 씨뿌림 가능지역

(나) 해삼 종묘방류

1) 포장 및 운반

2010년 11월 24일 국제갯벌연구센터에서 생산된 2~5g 크기의 해삼 30만 마리를 진도 대마도 해역에 방류하였다.

포장과 운반은 씨뿌림 시점까지 환경변화에 의해 어린해삼이 받을 수 있는 스트레스를 최소화하는데 중점을 두었다. 연구센터에서 진도 대마도 해역까지 이동은 차량과 선박을 이용하였다. 이동시간은 대략 4시간 이상 소요되었다. 장시간의 이동에 따른 스트레스를 최소화하기 위해 운반당일에 포장이 이루어졌다. 포장 재료는 비닐봉지와 스티로폼 박스를 이용하였는데, 비닐봉지는 수분증발을 막기 위해 사용하였고 스티로폼 박스는 이동 중 온도변화를 최소화하기 위해 보온용으로 사용하였다. 포장은 50L 비닐봉지에 15kg씩 넣고 얼음이 깔린 50L 스티로폼 박스에 한 층으로 분포하도록 최대한 넓게 펴서 넣었다. 박스의 뚜껑을 닫은 후 비닐테이프로 마감하였다(그림 4-32). 이렇게 포장한 상자를 화물트럭(1톤)에 적재하여 3시간에 걸쳐 팽목항까지 운반하였다. 진도군에서 협조한 조사선에 다시 선적하여 시험포 해역까지 1시간에 걸쳐 신속하게 운반하였다(그림 4-33).



그림 4-32. 씨뿌림용 해삼운반을 위한 어린해삼 포장



그림 4-33. 씨뿌림을 위한 어린해삼 운반

2) 씨부림(이식)

씨부림 지점은 수심이 얕아 조사선이 접근할 수 없어 포장한 박스를 어선으로 옮겨 최대한 접근하였다. 선상에서 해삼을 씨부림 할 경우 해적생물에 의해 식해 피해를 입을 수 있으므로 이를 예방하기 위해 직접 잠수하여 저층 바위틈에 뿌리는 방법을 택하였다. 비닐봉지에 담긴 해삼을 20kg 용량의 양파망에 옮겨 직접 수중으로 가지고 들어가 이식하였다. 잠수는 전문 잠수부를 동원하였다. 씨부림은 오전 10시경에 시작하여 13시경 까지 약 3시간이 소요되었다(그림 4-34).



그림 4-34. 진도 대마도 지구 해삼산업화 Pilot 모델 시험어장 해삼 씨부림

(다) 해삼성장 모니터링

1) 주민설명회

씨뿌림 사업을 알리고 주민참여를 유도하여 사업의 완성도를 높이고자 설명회를 개최하였다. 참석 주민은 인근해역에서 실제로 어로행위를 하는 사람들이었다. 내용은 사업의 중요성과 씨뿌림 해역에서 해삼 어획활동을 자제할 것을 설명하였다(그림 4-35).



그림 4-35. 해삼시범연구사업 및 씨뿌림 해삼 포획금지 설명

2) 환경모니터링

씨부림 해역의 환경상태를 모니터링하기 위해 해삼방류 후 사후조사와 병행하여 환경조사를 실시하였다. 조사 분야는 기초수질환경, 퇴적환경 및 저서생물을 조사하였고, 항목은 수온, 염분, DO, COD, 입도, 휘발성항산화물질 및 강열감량 등을 해양환경공정시험법(2010)에 준하여 분석하였다.

2011년 3월 분석한 수질환경요인 중 수온은 8.0~8.2℃, 염분은 33.5psu, 용존산소는 11.10~11.15mg/L, 화학적산소요구량(COD)은 0.88~1.00mg/L 그리고 부유물질농도는 64.63mg/L로 나타났다. 또한, 용존무기질소(DIN)는 0.232~0.239mg/L와 용존무기인(DIP)은 0.020~0.042mg/L로 양호한 수질상태를 보여주었다(표 4-2).

표 4-2. 대마도 지역 시험어장 2011년 3월 수질환경조사결과

구 분	수온 (°C)	염분 (psu)	용존산소 (mg/L)	부유물질 (mg/L)	COD (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)
표 층	8.16	33.52	11.15	64.63	0.88	0.232	0.042
저 층	8.01	33.53	11.10	74.74	1.00	0.239	0.020

한편 퇴적물의 평균입자 크기는 7.94 ϕ 였으며 조성 비율은 gravel 0.09%, sand 23.09%, mud 76.82%로 사니질의 퇴적상이었다(표 3-4). 퇴적환경 요인 중 강열감량(IL)은 6.63%, 화학적산소요구량(COD)은 7.46 g/kg · dry 그리고 산취발성황화물(AVS)은 0.036 mgS/g · dry으로 해삼이 서식하기에 적합한 환경으로 나타났다(표 4-3).

표 4-3. 대마도 지역 시험어장 2011년 3월 퇴적환경 분석결과

구 분	Mz (ϕ)	Gravel (%)	Sand (%)	Mud (%)	IL (%)	COD (g O ₂ /kg · dry)	AVS (mg S/g.dry)
표 면	7.94	0.09	23.09	76.82	6.63	7.46	0.036

2012년 3월 조사한 수질환경요인 중 염분은 34.0~34.2psu, 용존산소는 10.2~10.8mg/L 그리고 부유물질 농도는 8.2~8.5mg/L로 나타났다. 또한 화학적산소요구량은(COD) 2.90~3.48mg/L, 용존무기질소(DIN)는 0.284~0.316mg/L, 용존무기인(DIP)은 0.007~0.008mg/L 으로 양호한 수질상태를 보여주었다(표 4-4).

표 4-4. 대마도 지역 시험어장 2012년 3월 수질환경 조사결과

구 분	염분 (psu)	용존산소 (mg/L)	부유물질 (mg/L)	COD (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)
표 층	34.0	10.8	8.2	2.90	0.284	0.007
저 층	34.2	10.2	8.5	3.48	0.316	0.008

퇴적입자의 평균크기는 4.0 Φ 로 사니질 퇴적상(Sand 49.5%, Mud 50.5%)이었다(표 4-5). 또한 퇴적물 속의 유기물을 나타내는 강열감량(IL)은 1.4%를 이를 분해 하는데 소모되는 화학적산소요구량은(COD) 5.8g/kg·dry로 나타났으며, 산취발성 황화물(AVS)은 0.002mg S/g·dry로 해삼 서식환경에는 적합한 것으로 나타났다(표 4-5).

표 4-5. 대마도 지역 시험어장 2012년 3월 퇴적환경 조사결과

구 분	Mz (Φ)	Gravel (%)	Sand (%)	Mud (%)	IL (%)	COD (g O ₂ /kg·dry)	AVS (mg S/g.dry)
표 면	4.0	0.0	49.5	50.5	1.4	5.8	0.002

2012년 6월 분석한 수질환경요인 중 수온은 15.5~16.5 $^{\circ}$ C, 염분은 33.1~33.2psu, 용존산소는 9.9~10.2mg/L, 화학적산소요구량은 1.4~1.7mg/L, DIN 0.075~0.080mg/L, DIP 0.016~0.037mg/L으로 양호한 수질상태를 보여주었다(표 4-6).

표 4-6. 대마도 지역 시험어장 2012년 6월 수질환경 조사결과

구 분	수온 (°C)	염분 (psu)	용존산소 (mg/L)	부유물질 (mg/L)	COD (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)
표 층	15.5	33.2	9.9	4.4	1.4	0.080	0.016
저 층	16.5	33.1	10.2	4.8	1.7	0.075	0.037

퇴적환경 요인 중 유기물 함량을 나타내는 강열감량은 0.9%로 비교적 낮았으며, 화학적산소요구량(COD)은 38.8g/kg · dry를 산취발성황화물은 0.008mg S/g.dry를 나타냈다(표 4-7).

표 4-7. 대마도 지역 시험어장 2012년 6월 퇴적환경 조사결과

구 분	IL (%)	COD (gO ₂ /kg · dry)	AVS (mg S/g.dry)	비고
표 면	0.9	38.8	0.008	

2) 자원량 조사

㉞ 조사방법

자원량 조사는 잠수부를 동원하여 10~20분 정도 포획하여 조사하였다. 조사 시기는 2011년 5월, 2012년 3월, 2012년 6월 3회 조사하였다. 해삼의 체중은 디지털 저울을 사용하여 현장에서 측정하였다.

㉟ 조사결과

씨뿌림 후 약 6개월이 지난 2011년 5월 14일 조사는 전문 잠수부가 20분 동안 잠수하여 포획하였다. 포획 결과 39마리 해삼을 포획하였으며, 이 중 13마리가 방류한 개체로 추정되었다(그림 4-36).

2012년 3월 29일 씨뿌림 후 약 10개월이 지난 조사는 씨뿌림 해역 4지점에서 각각 20분 동안 잠수하여 포획하였다. 포획 결과 11~45마리가 포획되었고 중량은 67~412g정도 성장하여 있었다(그림 4-37).

씨뿌림 후 1년이 지난 2012년 6월 11일 조사에서는 씨뿌림 효과를 평가하기 위해 대마도 현지주민의 안내로 해삼이 자연 서식하는 인근해역을 함께 조사하였다. 씨뿌림 해역 4곳에서 각각 20분간 포획한 해삼은 4~11마리였으며, 비교 해역에서는 35분간 잠수하여 포획한 해삼은 2마리였다. 씨뿌림 해역에서 포획된 해삼의 크기는 30~650g으로 비교적 큰 개체였으나 비교해역에서 포획한 해삼의 크기는 50~60g 내외였다(표 4-8, 그림 4-38).

위와 같은 결과를 볼 때 씨뿌림 해역에서 해삼포획은 비교해역에 비해 10배 이상 높아 해삼에 대한 씨뿌림 양식은 해삼생산량 향상에 효과가 있는 것으로 판단되었다.

표 4-8. 씨뿌림 해역 해삼 자원량 조사 결과

조 사 일	씨뿌림 해역	비교해역	비 고
11년 5월	39마리 (30~350g)	-	
12년 3월	56마리 (67~412g)	-	
12년 6월	15마리 (30~650g)	2마리 (50~60g)	



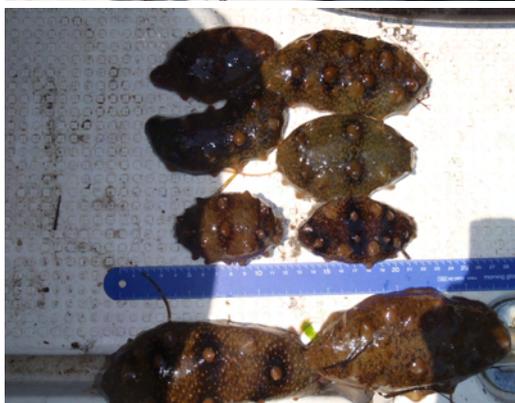
전문 잠수부 입수



어미해삼 생식소 전무(10마리)



어획한 샘플



어미해삼과 방류한 해삼

그림 4-36. 2011년 5월 해삼시험어장 씨뿌림 효과조사



씨뿌림 해역으로 이동



전문 포획 잠수부 입수



해삼포획 후 선박으로 복귀



포획해삼 측정

그림 4-37. 2012년 3월 씨뿌림 해역 해삼 자원량 조사



씨뿌림해역과 비교해역



전문 포획 잠수부 입수



포획해삼 체장 측정



포획해삼 체중량 측정

그림 4-38. 2012년 6월 씨뿌림 해역과 인근해역 해삼 자원량 조사

다. 충남 태안군 남면 지구

(1) 재료 및 방법

해삼 산업화 및 자원회복의 가장 효과적인 방법의 하나인 해삼 씨뿌림 양식시험 가능성 진단을 위해 해삼 씨뿌림 후보지에 대한 환경조사 및 중간육성된 종묘를 이용한 양식가능 시험을 실시하였다. 해양환경 조사는 충남 태안군 남면 신온리 주변어장 내 후보지를 선정하여 해역에 대한 수질, 저질 환경 및 서식생물상을 조사하였다(그림 4-39). 해수 유동 조사는 국립해양조사원 수치 조류도를 이용하여 분석하였고, 해저 생물상 조사는 잠수부에 의해 서식생물을 무작위로 채취하여 해삼 서식분포 및 기타 저서생물 서식상을 조사하였다. 수온조사는 국립수산과학원 NOAA 위성 해수면 온도의 월별 합성 분석 자료를 이용하였고, 수질 및 저질분석은 해양환경공정시험법(해양수산부, 2010)에 따라 분석하였으며, 현장 수온, 염분, pH는 휴대용 측정기(YSI)로 측정하였다.

(2) 연구결과

(가) 어장 여건

충남 태안군 남면 신온리 주변어장은 곰섬 어촌계를 중심으로 연간 해삼 생산량은 2010년 50톤, 2011년 30톤, 2012년 60톤(면허 4건 55ha)으로 조사되었다. 상기 지역은 최간조시에 일부가 노출되는 지역으로 암반과 자갈, 펄로 구성되어 있으며, 유속이 빠르고 수심이 10 m 내외인 해삼 자연서식지역이다. 시험어장은 태안읍에서 30분정도의 거리에 위치하고 있으며, 마검포항에서는 선박으로 10여분이면 도달할 수 있는 어장으로 태안남부수협에서 인공구조물(해삼은신처)을 개발 투하한 지역이 일부 포함된다. 해삼 수확 시기는 5~6월과 10월 하순~11월로 년 2회에 걸쳐 이루어지고 있으며, 연간 해삼 어획소득은 10억 원 정도에 이른다.



그림 4-39. 충남 태안군 남면 신운리 해삼 씨뿌림 어장

(나) 해수면 수온 분포(태안부근)

국립수산과학원에서 7일 간격으로 조사한 인공위성 수온 분석 자료(2011년 6월~9월)는 그림 4-40과 같다. 인공위성 수온 분포 자료를 분석한 결과 태안부근은 주변해역보다 수온이 낮은 냉수대가 형성되는 것을 관찰 할 수 있었고, 간헐적으로 소멸되는 형태를 보였다. 한편 2011년 7월부터 2012년 6월까지 충남북부해역의 월평균 수온 값은 최소 3℃, 최대 25℃로 조사 되었다(그림 4-41).

(다) 해수 유동 조사

태안군 남면 씨뿌림 지역(곰섬)에 대한 해수유동은 국립해양조사원 수치 조류도를 이용하였다. 사리 때의 해수유동은 창조시에는 갈마섬에서 곰섬 해변 쪽으로 해수가 이동한다. 곰섬 해변부근에서는 23.60cm/s를 보이다가 마검포 해변으로 이동하면서 14.80cm/s로 유속이 줄어든 다음 마검포 주변에서는 40cm/s로 다시 유속이 상승하였다(그림 4-42).

(라) 수질, 저질, 생물상 조사

수질 및 저질 생물상 조사는 2012년 5월 17일부터 6월 14일까지 3회에 걸쳐 실시하였다. 조사 결과 수온의 경우 표층은 12.3~17.2℃, 저층은 12.3~16.8℃를 보였으며, 염분은 표층에서 31.8~32.18psu, 저층 31.5~32.0psu로 연안해역과 비슷한 값을 보였다. pH는 표층에서 8.25~8.28을 나타내었고, 용존산소(DO)는 표층이 10.32~10.35mg/L, 저층은 10.06~10.32mg/L로 높은 값을 보였다. 화학적산소요구량(COD)은 0.36~2.68mg/L로 해역수질 등급(I~Ⅲ) 수준을 보였다. 저질의 함수율은 18.01~20.09%로 나타났고, 산취발성황화물(AVS)은 0~0.0012mg S/g·dry으로 매우 낮은 수준을 보였으며, 저질화학적산소요구량(COD)은 0.18~5.82g O₂/kg·dry으로 해삼의 씨뿌림 양식에 적합한 농도를 보였다.

잠수에 의한 저서생물 조사결과 해삼과 말뚝성게, 피뿔고둥, 갈색띠매물고둥, 키조개, 개량조개 등과 해적생물인 게류, 불가사리 등이 서식하고 있으며, 해조류는 미역, 구멍갈파래, 서실 등이 서식하는 것으로 확인 되었다(그림 4-43). 조사된 해삼의 중량은 77~360g 정도로 대부분 150g 이상크기로 나타났다(그림 4-44).

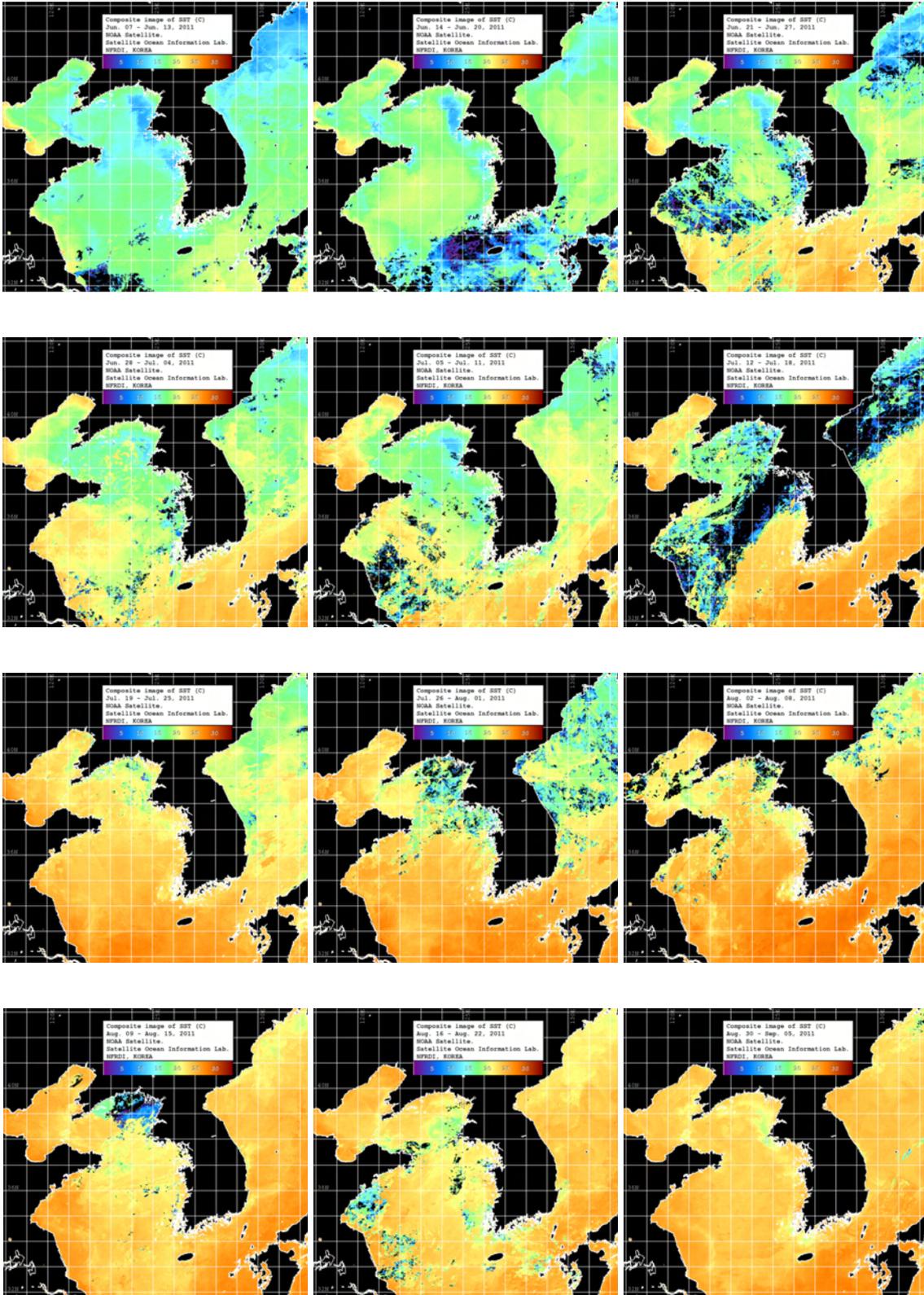
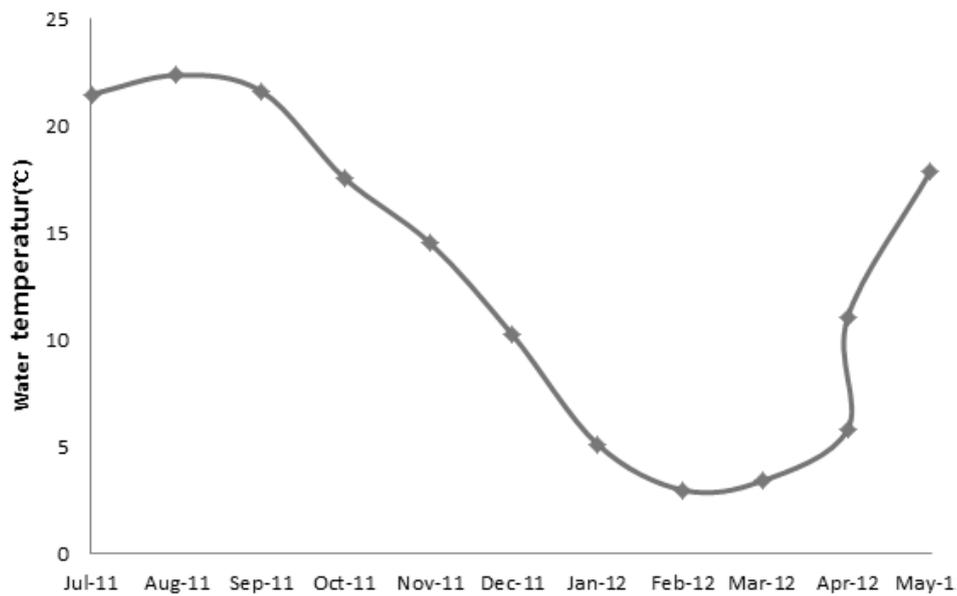
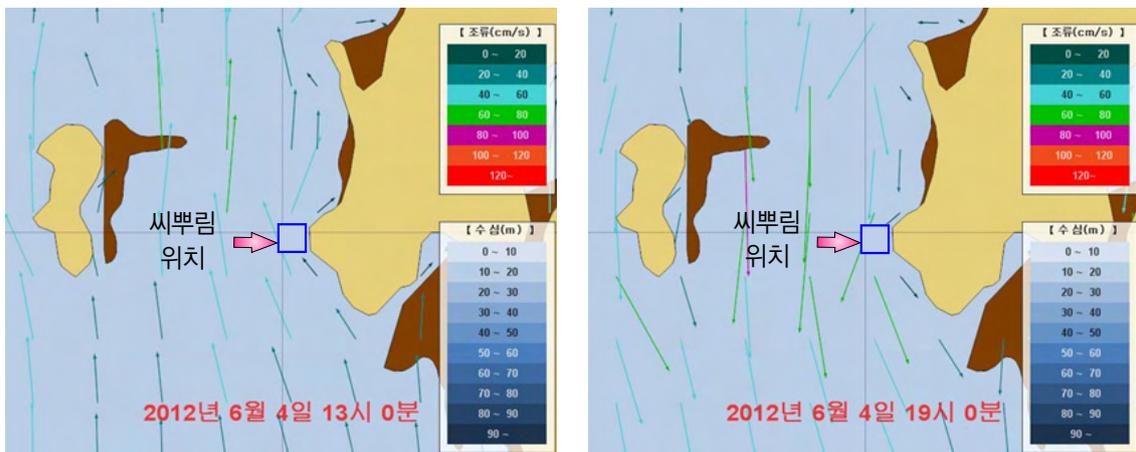


그림 4-40. 2011년 6월~9월까지 수온분포 위성사진
(국립수산과학원, NOAA위성 해수면 온도 분석자료)



출처 : 국립수산과학원 해양수산연구포털 종합상황 정보

그림 4-41. 2011년 7월부터 2012년 6월까지 충남북부 월평균 수온 변화



창조류

낙조류

그림 4-42. 태안군 남면 씨뿌림 해역의 대조시



그림 4-43. 태안군 남면 씨뿌림 지역 저서생물 및 수질조사



그림 4-44. 태안군 남면 씨뿌림 지역 자연서식 해삼

(마) 해삼종묘 입식

태안군 남면 씨뿌림 해역은 자연해삼이 서식하면서 암반이 잘 발달된 곳으로 2012년 5월 31일에 중간 육성된 해삼종묘(평균중량 1g) 20천 마리를 잠수부에 의해 입식하였다(그림 4-45).

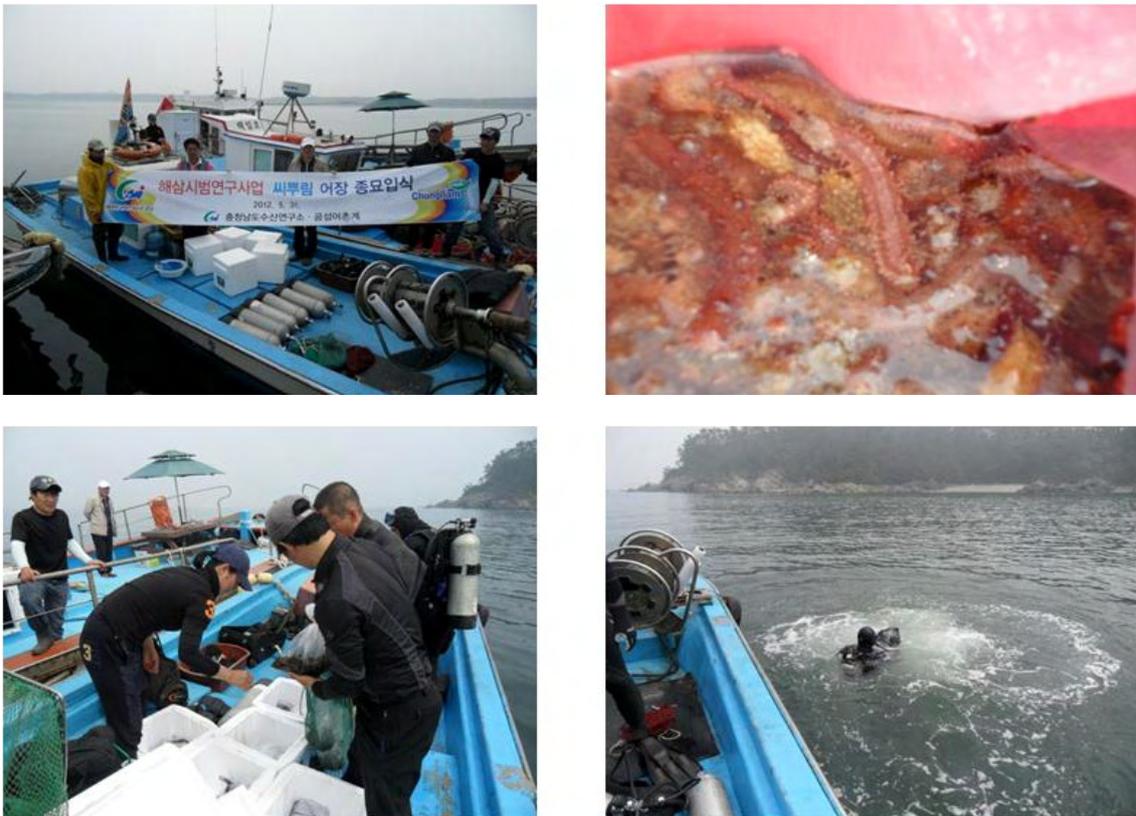


그림 4-45. 태안군 남면 씨뿌림 지역 해삼종묘 입식

3. 축제식 양식기술개발 연구

가. 재료 및 방법

(1) 축제식 시험장소

해삼의 안정적인 산업화를 이루기 위해서는 해면 씨부림 양식과 함께 축제식 양식장의 개발이 필수적이다. 특히 축제식 양식에 대한 기술이 개발된다면 씨부림 양식에 비해 계획생산이 가능하다. 중국의 경우 전체 해삼 생산량의 75%가 축제식 양식장에서 생산되고 있으며, 아직까지 우리나라는 축제식 해삼 생산량이 전무하다. 국내 해삼 축제식 산업화 양식 기술개발을 위해 충남수산연구소 인근(충남 보령시 웅천읍 관당리)에 위치한 기존의 새우양식장(10ha)을 해삼양식 시험시설로 개선하여 산업적 규모의 축제식 양식시설(1.7ha)을 설치하였다(그림 4-46). 해삼 축제식 시험 시설지 주변 해역은 암반이 잘 발달 되어 있으며, 자연 해삼이 서식하고 있는 지역이다(그림 4-47).



그림 4-46. 해삼 축제식 시험 양식장 위치(충남 보령시 웅천읍 관당리)

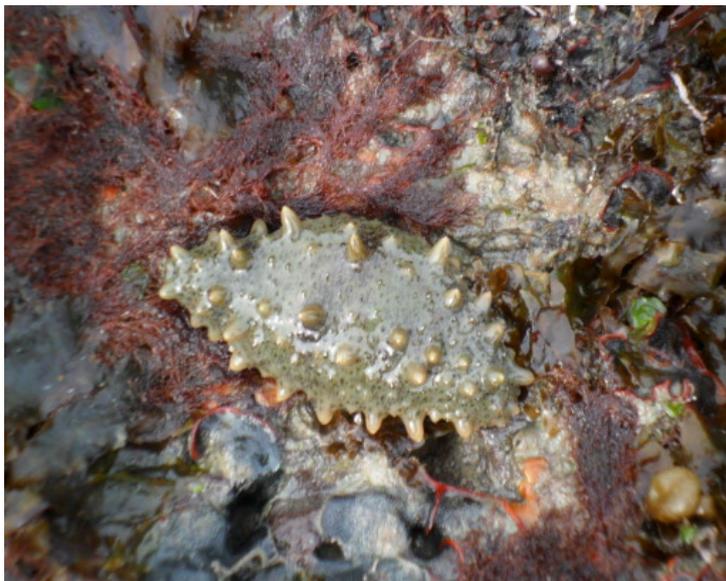


그림 4-47. 축제식 해삼 양식장 주변 암반에 자연 서식하고 있는 해삼

(2) 양식장 조성

축제식 시험을 위한 양식장 조성은 해삼 축제식 양식 기본 설계도를 바탕으로 10ha의 양식장 중 1.7ha의 면적에 충남 보령 응천 주변에서 채굴되는 돌(잡석)을 이랑식, 원반형 형태로 해삼 은신처 돌무더기를 조성하였다(그림 4-48).

조성된 이랑식 돌무더기 Set 규모는 1×8m 크기로 2m 간격으로 156줄을 조성하였고, 원반형 돌무더기는 높이 50cm, 1무더기가 4m², 설치간격은 3m로 조성하였다(그림 4-49~4-51). 축제식 양식장의 취수구는 기존에 설치되어 있는 취수구를 것을 보강하였고, 배수구는 취수구의 맞은편 일직선상에 PVC 파이프(φ 300mm)를 설치하였다. 취수구와 배수구 주변에는 그물을 설치하여 어린 해삼의 유실을 방지하고 기타 해적생물의 유입을 차단하였다.

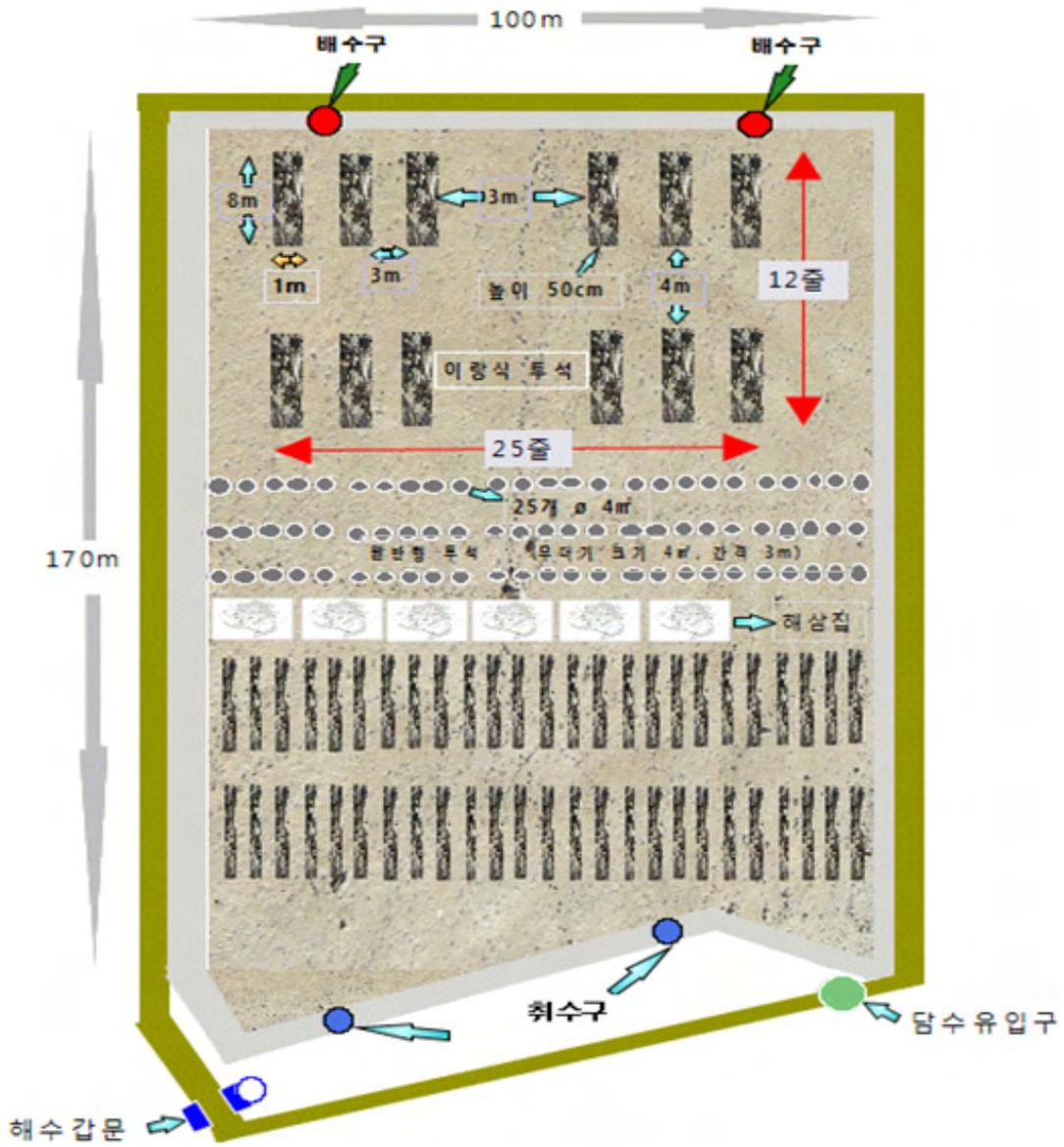


그림 4-48. 해삼 축제식 시험 양식시설 기본 설계도



그림 4-49. 축제식 양식장 호지 정리



그림 4-50. 축제식 양식장 돌무더기 조성



그림 4-51. 축제식 양식장 돌무더기(이랑식 및 원반형) 조성 이후 중간육성 과정을 거친 해삼 종묘 입식. 1차 입식(2011년 6월)
크기 : 0.8~80g, 2차 입식(2012년 5월) 크기 : 1~5g

(3) 해삼 종묘 입식

축제식 양식 시험 종묘 입식은 2회에 걸쳐 실시하였다. 1차(2011년 6월)분은 전중량 0.8~80g 해삼을 이랑식 돌무더기 조성장에 600m²를 구획하여 5,134마리 (평균중량 9.7g)를 입식하였다. 2차 입식은 2011년 10월부터 2012년 5월까지 중간 육성된 전중량 1~5g 크기의 해삼 종묘 30천 마리를 2012년 5월에 1ha의 축제식 양식장에 입식하였다. 한편 해삼의 성장 및 생산력 측정을 위한 양성기 (1.2m×1.4m×0.8m) 12개(3, 7, 14, 28마리/3반복)를 2012년 5월 2일과 15일 2차에 걸쳐 설치하였다.

(4) 축제식 양식장 환경조사 및 성장도 측정

축제식 해삼 시험 양식장 환경조사는 주 1회씩 수온, 염분, DO, pH 등을 다항 목 수질측정기(YSI)로 조사하였다. 성장도 조사는 축제식 시험 양식장 배수 등의 문제로 2회(2011년 12월, 2012년 6월)에 걸쳐 조사가 이루어졌으며, 완전배수에 의한 전수조사는 어린 해삼이 수면 위로 노출 시 폐사 위험으로 이루어지지 못하였으며 2차분의 상품 수확(2013년 6월)시 최종 성장도 조사를 실시할 계획이다.

나. 연구결과

(1) 수질환경

(가) 수온

2011년 7월부터 조사된 축제식 양식장의 표층 수온은 -0.70℃~29.83℃ 범위로 겨울철 표층수온은 0℃ 전후까지 하강하였고, 여름철(7~8월)에는 30℃까지 상승하였다. 저층의 경우 0.07℃(1월)~29.22℃(8월)로 표층과 차이를 보이지 않았다. 수온은 축제식 양식장의 주요 환경요인으로 본 시험에서 고수온기(30℃)와 저수온기(0℃)에서도 해삼의 생존이 가능한 것으로 밝혀졌다(그림 4-52).

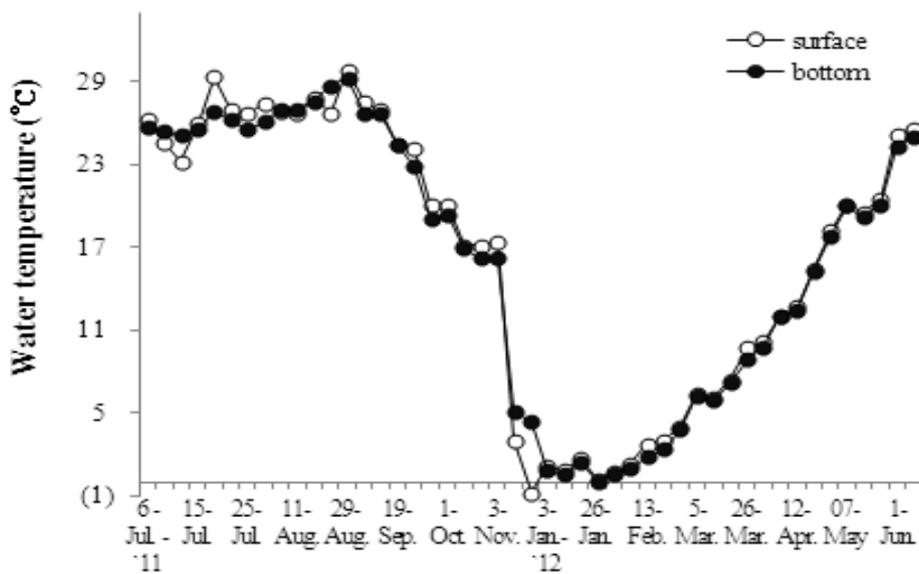


그림 4-52. 축제식 양식장 수온 변화(2011년~2012년)

(나) 염분

해삼은 저염분에 강한 내성을 보이지 못하므로 염분 또한 해삼 축제식 양식에 있어 수온과 더불어 매우 중요한 환경인자의 하나이다. 시험기간 중 염분 값은 표층에서 27.3psu를 나타내었고, 7월 집중 강우시에는 표층 염분이 4.1psu까지 하강하였으나 저층 염분은 26.5psu로 높아 축제식의 바닥에 은신, 서식하고 있는 해삼의 생존에는 영향을 미치지 않았다(그림 4-53). 집중강우 2~3일 이후에는 표층과 저층 염분의 일부 혼합으로 저층 염분이 22.5psu까지 하강하였으나 저염분의 기간이 짧아 해삼의 서식에는 영향을 미치지 않았다. 이 시기에 보령 기상청에서 측정한 강우량을 살펴보면 7월 10일 일일강수량이 141.5mm, 7월 11일 138.5mm로 약 7일간의 집중 강우로 주변해역의 염분저하 및 축제식에 다량의 담수가 유입되어 염분이 저하된 것으로 판단된다.

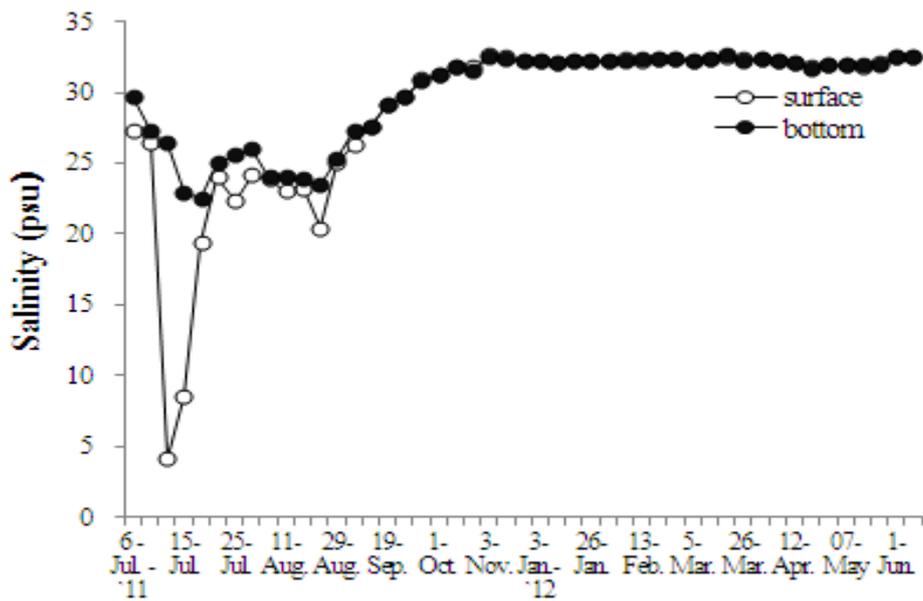


그림 4-53. 축제식 양식장 염분 변화(2011년~2012년)

(다) DO, pH, 영양염류, 입도분석

시험기간 동안의 용존산소(DO) 농도는 표층의 경우 5mg/L 이상을 유지하였으며, 저층도 최소 4mg/L 이상을 유지하였다(그림 4-54). 저수온기 1~2월에 15mg/L 내외로 높아졌으나 수온의 상승과 함께 점차 감소하는 경향을 나타내었다. pH는 8.0~8.5 범위로 표층과 저층에서 안정되었다(그림 4-55). 암모니아는 해삼의 성장 적기인 2012년 4~5월동안 NH_4^- 0.048~0.094mg/L, NO_2^- 0.001~0.654mg/L, NO_3^- 0.011~0.022mg/L, PO_4^- 0.002~0.005mg/L의 범위를 보였다. 입도분석 결과는 표 4-9와 같고, 함수율은 24.31~28.99%로 나타났다.

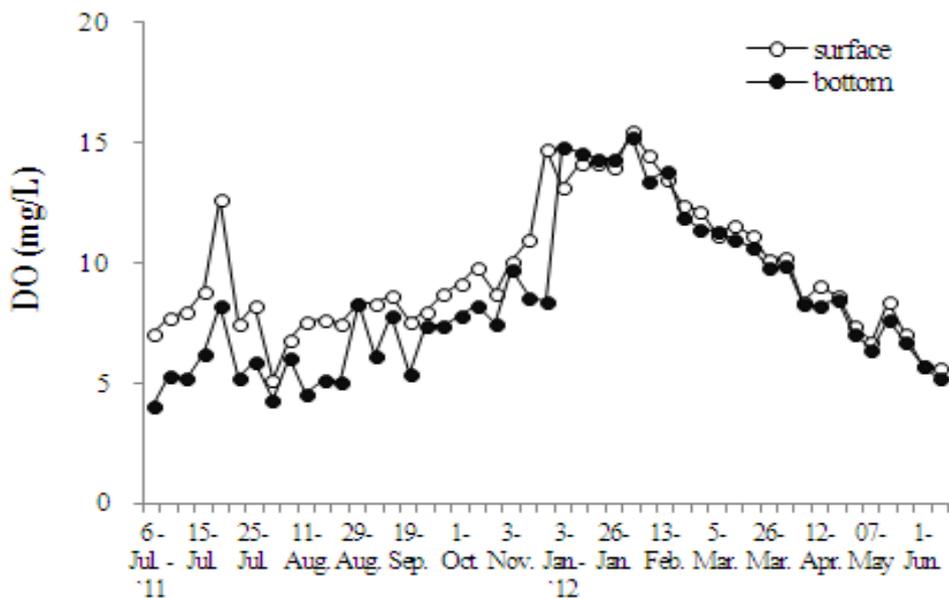


그림 4-54. 축제식 양식장 용존산소(DO) 변화(2011년~2012년)

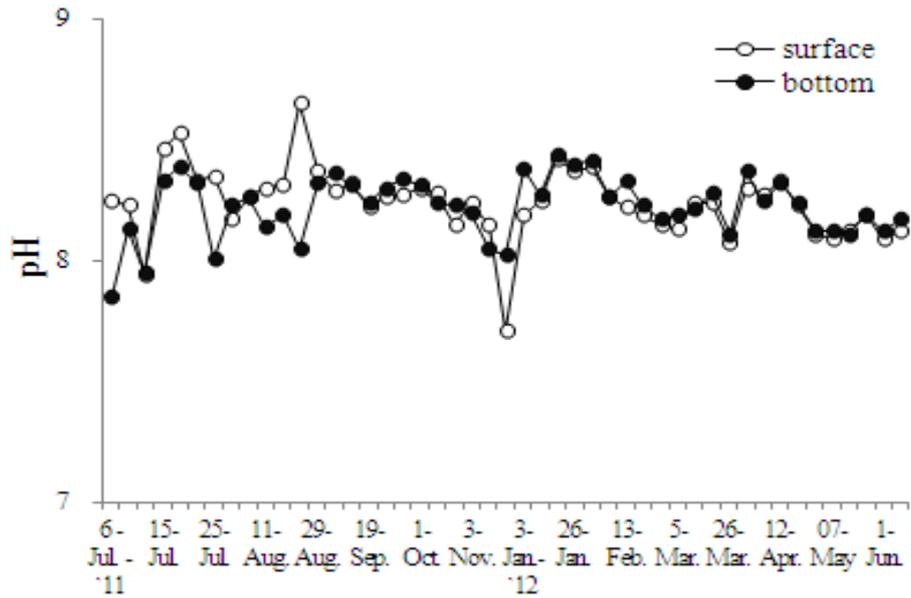


그림 4-55. 축제식 양식장 pH 변화(2011년~2012년)

표 4-9. 축제식 양식장 입도분석

구 분	≥4mm (%)	2mm (%)	1mm (%)	0.5mm (%)	0.25mm (%)	0.125mm (%)	0.09mm (%)	0.063mm (%)	≤0.063 (%)
2012년 1월	8.824	5.752	8.301	17.974	17.647	18.824	6.144	7.386	9.150
2월	17.235	10.804	13.183	16.656	14.469	8.746	4.759	6.817	7.331
3월	25.604	9.175	9.361	20.087	12.089	8.865	3.534	3.410	7.874
4월	17.769	5.544	8.617	16.900	16.500	16.032	8.150	5.945	4.542

(2) 축제식 양식장의 해삼 성장

2011년 6월 15일 중량 0.8~80g의 해삼을 입식한 후 2011년 12월 7일(1차 조사)에 일부 배수 후 표본조사를 실시하였다(그림 4-56). 축제식 해삼의 성장은 입식 후 175일간 2~180g으로 성장하였으며, 표본 조사용으로 987마리의 해삼을 포획하여 재포율은 19.2%로 나타났다. 1차 표본조사에서 평균중량은 입식 시 9.7g에서 28.9g으로 약 3배 정도 성장하였다. 2차 표본조사(2012년 6월 7일)에서 해삼의 성장은 358일간 37~220g(평균 130g)으로 성장하여 처음 입식 하였을 때보다(평균 중량 9.7g) 13.4배 성장을 보였으며, 150g 이상의 대형개체 또한 다수 발견되어 상품으로 출하 가능한 크기로 성장하였다.

(3) 축제식 바닥 그물가두리 양성기에서의 해삼 성장

축제식 바닥 그물가두리 양성기에서의 해삼 성장은 2012년 5월(5월 2~15일)에 평균중량 4.18g의 종묘를 그물가두리에 입식한 후 2012년 6월 12일 1차 조사 결과 평균중량 7.03g으로 1개월 간 1.68배 성장하였다. 시험구별(3, 7, 14, 28마리) 성장량은 입식면적 1.68m²당 7마리를 입식한 시험구에서는 입식 시 평균중량 4.3g이었던 것이 평균중량 13.60g으로 3.2배 성장하였고, 생존율은 96.2%로 나타났다(그림 4-57). 본 시험에서 짧은 기간 동안 해삼의 성장이 빠른 원인은 자연에서의 해삼 성장이 가장 왕성한 시기에 시험한 결과로 여겨지며, 최종 결과는 2013년 5월(1년)에 조사한 후 평가가 이루어질 할 예정이다.



그림 4-56. 축제식 양식장에서 해삼 포획(2011년 12월)

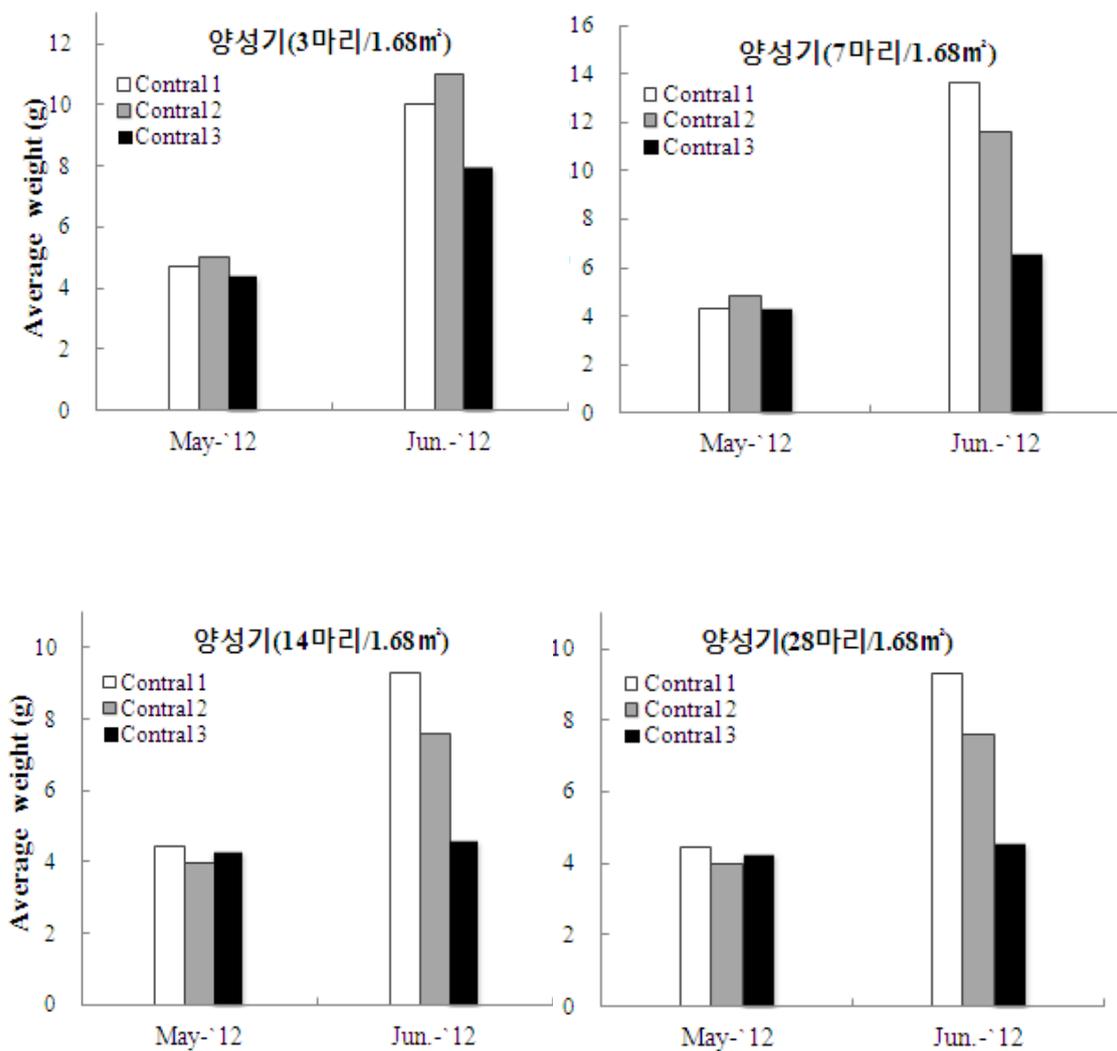


그림 4-57. 축제식 바닥 그물가두리 양성기 성장조사

(4) 축제식 양식 경제성 분석

해삼 축제식 양식의 경제성 분석은 상품생산 시험이 종료되는 2013년에 도출될 예정이다. 현재까지 도출된 결과를 토대로 한 금후 경제성 분석을 예측하면 다음 표 4-10과 같이 추정할 수 있다.

축제식 양식에서 1ha(3,000평), 종묘 입식량 50,000마리(우량종묘 3~5g 기준), 생존율 70%를 기준으로 입식할 경우 생해삼 판매 조수입은 126,000천원이며, 조수입에서 생산경영비 77,350천원을 제하면 45,971천원(조수입의 36.48%)의 소득이 예측된다. 부가가치 향상을 위해 생산된 해삼을 자숙해삼으로 가공할 경우 자숙해삼 건조율 9%, 판매가격 300,000원/kg일 경우 생산경영비 및 가공 경영비를 제외한 순 소득은 85,371,000원(조수입의 45.17%)에 이를 것으로 예측된다. 따라서 축제식 양식에 의한 생물 출하보다는 부가가치 향상을 위해 직접 자숙해삼으로 가공하여 출하하는 것이 소득측면에서 바람직하다(표 4-10).

표 4-10. 축제식 양식장 경제성 분석

○ 사업명 : 해삼 축제식 양식 ○ 생산규모 : 1ha(3,000평), 24개월 양식

항 목		금액(천원)	산 출 내 역	
조수입	양식생산	126,000	- 종묘입식량 : 50,000마리(3~5g 기준) - 상품생산 : 7,000 kg(1마리 0.2kg, 생존율 70%) 7,000kg×18,000원= 126,000천원	
생산비	경영비	○ 직접재료비 (감가상각비) 1. 양식장 조성비	양식장 조성 - 20,000,000원(3,000평/30년)=666,000원/년 은신처 : 60,400,000원(30년)=2,013,000원 - 해삼집 600,000원×50개= 30,000,000원 - 자연석(석괴)14,000원×1,600톤=22,400,000원 - 육상운반비 1,600톤×5,000원=8,000,000원	
		○ 인건비 1. 수시인부	어장관리 인건비 2인×5일×24월×70,000원=16,800,000원 상품출하 선별작업 10회×10명×70,000원=7,000,000원 양식장 청소 1회×10명×3일×70,000원=2,100,000원	
		○ 간접비 1. 종묘구입비 2. 경운기 임차료 3. 주부식비 4. 관리운영비 5. 소모성 자재 6. 축제식 호지 임대료	종묘(5g)50,000마리×500원=25,000,000원 경운기 1대×150,000원×24월=3,600,000원 370인×5,000원=1,850,000원 공공요금, 일반관리비 300,000원×24월=7,200,000원 소모성자재 200,000원/월×24월=4,800,000원 임대료(24개월):3,000원×3,000평=9,000,000원	
		○ 감가상각비	2,679	
		○ 경영비(원료, 인건비, 간접비 등)	77,350	
		총 계	80,029	
수 익 (조수입-생산비)		45,971		
수 익 률 (수익/조수입)		36.48%		

- 1회 차 경제성 분석(양식기간 24개월)

◇ 생물생산 출하시 경제효과 : 126,000,000원(매출액)-80,029,000원(생산 경영비)
= 45,971,000원(36.48%)

◇ 자숙 가공시 경제효과 : 189,000,000원(매출액)-80,029,000원(생산경영비)

- 23,600,000원(유통·가공 경영비 15%)=85,371,000원(45.17%)

- 자숙가공품 : 630kg(생물해삼 7,000kg의 9% 건조율 기준)×300,000원/kg
=189,000,000원

4. 육상수조식 양식기술개발 연구

가. 재료 및 방법

(1) SRS (Shallow Raceway System)

SRS 시스템은 육상수조식에서 고밀도의 생물 생산이 가능한 것으로 알려져 있다. SRS 시스템은 좁은 수로 형태로 낮은 수심이 큰 특징이다. 뱀장어 양식의 경우 유효 수심은 50~70cm로 기존 원형수조의 유효수심보다 현저히 낮으며 넓은 표면적으로 사료손실이 적고 높은 순환률에 의한 암모니아, 불소화합물의 배출이 용이하여 고밀도의 생물 생산에 적합한 시스템이라 할 수 있다.

SRS 시스템에 의한 해삼 사육은 해삼의 섭이 행태인 유기쇄설물식성(detritus feeding)을 고려할 수 있기 때문이다. 또한 사육수조 내 양식생물에 가장 치명적인 암모니아 스트레스를 획기적으로 절감할 수가 있어 양식종의 생존율 향상과 생산량에 직결되어 나타난다(Hans & vitor, 1997).

최근 해외 어류 양식의 경우 일반 순환여과시스템과 SRS 순환여과시스템의 생산량은 약 2~3배 이상 성장 및 생산성 차이를 보이는 것으로 조사되었다(Albert & Snorri, 2007). 본 연구에서는 육상수조식에서 해삼을 양성할 경우 최적의 양성밀도를 탐색하고자 실시하였다.

SRS 수조는 PP 재질로 가로 240cm×세로 40cm×높이 50cm 크기로 “ㄱ” 형태로 주문 제작하였다. 서 등(2009)의 연구결과를 참고하여 바닥은 1.0~2.0mm 내외의 모래를 0.5~1.0cm 정도 깔고 그 위에 전복 셸터를 넣어주었다(그림 4-58).

실험에 사용한 사육수는 1차 침전 ⇒ 2차 침전 ⇒ 3차 침전 ⇒ 모래여과를 통해 부유물질 농도가 높은 해수를 4~10mg/L까지 처리하여 사용하였고, 유수량은 대략 1.1~1.4m³/hr이었다. 수질은 호리바(U-51)를 이용하여 오전 10시에 측정하였다.

해삼은 중량 $7.0 \pm 0.2\text{g}$ 인 개체들로 자체 생산한 종묘를 사용하였다. 각각 실험 구별 해삼 양성밀도는 표 4-11과 같이 각각 SRS 1은 30g/m^2 , SRS 2는 60g/m^2 , SRS 3은 120g/m^2 그리고 SRS 4는 240g/m^2 으로 하여 적정밀도 탐색실험을 실시하였다.

사료공급은 실험기간동안 수입 분말사료를 액상으로 만들어 해삼 체중의 5%씩 1회/일 공급하였다. 사료공급 후 약 3~4시간 정도 사육수를 배출을 정지시켜 해삼이 사료를 여과섭이 하는데 유리한 환경을 제공해주었다.

사육수 관리를 위해 주 1회씩 수조를 청소하였으며, 청소과정에서 모래에 의한 해삼의 상처를 방지하기 위해 실험 도중 모래를 제거하였다.

생존율은 해삼이 받는 스트레스를 최소화하기 위해 2회에 걸쳐 측정하였다. 성장률은 해삼의 중량(g)을 전자저울로 측정한 후 평균값으로 나타내었다. 또한 아래와 같은 식에 의해 해삼의 specific growth rate(SGR, %/day)를 구하였다.

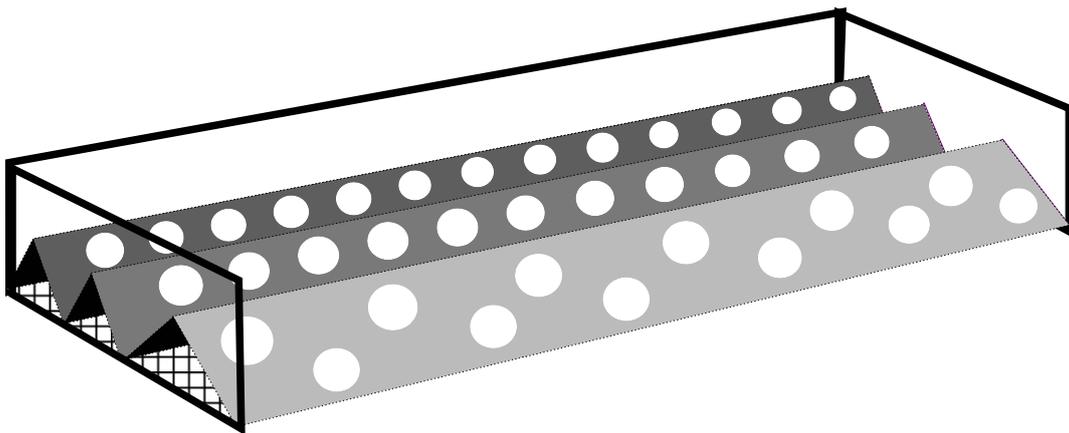
$$\text{Specific growth rate(\%)} = \left(\frac{\text{final weight} - \text{initial weight}}{\text{initial weight}} \times 100 \right) / \text{days} \quad \text{식 (4-1)}$$

표 4-11. SRS 시험구별 해삼양성 밀도 및 환경조건

수조	해삼수량 (마리)	밀도 (g/m^2)	유수량 (m^3/hr)	수 조 바닥기질	비 고
SRS1	48	30	1.1~1.4	파판/모래	
SRS2	96	60	1.1~1.4	파판/모래	
SRS3	192	120	1.1~1.4	파판/모래	
SRS4	384	240	1.1~1.4	파판/모래	



(a)



(b)

그림 4-58. SRS 사육수조 평면도 (a), 측면 내부구조 (b)

(2) RAS (Recirculation Aquaculture System)

순환여과양식시스템(Recirculation Aquaculture System)은 물 자원을 절약하고 폐수처리가 간단한 장점이 있다. 보온시설을 하면 메기, 잉어 등 온수성 어류를 겨울철에도 성장시킬 수 있고, 또 열대성 어류, 냉수성 어류를 겨울철에도 성장시킬 수 있으며, 세계 어느 지역에서나 기를 수 있다. 외부와 완전히 차단될 수 있으므로 해적생물과 질병 대책이 쉽고, 양식시설 면적과 사육수가 적게 들기 때문에 대도시 근처에 시설하여 고밀도 양식을 통해 소비자와 직접 연계시켜 경영상 이득을 얻을 수 있다.

본 실험에 사용된 순환여과시스템은 그림 4-59와 같이 구성하였다. 500L 수조에 5mm 망으로 가두리를 만들어 수조 바닥에 전복 셀터를 설치하고 해삼 100마리를 수용하였다. 해삼은 중량 $7.0 \pm 0.2g$ 인 개체들로 2011년에 자체 생산한 종묘를 사용하였다. 사육수 순환은 30분에 1회전으로 하였다.

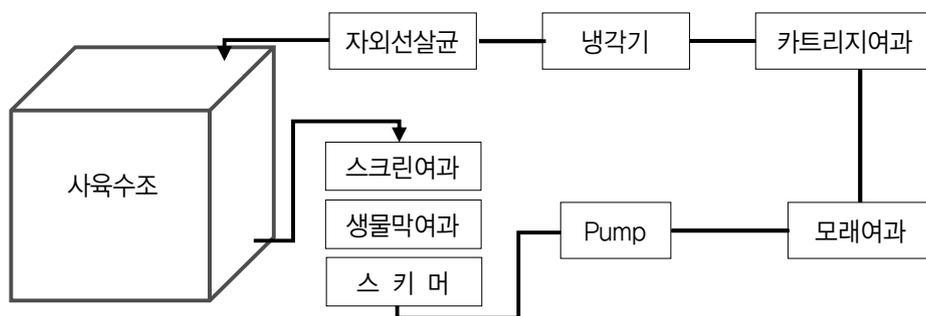


그림 4-59. 육상수조 양성실험에 사용한 순환여과양식시스템 평면 구조

실험기간 동안 수입 분말사료를 액상으로 만들어 해삼 체중의 5%씩 1회/일 공급하였다. 사료 공급 후 약 3~4시간정도 사육수를 정지시켜 해삼이 사료를 여과 섭이 하는데 유리한 환경을 제공해주었다. 수질은 호리바(U-51)를 이용하여 오전 10시에 측정하였다.

수질관리를 위해 주 1회 수조바닥에 쌓인 고형물을 제거하였다. 생존율은 해삼이 받는 스트레스를 최소화하기 위해 2회에 걸쳐 측정하였다. 성장률은 중량(g)

을 전자저울로 측정한 후 평균값으로 나타내었다. 또한 식(4-1)에 의해 해삼의 specific growth rate(SGR, %/day)를 구하였다.

(3) 복합양식(전복-해삼)

북방전복과 해삼은 우리나라에서 고급 수산물에 속하며, 경제적으로도 중요한 위치를 차지하고 있다. 특히, 해삼은 우리나라의 전 연안에서 어획되고 있으며, 식생활의 변화 및 중국에서의 수요증가로 인해 생산량 확대 필요성이 갈수록 높아지고 있다. 하지만 연안어장의 오염 및 개발 등으로 서식지가 축소되고 있고 (Lee & Park, 1999), 공급부족으로 인한 무분별한 어획이 이루어지고 있어 개체 수가 갈수록 줄어들고 있다. 또한 해삼은 초기 투자금액이 상당하고 전문 인력이 부족하여 양식품종으로 안정화 단계에 있는 전복에 비해 쉽게 산업화로 접어들지 못하고 있다. 그러나 유기물을 섭취하는 해삼의 섭식 습성을 감안할 때 전복의 먹이 및 그 파생물이 해삼의 성장에 긍정적 영향을 미친다면 비교적 저렴한 비용으로 높은 경제적 수익을 올릴 수 있을 것이다.

(가) 배합사료 급이 전복-해삼 복합 양식 실험

실내 수조에서 전복과 해삼의 복합사육 실험은 2012년 5월 8일부터 6월 29일까지 이루어졌다. 수조는 500L(100cm×100cm×60cm)에 5mm 망목의 그물로 가두리를 만들어 500마리를 수용하였다. Park et al. (2008)이 바닥 면적을 기준으로 각장 4cm 이하의 치패는 m²당 600~800마리가 적당하다고 제시한 기준을 참고하였다. 실험에 사용된 전복은 각장 20~25mm, 전중량 2.5±0.25g인 개체들을 전남 여수 종묘생산업체에서 구입하였다. 수조바닥에 전복 쉘터를 설치하여 해삼을 수용하였다(그림 4-60). 해삼은 중량 7.0±0.2g인 개체들로 자체 생산한 종묘를 사용하였다. 전복배합사료를 단독으로 공급하였으며, 해삼사료는 분말사료를 액상으로 만들어 주 1회 공급하였다.

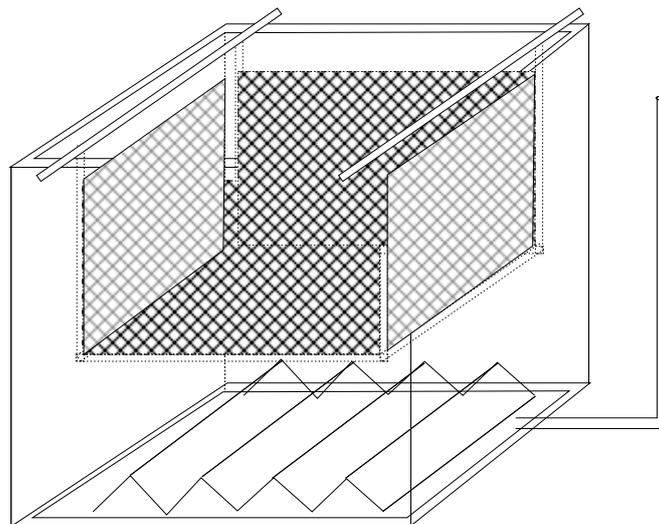


그림 4-60. 전복-해삼 복합양식 실험용 수조

수질은 호리바(U-51)를 이용하여 오전 10시에 측정하였다. 전복사료는 완도에 서 생산된 제품을 구입하여 사용하였고, 급이는 체중량의 5%를 공급하였다. 매일 잔존량을 관찰하며 먹이가 부족하지 않도록 유지시켰다. 수조청소는 2회/주 실시 하였고 청소 후 먹이를 공급해주었다.

생존율은 전복과 해삼이 받는 스트레스를 최소화하기 위해 2회에 걸쳐 측정하 였다. 전복의 경우 각장(mm)과 전중량(g)을 해삼의 경우 중량(g)을 버니어캘리퍼 스아 전자저울을 이용하여 측정한 후 평균값으로 나타내었다. 또한 식(4-1)으로 해삼의 specific growth rate(SGR, %/day)를 구하였다.

(나) 다시마 급이 전복-해삼 복합 양식 실험

육상수조에서의 해삼 양식의 가능성을 알아보기 위하여 전복과 해삼의 복합양 식을 추진하였다. 본 실험에서는 배합사료를 사용하지 않고 먹이로써 다시마만 급이하는 방법을 선택하였다. 실험에 사용한 전복은 17~18마리/kg를 사용하였으 며(그림 4-61), 길이 8.8m, 폭 2.2m, 수심 1.0m의 수조를 사용하였다(그림 4-62), 전복축양 가두리는 1.5m×2.2m×0.9m의 콘크리트 수조에 설치하여 사용하였다 (그림 4-63). 다시마 급이는 전복의 섭이에 따라 충분히 공급하였다(그림 4-64). 전복 복합 시험구에 사용된 해삼은 크기를 두 가지로 하여 실험구를 설정하였다.

실험구 1(Exp. 1)은 평균 9.2g의 중량을 가지는 해삼을 사육수조에 50마리 수용하였으며, 실험구 2(Exp. 2)는 평균 12.2g의 중량을 가지는 해삼을 100마리 수용하였다. 사육수는 1일 1회전하였으며 7주 동안 해삼의 성장도를 살펴보았다.



그림 4-61. 해삼 복합양식에 이용한 전복

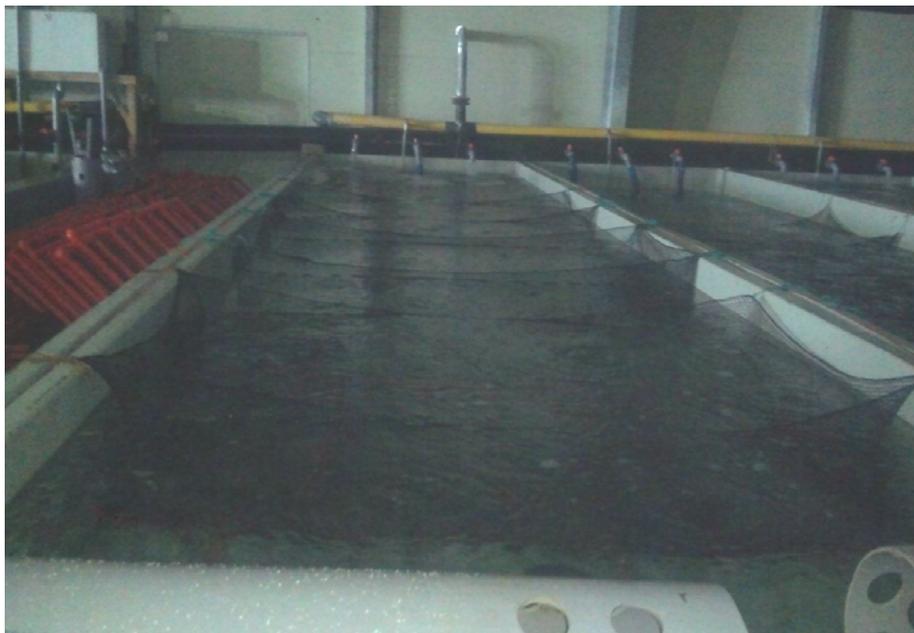


그림 4-62. 복합양식 사육수조



그림 4-63. 복합양식에 이용한 전복 축양 가두리



그림 4-64. 실험에 사용한 전복 급이 다시마

나. 연구결과

(1) SRS (Shallow Raceway System)

(가) 사육환경

실험기간 동안 수온은 16.7~23.6℃ 범위로 평균수온은 20.5℃로 나타났다(표 4-12). 실험시작 7일 후 16.7℃로 가장 낮은 값을 나타냈으며, 이후 꾸준히 증가하여 23.6℃까지 상승하였다. 그 결과 수온차이는 6.9℃까지 나타났다. 양성밀도를 달리한 각 시험구의 수온은 오차범위에서 차이가 없었다. 이것은 같은 원수를 시간당 1톤의 유수량에 의한 결과로 보여진다(그림 4-65).

염분은 31.8~32psu 범위를 나타내었고 평균 32.8psu이었다(표 4-12). 실험초기 염분은 32.1psu였으나 조금씩 증가하여 32.7psu까지 올라갔으며 약 52일 동안 0.9psu가 증가하였다(그림 4-65).

용존산소 농도는 4.4~9.6mg/L범위를 나타내었고 평균 6.8mg/L이었다(표 4-12). 실험초기 9.6mg/L의 농도를 나타내었으나 실험종료 시에는 5.9mg/L를 나타내어 3.7mg/L가 감소하였다. 가장 낮은 농도는 실험시작 38일경 4.4mg/L였다. 시험구별 양성밀도에 따른 용존산소 농도는 유의한 차이는 없었다. 이것은 같은 원수를 시간당 1톤의 유수량에 의한 결과로 생각되어지며, 실험초기와 종료 시 용존산소 변화는 수온증가(6.9℃)로 기체용해도 감소에 의한 영향이 큰 것으로 생각되었다(그림 4-65).

수소이온농도(pH)는 7.4~8.2의 범위로 비교적 안정된 값을 보였으며 평균 8.0이었다(표 4-12). 실험 기간 중 두 번의 변화가 눈에 띄었다. 실험시작 10일경과 38일경 각각 7.6과 7.4로 가장 낮은 수소이온농도를 나타내었다(그림 4-65).

표 4-12. SRS 양성밀도 실험기간동안 기초수질(수온, 염분, DO, pH) 결과

구분	수온(°C)	염분(psu)	DO(mg/L)	pH	비 고
SRS 1	16.7~23.6 (20.5)	32.0~33.7 (32.8)	4.5~9.2 (7.0)	7.4~8.2 (8.0)	
SRS 2	16.7~23.6 (20.5)	32.0~33.8 (32.9)	4.7~9.1 (6.9)	7.6~8.2 (8.0)	
SRS 3	16.7~23.6 (20.5)	32.0~33.7 (32.8)	4.6~9.4 (6.9)	7.6~8.2 (8.0)	
SRS 4	16.7~23.5 (20.4)	31.8~33.7 (32.9)	4.4~9.6 (6.8)	7.6~8.2 (8.0)	

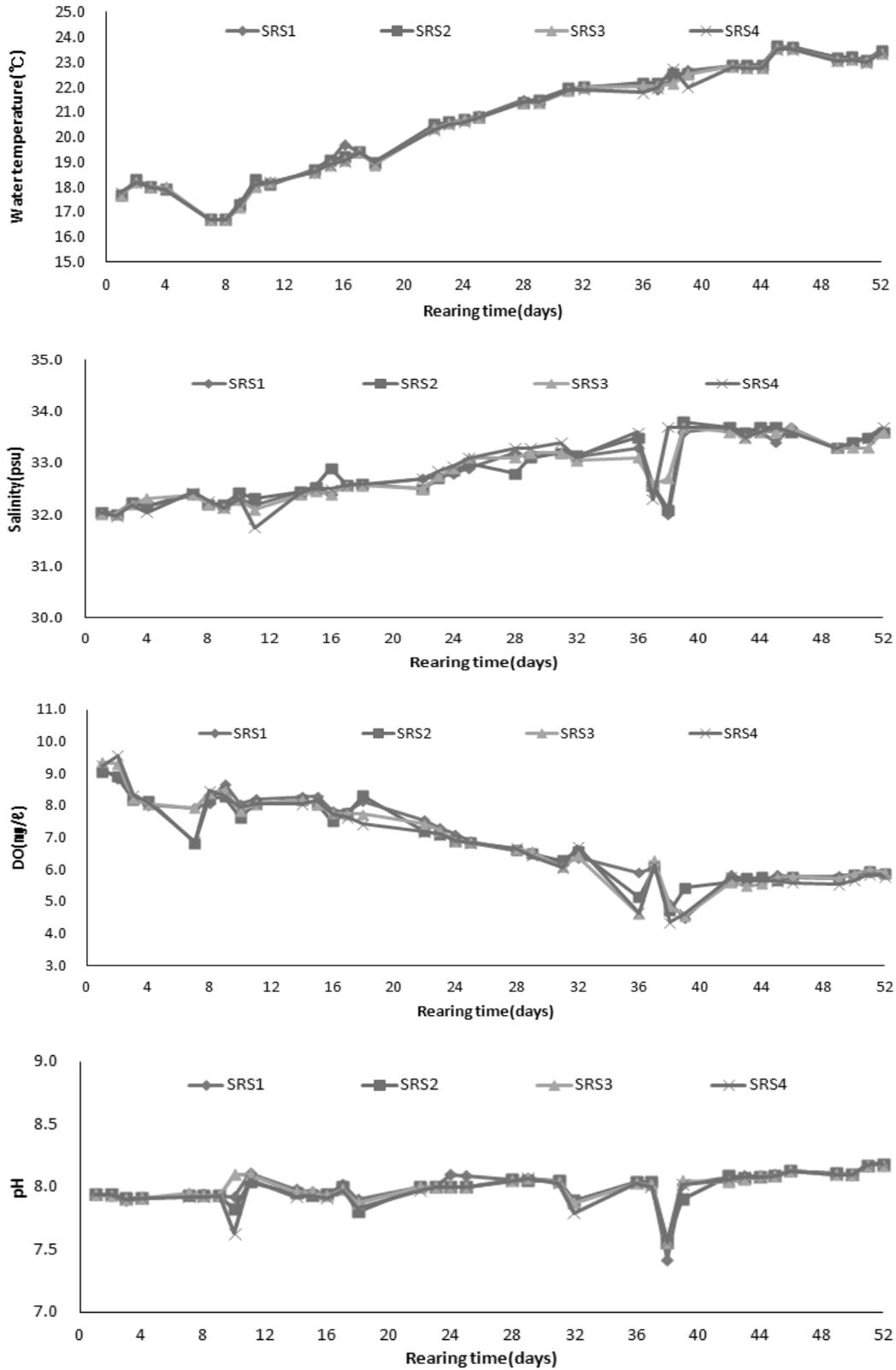


그림 4-65. SRS 양성밀도 실험기간동안 기초수질(수온, 염분, DO, pH) 시계열 변화

실험기간 동안 용존무기질소(DIN) 농도는 0.14~0.46mg/L범위를 보였으며, SRS 3에서 가장 낮은 농도를 SRS 4에서 가장 높은 농도를 나타내었다(표 4-13). 실험초기 0.2mg/L내외의 농도는 실험종료 시 0.45mg/L내외로 2배 상승하는 현상을 보였다(그림 4-66).

실험기간 동안 용존무기인(DIP) 농도는 0.01~0.26mg/L범위를 보였으며, SRS 3에서 가장 높은 농도를 나타내었다(표 4-13). 실험초기 0.07mg/L내외의 농도는 실험종료 시 각각 0.01~0.06mg/L내외로 나타났으나 실험시작 38일경에 최고 4배(0.26mg/L) 이상까지 증가하는 현상을 나타내었다(그림 4-66).

화학적산소요구량(COD)은 실험기간 동안 1.7~7.0mg/L의 범위를 나타내었고 평균 4.0mg/L로 나타났다(그림 4-66).

표 4-13. SRS 양성밀도 실험기간동안 DIN, DIP 및 COD결과

구 분	DIN(mg/L)	DIP(mg/L)	COD(mg/L)	비 고
SRS 1	0.17~0.41 (0.27)	0.01~0.14 (0.08)	3.0~10.6 (5.0)	
SRS 2	0.16~0.45 (0.28)	0.06~0.14 (0.08)	1.7~6.1 (3.8)	
SRS 3	0.14~0.44 (0.27)	0.02~0.26 (0.13)	2.2~5.8 (4.0)	
SRS 4	0.15~0.46 (0.28)	0.01~0.20 (0.09)	1.7~7.0 (4.3)	

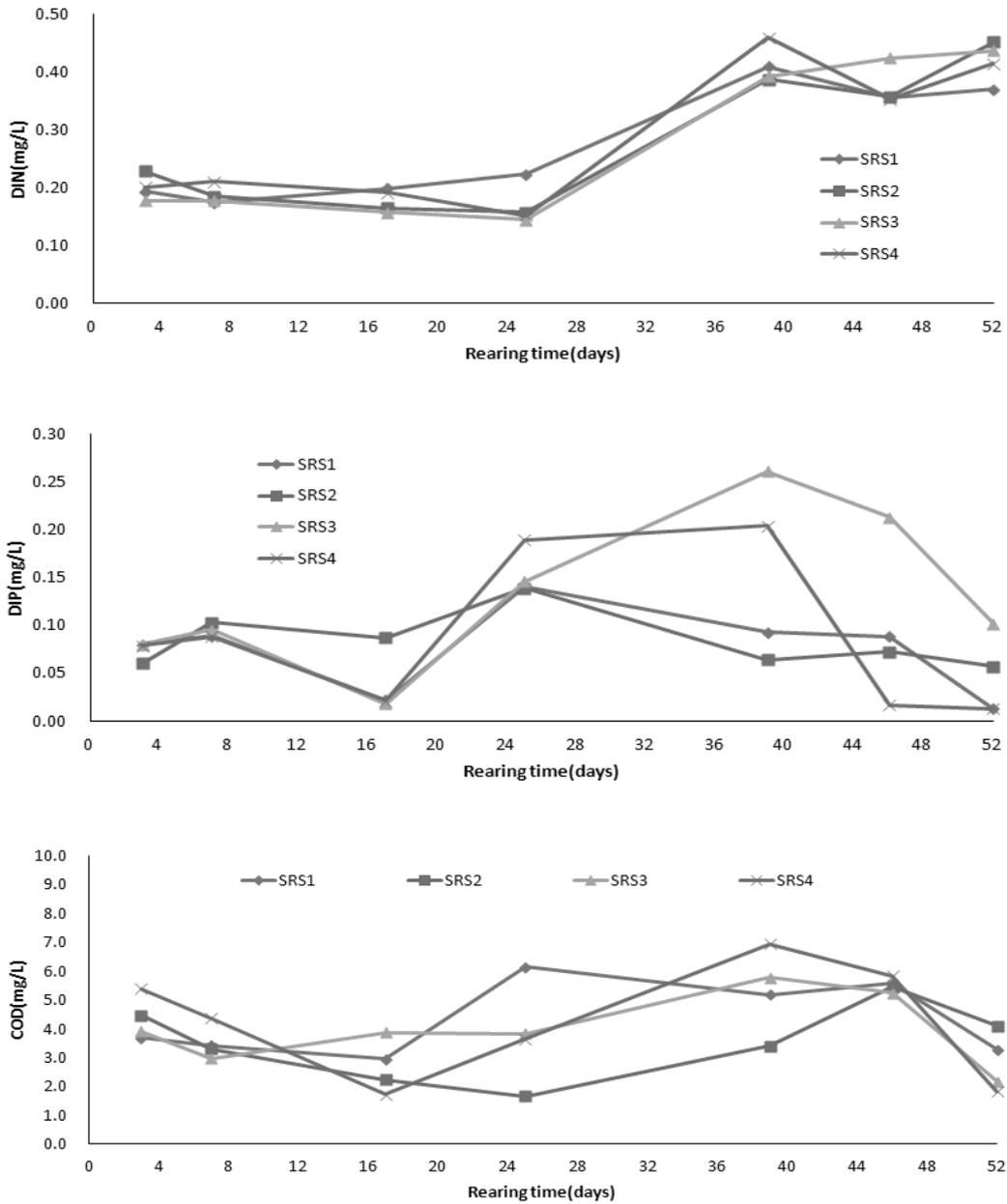


그림 4-66. SRS 양성밀도 실험기간동안 DIN, DIP 및 COD시계열 변화

(나) 생존율

표 4-14는 실험기간 동안 전시험구에서 해삼의 생존율은 78%이상 높은 생존율을 나타내었으며, SRS 1를 제외하고 양성밀도가 높은 실험구는 시간이 지날수록 생존율이 감소하는 결과를 보였다(그림 4-67). 이는 높은 밀도에 따른 스트레스로 먹이 섭취량이 감소하면서 잉여의 먹이가 수조에 잔류되어 분해되면서 수질악화를 초래하고 수질악화는 또 다른 스트레스로 작용하는 악순환이 계속되기 때문인 결과로 생각된다.

표 4-14. SRS 수조를 이용한 양성밀도별 해삼 생존률(%)

구 분	SRS 1 (30g/m ²)	SRS 2 (60g/m ²)	SRS 3 (120g/m ²)	SRS 4 (240g/m ²)	비 고
초기	48	96	192	384	
6/08	48 (100%)	96 (100%)	174 (90.6%)	330 (85.9%)	
6/28	48 (100%)	92 (95.8%)	160 (83.3%)	300 (78.1%)	

2006년도 농림수산식품부 연구보고서에 따르면 1cm 내외의 어린해삼을 L당 2마리, 3마리, 5마리, 10마리의 밀도로 6개월간 실험한 결과 생존율에 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 실제 생존율을 살펴보면 2마리/L, 3마리/L 실험구에서 98.5%, 98.3%, 5마리/L, 10마리/L 실험구에서 97.4%, 95.4%로 나타났다.

또한 2010년도 연구보고서에는 평균 1.5g(4.1cm)을 L당 6마리 수용했을 때 생존율이 47%, 평균 24.1g(20.2±5.1cm)을 L당 14마리 수용했을 때 생존율이 71.0%, 평균 24.6g(22.1±5.7cm)을 L당 3마리 수용했을 때 생존율이 90.1%였다고 하였다. 한편 순환여과식 SRS에서는 생존율이 70% 이상으로 나타난 것으로 보고하였는데, 이는 순환여과식 SRS의 여과 효율능력이 고밀도 상태에서도 상실되지 않고, 발효사료를 사용함에 따라 수질관리가 용이 하였기 때문인 것으로 사료된다. 본 실험에서는 순환여과식 방법은 아니었지만 78% 이상의 높은 생존율을 보여 육상수조식 양식의 가능성을 확인하였다.

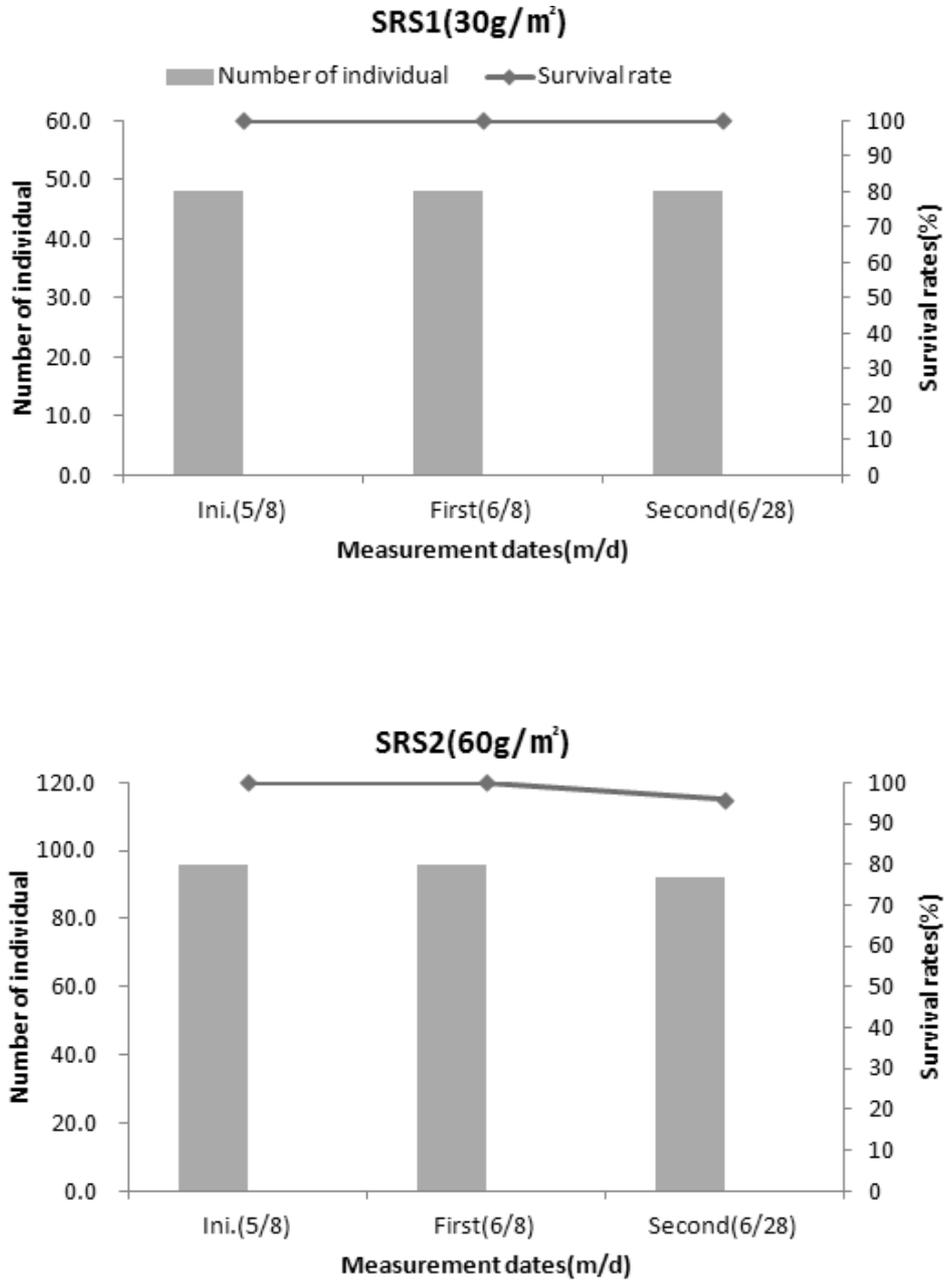


그림 4-67. SRS양성 실험기간 동안 해삼 생존율(%)

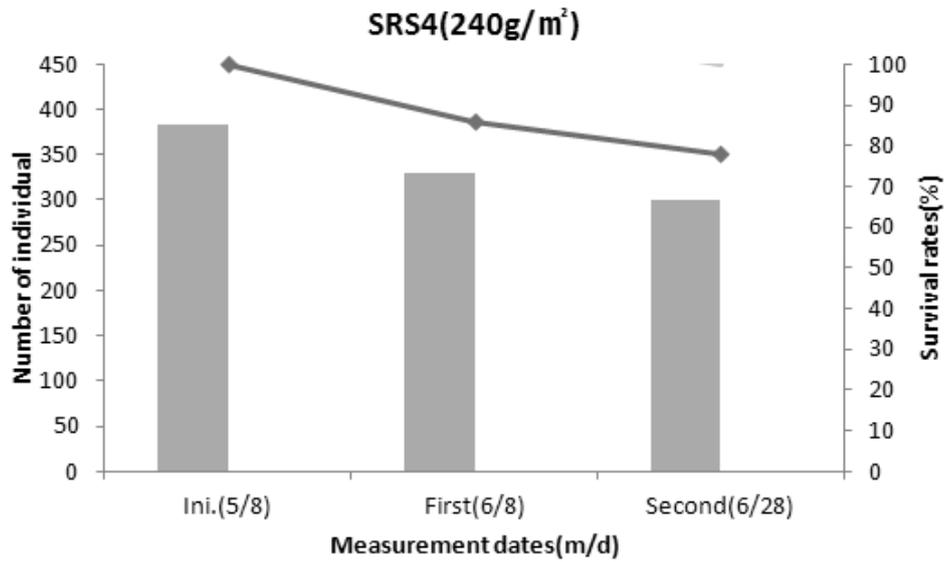
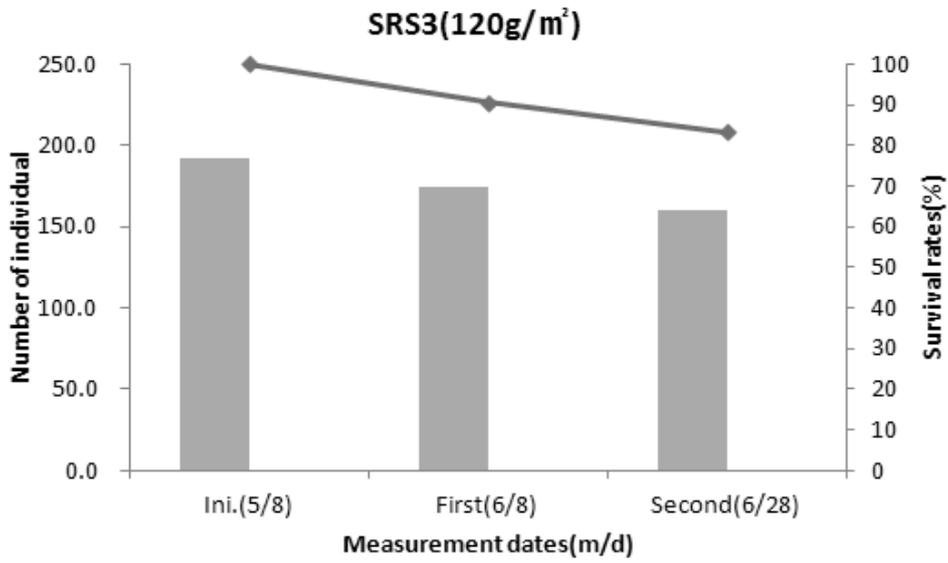


그림 4-67. 계속

(다) 성장률

SRS 수조에서 사육 밀도별 양성실험 결과 100~200%의 성장률을 보였다(그림 4-68). 가장 높은 성장률을 보인 실험구 SRS 1에서 밀도는 $30\text{g}/\text{m}^2$ 이었고, SRS 2, SRS 3 그리고 SRS 4 순으로 나타나 사육밀도가 높을수록 성장률이 낮은 것을 알 수 있었다. 고밀도 상태에서는 밀도, 수질, 암모니아에 의한 스트레스가 상대적으로 크다. 어류에 있어서도 사육밀도가 낮을수록 생존율과 성장률이 우수하다는 것이 일반적인 사실이다(Myong et al, 1998).

그림 4-68을 살펴보면 수온 20°C 이전의 31일 동안의 성장률은 50% 내외였으나 22°C 이상의 기간 동안에 높은 성장률을 보이는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 25°C 에서 하면하는 것으로 알려져 있으나 어린해삼의 경우 22°C 내외의 수온에서 성장이 높을 것을 알 수 있었다.

2006년도 농림수산식품부 연구보고서에 따르면 $0.02\text{g}(1\text{cm})$ 내외의 어린해삼을 L당 2마리, 3마리, 5마리, 10마리의 밀도로 6개월간 실험한 결과 2.45g, 2.77g, 2.84g, 2.34g으로 성장하여 모든 실험구에서 성장차이가 나타나지 않았다.

또한 2010년도 연구보고서에는 평균 $1.5\text{g}(4.1\text{cm})$ 을 L당 6마리 수용한 실험구에서 17.6g 성장하였으며, 평균 $24.1\text{g}(20.2\pm 5.1\text{cm})$ 을 L당 14마리 수용한 실험구는 24.6g 성장하였고 평균 $24.6\text{g}(22.1\pm 5.7\text{cm})$ 을 L당 3마리 수용한 실험구의 해삼은 27.6g으로 성장하였다. 이는 고밀도 환경에서 20g 이상의 해삼이 1g 내외의 해삼보다 성장저해를 크게 받는다는 것을 알 수 있다.

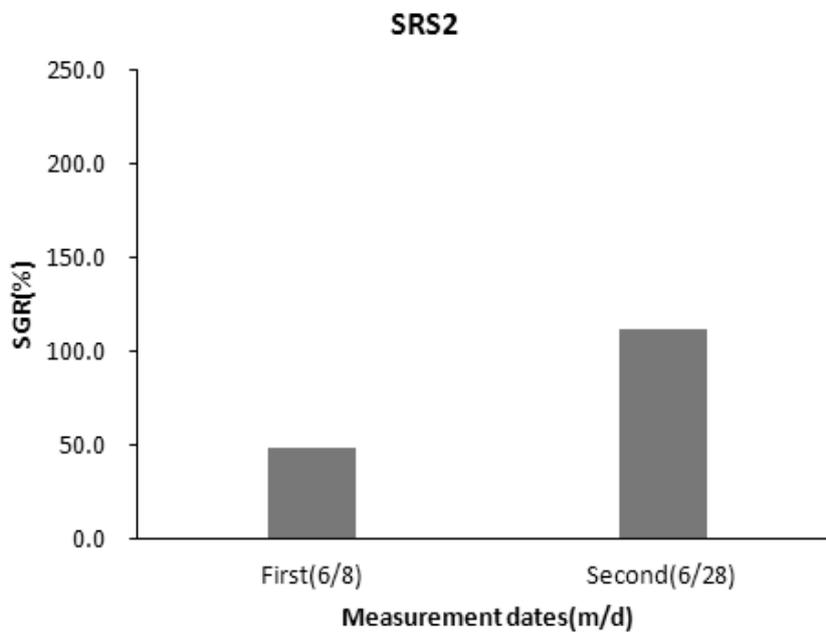
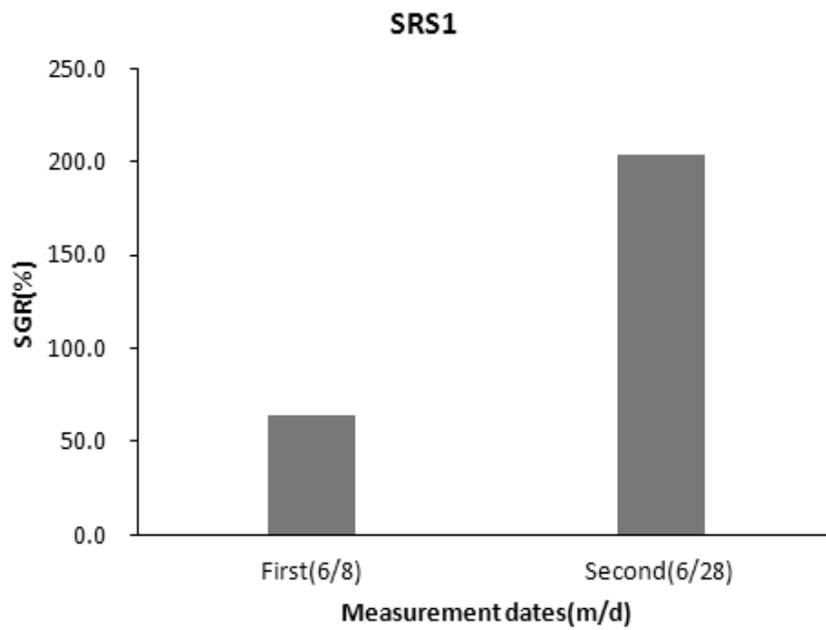


그림 4-68. SRS 양성 실험기간 동안 따른 해삼 성장률(%)

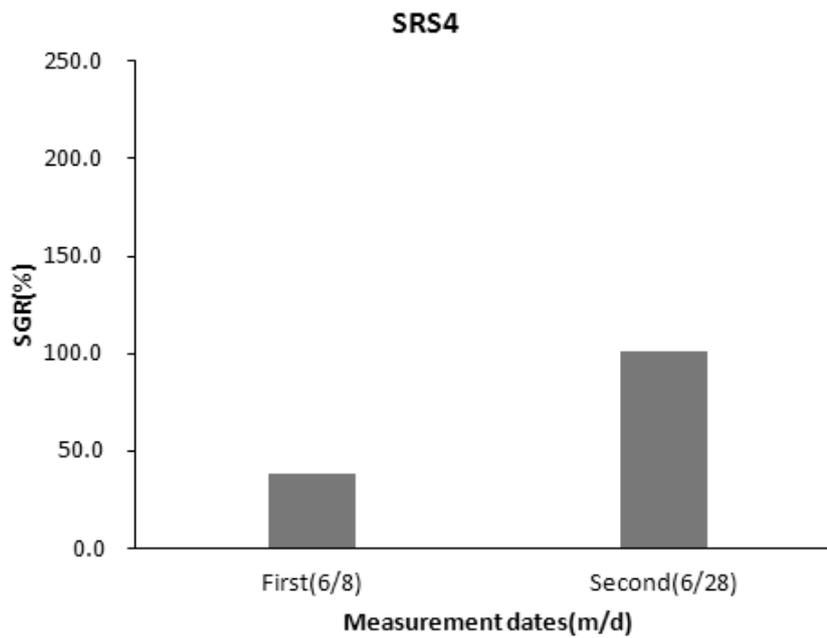
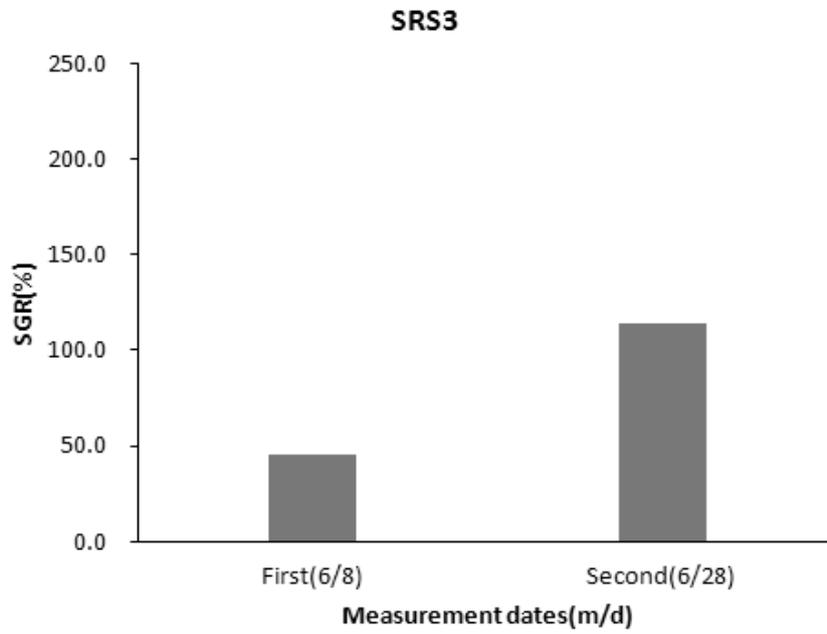


그림 4-68. 계속

(2) RAS (Recirculation Aquaculture System)

(가) 사육환경

실험기간 동안 수온은 16.9~20.5℃ 범위로 평균 18.9℃로 나타났다. RAS의 장점인 인위적 환경제어를 통해 실험시작 20일까지 18℃을 유지시켰으며, 그 이후에는 20℃ 이상으로 유지시켰다. 그 결과 실험기간 동안 3.6℃ 차이로 SRS의 6.9℃보다 절반수준의 변화를 보였다(그림 4-69).

염분은 30.7~34.4psu 범위를 나타내었고 평균 33.0psu이었다. 실험초기 염분은 30.7psu였으나 조금씩 증가하여 34.4psu까지 올라갔으며 약 50일 동안 3.7psu가 증가하였다. 실험시작 후 28~29일 사이 1.2psu의 염분 감소가 있었다. 이것은 수분증발에 의해 염분이 증가하는 상황에서 수조 청소에 따른 사육수 교환이 있었기 때문이다(그림 4-69).

용존산소 농도는 5.3~9.1mg/L범위로 평균 7.4mg/L이었다. 실험초기에는 9.1mg/L로 높게 나타났으나 실험종료 시에는 6.0mg/L를 나타내었다. 용존산소가 가장 낮은 시기는 실험시작 38일 째로 5.3mg/L였다. 실험초기와 종료 시 용존산소의 변화는 수온 상승 및 실험생물의 소비량 증가 등에 원인이 있는 것으로 생각된다(그림 4-69).

수소이온농도(pH)는 7.6~8.1의 범위로 비교적 안정된 값을 보였으며 평균 7.9이었다(그림 4-69).

실험기간 동안 용존무기질소(DIN) 농도는 0.11~52.74mg/L의 범위를 보였다. 실험초기의 DIN은 0.11mg/L 내외였으나 실험종료 시에는 10.0mg/L 내외였다. 또한 실험기간 중 최대 52.74mg/L의 값이 나타났는데, 이는 각종 3단계 여과장치에 걸러진 부산물과 잉여사료가 분해되면서 생성된 무기질소 농도가 누적된 결과로 보여지며 그 이후 수조청소로 사육수 교환이 되면서 다시 낮아진 것으로 생각된다(그림 4-70).

용존무기인(DIP)의 농도는 0.10~3.56mg/L(평균 1.03)범위로 실험일이 누적될수록 DIN과 같은 현상으로 점점 증가하였다(그림 4-70). 이와 같은 현상은 DIN 농도변화에 대한 설명을 뒷받침해준다. 따라서 RAS로 해삼을 양성 할 경우에는 정교한 운영기술과 환경관리가 필요할 것으로 생각된다.

화학적산소요구량(COD)은 실험기간 동안 1.0~7.6mg/L의 범위를 나타내었고 평균 3.5mg/L로 나타났다(그림 4-70). 여타 환경요인과 달리 실험일이 증가할수록 COD농도는 감소한 것을 볼 수 있었다. 이는 초기 사육수에 포함되어 있던 유기물이 3단계 여과시스템으로 제거되어 무기화되었기 때문일 것이다.

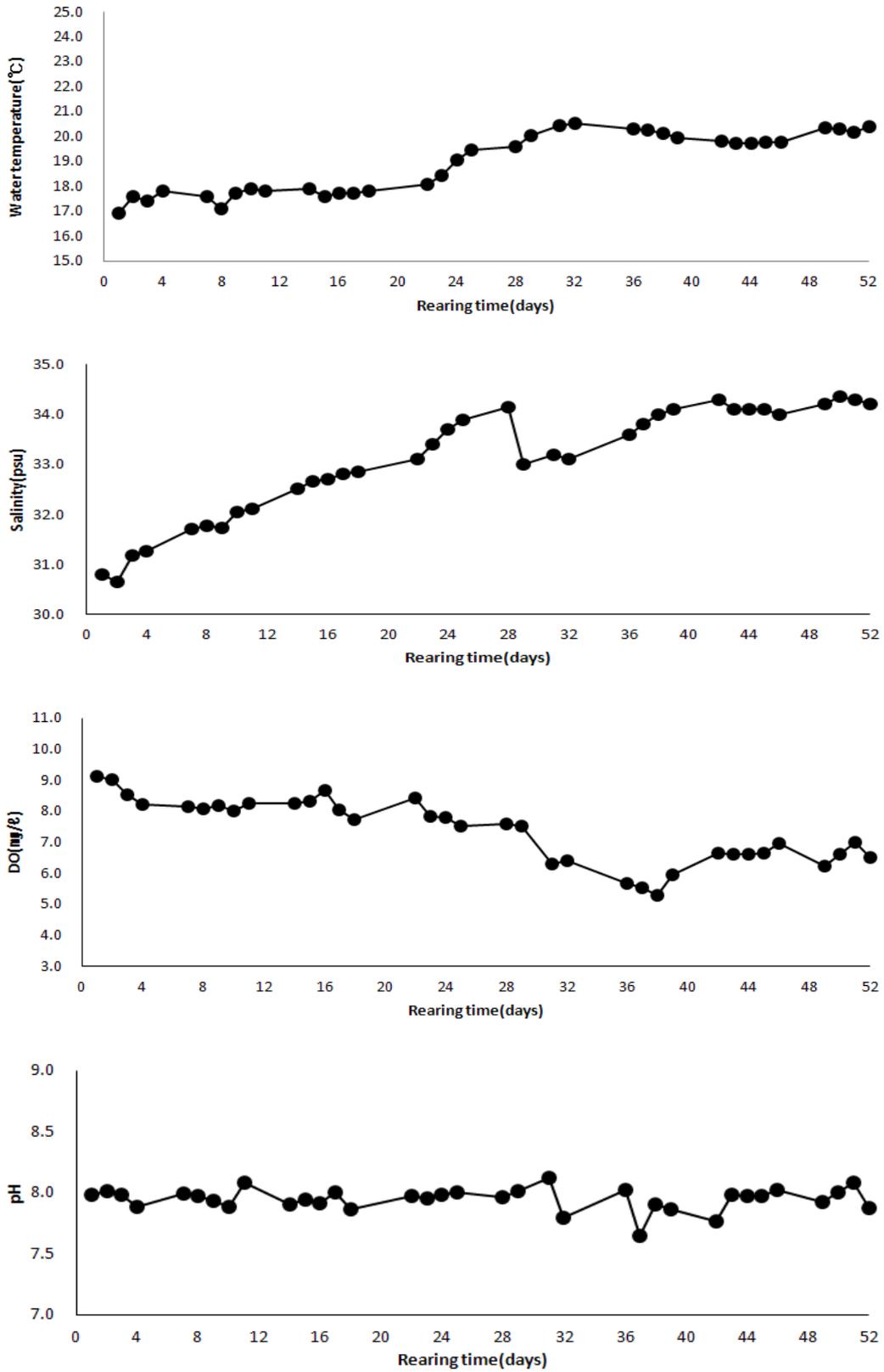


그림 4-69. 순환여과시스템(RAS) 양성실험기간 동안 수온, 염분, DO 및 pH 변화

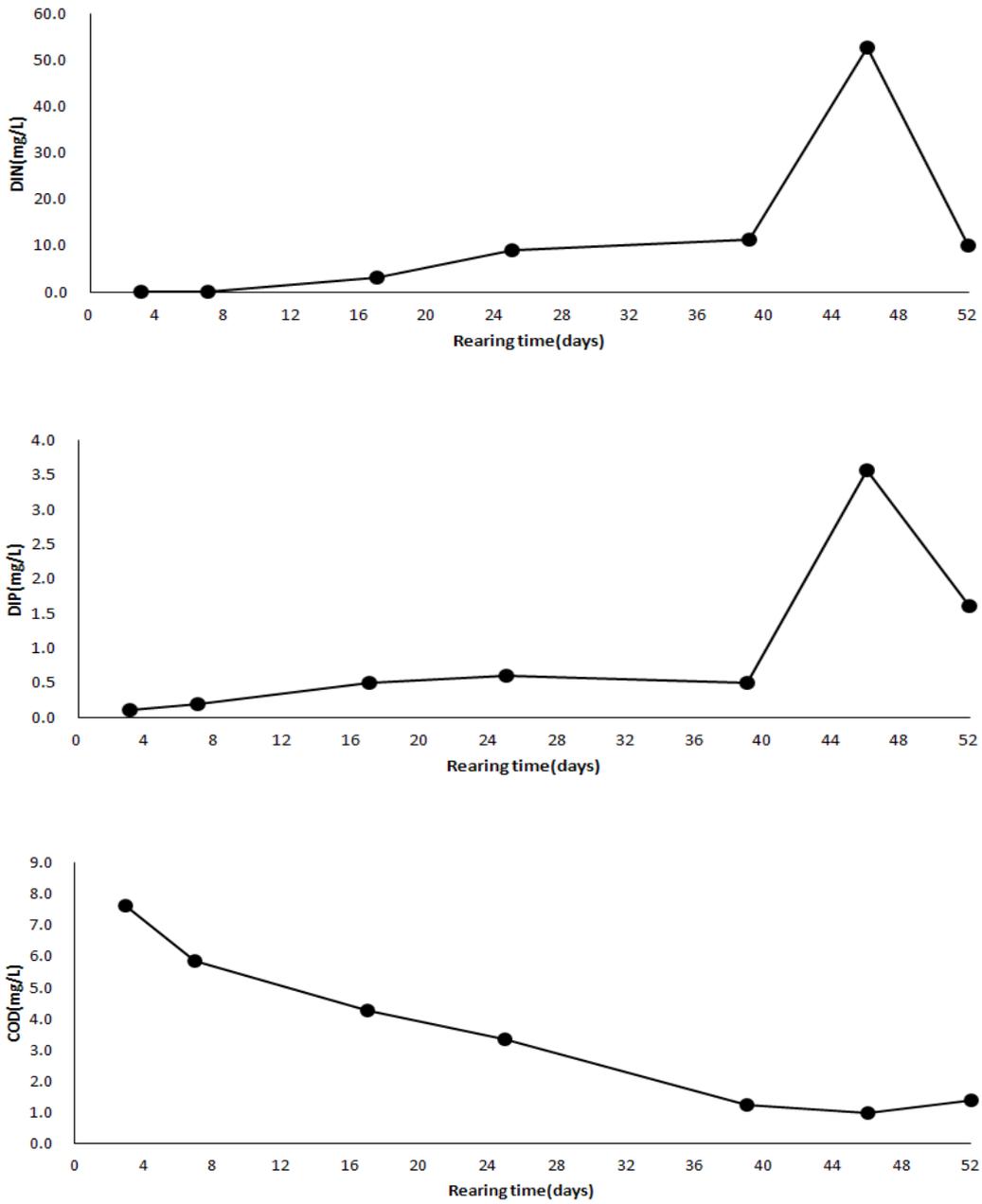


그림 4-70. 순환여과시스템(RAS) 양성실험기간 동안 DIN, DIP 및 COD 변화

(나) 생존율

실험기간 동안 해삼의 생존율은 100%로 높은 생존율을 나타내었다(그림 4-71). 그러나 크기가 작은 개체들이 수표면에 위치하거나, 점액질을 분비하면서 표피가 벗겨지는 등 스트레스에 의한 영향을 관찰할 수 있었다. 즉 실험기간 동안 생존율에는 변화가 없었으나 생물학적으로 심한 스트레스를 받는 환경이었다.

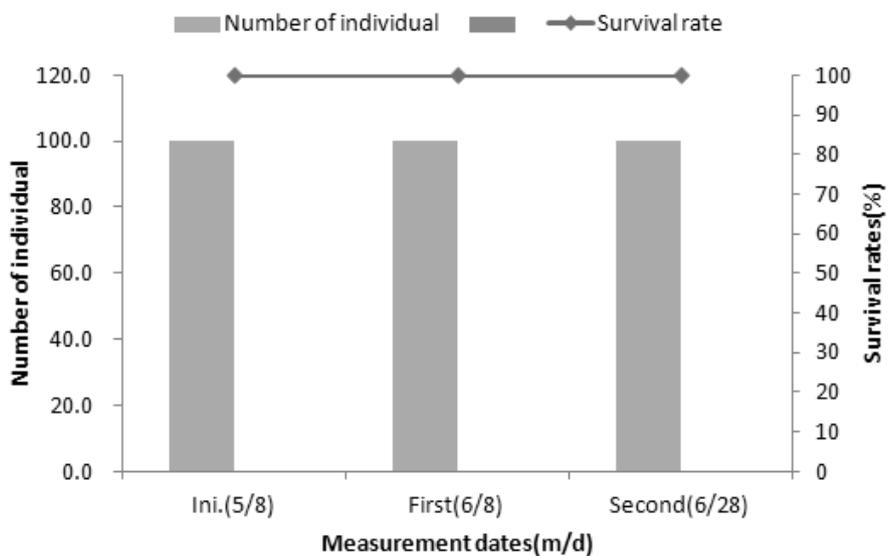


그림 4-71. RAS 양성 실험기간 동안 해삼 생존율(%)

(다) 성장률

일반적으로 해삼은 퇴적물 섭식자(Sediment feeder)와 현탁물 섭식자(Suspension feeder)로 잘 알려져 있다(Buchsbaum et al., 1987). 해삼의 먹이생태에서는 부족한 먹이를 부유된 먹이로 여과섭식(Filter feeding)을 하는 것으로 알려져 있다. 열대해삼의 경우 연간 1,000m²의 표층퇴적물을 5mm까지 먹이로 이용하는 것으로 알려져 있다(Uthicke, 1999). 즉 해삼은 노지환경(자연상태)에서는 패류와 같이 부유된 먹이를 여과섭식 하는 것으로는 거의 성장할 수 없다는 것을 의미한다.

순환여과시스템으로 해삼을 양성한 결과 성장률은 기대 이하였다. 실험시작 30일 동안 오히려 마이너스 성장을 보였다(그림 4-72). 사료공급 후 3~4시간 동안 유수 없이 정치시켜 섭식율을 높이고자 하였음에도 3단계의 여과시스템에 의해 공급한 먹이가 걸러졌기 때문에 섭식량이 부족했을 것으로 생각되었다. 또한 실험초기에는 그물로 가두리를 만들어 해삼을 수용하여 양성하였으므로 저층에 침전된 사료를 섭이하지 못한 원인도 있었을 것으로 생각된다.

30일 이후 가두리를 제거하고 20일간 양성한 결과 35.4%의 성장률을 보였다. 하지만 초기 중량에는 도달하지 못하였다(그림 4-72).

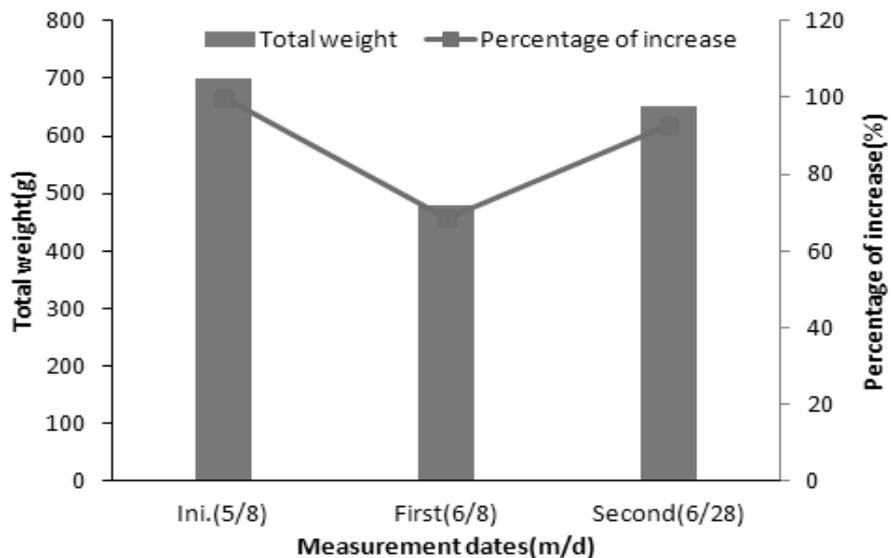


그림 4-72. 순환여과시스템으로 양성한 해삼의 성장률

(3) 복합양식(전복-해삼)

(가) 배합사료 급이 전복-해삼 복합 양식 실험

1) 사육환경

실험기간동안 수온은 16.7~23.4℃ 범위로 평균 20.5℃를 나타냈다. 실험시작 7일 후 가장 낮은 16.7℃이었으며, 그 이후 꾸준히 증가하여 23.4℃까지 상승하였다(그림 4-73). 그 결과 수온차이는 6.7℃까지 나타났다. 조 등(2009)은 23℃에서 전복치패의 성장이 26℃에서 보다 성장이 우수하다고 보고하였다. 따라서 본 실험기간 동안 수온변화는 전복의 성장에 제한요인으로 작용하지 않았다.

염분은 31.8~33.8psu 범위를 나타내었고 평균 32.9psu이었다. 실험초기 염분은 31.8psu였으나 조금씩 증가하여 33.8psu에 이르렀으며 약 2.0psu의 변화가 있었다(그림 4-73). 신 등(2011)은 염분변화에 따른 전복의 생리적 반응을 조사한 결과 37psu에서는 100%인 반면 19.8psu에서는 6일째 모두 사망했다고 보고하였다. 본 실험에서 염분 또한 31.8~33.8psu로 제한요인으로 작용하지 않았다.

용존산소 농도는 4.0~9.9mg/L범위를 나타내어 평균 7.0mg/L이었다. 실험초기 9.9mg/L의 높은 농도는 실험종료 시에는 6.0mg/L를 나타내어 3.9mg/L가 감소하였다(그림 4-73). 가장 낮은 농도는 실험시작 42일경 4.0mg/L로 수조청소 이후 6.6mg/L으로 회복된 것으로 보아 부산물과 잔존사료의 분해에 의해 용존산소가 감소한 것으로 판단되었다.

수소이온농도(pH)는 7.9~8.2의 범위로 비교적 안정된 값을 보였으며 평균 8.0이었다(그림 4-73).

실험기간 동안 용존무기질소(DIN) 농도는 0.15~0.67mg/L의 범위를 보였다. 실험초기 0.15mg/L 내외의 농도는 실험종료 시 0.67mg/L로 높아졌다. 실험시작 3주후까지 0.15mg/L 이하의 낮은 농도를 나타내다가 이후에 급격히 높은 농도를 나타내었다. 이는 수조바닥에 부산물 등 잔존하는 사료 등이 분해되면서 그 농도가 누적되어 점점 증가하는 현상으로 이해하였다(그림 4-74).

용존무기인(DIP)의 농도는 0.04~0.14mg/L(평균 0.08) 범위로 실험초기 0.1mg/L 이하의 농도가 실험일이 누적될수록 DIN과 같은 현상으로 점점 증가하였다(그림 4-74).

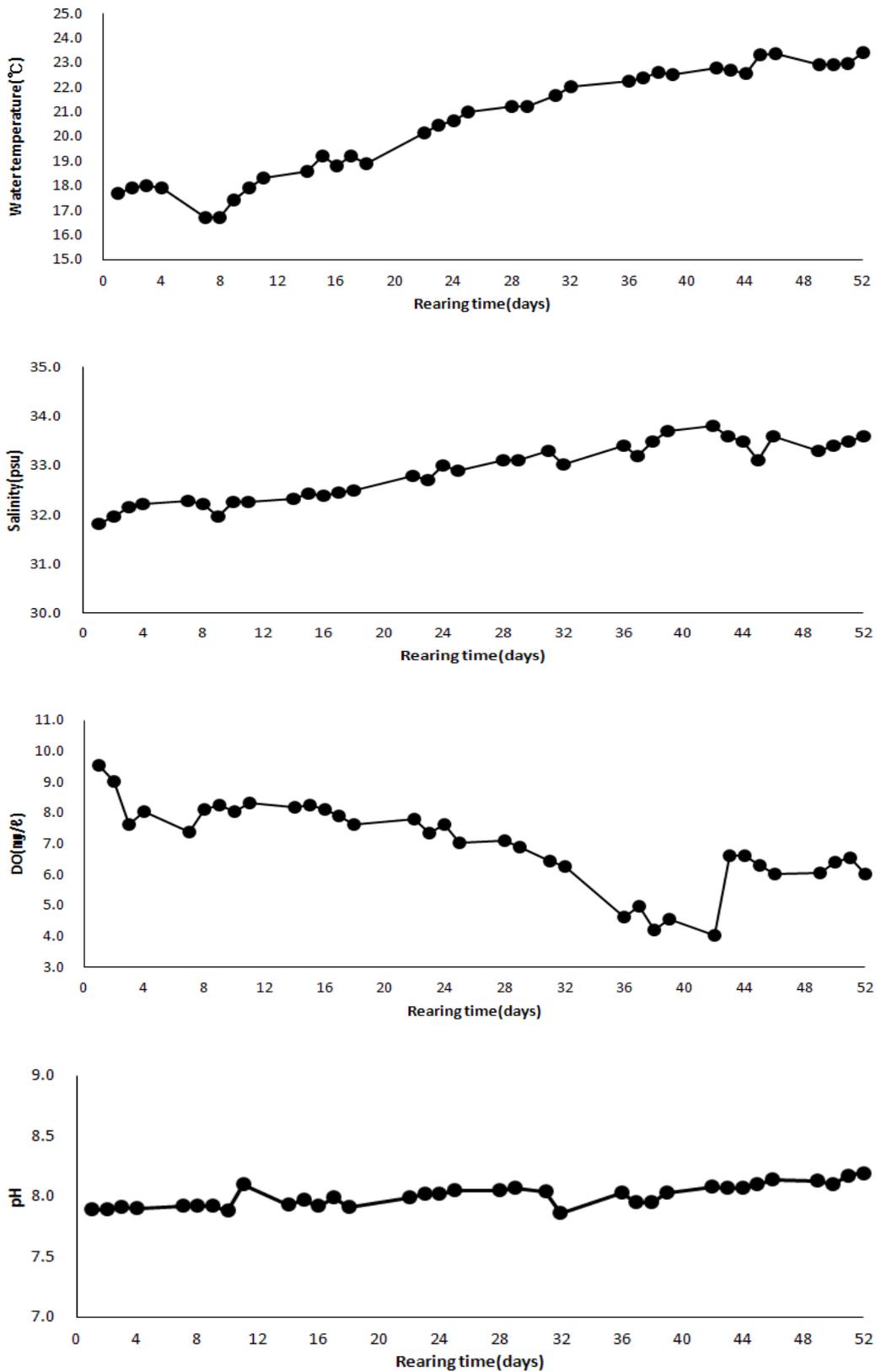


그림 4-73. 복합양식(전복-해삼) 실험기간 동안 수온, 염분, DO 및 pH 변화

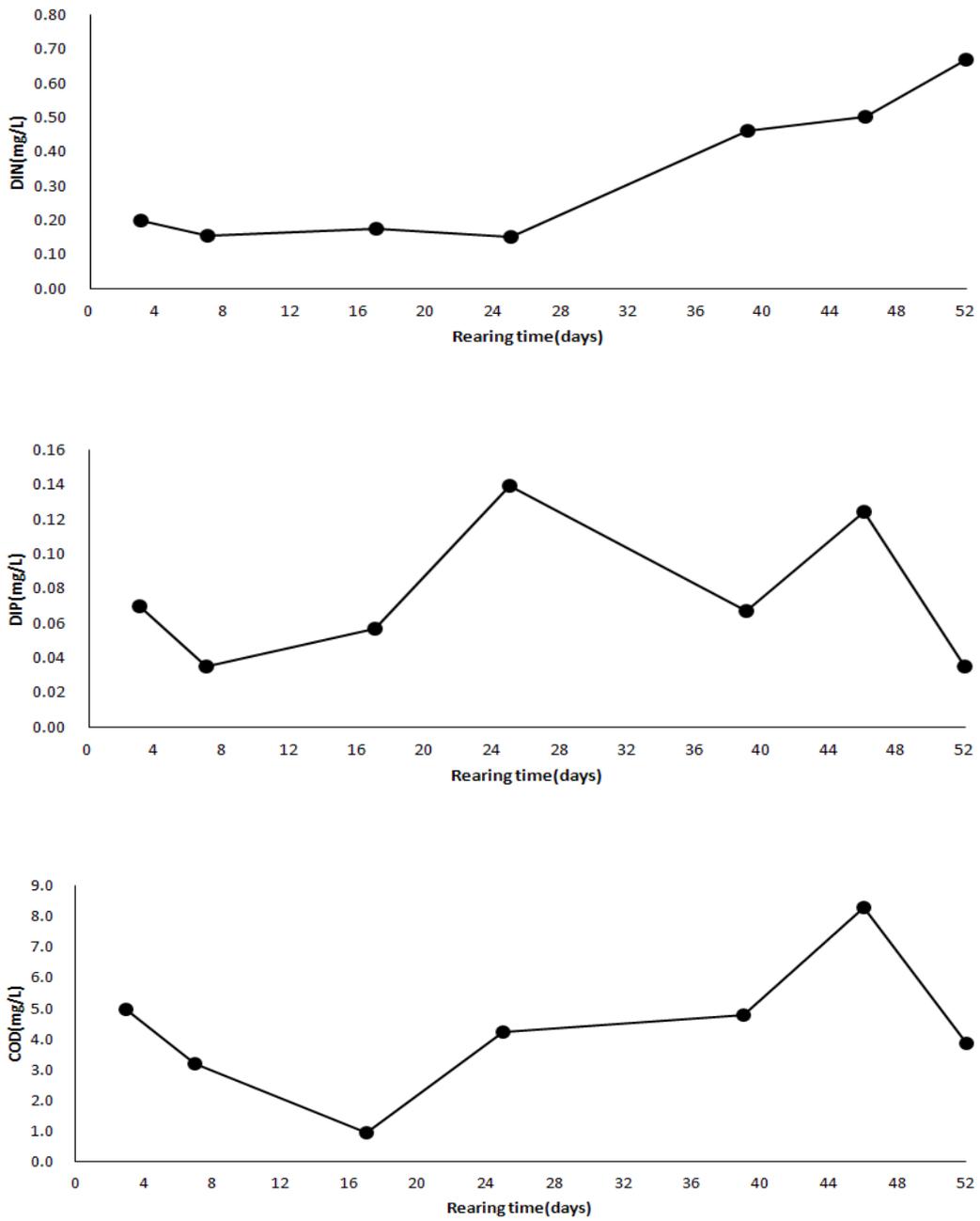


그림 4-74. 복합양식(전복-해삼) 실험기간 동안 DIN, DIP 및 COD 변화

화학적산소요구량(COD)는 실험기간 동안 1.0~8.3mg/L의 범위를 나타내었고 평균 4.3mg/L로 나타났다. 실험초기 5.0mg/L 농도는 17일 경과 후 1.0mg/L까지 감소하고 다시 증가하여 46일경에는 8.3mg/L까지 증가하는 현상을 나타내었다(그림 4-74).

2) 생존율

전복의 생존율은 개체크기, 질병, 사육환경 등 여러 가지 여건에 따라 매우 다양하게 나타나며, 본 실험과 비슷한 크기를 가진 개체의 경우 적절한 사육환경을 제공한다면 80~90%의 높은 생존율을 보인다고 하였다(Jeong et al., 1994). 또한 남 등(2011)은 전복과 해삼을 함께 양성하더라도 해삼이 내는 물질이 전복의 폐사에 미치는 영향은 없다고 하였다.

본 실험에서 전복의 생존율은 최종적으로 91%이상의 높은 생존율을 보여 적절한 환경이 제공된 것을 알 수 있었다(그림 4-75).

해삼의 생존율은 그림 4-75와 같이 실험종료 시점에서 91.7%로 높은 생존율을 나타냈다. 본 실험에서 전복배합사료를 해삼이 직접 섭취하는 것인지 수중에서 배합사료 표면이 붕괴되어 나오는 유기물을 섭취하는지 아니면 전복의 배설물을 일정시간 지난 후 유기물로서 섭취하는지는 결론을 내리기 어렵지만 본 연구결과로 볼 때 전복과 해삼의 복합양식이 가능하다는 결론을 이끌어낼 수 있었다.

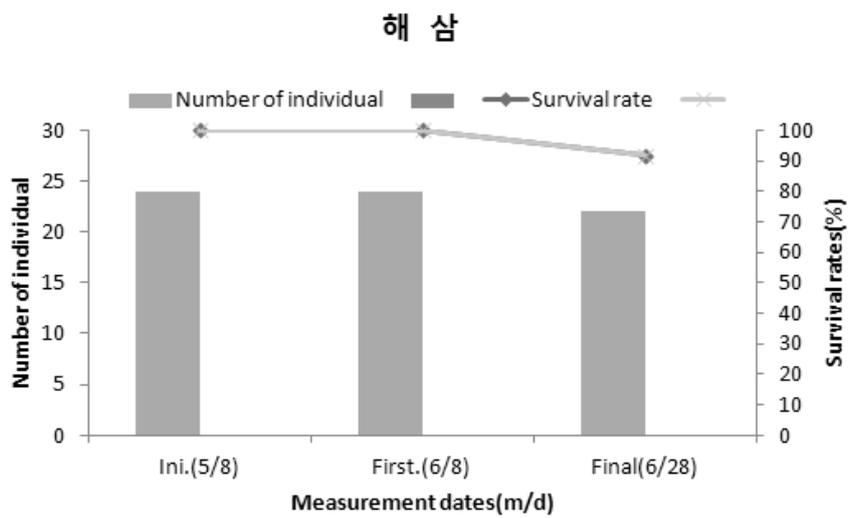
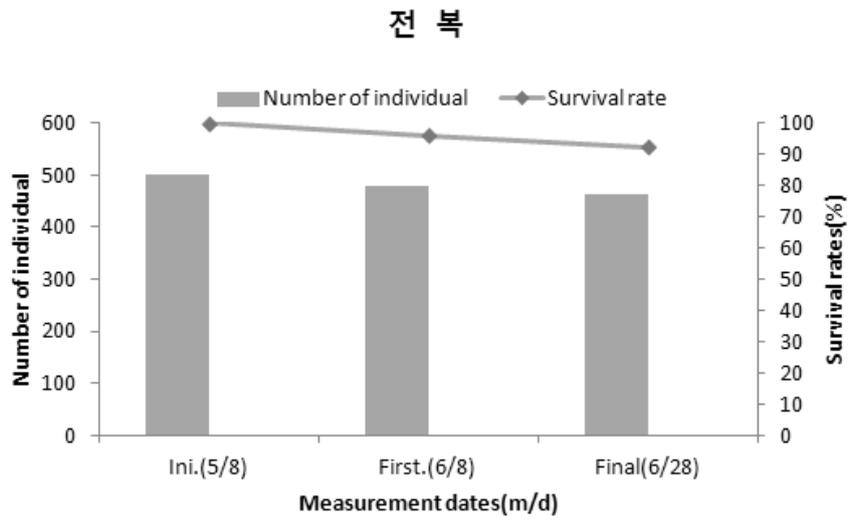


그림 4-75. 복합양식(전복-해삼) 실험기간 동안 생존율

3) 성장률

전복의 각장 성장은 그림 4-76과 같이 실험기간 동안 평균 각장 22.5mm에서 30.2mm로 빠른 성장을 보였다. 진 등(1994)의 연구결과에서도 전복 배합사료로 3개월간 실험한 결과 $28.51 \pm 0.79\text{mm}$ 에서 $37.25 \pm 0.94\text{mm}$ 로 빠른 성장을 보여 전복의 성장속도는 본 연구결과와 비슷하게 나타났다.

해삼의 증량은 처음 7g에서 최종 17.2g으로 성장하여 증중량(SRG)은 147%를 나타냈다(그림 4-76). 진 등(1994)의 연구결과에서도 전복 배합사료만을 3개월간 공급한 실험구의 해삼 증량은 $3.00 \pm 0.2\text{g}$ 에서 $8.16 \pm 0.85\text{g}$ 으로 172% 증가하였다.

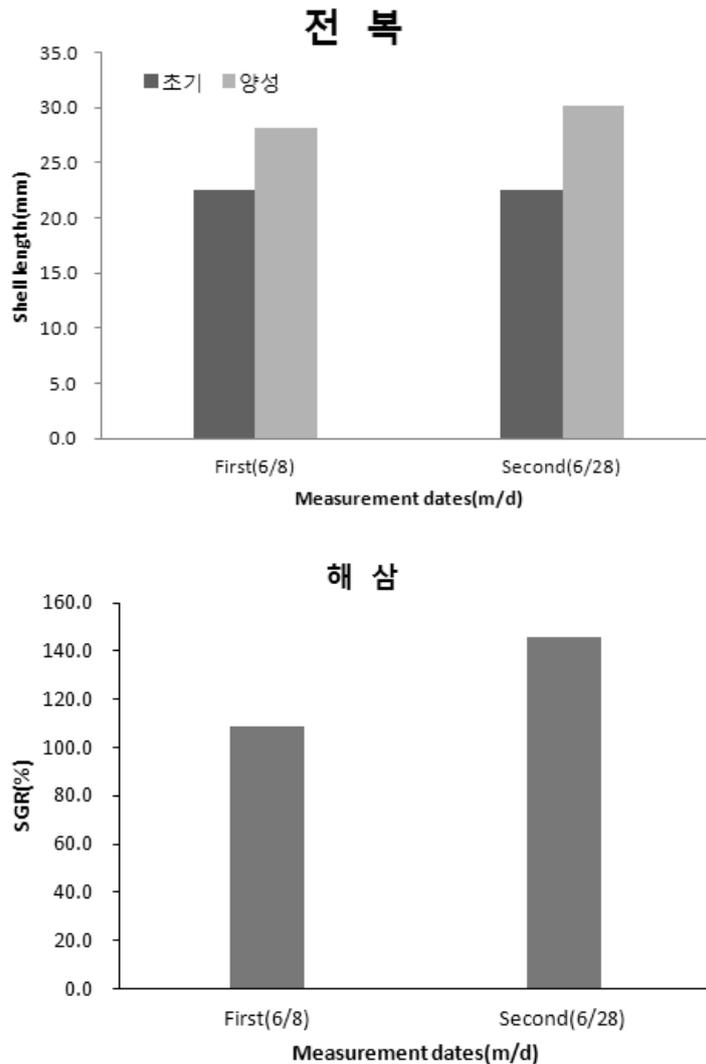


그림 4-76. 복합양식(전복-해삼) 실험기간동안 성장률

(나) 다시마 급이 전복-해삼 복합 양식 실험

다시마 급이를 하는 전복 해삼 복합 시험구에서 시험기간 동안 수온 범위는 15.1~20.0℃이었다. 6월에 접어들면서 수온은 20℃ 가까이 도달하였다(그림 4-77).

7주 시험기간 후 각 실험구별 해삼 성장 시험결과를 살펴보면 생존률은 사육 수조에 비해 수용밀도가 낮아 거의 폐사가 없었다. 성장도는 실험구 1의 경우 초기 9.2g에서 19.8g까지 성장하여 2배 이상 성장을 보였다. 실험구 2에서는 초기 12.2g에서 33.0g으로 3배 가까이 성장하였다(그림 4-78).

위의 실험결과에서와 같이 전복 해삼 복합 육상수조양식은 수조 내 수용능력 밀도내에서는 해삼이 충분히 성장할 수 있는 가능성을 보여 주었으며 향후 밀도에 대한 평가 시험이 추가적으로 요구된다.

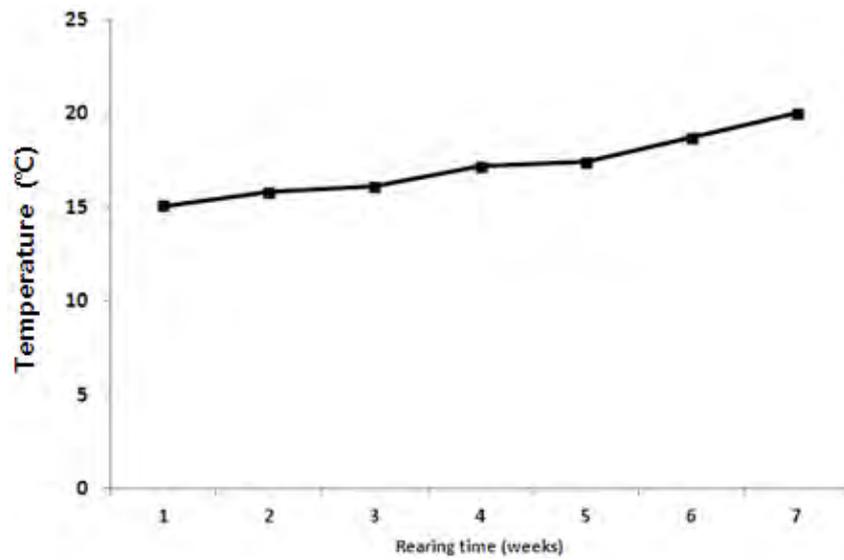


그림 4-77. 복합양식(전복-해삼) 시험기간 동안 수온 변화

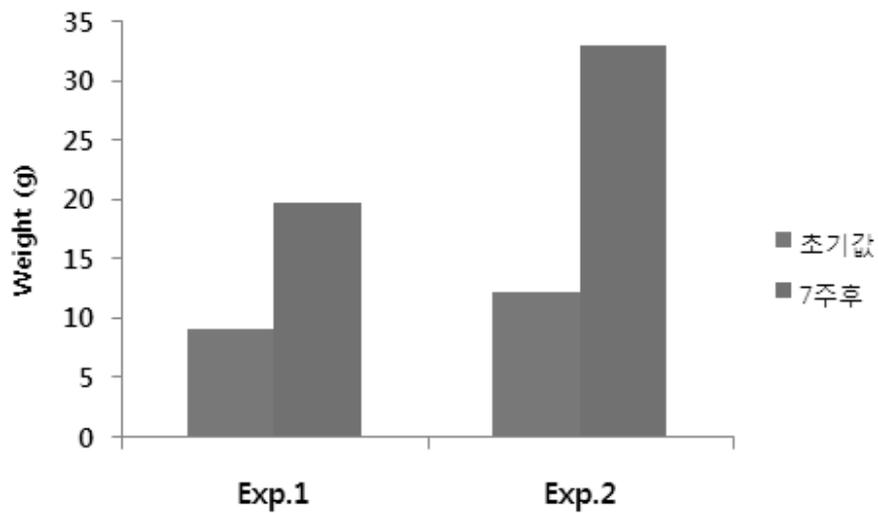


그림 4-78. 복합양식(전복-해삼) 성장결과

5. 조하대 양식시스템 검토

해삼양식은 자연생태계에 의존하는 방류 씨뿌림 양식, 축제식 양식, 육상수조식 양식으로 크게 대별된다. 축제식 양식은 서식밀도가 낮고, 고수온에 의한 영향을 많이 받아 양식 환경에 불리하게 작용하는 경우가 많다. 최근 들어 조하대 부근이나 연안의 독살 형태로 인공적인 시설을 통해 해삼 양식의 가능성을 말하고 있다(그림 4-79). 이러한 해삼 양식 시스템은 자유로운 해수 유동과 반폐쇄적인 형태가 결합되어 있는 것으로 축제식 양식의 환경적인 제약 요소 해결 및 자연방류에 의한 씨뿌림 양식의 구획화를 고려한 스타일이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 반폐쇄형 해삼 양식을 위한 사전 조사를 실시하여 가능성과 문제점을 진단하였다.

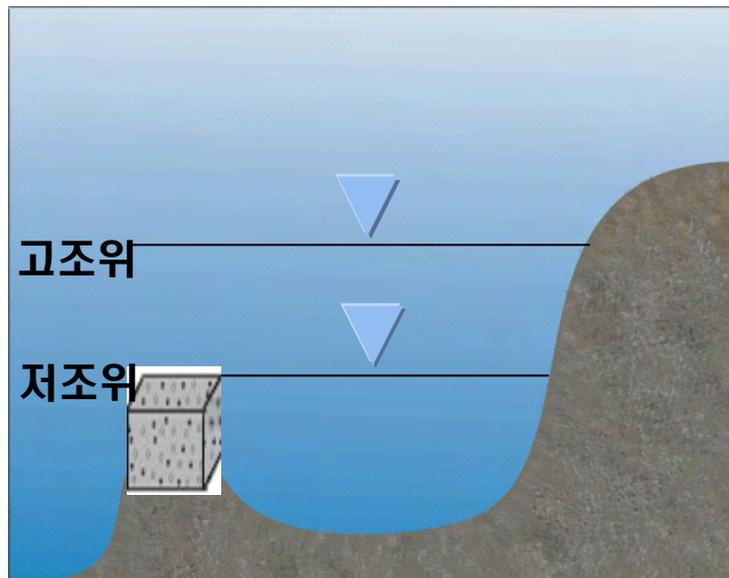


그림 4-79. 해수 반폐쇄형 해삼 양식 개념도

조하대 부근에 반폐쇄형 구조물을 설치하는 방안은 사석재 투입을 통한 축제를 쌓아 구획하는 방법과 블록을 쌓아 배치하여 양식장을 시공하는 방법, 부차적으로 지오투브를 설치하여 시공하는 방법이 있을 수 있다. 사석재 투입은 보통 축제식 양식장이나, 방조제를 쌓는 방법으로 크게 알려져 있다.

블록 형태로 시공하는 방법은 최근 연구에서 패류 양식장에 적용을 시도한 방법이다. 중국에서는 갯벌에서 바지락 양식장을 대단위로 구획화하여 갯벌둑을 펴로 50cm 쌓아 종묘유실 방지와 양식을 시도하고 있다(그림 4-80). 국내에서는 일부지역에서 돌망태 등을 이용하여 구획화 경계를 하여 패류양식을 시도하고 있다(그림 4-81). 다공질 블록은 이러한 구획화에 있어 좀 더 정형화시킨 형태로 다공질 성질을 가지는 형태의 블록을 제작하여 수작업을 거쳐 일일 배치 시공하는 방법이다(그림 4-82). 보통 50cm 길이에 30~40cm, 높이 30cm 정도로 제작하여 패류양식장에 배치하는 데 사용한다(그림 4-83). 장기간 사용 시에는 일부 구간에서 세굴 현상을 보이기도 하였다(그림 4-84).

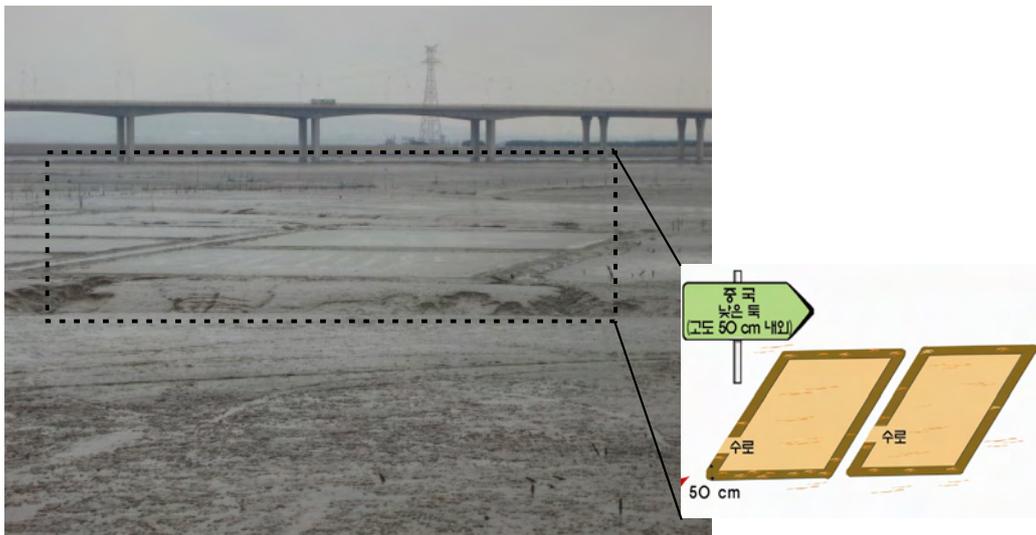
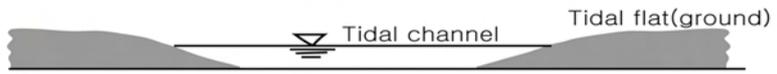


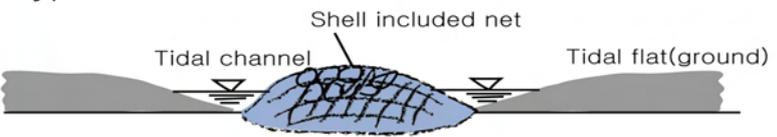
그림 4-80. 중국 패류양식장 구획경계



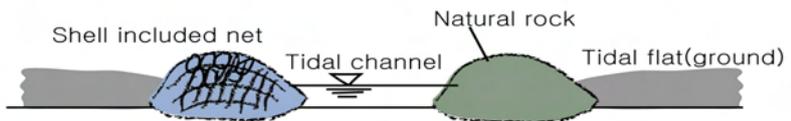
Type 1



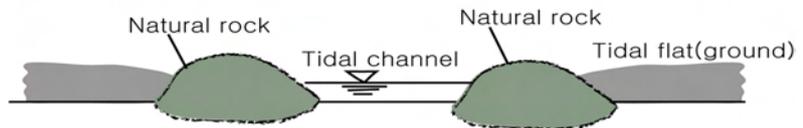
Type 2



Type 3



Type 4



Type 5

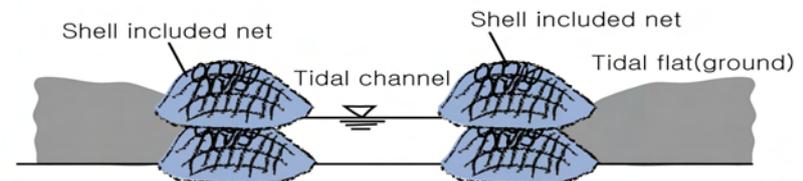


그림 4-81. 국내 패류양식장 구획경계 사례



그림 4-82. 다공질 블록 제작과정



그림 4-83. 다공질 블록 시공과정



그림 4-84. 갯벌둑 사이 해수 유출에 의한 세굴발생

다공질블럭을 이용한 시공성 검토에서는 많은 노동력이 필요할 것으로 생각되며 이는 실제로 갯벌과 같은 노출이 주기적으로 나타나는 해역에서는 가능하지만 조하대에서의 시공 자체는 정형화된 형태로 이루어지기가 힘들 것으로 보인다. 실제적인 시공을 한다면 해중에서 시공을 전문으로 하는 잠수부가 일일이 수작업을 거쳐 시공을 해야 할 것이다. 또한 둑 높이가 높지 않아 해삼의 도피를 막기 힘들 것으로 판단된다.

다음으로 검토될 수 있는 방안은 해양공학에서 물막이 공사나 도류제 시공으로 많이 쓰이고 있는 지오투브형식이 있다(그림 4-85). 이는 해양에서 지오투브에 모래와 바닷물을 섞어 액상화하여 튜브에 펌프를 이용하여 집어넣는 방식이다. 재질이 섬유로 되어 있어 모래와 바닷물을 액상화 하여 집어넣게 되면 최후에는 물속에서 지오투브 안의 바닷물이 유출되고 모래만 남게 되어 손쉽게 구조물을 설치할 수 있다(그림 4-86).



그림 4-85. 소규모 지오투브 시설 시험



(a) 모래 펌프



(b) 지오투브 모래 및 바닷물 주입



(c) 설치중인 지오투브



(d) 설치된 지오투브

그림 4-86. 지오투브 설치 전경

6. 결 론

가. 씨뿌림 양식

국내에서 현재 해삼 생산은 거의 씨뿌림 방식에 의존하고 있다. 본 연구에서는 2010년 11월에 진도 대마도 지구에 1차적으로 적지조사를 통하여 해삼 30만 마리를 방류하였다. 방류 효과는 채포 해삼 중 약 30% 내외가 방류해삼으로 추정되었으며, 씨뿌림이 다른 지역에 비해 10배 정도 효과가 있는 것으로 조사되었다.

씨뿌림에 있어서 우선 평가되어야 하는 것은 재포율과 방류크기 그리고 자연 환경에 의존하는 서식밀도라 할 수 있다. 기존 연구결과로부터 재포율을 살펴보면 2010년 7월 하계 방류의 경우 1.6g 크기의 해삼은 2011년 6월에 95.7g으로 성장하였으며 재포율은 15.6% 이었다. 2010년 11월 추계방류의 경우 3.6g의 해삼은 2011년 10월에 67.1g으로 성장하였으며 재포율은 23.1%이었다. 2011년 4월 춘계 방류의 경우 3.4g의 해삼은 2011년 10월에 20.6g으로 성장하였으며 재포율은 7.1%이었다. 이 경우 해삼의 재포율이 낮은 것은 겨울 동안은 큰 이동성을 보이지 않으나 수온이 상승하는 춘계에 접어들면서 해삼의 이동성이 커지면서 방류 지역을 벗어나는 것으로 나타났다(표 4-15).

표 4-15. 씨뿌림 양식 재포율 분석 결과

구 분	방류시기	방류크기	채포크기	재포율
하계 방류	2010.7~2011.6	1.6g	95.7g	15.6%
추계 방류	2010.11~2011.10	3.6g	67.1g	23.1%
춘계 방류	2011.4~2011.10	3.4g	20.6g	7.1%

* 자료 : 해삼양식 산업화 추진협의 워크숍(2012. 4)

해삼 씨뿌림 방류용 종묘의 적정크기 선정은 종묘생산 시기와 종묘생산에 투입되는 비용에 많은 영향을 미친다. 일반적으로 중국에서는 3~10g 크기의 해삼을 축제식또는 씨뿌림 양식용으로 사용하고 있으며 입식하는 종묘가 클수록 생존율이 유리한 것으로 알려져 있다. 국내 기존 연구결과에서도 종묘가 클수록 생존율이 좋은 것으로 나타났다(표 4-16). 향후 씨뿌림 양식, 축제식 양식의 적정 종묘 크기에 대한 추가적인 집중연구를 통하여 종묘생산의 경제적 비용을 고려한 양식 생산성 및 생존율의 적합점을 찾아 제시할 필요가 있다.

표 4-16. 해삼 종묘 방류 크기 생존율 및 성장

구 분	실험기간	방류크기	채포크기	생존율
춘계 방류	4월~10월	1g	10.5g	82.5%
		3g	12.1g	87.0%
		5g	14.6g	95.0%
추계 방류	10월~익년 2월	1g	6.3g	86.7%
		3g	7.8g	95.0%
		5g	8.4g	98.3%

* 자료 : 해삼양식 산업화 추진협의 워크숍(2012. 4)

자연생태계에서 해삼의 서식밀도 또한 중요하다. 이것은 자연생산력으로 해삼 양식에 있어서 중요한 지표로 사용될 수 있다. 국내의 경우 해삼 생산의 30~40%를 차지하는 충남 태안군 안면도 승언리 주변 자료를 살펴보면 해삼 관련 어업 면허는 35건 167ha로 나타났다(그림 4-87). 주요 해삼 생산지는 승언리와 신야리지선으로 안면읍 승언리 지선은 외도, 내파수도, 분여, 외파수도, 종달여 등의 도서로 이루어져 있다. 안면읍 승언리의 꽃지에는 5건 15ha의 면허 중 4건이 전복 양식이며, 1건이 전복과 해삼의 마을어업이다. 종달여에는 5건 8ha의 면허가 있으며 모두 전복 양식이다. 외도에는 5건 41ha의 면허가 있는데 그 중 3건이 전복 양식이며, 2건이 전복과 해삼의 마을어업이다. 내파수도에는 3건 43ha의 면허가 있는데 1건이 전복 양식이며, 1건이 비단가리비, 1건이 전복 양식이다. 내파수도 옆의 분여에는 1건 3ha의 면허가 있는데 전복 양식이다. 승언리의 가장 바깥의 서쪽에 위치한 외파수도에는 1건 6ha의 전복양식 면허가 있다. 안면읍 신야리는 승언리의 남쪽에 위치하여 있으며 9건 63ha의 면허 중 4건이 전복 양식이며, 3건이 전복과 해삼의 마을어업이다.



그림 4-87. 충남 태안군 안면읍 승언리 등 해삼 관련 양식어장

이곳에서의 생산량은 2005년에 45톤, 2006년에 444톤, 2007년과 2008년에는 97톤과 95톤이었으며, 2009년에는 671톤으로 급격히 증가하였다(그림 4-88). 최근 5년간 평균 생산량은 270.4톤이었으며 평당 생산성은 2009년에 $1.33\text{kg}(0.40\text{kg}/\text{m}^2)$ 이었으며 평균 $0.53\text{kg}(0.16\text{kg}/\text{m}^2)$ 이었다. 주목할 만한 것은 대량생산 뒤에는 생산성이 급격히 저하되는 현상을 보이고 있으며 이는 자원 재생산 범위를 초과하여 채취하기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 추가적인 자원의 투입은 평균이상의 생산성을 가질 수 있을 것으로 추정되며 이에 대한 향후 해삼 자원관리와 씨뿌림 양식의 관리를 위한 추가적인 확인 연구가 필요하다.

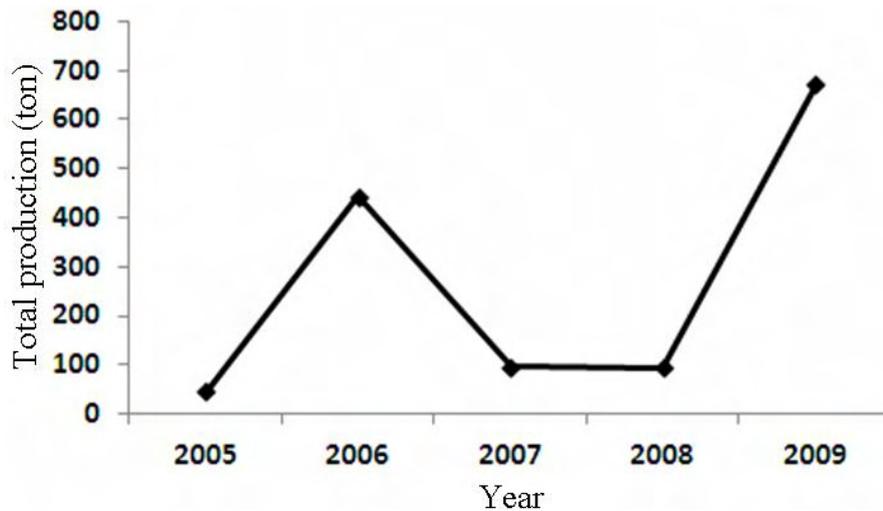


그림 4-88. 충남 태안군 안면읍 승연리 해삼 연도별 생산 동향

씨뿌림 해삼양식에 의한 수익성을 살펴보면 어장에 10만 마리 어린해삼을 입식할 경우 종묘가격으로 약 5천만원이 소요된다. 재포율을 30%로 산정하여 수익성을 검토하면 해삼 채취생산량은 약 1억2천만원이 되며 이것에서 현 관행상 채취비용은 6천만원이 소요되므로 남는 수익은 6천만원이지만 대부분 종묘구입비용으로 들어가 버려 실질적인 소득창출은 1천만원 정도로 수익성이 낮다. 재포율을 20%로 산정할 경우는 수익은 오히려 1천만원 마이너스 창출을 가져온다. 따라서 씨뿌림 양식이 활성화되기 위해서는 어린해삼 가격이 낮아져야 하며 재포율을 높일 수 있는 방안이 강구 되어야 할 것으로 생각된다.

해삼 자연 양식에서 재포율을 높이는 방법과 손쉬운 채취를 위한 방법으로 양성기 도입에 대한 실험이 많이 시도되고 있다(남 등, 2011). 특히 물질순환을 기초로 하는 실험이 주로 이루어지고 있다. 물질순환은 IMTA 다영양단계 양식을 기초로 하고 있지만 해삼양식에 있어서는 2차원적인 먹이 사슬관계를 사용한다. 즉 해삼은 퇴적물 및 유기물을 먹는 섭이 특성을 가지고 있으므로 다른 양식생물의 분변을 이용할 수 있다. 1차적으로 동해안에서는 원통형 전복-해삼 복합 양성기를 개발(전장 1.2m, 원통지름 0.6m 속에 편평한 패널과 만곡형 패널 1쌍으로 구성된 본 복합사육기는 원면적과 원통면적 그리고 패널의 전체 면적이 약 4.0m²에 해당)

하여 3월에서 11월까지 삼척과 양양어장에서 7cm 해삼을 이용하여 실험하였다(그림 4-89). 전복과 해삼을 함께 수용하여 사육하는 경우 해삼은 사육기내에서는 전복먹이로 제공한 다시마와 전복이 제공하는 유기물을 이용하여 성장할 수밖에 없다. 실험결과를 살펴보면 실험에서는 사육기내에 해삼 50마리를 수용한 경우에 양양시험어장에서 해삼은 27.40mm, 28.82g이 증가하였으며, 삼척 시험어장에서는 26.39mm, 30.02g이 증가한 것으로 나타났으며 해삼 75마리를 수용한 경우, 양양에서는 26.13mm, 27.53g이 증가하였으며, 삼척에서는 26.39mm, 28.73g이 증가하여 양양 시험어장과 비슷한 경향을 보였다. 반면, 해삼 100마리를 수용한 경우, 양양에서 각각 22.63mm, 17.64g이 증가하였으며, 삼척에서는 22.27mm, 18.02g이 증가하였다. 전체적으로 전복은 해삼의 마리 수에 관계없이 성장하였으나, 해삼은 100마리 집단이 50마리 집단과 75마리 집단에 비해 약 60%로 낮은 성장을 보이는 것으로 조사되었다.

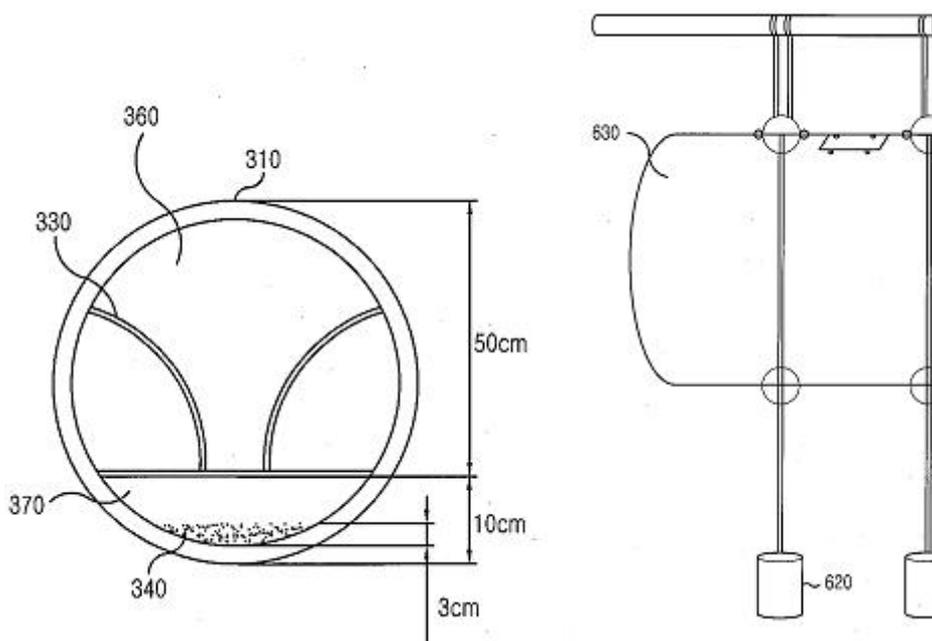


그림 4-89. 동해형 해삼 전복 복합사육기

생산력에서는 동해형과 남해형의 사육기를 가지고 비교 실험하였는데 해삼의 경우 동해형 복합사육기에서 전중량은 2월 43.6g에서 10월 87.1g, 길이는 2월 88.4mm에서 10월 128.1mm, 남해형 사육기에서 전중량은 2월에 42.7g에서 10월 81.3g으로, 길이는 2월에 87.7mm에서 10월 122.7mm로 성장하여 동해형에서는 8개월간 월평균 전중량 5.4g, 길이 5.0mm 증가하여 남해형에서의 월평균 전중량 4.8g, 길이 4.4mm 보다 성장이 다소 좋았다고 보고하였다.

전복 및 해삼 복합사육기에서 해삼양식을 위한 적정 수용능력은 13~18마리/m² 즉, 사육기당 52~72마리로 추정된다고 하였으나 상품출하 크기까지의 성장과정 없이 상태에서는 도입에 따른 문제가 있을 것으로 판단되며 검증 절차가 필요하다. 따라서 해면에서 복합사육기 등을 활용한 해삼양식은 시설비의 과다와 사료공급 등 시설관리 운영비의 증가, 시설의 안전성 및 적정 사육밀도, 성장기간 등을 고려할 때 경제성 확보를 위한 좀 더 많은 연구가 필요할 것이다.

현재 진행 중인 연구로는 굴양식장 아래에서 양성기를 이용한 해삼 양식실험이 있다. 이는 전남해양수산과학원 해조류센터에서 양성기를 개발하여 현재 진행 중이다. 개발한 양성기는 육면체 형태로 내부에 전복 골파판을 다층으로 설치하여 해삼의 서식공간을 넓혀주어 공간 이용율을 높였다(그림 4-90).

진행 중 중간결과를 살펴보면 해삼 양성기에 4.92g 중량의 해삼을 200마리 수용한 시험구 1(Exp. 1), 5.13g 중량의 해삼을 500마리 수용한 시험구 2(Exp. 2), 1.36g 해삼을 1,000마리 수용한 시험구 3(Exp. 3)을 설정하여 2012년 4월 19일에 굴양식장 하부에 시설하여 10 주 동안 성장도를 관찰하였다. 성장율은 밀도가 낮을수록 높게 나타났다(그림 4-91). 시험구 1에서는 3배 정도 성장을 보였으나(그림 4-92), 시험구 2와 3에서는 거의 성장하지 않았다. 동해형 양성기에서 제시한 서식밀도를 고려한다면 양성기 내부 면적은 대략 5평으로 최대 300마리까지 수용하는 것으로 분석된다. 따라서 200마리 시험구에서 성장률이 가장 높을 것으로 판단된다. 그러나 굴양식장에서의 실험은 유령명게 출현으로 해삼과 먹이 경쟁을 유발하였다(그림 4-93).

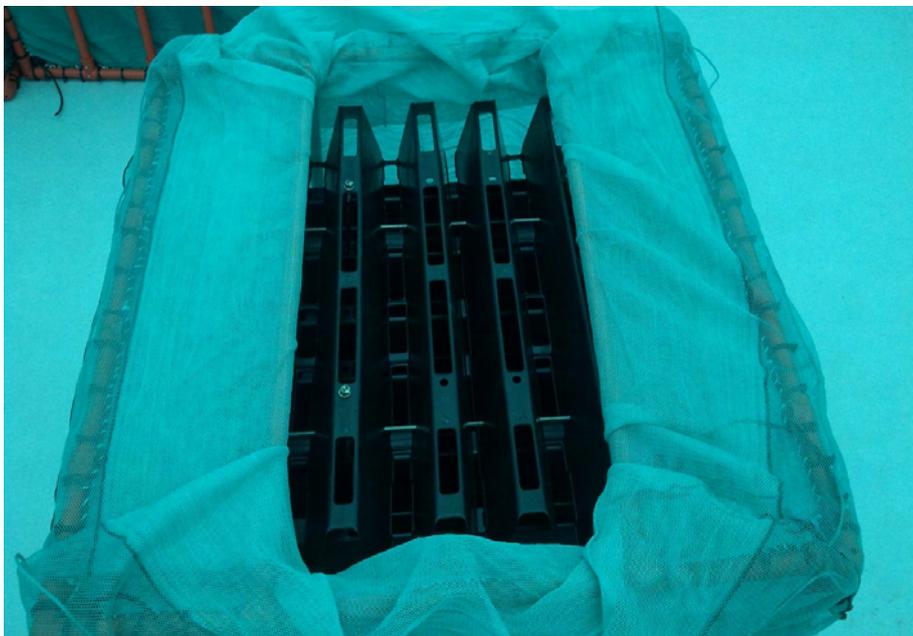


그림 4-90. 해삼양성기

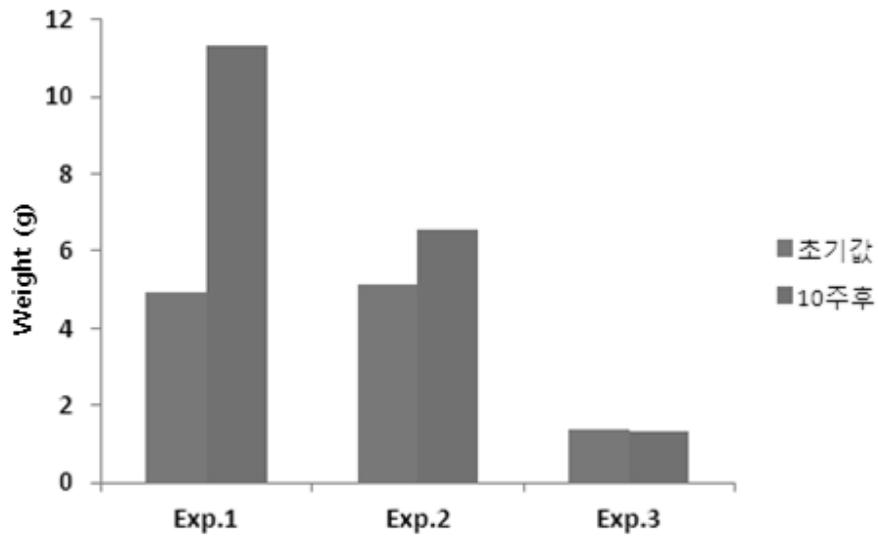


그림 4-91. 해삼 양성기 실험 결과



그림 4-92. 200마리 시험구에서 성장한 해삼



그림 4-93. 양성기 내부에 서식하는 유령명게

따라서 양식장 주변에서의 양성기 사용은 좀 더 추가적인 연구가 필요할 것으로 보이며 이는 우선 축제식 양식장 등에 사용하여 실용성 여부를 진단하는 것이 효율적일 것으로 판단된다. 또한 실외 중간육성 실험에서 먹이공급이 안 될 경우 성장도가 느린 것으로 나타난 것을 고려해 볼 때 자연먹이에만 의존하지 말고 환경수용능력을 고려한 먹이공급으로 인위적 성장을 유도해 볼 필요성이 있다. 따라서, 양성기 시험에 먹이공급까지 고려한 시스템을 제작하여 효과 분석을 해 볼 필요성이 있다(그림 4-94).

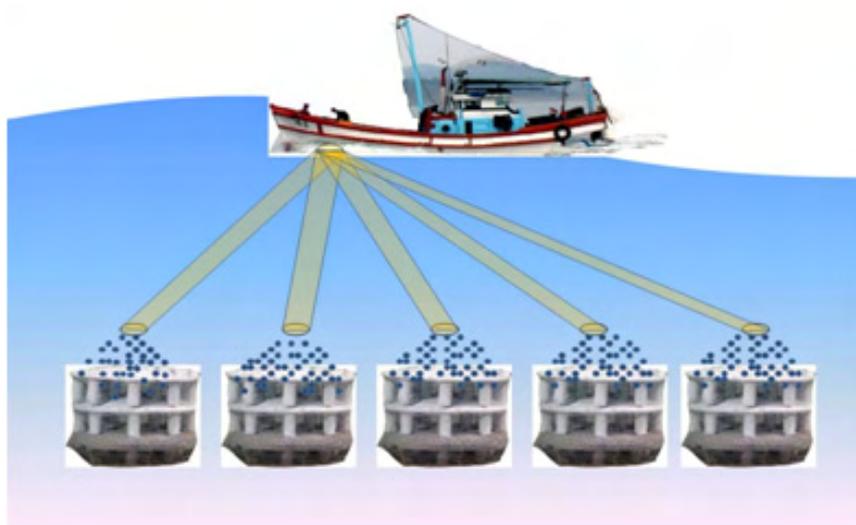


그림 4-94. 먹이공급형 양성기 개념도

나. 축제식 양식

해삼 축제식 산업화 기초연구는 충남수산연구소 시험어장에서 2011년 6월 15일에 0.8~80g 크기의 해삼을 입식한 후 실시하였다. 입식 후 2011년 12월 7일에 축제식 호지의 물을 일부 배수 후 1차 표본조사(시험 중인 해삼 종묘가 성장 중에 있어 호지의 물을 1/3만 빼내 일부에 대해서만 표본조사가 이루어짐)를 실시한 결과, 입식 175일 후 해삼은 2~180g으로 성장하였으며, 표본 재포율은 19.2%로 나타났다.

1차 표본조사에서의 성장률은 최초 입식시 평균중량 9.7g에서 28.9g으로 성장하여 약 3배 정도 증가하였다. 2차 표본조사는 입식 358일 후에 이루어졌으며(2012년 6월 7일), 이때 해삼은 37~220g(평균 130g)으로 성장하여 처음 입식 하였을 때보다 13.4배로 빠른 성장을 보였으며, 상품으로 출하 가능한 150g 이상의 대형개체 또한 출현하였다.

따라서 본 연구에서 돌무더기를 이용한 해삼 축제식 양식은 적지선정 및 적정 크기(5g 이상)의 종묘를 입식할 경우 입식 1년째부터 대형개체(150g 이상)의 일부는 선별 출하가 가능한 것으로 판단되며, 입식 후 24개월이면 평균 중량 200g 내외로 상품출하가 가능할 것으로 예측된다. 그러나 금후 해삼의 생산성 향상과 경제성 확보가 가능한 한국형 축제식 양식기술방안(양식방법 등)에 대한 추가적 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

축제식 바닥 그물가두리 양성기에서의 해삼 성장은 2012년 5월(5월 2~15일)에 평균중량 4.18g의 종묘를 그물가두리에 입식한 후 2012년 6월 12일 1차 분석한 결과 평균중량 7.03g으로 1개월 간 0.6배 정도 증가하였다. 시험구별(3, 7, 14, 28 마리) 성장량은 입식면적 1.68m²당 7마리를 입식한 실험구에서는 입식시 평균중량 4.3g이었던 것이 평균중량 13.60g으로 3.2배 성장하여, 3마리 입식 시험구에 비하여 성장이 양호한 것으로 조사되었고, 평균 생존율은 96.2%로 나타났다.

짧은 기간 동안 해삼이 높은 성장률을 보인 것은 자연에서의 해삼 성장이 가장 왕성한 시기에 시험한 결과때문인 것으로 여겨진다. 그러나 축제식 양식의 상

품생산 기간인 24개월간의 밀도별, 기질별 성장 및 생존율 등을 조사하기 위한 추가적인 연구가 필요하며, 어미해삼의 적정 채취방법 및 한국형 축제식 양식방법의 기술개발이 시급한 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서 축제식 그물가두리 양성기에 의한 해삼 양식기술은 양성기 설치 및 시설유지 비용 등 경제성 분석을 위한 추가 연구가 필요하다.

본 축제식 양식 시험에서의 표본 재포율은 19.2%로 나타났지만 수확 시 호지의 물을 완전 배수할 경우 재포율은 60% 이상으로 높아질 것으로 예측된다. 한편, 일본과 중국의 재포율을 살펴보면 일본에서 조사한 결과는 30m×30m 크기의 전복 축제식 양식장에 해삼을 양식한 결과 52.0mm 크기의 해삼은 1년 후 2배로 성장하고 재포율은 67%이었으며, 31.5mm 크기의 해삼은 3배 정도 성장하였지만 재포율은 35%였다. 이와 같이 종묘크기에서 성장률은 차이가 없지만 재포율에 있어서는 큰 종묘가 유리한 것으로 나타났다(표 4-17). 중국 축제식 양식장에서의 생존율은 통상적으로 5g 크기의 종묘를 입식하였을 경우 60% 정도로 추산하고 있다.

표 4-17. 일본 전복 축제식 양식 해삼 성장 및 재포율

방류크기	방류시기	채포크기	재포율
52.0mm	2007.6~2008.6	110mm	67%
31.5mm		105mm	35%

* 출처 : 일본 이와테현 수산기술연구소 보고서(2008)

축제식 양식은 다른 양식에 비해 대단위로 계획생산이 가능한 유리한 이점이 있다. 중국의 최근 3년간 해삼 생산량(FAO)을 살펴보면 2009년 102천톤, 2010년 130천 톤, 2011년 137천톤으로 평균 생산량 123천 톤이다. 그 중, 축제식 양식장에서의 해삼 생산량이 약 75%인 92천톤을 차지하고 있다. 그러나 중국의 해삼 생산량은 중국 자체 내에서도 집계가 어려워 FAO의 공식 통계보다 더 많은 양이 생산되고 있는 것으로 추정된다.

우리나라의 해삼 축제식 양식장은 아직까지 규모가 크게 조성되어 있지 않지 만금후에는 기존의 새우양식장을 해삼 축제식 양식장으로 활용할 필요성이 있다. 우리나라의 해삼 축제식 양식장 후보지는 주로 조수간만의 차가 큰 서해안 지역에 위치하고 있어 조석에 의해 최소한 월 15일 이상으로 사육수의 공급(해수모터 등)이 가능해야 만 여름철 고수온 및 겨울철 한파에 대응할 수 있다. 반면, 중국의 축제식 양식장은 기존의 새우 양식장을 활용하기도 하나 해삼을 전문적으로 양식하기 위해 조성된 곳은 해수의 환수 등을 고려하여 바다와 바로 인접한 곳에 위치하고 있어 안정된 수질 및 수온 확보에 유리하다.

우리나라에서 해삼 축제식 양식이 가능한 호지는 기존의 새우양식장 또는 폐염전 등을 활용할 수 있으나 대부분 소규모(10ha 이하) 형태이다. 따라서 축제식 양식의 경제성을 향상시키기 위해서는 대규모의 양식장 확보가 필수적이며, 씨부림 양식의 한계성으로 보아 축제식 양식장이 확보되지 않을 경우 2020년 해삼 생산목표 1조원 달성에 차질을 가져올 수 있다.

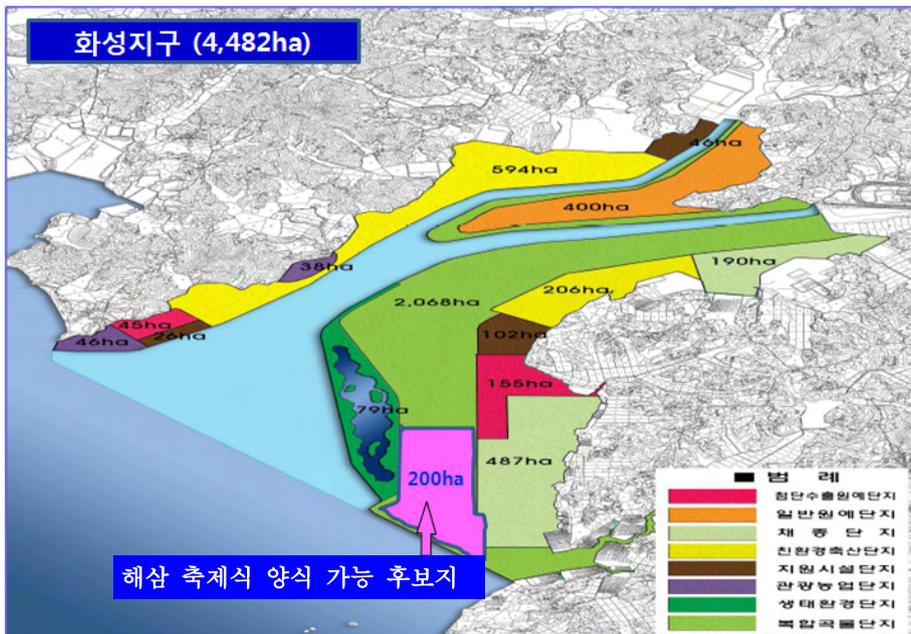
우리나라와 중국의 해삼양식 조건은 국토면적이 큰 중국의 경우 축제식 양식이 가능한 적지가 많은 반면, 우리나라는 대단위 갯벌간척지 등의 매립으로 축제식 양식 공간이 매우 협소하다. 따라서 우리나라의 해삼 양식은 초기에는 씨부림 양식을 기본으로 하면서 대단위 유희 갯벌간척지 등을 활용하여 계획생산이 가능한 대단위 해삼 축제식 양식으로 전환하는 전략이 좋을 것으로 보인다.

국가의 대규모 간척지 기본 활용 구상은 농림수산식품부 고시 제 2010-47호 (2010. 5. 3일 제정)에 따라 화옹지구 등 전국 12개 지구 총 54,379ha의 갯벌간척지 중 축산, 근교농업, 첨단 수출원예단지 등의 농업적 활용으로 30,394ha를 사용할 계획이다. 그러나 간척지 중 상당부분(약 10%)은 염분농도가 높아 농업적 용도로 활용이 부적합하며, 농업적 활용이 부적합한 일정면적을 수산업적 용도로 활용할 수 있도록 장관 고시를 개정할 경우 국토의 효율적 활용은 물론 고부가가치의 수출수산업 육성을 통한 어업인의 소득을 크게 증진시킬 수 있을 것이다. 따라서 금후 갯벌간척지 등 대단위 축제식 해삼양식 단지 개발을 위한 타당성 연구가 필요할 것으로 판단된다(그림 4-95~4-96).



자료 : 농림수산식품부 해삼 워크숍 자료(2011, 박영제)

그림 4-95. 새만금 간척용지의 대규모 해삼양식 산업화 활용(예시)



자료 : 농림수산식품부 해삼 워크숍 자료(2011, 박영제)

그림 4-96. 간척농업용지의 복합적 활용(화성지구) 예시

다. 육상수조식 양식

육상수조에서 고밀도 양식기술을 개발하기 위하여 SRS(Shallow Raceway System) 과 RAS(Recirculation Aquaculture System), 배합사료 급이와 다시마 급이구로 하는 해삼과 전복 복합양식 실험을 실시하여 양식가능성을 검토하였다. SRS를 이용한 해삼 양식 시험에서는 100~200%의 성장률을 보였으며 사육밀도가 높을수록 성장률이 낮은 것을 확인하였다. RAS는 급이된 유기물의 처리로 인하여 해삼의 성장이 어려운 것으로 나타났다. 전복복합양식에서는 배합사료 급이구에서는 8주 동안 7g에서 17.2g으로 성장하였으며, 다시마 급이 실험구에서는 2~3배의 성장도를 보였다.

일반 육상수조에서 양성시험은 2005년 10월부터 2006년 6월까지 성장시킨 결과 전중량 8.6g에서 40.2g으로 약 5배 가량 성장하는 것으로 보고하였다(해양수산부, 2006). 또한 전복해삼 복합양식에서는 동기간 동안 5~6배 정도 성장하는 것으로 나타났다(해양수산부, 2006). 상기 연구결과와 기존연구결과를 종합해 볼 때 육상수조식 양식에서 전복과 해삼 복합양식이 상대적으로 사료공급과 성장면에 유리한 것으로 보인다. 또한 해삼은 여름철 고수온에 월하(越夏)하는 것으로 알려져 있으며, 겨울철 저수온에서는 대량 폐사 가능성이 높다. 따라서 가온 및 냉방 능력이 가능한 히트펌프를 이용하면 전복과 해삼의 서식수온이 비슷하므로 충분히 연중 성장을 유도할 수 있다. 기존 연구에서는 고수온기인 여름철에 20℃ 이하로 유지할 경우 체중감소를 최소화하고 월하가 가능한 것으로 보고되고 있다(해양수산부, 2006).

해삼은 성장한 한 개체당 1m²를 차지하는 것으로 분석된다. 해삼은 어류와 달리 공간을 입체적으로 사용하기 보다는 평면적으로 2차원 분포를 하고 있다. 따라서 육상수조에서는 넓은 면적을 필요로 하는 해삼양식의 경우 아직까지는 경제성을 확보하기는 어려울 것으로 보이며 차후 추가적인 연구를 통하여 해삼양식을 입체적으로 할 수 있는 시스템을 개발할 필요가 있다. 또한 현재는 해삼양식을 주목적으로 하기 보다는 어류양식이나 전복양식 등의 사료찌꺼기나 배설물을 이용할 수 있는 이중양식 시스템을 활용해 부가적인 수입원 확보로 활용할 수 있다고 생각된다.

핵심 사항

- 해삼 씨뿌림 양식을 위해 진도 대마도 지구에 30만 마리 2010년 11월 방류 후 모니터링을 실시하였음(전라남도 국제갯벌연구센터)
 - 2011년 5월 조사시 포획된 개체중 30%가 방류 해삼으로 추정됨
 - 2012년 3월과 6월 20분간 포획 조사를 수행한 결과 해삼 방류를 하지 않은 지역에 비해 10배정도 많이 포획됨
- 충남 태안군 남면 해역에 적지조사를 실시한 후 해삼 서식이 양호한 지역에 춘계 방류(20천 마리)를 실시함(충남수산연구소)
- 축제식 양식의 경우 2011년 평균중량 9.7g의 해삼이 입식 1년후 130g까지 성장하였으나, 양식시험 연구종료로 최종결과는 미반영 되었음
- 2012년 5월에 해삼 종묘 30천 마리를 추가 입식하였고, 축제식 양식장내 해삼 양성기(구조물)를 이용한 해삼 성장도는 4.18g의 해삼이 1개월 후 7.03g까지 성장
- 축제식 양식장의 경우 중국은 해수공급 및 순환이 잘 이루어지도록 전문적으로 대단위로 조성되어 있음. 국내의 경우는 서해안의 조석간만의 차로 인해 사육수 환수율이 낮아 축제식 해삼 양식의 걸림돌로 작용하고 있어 향후 사육수의 원활한 확보 및 순환을 위한 구조개선 방안 및 새로운 적지개발에 따른 대규모 축제식 양식계획 생산 방안 등 추가적인 연구가 필요함
- 조하대 양식 가능성 진단 검토 결과 현재까지는 실용화 접근이 어려우며, 대형 양성기를 이용한 양식방안이 대안으로 제시되었으며, 이에 대한 향후 검토 연구 필요
- 육상수조식 양식에서는 해삼의 서식 특성상 어류와 달리 평면적인 서식공간을 가지므로 아직까지 생산성을 높이기에는 한계가 있음
- 중국에서는 현재 순환여과기술을 활용한 육상수조식 양식이 연구되고 있으나 아직까지는 실용화에는 도달하지 못하고 있음
- 현재는 전복, 어류 양식 등의 사료잔여물이나 배설물을 활용한 부가적인 양식 방법이 가능한 것으로 생각되며 육상수조 입체 고밀도 양식기술개발 연구가 필요함



| 제5장 |

고부가가치 해삼 가공기술 개발

1. 서 론
2. 해삼 영양학적 성분 비교분석
3. 해삼 안정성 검사
4. 건해삼 제조 및 평가
5. 건해삼 시장 동향
6. 결 론

제5장 고부가가치 해삼 가공기술 개발



1. 서 론

해삼류는 세계적으로 1,500여종 이상 분포하고 있으며, 우리나라에는 돌기해삼 또는 청해삼이 주로 식용으로 이용되고 있다. 해삼은 칼로리가 낮고 필수 아미노산과 미네랄 등이 풍부한 well-being 보양식품으로 오래전부터 한국, 중국, 일본 및 러시아 등에서 비교적 고가로 판매되고 있을 뿐 아니라 그 수요도 높다. 특히 중국은 해삼의 최대 생산국이자 소비국으로 중국 경제발전과 함께 그 수요가 늘어나고 있으나 공급은 거기에 미치지 못하고 있다. 따라서 세계적으로 생산되는 해삼은 거의 중국으로 수출되고 있는 실정이다. 최근에 무분별한 남획과 환경오염 등으로 인해 해삼 생산량이 감소함에 따라 해삼의 인공종묘생산기술의 확립과 함께 양식에 대한 관심이 증가되고 있다. 해삼산업이 발전하기 위해서는 양식에 의한 대량생산과 이들의 가공을 통한 고부가가치화가 이루어져야 한다. 해삼은 건해삼으로 가공하였을 시 그 가치는 기하급수적으로 상승한다. 특히 중국을 비롯한 화교권에서의 수요가 크게 증가하는 추세에 있지만, 소비량의 증가에도 불구하고 공급생산량이 매년 크게 감소하고 있어 늘어나는 수요에 대응하기 위해서는 인공종묘의 대량생산과 양식이 시급하다.

해삼은 극피동물로써 불가사리와 같은 종류이며, 붉은색, 검은색, 회색 등 색깔도 다양하다. 식용으로 쓸 수 있는 해삼은 주로 한반도, 중국 발해연안, 일본 근해, 쿠릴열도, 사할린 연안 등에서 서식하는데, 대략 그 종류는 수십여 종에 이르고 있다고 한다. 대체로 몸체는 원통형이고 길쭉하다. 길이는 대체로 20~30cm 정도이

고 몸통둘레는 6~8cm 정도 된다. 물론 큰 것은 5m에 이르는 것도 있다고 한다. 대략 수심 10~30m 정도의 얇은 바다에서 서식하며, 입 주위의 촉수로써 진흙이나 모래를 입에 넣어 해조류 등 유기 침전물을 먹으며 살아간다. 마치 바다 밑의 쓰레기를 청소하듯 쓸고 다니기에 ‘바다 청소부’라는 별명을 가지고 있다. 해삼을 먹는 민족에는 한국인, 중국인, 일본인, 남태평양 각 섬에 사는 원주민 등이 있고, 유럽에서는 남부 이탈리아(특히 시칠리아인 섬에 사는 사람들), 아프리카의 마다카스카르 섬에 사는 사람들이 전부이다(김, 2010).

해삼 산업은 Seller's Market 품목으로 해삼종묘 및 대량 양성 시스템이 적용된다면 수출산업 창출에 유리한 고지를 점할 수 있을 것으로 본다. 해삼의 최종적인 소비 형태는 가공제품이라 할 수 있다. 중화권에서 소비되는 제품 형태는 약용자원 외에 건해삼, 해삼정제식품, 해삼의 성분을 추출하여 첨가한 우유, 소스, 술 종류 등이 있다. 이 중 가장 선호되고 소비량이 큰 것은 건해삼이라 할 수 있다. 중국에서 대부분 해삼수요가 발생하므로 중국에서 해삼 종묘생산, 양식, 사료 및 질병예방 연구 외에 해삼 가공기술 등이 발달하였다.

사실 한국에서는 아주 오래 전부터 해삼을 생식하는 습관을 가지고 있었다. 『세종실록』, 『지리지』(1454년), 『신증동국여지승람(新增東國輿地勝覽)』(1481년 편찬) 등과 같은 문헌에서는 거의 한반도 해안 전역에서 해삼이 잡히고 있다고 전해주고 있다. 따라서 적어도 15세기에는 해삼이 활발하게 포획되었다는 것을 알 수 있다. 특히 한반도의 재미있는 음식문화를 소개하고 있는 허균(許筠)의 『도문대작(屠門大嚼)』에는 “해삼이라고 하는 것이 있는데, 이것은 옛날 ‘이(泥)’라고 불렀고, 이는 중국인도 마찬가지로 좋아한다.”고 기술하고 있다. 또한 이수광(李睟光)의 『지봉유설(芝峯類說)』(1613년)에도 “우리나라에서는 이전에 해삼을 ‘이(泥)’라고 했는데, 중국인들은 이를 본 적이 없다고 한다.”고 기술하고 있다. 이를 보면 중국인들 중에는 해삼을 아는 사람도 있고, 모르고 있는 사람도 있다는 것을 알 수 있다(김, 2010).

정약전(鄭若銓)의 『자산어보(茲山魚譜)』(1814년)에는 다음과 같이 설명하고 있다. “해삼은 우리나라 동, 서, 남 바다 거의 모든 곳에서 서식한다. 이것을 잡아

서 건조한 후 판다. 전복, 홍합, 해삼을 삼화(三貨)라고 부르는데, 고금의 본초(本草)에 관한 책에는 이들 삼화가 어디에도 기재되어 있지 않다. 최근에 이르러서엽계(葉桂)의 『임증지남약방(臨証指南藥方)』에서 많이 사용하고 있다.” 이와 같이 대체로 해삼의 사용은 조선에서 시작되었다고 할 수 있다(김, 2010).

동양에서는 해삼이 인체를 보익하는 효과가 인삼과 맞먹는다고 해서 ‘바다삼, 곧 해삼(海蔘)’이라 불렀다. 한편으로는 낮에는 바위틈에 숨어 있다가 밤이면 활동하므로 쥐의 생리와 비슷하다 하여 ‘해서(海鼠)’라고도 하였다. 서양에서는 오이처럼 생겼다고 해서 ‘바다오이’라고도 불린다. 한국과 중국에서는 한자어인 ‘해삼’이라는 말을 공통으로 쓰고 있지만, 한국 고유어로 『물보(物譜)』에서는 ‘해남자(海南子)’, 『재물보(財物譜)』와 『물명고(物名考)』에서는 한자어로 ‘토육(土肉)’이라 했고, 순수 우리말로 ‘뽀’, ‘미’ 혹은 ‘이(泥)’라 부르기도 했다. 이외에 색깔이 검다고 해서 ‘흑충(黑蟲)’이라고 부르기도 하였다. 일본에서는 ‘나마고’라는 이름을 쓰고 있다(김, 2010).

동양에서는 예로부터 약재로서의 특성이 있는 것으로 알려져 중화본초(中華本草)에는 보신익정(補腎益精) “신장을 보강하며 남자의 양기를 좋게 한다”, 양혈운조(養血潤燥) “백맥의 혈을 생하게 하여 진액을 윤택하게 하여 빈혈, 수술 후 과다실혈에 좋으며, 마른 것을 촉촉하게 하므로 보습, 변비에 좋다”라고 알려져 있다. 방약합편(方藥合編)에는 “해삼은 맛이 짜고 약성이 평안하여 진액을 맑고 부드럽게 한다. 능히 비장(소화기능)과 신장(정력과 소변기능)을 보하며 특히 여자에 좋다.”라고 알려져 있다. 이러한 것을 바탕으로 최근에는 해삼에 대한 기능성 연구가 많이 진행되고 있다. 중국어로 해삼을 “haishen”이라고 하는데 이는 바다의 인삼이란 뜻으로 우리나라 사람이 인삼을 중히 여기듯이 중국에서는 해삼을 고가 식품으로 생각한다. 1980년대 중국의 경제 발달은 사람들의 삶의 질을 향상시켰고 강장식품과 해삼을 포함하는 고급 해산식품의 소비를 촉진시켰다. 향후 중국경제는 계속 발달 추세로 이에 대한 중국인의 생활수준은 좋은 식품 공급을 요구하며, 고부가가치화 된 친환경 제품의 수요는 지속적으로 늘어날 전망이다.

중국은 양식기술의 지속적인 개발에 힘입어 지금은 명실상부 해삼의 최대 생산 국가로 자리매김하고 있다. 그러나 과도한 양식면적 개발과 연안환경오염, 기후 변화, 기상이변 등으로 해삼의 생산은 감소추세이며 이와 더불어 중국 산업발달은 역으로 인건비 상승을 부추겨 해삼 양식에 있어 인건비의 비중이 커져 양식업자의 수익창출에 부담이 되어 생산성이 저하되고 있다. 따라서 중국의 해삼의 수요를 충족하기 위해 수입부분이 점점 확대될 것으로 전망되며 향후 국내에서 생산되는 해삼은 국내 수요보다는 대부분 중국을 대상으로 수출될 전략 품목이다. 이에 따라 우리나라에서는 중국이라는 거대시장을 대상으로 해삼을 전략품종으로 지정하여 많은 연구와 산업화 노력을 기울이고 있다.

본 연구에서는 이러한 전략품종의 산업화를 위한 기반연구로 해삼의 영양학적 특성, 안전성 그리고 건해삼 제조 방법 등을 살펴보고 새로운 대안을 제시해보고자 한다.

2. 해삼 영양학적 성분 비교분석

가. 재료 및 방법

(1) 분석시료

해삼의 영양학적 성분비교분석을 위해 사용한 시료는 건조조건별 국내산 건해삼으로 천일, 열풍, 냉풍, 동결 건조 조건 시료 4종과 국내산 균산, 완도, 대천, 태안, 통영 자연산 건해삼 시료 5종 등 총 9종 시료를 선정하여 분석에 이용하였다.

(2) 일반성분

AOAC(1990)에 따라 수분은 상압가열건조법, 조단백질은 micro kjeldahl법, 조지방은 soxhlet 추출법, 조회분은 건식회화법으로 각각 분석하였다.

(3) 아미노산

(가) 시료전처리

해삼 분쇄 시료 0.3g씩 cap tube에 취하고 6N HCl 10ml를 뚜껑을 닫고 110℃에서 24시간 가수분해한다. 가수분해 된 시료는 염산을 제거하기 위해 감압 건조 시킨 후, 탈이온수로 10ml로 정용하였다. AccQ-Tag Chemistry Package Kit를 이용하여 검량표준물과 시료를 유도체화 하였다. 검량표준물(Amino Acid Standard H, Thermo scientific CO, NCI0180, USA) 10 μ l를 sample tube에 담고 70 μ l AccQ-Fluor Borate Buffer(Reagent 1)을 sample tube에 넣고 재빨리 vortexing 시키고 20 μ l AccQ-Fluor Reagent를 sample tube에 가하고 수 초간 vortexing하였다. 상온에서 몇 분간 방치 후에 내용물을 autosampler vial 내의 limited volume insert(LVI)에 옮긴 후 heating block을 사용하여 vial을 10분간 가열하고 가수분해 된 시료를 유도체화하기 위하여 시료 20 μ l를 sample tube에 담고 60 μ l AccQ-Fluor Borate Buffer를 sample tube에 넣고 재빨리 vortexing 시키고 20 μ l AccQ-Fluor Reagent를 sample tube에 가하고 1분 동안 기다린 후에 과량의 reagent가 AMQ로

가수분해되고, 유도체화 반응이 종결된다. 내용물을 autosampler vial 내의 limited volume insert(LVI)에 옮긴 후 heating block을 사용하여 vial을 10분간 가열하였다.

(나) HPLC 분석

Acetonitrile HPLC grade (J. T. Baker, USA), water는 3차 증류수를 사용하였고, Eluent A(수용액 buffer, Waters AccQ-Tag Eluent A):Eluent B(60% acetonitrile) 용액을 gradient 비율로 혼합 한 후 이동상으로 하였다. 아미노산 분석에는 YL 9100 HPLC system (Younglin Co., Korea)와 Nova-Pak™ C18 column (4.6mm ID×150mm, 4μm, Waters Co., USA)을 사용하였다.

(4) 지방산

각 시료별 해삼의 0.5g에 대하여 4배량의 chloroform : metanol 혼합 용매 (2:1, v/v)를 가하여 homogenizer 2분간 교반한 후, 여과하여 얻은 여액을 플라스크에 넣고 evaporator로 용매를 제거하여 지질을 추출하였다. 추출한 지질은 14% BF₃-methanol (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) 2ml를 가하고 30분간 85℃에서 가열시킨 다음, 석유 ether로 추출하여 지방산 분석용 시료로 사용하였다. GC 분석조건은 DB-Wax capillary column(60cm×0.32mm I.d., film thickness 0.25um, Agilent J&W, USA)이 장착된 gaschromatography (YL 6100 system, Younglin Co., Korea)로 carrier gas는 nitrogen을 사용하였다. Injector와 detector (FID) 온도는 각각 250℃로 설정하였고, 오븐 온도는 140℃에서 240℃까지 3℃ /min 증가시켰다. 각 지방산은 동일조건에서 표준지방산(Supelco 37 component FAME Mix)을 retention time을 비교하여 동정하였으며 함량은 각 피크의 면적을 상대적인 백분율로 나타내었다.

(5) 콜라겐

콜라겐은 Bergman and Loxley의 방법에 따라 측정한다. 해삼 분쇄 시료 0.3g 씩 cap tube에 취하고 6N HCl 10ml를 뚜껑을 닫고 110℃에서 24시간 가수분해한다.

가수분해 된 시료는 염산을 제거하기 위해 감압 건조 시킨 후, 탈이온수로 10ml로 정용하였다. 시료액을 0.3ml씩 취하여 0.6ml의 isopropanol과 교반 후 7% chloramine 완충용액(Chloramine T sigma C-9887, USA - 20ml acetate citrate buffer)을 0.3ml 첨가하고 5분 동안 상온에 방치 후 Ehrlich 시약(10g p - dimethylaminobenzaldehyde, Sigma D-2004, USA - 60% perchloric acid 11 ml에 용해)을 4ml 가하여 58℃에서 25분간 반응 후 UV/visspectrometer Lambda 25(Perkin Elmer, USA) 558nm에서 30분 이내에 hydroxyproline을 측정하여 환산하였다.

나. 연구결과

(1) 일반성분

해삼 건조방법별 일반성분을 살펴보면 천일건조의 경우 수분 24.46%, 회분 14.88%, 조지방 1.59%, 조단백질 28.40%, 탄수화물 30.68%이었으며, 열풍건조의 경우 수분 8.82%, 회분 12.11%, 조지방 1.38%, 조단백질 36.49%, 탄수화물 41.21%이었다. 냉풍건조의 경우는 수분 23.29%, 회분 8.74%, 조지방 1.63%, 조단백질 32.49%, 탄수화물 33.84%이었고 동결건조의 경우 수분 5.29%, 회분 12.29%, 조지방 1.55%, 조단백질 37.17%, 탄수화물 43.75%이었다. 천일건조에서 수분 함량이 가장 높았으며, 냉풍 건조시에도 수분함량이 다소 높았다. 단백질은 열풍건조와 동결건조에서 높게 나타났으며, 조지방은 건조방법별 큰 차이는 보이지 않았다(그림 5-1).

국내 건해삼의 지역별 일반성분을 살펴보면 군산산의 경우 수분 8.22%, 회분 32.69%, 조지방 3.76%, 조단백질 52.22%, 탄수화물 3.11%, 완도산의 경우 수분 5.11%, 회분 21.33%, 조지방 4.84%, 조단백질 59.12%, 탄수화물 9.60%, 태안산의 경우 수분 14.58%, 회분 29.55%, 조지방 4.01%, 조단백질 51.25%, 탄수화물 0.61%, 대천산의 경우 수분 10.00%, 회분 24.53%, 조지방 5.80%, 조단백질 53.82%, 탄수화물 5.85%, 통영산의 경우 수분 12.35%, 회분 22.28%, 조지방 5.41%, 조단백질 56.61%, 탄수화물 3.35% 이었다. 완도산이 수분함량이 가장 낮았으며 전체적으로 조단백질은 50% 이상, 조지방은 3~6% 수준이었으며 조회분은 20~30%로 태안산과 군산산이 다소 높은 것으로 분석되었다(그림 5-2).

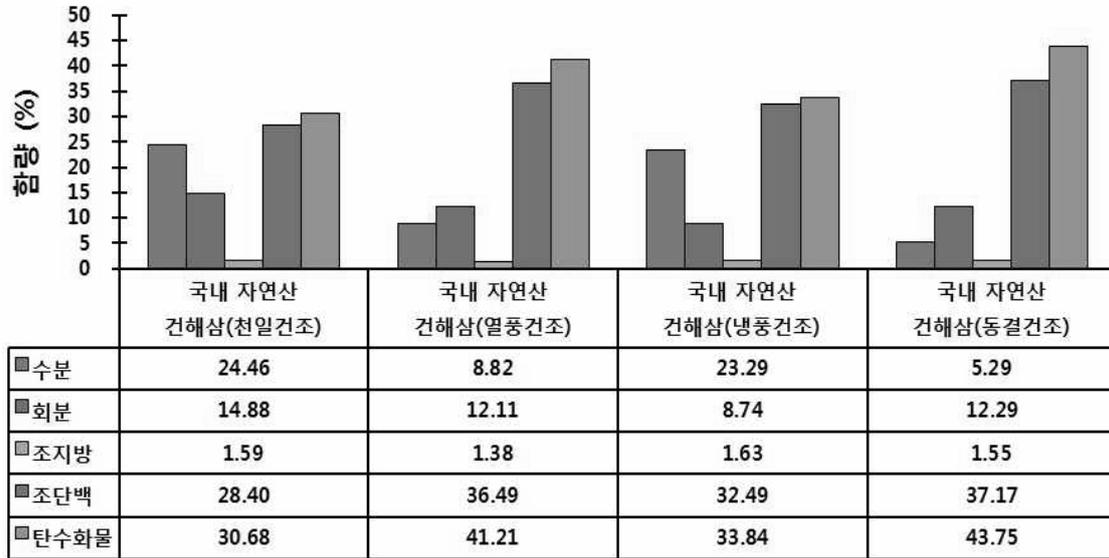


그림 5-1. 국내 해삼 건조방법별 일반성분 함량 변화

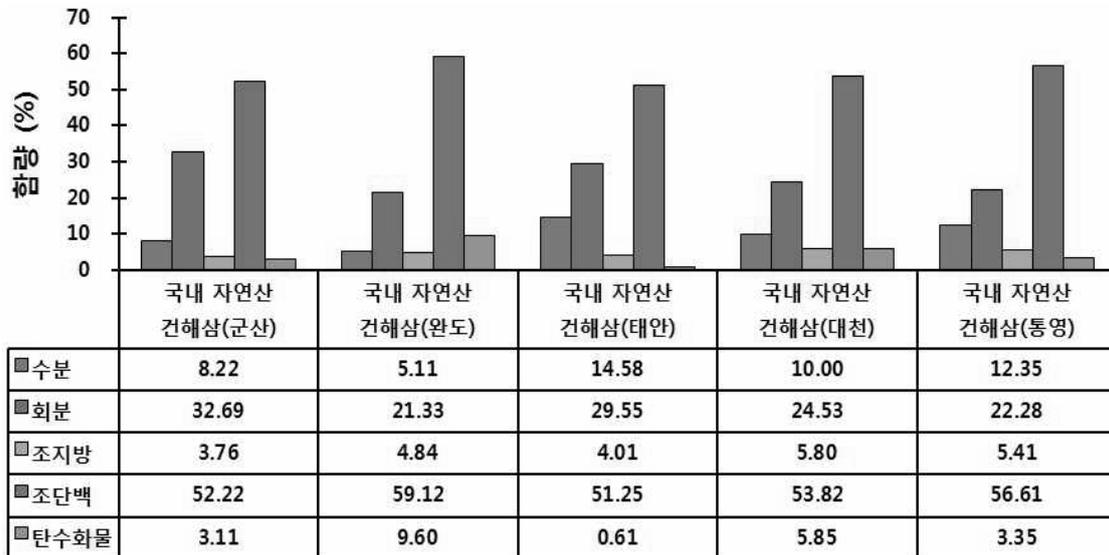


그림 5-2. 건해삼 국내지역별 일반성분 함량 변화

(2) 아미노산

건조방법별 아미노산 함량 변화를 살펴보면, 천일건조의 경우 필수아미노산은 275.57mg/100g, 총아미노산은 1,175.20mg/100g, 열풍건조의 경우 필수아미노산은 264.36mg/100g, 총아미노산은 1,117.31mg/100g, 냉풍건조의 경우 필수아미노산은 253.66mg/100g, 총아미노산은 1,059.63mg/100g, 동결건조의 경우 필수아미노산은 461.46mg/100g, 총아미노산은 1,856.95mg/100g으로 천일건조, 열풍건조, 냉풍건조의 경우 총아미노산은 큰 변화를 보이지 않았으나, 동결건조 조건에서는 함량이 높은 것으로 분석되었다(그림 5-3).

지역별 국내 건해삼의 경우 군산산의 경우 필수아미노산은 250.45mg/100g, 총아미노산은 894.09mg/100g, 완도산의 경우 필수아미노산은 176.93mg/100g, 총아미노산은 507.29mg/100g, 태안산의 경우 필수아미노산은 351.63mg/100g, 총아미노산은 1,007.96mg/100g, 대천산의 경우 필수아미노산은 691.69mg/100g, 총아미노산은 1,474.76mg/100g, 통영산의 경우 필수아미노산은 606.80mg/100g, 총아미노산은 2,304.87mg/100g으로 나타났다. 총아미노산 함량은 통영산이 가장 높았으며 완도산이 가장 낮게 나타났는데 이는 지역별 해삼가공방법에 의한 차이로 보인다(그림 5-4).

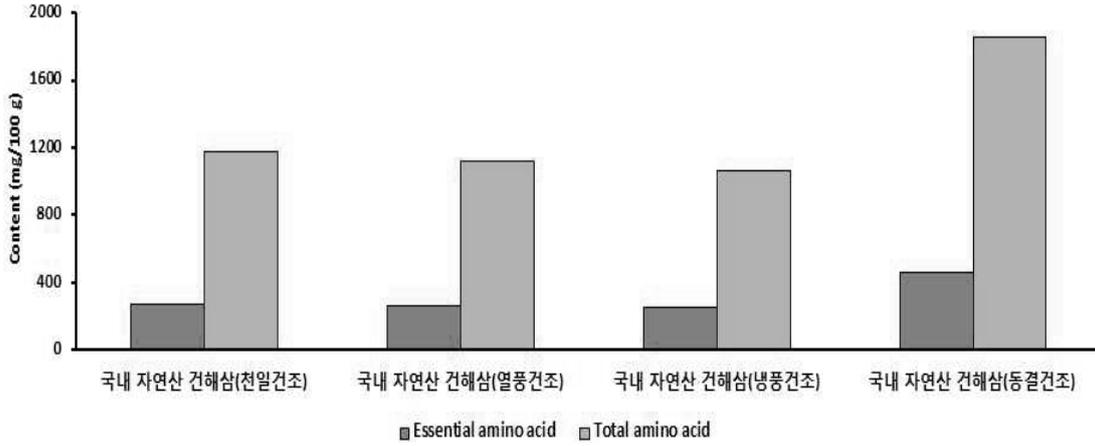


그림 5-3. 건조방법별 필수아미노산과 총아미노산 비교

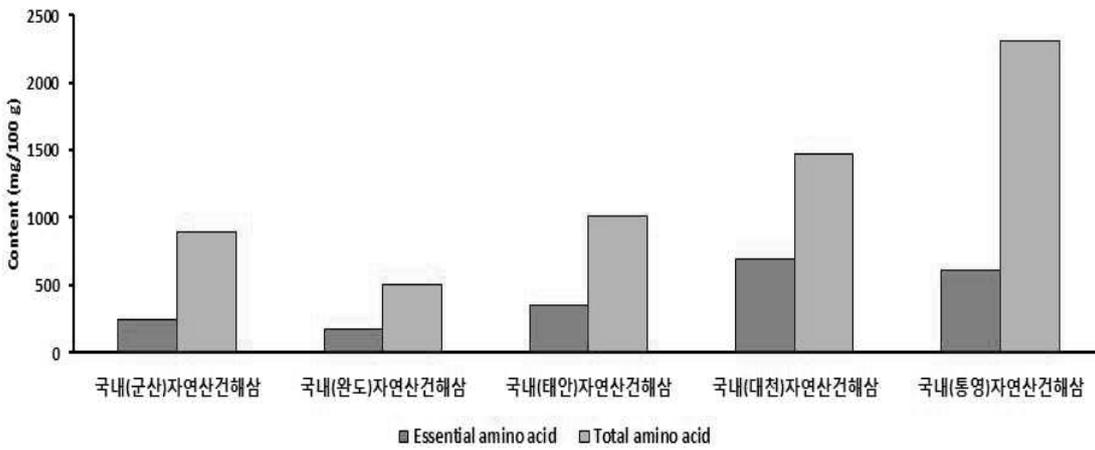


그림 5-4. 건해삼 국내지역별 필수아미노산과 총아미노산 비교

(3) 지방산

건조방법별 및 국내 지역별 건해삼에 대한 지방산 분석결과는 표 5-1과 표 5-2와 같다. 건조조건별 지방산 변화를 살펴보면 총포화지방산의 경우 냉풍건조 조건이 낮게 나타난 반면, 불포화 지방산은 가장 높게 나타났다. 필수지방산 함량은 천일건조 조건에서 낮았으며, 냉풍건조과 동결건조에서 높게 나타났다. 지역별 건해삼의 경우 태안산 건해삼에서 총포화지방산함량이 낮게 나타난 반면, 불포화지방산 함량은 상대적으로 높게 나타났으며, 필수지방산은 태안산에서 높게 나타났다(표 5-3).

표 5-1. 해삼 포화지방산 분석결과

시 료 명	포화 지방산(%)									
	C14:0	C15:0	C16:0	C17:0	C18:0	C20:0	C21:0	C22:0	C23:0	C24:0
국내 자연산 건해삼(천일건조)	1.88	0.59	13.50	2.71	1.14	9.54	8.28	1.00	3.36	0.33
국내 자연산 건해삼(열풍건조)	0.97	0.35	14.35	3.09	1.61	10.49	6.92	2.27	1.74	0.56
국내 자연산 건해삼(냉풍건조)	1.37	0.20	8.94	1.23	1.67	7.01	8.16	1.73	1.93	0.75
국내 자연산 건해삼(동결건조)	0.81	0.50	16.73	1.23	2.48	9.87	7.51	1.47	2.74	0.43
국내(군산) 자연산 건해삼	1.21	0.60	10.87	1.40	0.51	10.95	5.97	1.90	2.79	0.59
국내(완도) 자연산 건해삼	1.08	0.55	11.49	0.97	1.82	7.67	5.33	1.21	2.02	0.09
국내(태안) 자연산 건해삼	0.77	0.50	8.98	0.85	2.32	6.27	4.75	1.20	1.47	0.08
국내(대천) 자연산 건해삼	0.76	0.78	9.75	1.30	0.97	7.91	6.06	1.77	2.19	0.12
국내(통영) 자연산 건해삼	1.89	0.77	8.58	1.13	0.60	8.76	5.57	1.57	2.47	0.16

표 5-2. 해삼 불포화지방산 분석결과

시 료 명	불포화 지방산(%)															
	C15:1	C16:1	C17:1	C18:1	C20:1 n-9	C22:1 n-9	C18:2	C20:2	C22:2	C18:3 n-6	C18:3 n-3	C20:3 n-6	C20:3 n-3	C20:4 n-6	C20:5 n-3	C22:6 n-3
국내 자연산 건해삼(천일건조)	5.76	0.69	1.22	2.87	16.03	1.11	4.77	0.87	0.61	16.30	0.50	0.70	2.10	1.68	0.80	1.67
국내 자연산 건해삼(열풍건조)	3.06	1.34	0.25	3.26	12.69	1.35	9.86	0.82	1.12	14.96	0.96	1.52	1.97	1.09	0.75	2.67
국내 자연산 건해삼(냉풍건조)	4.17	0.78	0.46	3.59	14.92	1.00	13.20	0.84	1.50	16.87	0.51	1.15	2.54	1.42	0.71	3.35
국내 자연산 건해삼(동결건조)	2.83	2.25	0.75	3.87	9.31	1.35	11.46	1.91	0.85	14.11	0.62	0.98	1.59	2.00	0.56	1.77
국내(군산) 자연산 건해삼	6.02	0.67	1.28	2.49	11.72	1.06	16.28	1.89	1.19	6.41	0.52	1.27	3.97	0.78	1.72	5.94
국내(완도) 자연산 건해삼	5.52	0.50	0.53	4.52	15.22	0.73	15.73	1.03	0.79	14.02	0.36	0.81	4.17	0.88	0.28	2.70
국내(태안) 자연산 건해삼	5.04	0.77	0.67	8.46	14.48	0.52	23.46	0.51	0.87	9.09	0.62	0.80	4.69	0.85	0.23	1.74
국내(대천) 자연산 건해삼	7.76	0.39	0.86	4.13	5.18	0.84	16.71	0.96	1.24	10.04	0.89	1.18	4.43	1.04	0.37	2.40
국내(통영) 자연산 건해삼	7.70	0.25	1.44	3.45	16.21	0.51	17.16	1.36	1.12	7.87	0.73	1.05	4.85	1.19	0.48	3.13

표 5-3. 포화지방산 및 불포화 지방산 함량(%)

시 료 명	총포화지방산(%)	총불포화지방산(%)	필수지방산(%)
국내 자연산 건해삼(천일건조)	42.33	57.67	6.95
국내 자연산 건해삼(열풍건조)	42.35	57.65	11.91
국내 자연산 건해삼(냉풍건조)	32.99	67.01	15.13
국내 자연산 건해삼(동결건조)	43.77	56.23	14.08
국내(군산) 자연산 건해삼	36.79	63.21	17.58
국내(완도) 자연산 건해삼	32.23	67.77	16.97
국내(태안) 자연산 건해삼	27.19	72.81	24.93
국내(대천) 자연산 건해삼	31.61	58.39	18.64
국내(통영) 자연산 건해삼	31.50	68.50	19.08

(4) 콜라겐

건해삼 건조방법별 콜라겐 함량을 살펴보면 천일건조의 경우 232.15mg/100g, 열풍건조의 경우 219.96mg/100g, 냉풍건조의 경우 330.82mg/100g, 동결건조의 경우 253.70mg/100g으로 냉풍건조 조건이 제일 높고, 열풍건조에서 가장 낮게 나타났다(그림 5-5). 산지별 건해삼의 콜라겐 함량을 살펴보면 군산산 461.18mg/100g, 완도산 117.39mg/100g, 태안산 355.88mg/100g, 대천산 414.38mg/100g, 통영산 160.58mg/100g으로 군산산이 가장 높고 완도산과 통영산이 낮은 것으로 나타났다. 이는 건해삼 제조시 시료 전처리 과정 및 회수에 의한 차이로 보인다(그림 5-6).

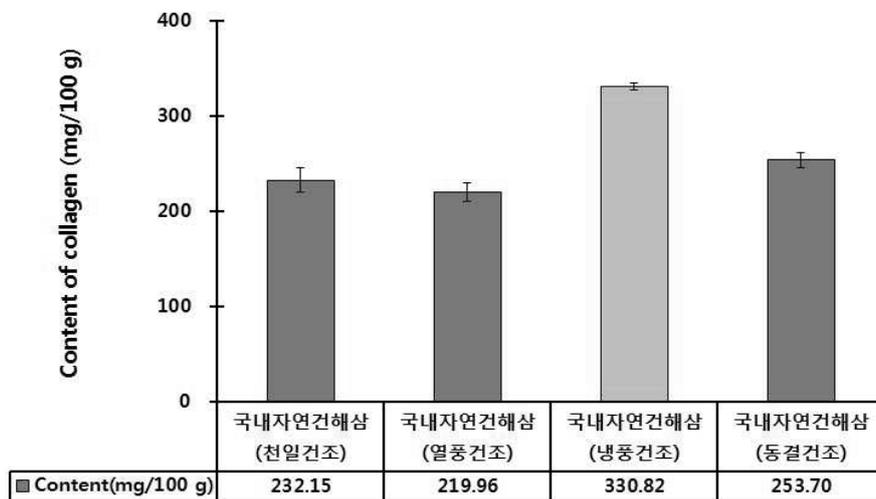


그림 5-5. 국내 해삼 건조방법별 콜라겐 함량 변화

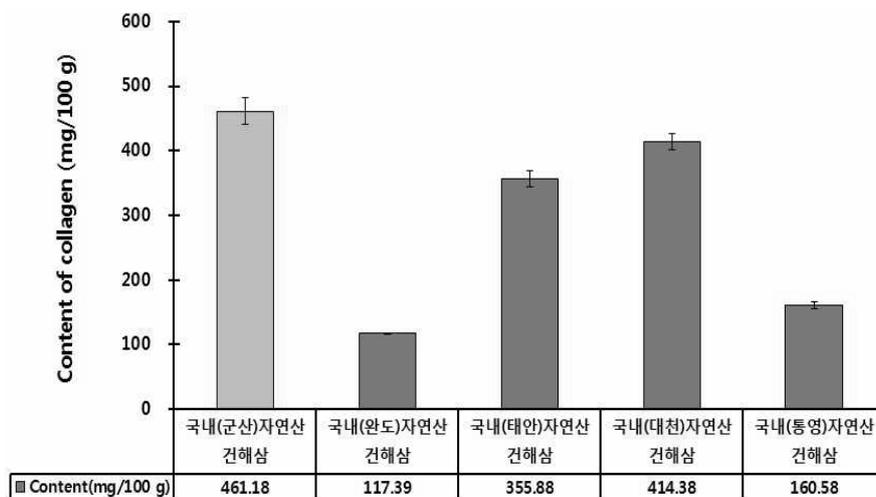


그림 5-6. 건해삼 국내지역별 콜라겐 함량

3. 해삼 안전성 검사

가. 재료 및 방법

(1) 분석시료

해삼 안전성 검사에 사용한 시료는 건조조건별 국내산 건해삼으로 천일, 열풍, 냉풍, 동결건조 조건 시료 4종, 국내산 균산, 완도, 대천, 태안, 통영 자연산 건해삼 시료 5종 등 총 9종 시료를 선정하여 분석하였다.

(2) 항생제 잔류량 검사

테트라사이클2 4종, 플로로퀴로론계 5종 및 옥솔솔린산 항생제 잔류량 총 10종을 조사하였다.

(가) 테트라사이클린(Tetracycline)계 항생물질 잔류량 모니터링 실험방법

1) 시약 및 시료

항생제의 표준품 Tetracycline (TC), Oxytetracycline (OTC), Doxycycline (DC), Chlorotetracycline (CTC) 등 tetracycline계 항생물질 4종의 표준품은 모두 Sigma사(USA)제품을 사용하였다. 그리고 시료에서 추출한 항생제 정제에는 Sep-pak 18 카트리지(Vac 3cc, 500mg, Orochem, USA)를 사용하였으며, 실험에 사용된 acetonitril, methanol은 HPLC grade(J. T. Baker, USA), water는 3차 증류수, oxalic acid는 Sigma사(USA)제품을 사용하였다.

2) 시료 전처리

Tetracycline계 항생물질의 추출 및 분석은 다음과 같이 실시하였다. 분쇄된 해삼 2g에 0.5% trichloroacetic acid (TCA, Sigma, USA)를 40ml 첨가하여 homogenizer로 2분간 균질화하였다. 시료 균질액은 8,000rpm에서 20분간 원심분리(Supra 22K, Hanil, Korea) 한 후 잔사를 제거한 상층액을 취하여 분액여두로 옮긴 후 지질성분을 제거하기 위하여 n-hexane과 chloroform (9:1)용액을 40ml 첨가하여 강하게 30초 동안 흔든 다음 하층액을 취하였다(2회 반복). 지질이 제거된 하층액은 감압농축기(EYELA, model N-2NW, Japan)로 40℃에서 약 3ml 정도까지 농축하였다.

시료 농축액은 syringe를 이용하여 Sep-pak 18 카트리지에 흡착시켰다. Sep-pak 18 카트리는 시료를 흡착시키기 전에 methanol 20ml, 증류수 20ml, 5% EDTA 용액 10ml를 순차적으로 용출시켜 카트리지를 활성화시킨 후 사용하였다.

항생제 추출물을 흡착시킨 카트리는 증류수 40ml로 세척하여 수용성 성분을 제거한 후, methanol 40ml로 흡착물을 용출시킨다. Methanol 용출물은 40℃에서 감압 농축하여 건고시키고, 건고물을 acetonitrile과 증류수(3:7) 혼합액을 사용하여 2ml로 정용하고, 0.2 μ m membrane filter로 여과 한 후 HPLC로 분석하였다. 기기분석의 조건은 아래 표 5-4와 같다.

표 5-4. Tetracyclines 분석을 위한 HPLC 분석 조건

HPLC	YL 9100 HPLC System
Column	Eclipse XDB-C18, 4.6mm ID × 250mm, 5 μ m
Mobile phase	Methanol : Acetonitrile : 0.01M oxalic acid = 1 : 2 : 7 (pH 2.0 with ammonia water, v/v/v)
Flow rate	1ml/min
Detector	UV/VIS Detector 360 nm
Injection volumn	20 μ l
Ending time	20 min

(나) 퀴놀론(Quinolone)계 항생물질 잔류량 모니터링 실험방법

1) 시약 및 시료

항생제의 표준품 Ofloxacin(OFL), Norfloxacin(NOR), Ciprofloxacin(CIP), Enrofloxacin (ENRO), Pefloxacin(PEF) 등 quinolone계 항생물질 5종의 표준품은 모두 Sigma사 (USA)제품을 사용하였다. 실험에 사용된 acetonitril, methanol은 HPLC grade(J. T. Baker, USA), water는 3차 증류수, phosphoric acid 및 tetrahydrofuran등의 유기용 매는(Junsei, Japan)제품을 사용하였다.

2) 시료 전처리

Quinolone계 항생제 추출을 위한 전처리 과정은 분쇄된 해삼 2g을 취하여 이 동상과 acetonitril의 1:1 혼합액을 40ml를 가하여 homogenizer로 2분간 균질화 한 다음, 단백질을 제거하기 위하여 80℃에서 5분간 증탕으로 가열하여 방냉 하였다. 가열 추출액은 5,000rpm에서 10분간 원심분리하여 상등액만을 취하였다. 이 상등액에 Hexane(50ml)을 가하여 진탕한 후 원심분리(3000rpm, 5min)로 액층을 완전히 분리하였다. 하층액(추출액)에 n-propanol 10ml을 넣어 40℃에서 잔사만이 남을 때까지 감압농축기(EYELA, model N-2NW, Japan)로 농축한 다음, 이 건고물에 이동상 2.5ml을 가하고 1분간 초음파 처리하여 충분히 용해시킨 다음 0.2µm membrane filter로 여과 한 후 HPLC로 분석하였다.

3) HPLC 분석

0.1M phosphoric acid (pH 2.5), acetonitril 용액을 91:9 (added to 5ml/L tetrahydrofuran)의 비율로 혼합 한 후 이동상으로 하였다. 기기분석의 조건은 v_v 5-5와 같다. 항생제 표준품 및 추출물액의 분석에는 YL 9100 HPLC system (Younglin Co., Korea)와 Eclipse XDB-C18 column (4.6mm ID×250 mm, 5µm, Agilent Co., USA)을 사용하였다.

표 5-5. Quinolone계 항생물질 분석을 위한 HPLC 조건

HPLC	YL 9100 HPLC System
Column	Eclipse XDB-C18, 4.6mm ID × 250mm, 5µm
Mobile phase	0.1M phosphoric acid (pH 2.5) = ACN = 91 : 9 (added to 5ml/L tetrahydrofuran)
Flow rate	1ml/min
Detector	UV/VIS Detector 450 nm
Injection volumn	20µl
Ending time	50 min

(다) 옥소린산(Oxolinic acid) 잔류량 모니터링 실험방법

1) 시약 및 시료

항생제의 표준품 Oxolinic acid 항생물질 표준품은 Sigma사(USA)제품을 사용하였다. 실험에 사용된 acetonitril, methanol은 HPLC grade (J. T. Baker, USA), water는 3차 증류수를 사용하였다.

2) 시료 전처리

어류에 대한 옥소린산(Oxolinic acid) 분석은 우리나라 식품위생법에 의한 식품공전 제7편 일반시험법(2002) 및 국립수산물품질검사원의 분석방법을 변형하여 사용하였다. 분쇄된 해삼 2g을 취하여 dichloromethane (40ml)을 첨가하여 homogenizer로 2분간 균질화하였다. 균질액은 8,000rpm에서 20분간 원심분리한 후 dichloromethane층만을 취하여 감압 농축기를 이용하여 35℃에서 1ml로 농축시켰으며, 이 농축액에 0.1N HCl 40ml를 가하여 추출액을 산성화시킨 후, 분액여두에 옮기고, hexane (40ml)으로 2회 세척하여 지질 성분을 제거하였다. 지질을 제거한 추출액은 dichloromethane (40ml)을 사용하여 2회 추출하고, 모아진 dichloromethane층을 35℃에서 감압농축기에서 완전히 건조시켰다. 이 건조물은 옥소린산 분석 시 HPLC에서 사용하는 이동상 용매 2ml로 용해시킨 후 0.2 μ m membrane filter로 여과 한 후 HPLC로 분석하였다.

3) HPLC 분석

Methanol : acetonitril : 0.01M oxalic acid 용액을 1 : 3 : 6의 비율로 혼합 한 후 이동상으로 하였다(표 5-6). 항생제 표준품 및 추출물액의 분석에는 YL 9100 HPLC system(Younglin Co., Korea)와 Eclipse XDB-C18 column (4.6mm ID×250mm, 5 μ m, Agilent Co., USA)을 사용하였다.

표 5-6. Oxolinic acid 분석을 위한 HPLC 조건

HPLC	YL 9100 HPLC System
Column	Eclipse XDB-C18, 4.6mm ID × 250mm, 5 μ m
Mobile phase	methanol : acetonitril : 0.01M oxalic acid = 1 : 3 : 6
Flow rate	1ml/min
Detector	UV/VIS Detector 360 nm
Injection volumn	20 μ l
Ending time	15 min

(3) 중금속 검사

카드뮴(Cd), 구리(Cu), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 납(Pb), 수은(Hg)등을 대상으로 분석하였다. 실험방법은 분석용 시료 10g을 정밀히 취하여 100ml 삼각플라스크에 넣고 0.1N 염산용액 50ml을 넣어 항온수평진탕기(100회/min, 진폭 10cm)를 사용하여 30℃를 유지하면서 1시간 진탕한 다음 거름종이 5B 또는 이하 동등한 여지를 사용하여 여과한 다음 분해액을 적당히 희석하여 Optima 7000DV 유도결합플라즈마 발광분광계(Perkin Elmer, USA)를 이용하여 표준용액 검량선을 작성하여 측정하였다.

나. 연구결과

(1) 항생제 잔류량 검사

테트라사이클린계 4종, 플로로퀴로론계 5종 및 옥소린산 항생제 잔류량 총 10종에 대한, 건조방법별 건해삼 및 국내 지역별 건해삼에 대한 잔류 항생제량을 검사하였다. 검사결과 식약청 잔류허용기준에 부적합한 시료는 존재 하지 않았다(표 5-7). 이는 일부 해외 해삼양식에서 항생제가 사용되고 있지만, 해삼 양식의 휴약기간 준수 및 가공과정 중에서 대부분의 항생제가 제거되기 때문인 것으로 사료된다.

표 5-7. 해삼 항생물질 잔류량 검사 결과

시 료 명	Tetra cycline	Oxytetra cycline	Doxy cycline	Chloro tetracy cline	Oflo xacin	Norflo xacin	Peflo xacin	Ciproflo xacin	Enroflo xacin	Oxolini cacid
	(ppm)									
국내 자연산 건해삼 (천일건조)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내 자연산 건해삼 (열풍건조)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내 자연산 건해삼 (냉풍건조)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내 자연산 건해삼 (동결건조)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내자연산 건해삼(군산)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내자연산 건해삼(완도)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내자연산 건해삼(태안)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내자연산 건해삼(대천)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내자연산 건해삼(통영)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
식약청 잔류허용기준	0.20이하	0.20이하	0.05이하	0.20이하	ND	ND	ND	0.10이하	0.10이하	0.10이하

(2) 중금속 검사

해산물의 가장 큰 문제점 중 하나는 오염된 환경에서 자라게 될 경우, 체내에 중금속 등이 축적된다는 것이다. 건해삼의 가공방법별, 국내지역별로 주요 관심 중금속-카드뮴(Cd), 구리(Cu), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 납(Pb), 수은(Hg)-의 농도에 대하여 조사하였다. 해삼 내 중금속 조사결과 주요 관심 중금속 항목들에 대해서는 중금속이 검출되지 않았다(표 5-8).

표 5-8. 해삼 중금속 검사 결과

시 료 명	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Hg
국내 자연산 건해삼(천일건조)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내 자연산 건해삼(열풍건조)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내 자연산 건해삼(냉풍건조)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내 자연산 건해삼(동결건조)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내(군산)자연산건해삼	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내(완도)자연산건해삼	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내(태안)자연산건해삼	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내(대천)자연산건해삼	ND	ND	ND	ND	ND	ND
국내(통영)자연산 건해삼	ND	ND	ND	ND	ND	ND

4. 건해삼 제조 및 평가

가. 1차 건해삼 제조

(1) 실험방법

건강한 생 해삼의 내장 제거 작업을 위해 해삼 복부 절개 부위를 최소화하여 내장을 제거하였다. 무염수를 95℃로 끓인 후 내장이 제거된 해삼을 끓는 물에 넣고 55분간 삶고 1일 자연 건조하는 과정을 2회 반복하여 자숙해삼을 제조하였다. 이를 다시다양한 식염농도(무염, 5, 10, 15, 20% 식염수)로 95℃에서 55분간 다시 삶아서 1일 자연 건조 후 무염수를 95℃로 끓인 후 삶아 1차 건해삼을 제조하였다. 1차 건해삼을 다시 무염수를 95℃로 끓인 후 삶아 1일 자연 건조 후 2차 건해삼을 제조하였다. 이렇게 제조된 1, 2차 자숙해삼을 자연건조, 동결건조, 온풍건조(각각 40, 50, 60℃)방법으로 건조하여 최종적으로 건해삼을 제조하였다. 자연건조법은 바람이 잘 통하며 직사광선이 차단된 음지에서 8일 동안(주간 평균 기온 $21 \pm 3^\circ\text{C}$, 야간 평균기온 $12 \pm 3^\circ\text{C}$) 건조하였다. 동결건조법은 초저온냉동고에서 -76°C 로 예비 동결시킨 해삼을 진공동결건조기를 이용하여 -84°C 에서 3.2Pa로 8일간 건조하였다. 온풍건조는 dry oven의 온도를 각각 40, 50, 60℃로 설정하여 건조를 시켰으며 1일 3회 수분공급을 통해 표면의 갈라짐 현상을 예방하였으며 8일동안 건조하였다(그림 5-7).

(2) 실험결과

그림 5-8부터 그림 5-12는 위의 제조공정 및 조건에 따라 1차 건해삼 제조과정을 거친 후 2차 건해삼을 제조한 결과로 해삼 길이와 형태상의 변화를 관찰하였다. 자연건조에 의한 방법은 타 건조방법에 비해 건조소요시간이 많이 걸리고 기후에 따라 건조온도와 수분함량 등의 조건이 일정하지 않아 고른 품질의 해삼을 제조하기가 어려웠다. 동결건조의 경우 최종산물인 건해삼의 속이 빈 상태로 표면에 균열이 많이 발생하여 건해삼 건조방법으로는 적합하지 않았다. 온풍건조의 경우 자연건조와 동결건조에 비해 건해삼의 상태가 다소 양호한 것으로 나타

났으며, 염장농도에 따른 건해삼의 형태와 길이변화를 관찰한 결과 15% 이상의 염장농도에서 건해삼의 상태가 양호한 것으로 관찰되었다.

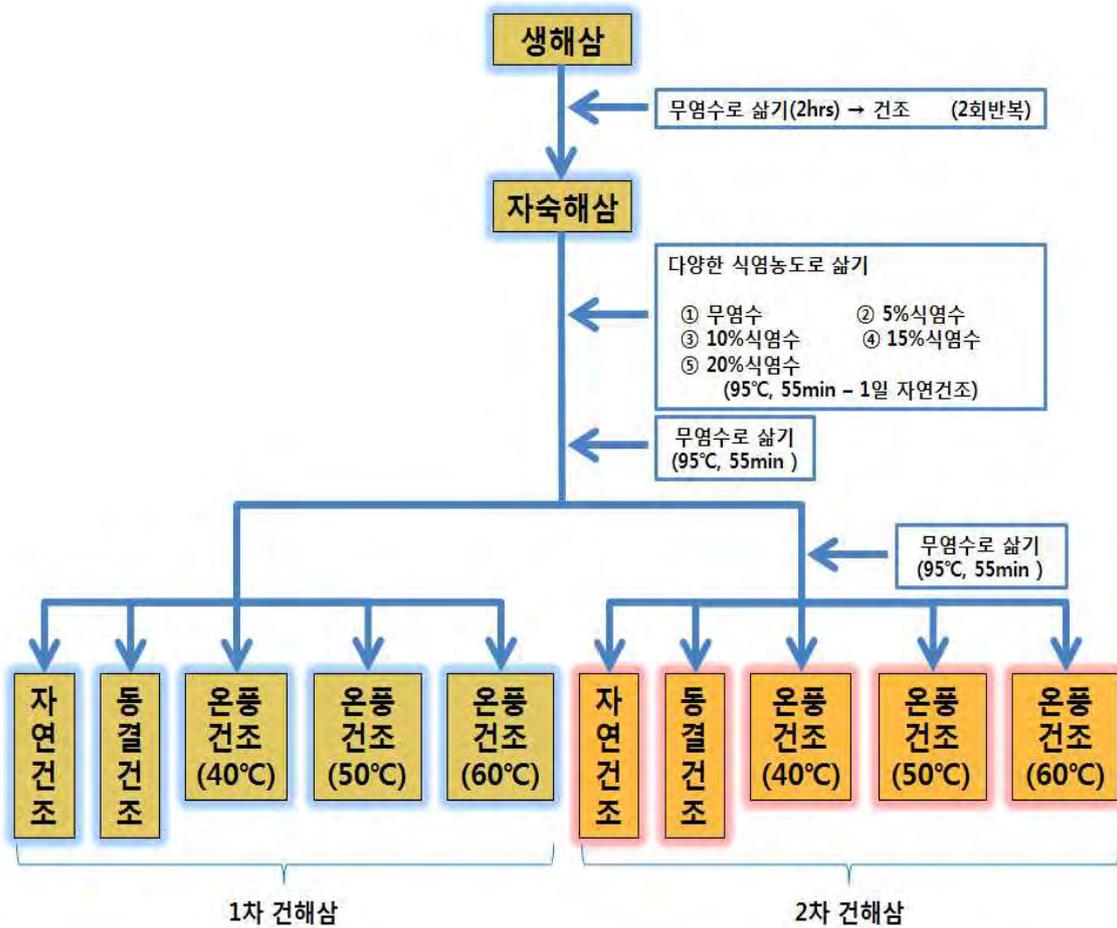


그림 5-7. 1차 건해삼 제조조건 및 공정도

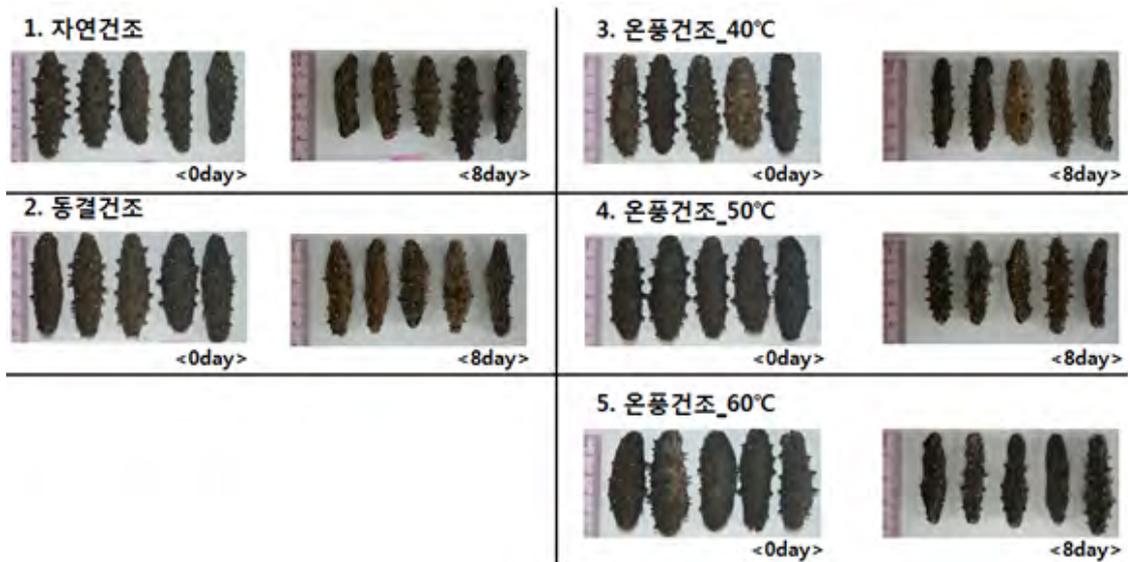


그림 5-8. 염장농도 0%일 때 건조조건별 건해삼 제조 결과

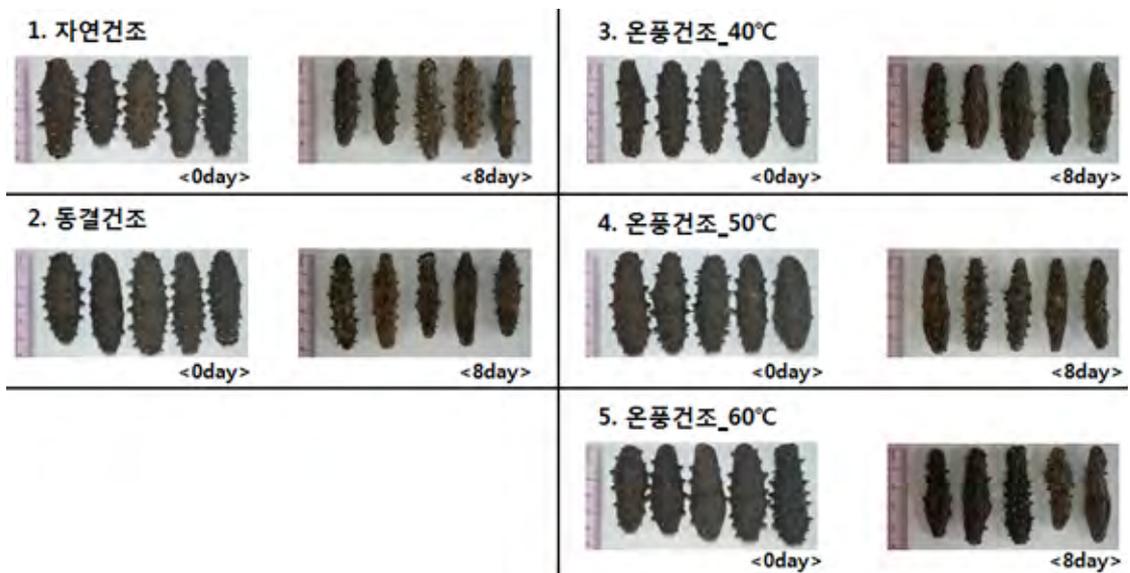


그림 5-9. 염장농도 5%일 때 건조조건별 건해삼 제조 결과



그림 5-10. 염장농도 10%일 때 건조조건별 건해삼 제조 결과



그림 5-11. 염장농도 15%일 때 건조조건별 건해삼 제조 결과



그림 5-12. 염장농도 20%일 때 건조조건별 건해삼 제조 결과

나. 2차 견해삼 제조

(1) 실험방법

1차 분석에서 제조된 자숙해삼을 1차 가공한 결과 최적의 조건으로 선정된 염장 식염수의 최고 농도보다 높은 조건인 20%, 30%, 40%에서 삶아 건조한 후 다시 무염수에 2회 삶아 견해삼을 제조하였다

(2) 실험결과

상기 실험방법에 따라 견해삼을 제조한 후 길이와 형태상의 변화를 관찰한 결과 염장식염수의 농도가 증가함에 따라 식염이 많이 석출되었으나 표면의 균열이나 갈라짐 현상은 감소하는 것으로 나타났다. 최적의 식염의 농도는 30%가 적당한 것으로 관찰되었다(그림 5-13).

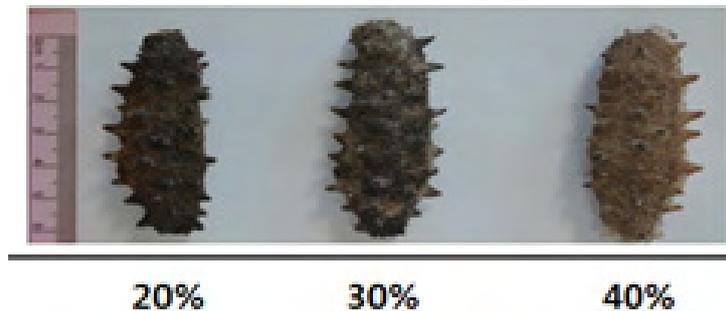


그림 5-13. 염장농도 20~40% 전처리 조건별 견해삼 제조 결과

다. 3차 건해삼 제조

(1) 실험방법

가공방법별 건해삼의 특성 분석(2차 분석)에서 적용된 염장 식염수의 농도 최적 조건인 30% 식염수 농도로 해삼을 삶고 이를 온풍 건조시켰다. 온풍 건조시 해삼의 고른 건조조건을 만들기 위해 철망에 해삼을 올려놓은 상태에서 건조를 하였으며 건조시 표면의 갈라짐과 패임을 방지하기 위해 1일 3회 수분공급을 통해 이를 방지하였다. 또한, 무염수에 삶은 결과 해삼이 짓무르는 특성을 보여 이를 방지하기 위한 다른 공정설정으로 스팀을 이용한 찌기를 통해 건해삼을 제조하였다(그림 5-14).

(2) 실험결과

가공방법별 건해삼의 특성분석(3차 분석)에서 스팀을 이용하여 찌는 경우 무염수를 이용하여 삶은 경우에 비해 짓무르는 현상은 줄어들었으나 해삼의 모양이 휘어져 건해삼의 품질에 좋지 않는 영향을 미치는 것으로 나타났다.

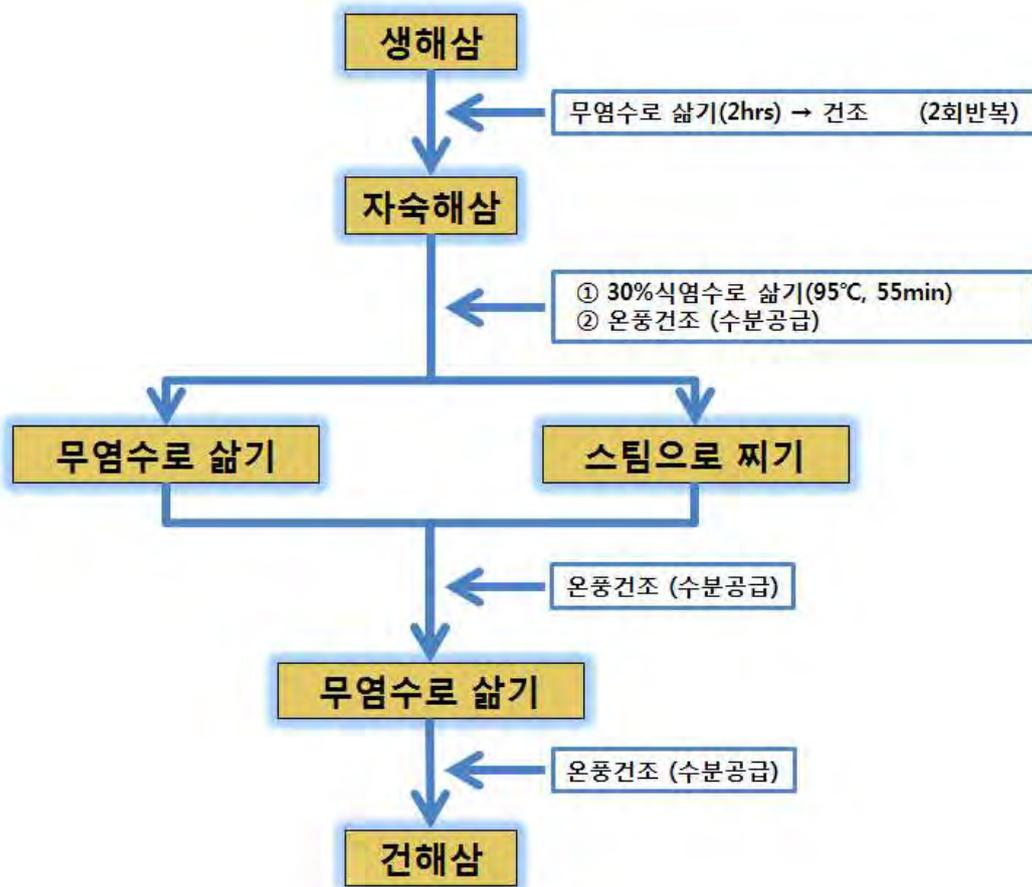


그림 5-14. 3차 건해삼 제조조건 및 공정도

라. 건해삼 복원력 테스트

(1) 실험방법

가공공정별 해삼의 크기와 형태변화를 측정하고 최종상태인 건해삼을 다시 72시간 냉침 후 복원력을 평가하였다. 1차, 2차, 3차 분석공정에서 제조된 건해삼의 품질을 평가하기 위해 72시간 냉침 후 복원력을 평가하였다. 복원력 평가 기준은 건해삼과 비교하여 복원 후 무게와 길이의 차이를 측정하여 나타냈다(그림 5-15).

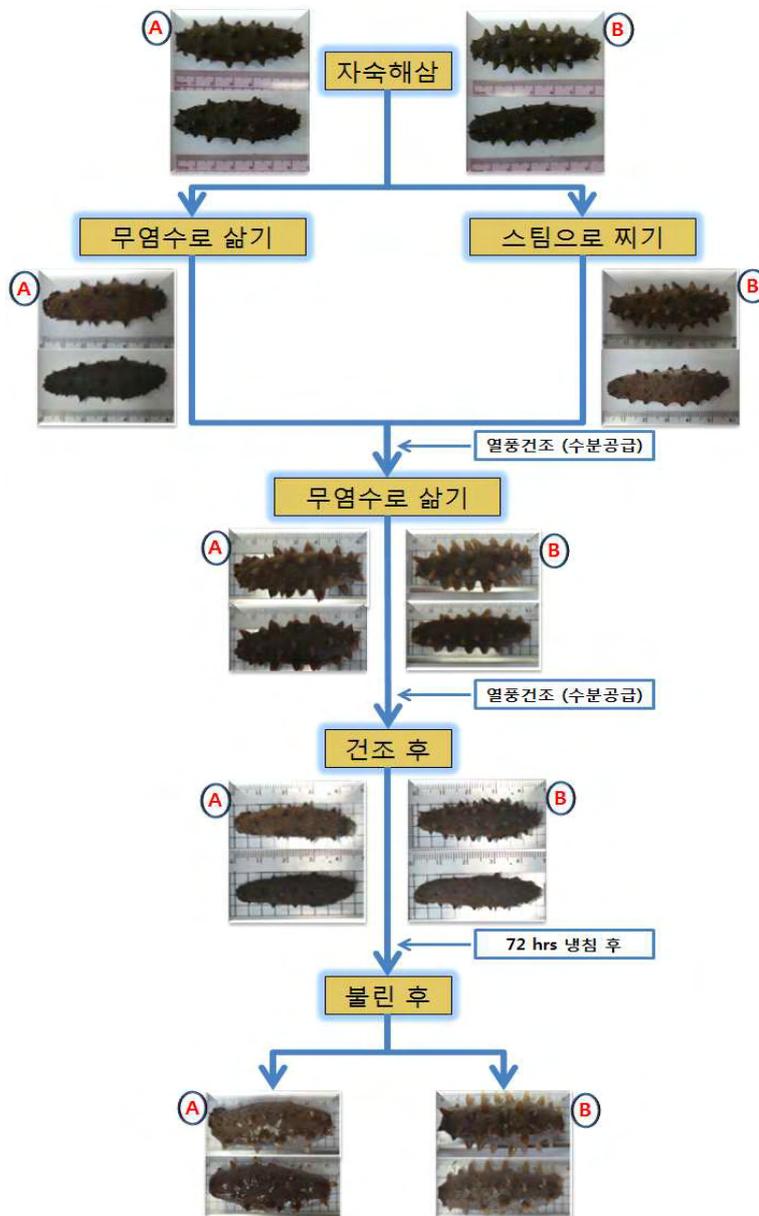


그림 5-15. 건해삼 복원력 시험

(2) 실험결과

1차 분석공정에 따라 제조된 건해삼의 복원력을 평가한 결과 무염수에 1회 삶은 (1차 건해삼) 과정 보다는 2회 삶은 과정의 건해삼에서 길이의 변화가 크지 않았으며 무게 변화는 2회 무염수에 삶은 건해삼이 보다 큰 수치를 보였다(표 5-9~10).

표 5-9. 1차 건해삼 제조조건별 건해삼 중량 복원 분석 결과

(단위 : %)

구 분		자연건조		동결건조		열풍건조(40℃)		열풍건조(50℃)		열풍건조(60℃)	
		1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차
염장 농도	0%	299.4	324.3	312.2	307.5	370.9	323.5	367.9	282.4	339.7	328.4
	5%	316.6	289.9	343.3	354.8	386.7	252.0	377.0	307.2	351.4	373.2
	10%	348.7	369.5	323.7	345.9	402.5	332.1	396.2	295.6	371.2	354.9
	15%	392.9	283.3	327.8	329.4	379.6	292.9	351.9	321.6	373.2	305.6
	20%	336.8	332.6	309.0	340.0	381.4	340.4	378.6	425.4	372.6	371.1

표 5-10. 1차 건해삼 제조조건별 건해삼 길이 복원 분석 결과

(단위 : %)

구 분		자연건조		동결건조		열풍건조(40℃)		열풍건조(50℃)		열풍건조(60℃)	
		1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차
염장 농도	0%	151.4	147.2	160.5	147.6	155.3	142.5	162.2	143.6	157.1	143.2
	5%	148.7	144.7	162.2	148.9	157.5	150.0	152.4	143.5	150.0	145.5
	10%	164.1	151.2	157.1	150.0	165.8	146.2	166.7	147.1	150.0	151.2
	15%	161.0	142.5	173.0	152.0	153.3	148.9	154.8	152.2	152.3	146.7
	20%	157.1	148.8	156.5	162.5	159.6	150.0	153.2	159.6	160.0	162.7

고농도 염장 조건에서 건해삼 제조 2차 분석공정에 따라 제조된 건해삼의 복원력을 평가한 결과 염농도에 따른 건해삼의 복원 후 길이 변화는 약 2배로 관찰되었다. 복원 후 무게변화는 건해삼의 4~5배로 증가한 것으로 나타났다(표 5-11 ~ 12).

표 5-11. 2차 건해삼 제조시 염장 조건별 건해삼 중량 복원 분석 결과

구 분	20%	30%	40%
건조후(g)	5.6	7.0	6.9
냉침후(g)	19.4	23.8	23.9
복원률(%)	346.4	340.0	346.4

표 5-12. 2차 건해삼 제조시 염장 조건별 건해삼 길이 복원 측정 결과

구 분	20%	30%	40%
건조후(cm)	5.3	5.9	8.3
냉침후(cm)	8.3	9.3	9.3
복원률(%)	156.6	157.6	112.0

3차 분석공정에 따라 건조된 건해삼의 복원력을 무게와 길이의 변화로 분석한 결과를 표 5-13과 표 5-14에 제시하였다. 무게 변화는 건조 후와 복원 후 3~4배 증가하고 길이 변화는 약 2배 증가하는 것으로 관찰되었다.

표 5-13. 3차 건해삼 제조시 삶기 및 스팀 처리 조건별 건해삼 중량 복원 측정 결과

구 분	A(무염수)		B(스팀)	
	건조후(g)	5.3	4.6	7.0
냉침후(g)	18.7	17.0	25.8	17.4
복원률(%)	354.1	370.4	366.6	343.4

표 5-14. 3차 건해삼 제조시 삶기 및 스팀 처리 조건별 건해삼 길이 복원 측정 결과

구 분	A(무염수)		B(스팀)	
	건조후(cm)	4.4	4.6	4.6
냉침후(cm)	7.4	7.2	7.9	7.6
복원률(%)	168.2	156.5	171.7	165.2

마. 건해삼 평가 품평회

상기 건해삼 제조 공정에 의해 만들어진 제품에 대하여 전문가들과 품평회를 개최하였다. 2011년 10월 품평회에는 연구기관 전문가 6인, 건해삼 제조 및 수출 업체 대표 등 산업계 2인이 참석하였으며 제품개발 배경 및 제품개발에 따른 각 조건별 실험결과 등을 설명하였으며 제품에 대한 육안관찰 등을 통해 품평회를 하였다. 품평회 결과 전체적으로 제품의 외관 등급은 중국 제품에 크게 뒤지지 않는 것으로 평가되었다(그림 5-16~17).



그림 5-16. 제조 건해삼 및 중국산 건해삼 비교



그림 5-17. 건해삼 품평회

바. 건해삼 제조 공정

건해삼 제조 공정은 그림 5-18과 같다. 건강한 생해삼의 전처리를 통해 내장 제거 및 세척을 한 후, 30~40% 고염수를 이용하여 55분 동안 1차 자숙을 한다. 자숙된 해삼은 일정온도(40℃)하에서 건조를 시키며, 이때, 해삼형태 변형을 최소화하기 위해 6시간 간격으로 수분을 공급한다. 1차 건조된 해삼을 다시 90℃의 무염수에서 2시간 동안 2차 자숙하여 1차와 같은 건조과정을 거친다. 건해삼의 수분함량이 5~8%로 안정화 될 때까지 무염수 자숙 및 건조과정을 2~3회 반복하여 건해삼을 제조 완성한다.

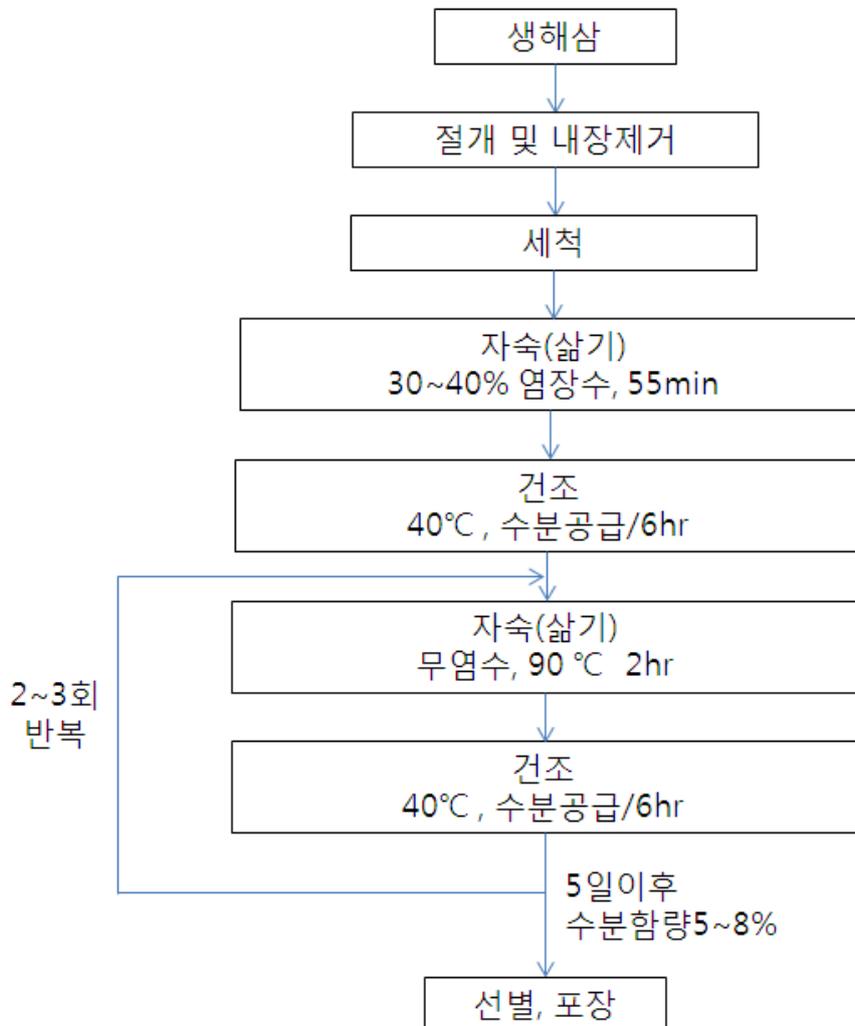


그림 5-18. 건해삼 제조 공정도

5. 건해삼 시장 동향

중국에서는 본초서(本草書)의 결작으로 불리어지고 있는 1587년에 저술된 『본초강목(本草綱目)』(1596년 출간)에 해삼이 수록되어 있지 않고 있는데, 이는 당시까지는 해삼이라는 것을 아직 모르고 있었던 것을 설명해 주는 예라고 하겠다. 하지만 명나라 때의 수필집인 『오잡조(五雜俎)』(1619년)에는 “해삼은 랴오퉁[遼東]의 해안에서 잡히고 있다.”는 기록이 있다. 또 강남의 바다에서도 잡히고 있었다는 기록이 있는 것을 보면 중국에서도 해안지방에서는 예전부터 해삼을 식용하고 있었던 것으로 짐작할 수 있다. 그러나 늦게나마 해삼의 효능과 가치를 알게 된 중국인들은 해삼의 약효가 고려인삼에 버금간다고 인식하게 되어 ‘바다의 인삼’ 곧 ‘해삼’이라는 이름을 짓게 되었다. 중국 궁중의 고급요리에는 반드시 해삼이 들어가게 되어 있었다. 이러한 이유로 오늘날에도 제비집, 전복, 상어 지느러미, 곰발바닥 등과 함께 고급식재료써 세인들의 관심을 모으고 있다.

중국의 해삼 시장동향을 살펴보면 중국에서 해삼은 건해삼이 판매에 주를 이루고 있으나, 건해삼 외에도 정제추출제품 새로이 개발되어 출시되고 있다. 이는 점점 기능성 식품에 대한 선호가 증가하는 추세로 볼 수 있다. 그리고 이들 외에 자숙, 생해삼을 진공 포장하여 판매하기도 한다. 중국에서 해삼시장으로 가장 큰 상권을 형성하고 있는 대련시와 연태시의 시장조사 결과를 자세히 살펴보면 다음과 같다.

중국 대련에는 고급해삼을 전문적으로 판매하는 거리가 형성되어 있다(그림 5-19). 이들 중 일부는 자체적인 양식장을 운영하고 있고 거기에서 생산되는 해삼을 이용해 자체 건해삼을 제조·판매하며 자체 브랜드화 하고 있다(그림 5-20). 매장내부는 건해삼 가격이 상당하기 때문인지 상당히 고급스러운 인테리어를 하고 있고, 고가의 제품부터 저가의 제품까지 선택할 수 있도록 진열해 놓았으며, 공항 면세점에서도 고급선물로 판매하고 있다(그림 5-21). 관광지에서는 해산물 판매점이 많은데 이곳에서는 대부분 저가의 품질이 낮은 상품들이 판매되고 있으며(그림 5-22), 식당에서는 쉽게 해삼요리를 찾아볼 수 있다.

대련시를 중심으로 판매되고 있는 해삼 관련 제품과 가격을 살펴보면 건해삼이 제품의 대부분을 차지한다. 특히 가장 비싼 제품은 50g에 22,800위안(91,200천원/kg)부터 500g에 8888위안(3,555천원/kg)이며 실제적으로 가장 선호하는 제품은 200~300만원/kg 제품이며 중산층 이상을 대상으로 한다(그림 5-23). 그리고 서민들을 위한 제품으로 건해삼 보다는 kg당 20~30만원 수준의 냉장, 냉동 해삼이 많이 팔린다.



그림 5-19. 중국 대련시 해삼 판매거리



그림 5-20. 중국 대련시 해삼판매 상가 내부



그림 5-21. 공항에서 해삼광고 및 판매되는 제품



그림 5-22. 중국 관광지 해산품 상가(상) 및 판매되고 있는 해삼 제품(하)

대련시 대형마트에서는 해삼 추출액을 이용한 술, 우유, 간장 등 편의식품이 만들어져 팔리고 있으며 일부에서는 기능성 성분을 정제한 캡슐제품이 판매되고 있다. 중국현지에서는 청취조사결과 축제식 양식장의 해삼보다는 씨부림으로 생산된 해삼을 최고로 쳐주고 있다.



50g 22,800위안(91,200천원/kg)



500g 8888위안(3,555천원/kg)

그림 5-23. 최고가 건해삼 제품들

또 다른 주요 해삼시장인 홍콩지역의 해삼 시장 동향을 심층 분석해보면 주류, 담배 등 특정 4가지 품목을 제외하고는 무관세 국가로 홍콩 건해삼 관세율은 0%이다. 홍콩은 자체 해삼 생산량이 없으며, 전량 수입에 의존하고 있다. 홍콩 건해삼 수입량은 2009년 기준 US\$226.8 백만불로 전년 대비 12.4% 증가했으며, 2010년은 6월까지 전년 동기대비 39.6% 증가한 134.2백만불을 수입하였다. 주요 수입국은 일본, 중국, 필리핀, 인도네시아, 호주 등이며, 일본산은 전체 수입량의 60% 이상을 차지하고 한국산 건해삼은 2009년 기준 전년대비 93.1%가 증가한 2.5백만불을 수입하였다(표 5-15). 국가별 수입추이를 보면 일본은 물량이 가장 많았던 2007년에 비해 다소 줄어들었으며, 필리핀과 호주는 수입물량이 크게 변동이 없는 반면, 중국은 대련(大連)지방 등 해삼 건조기술 향상에 따라 수입량이 크게 증가하였다. 연도별 해삼 수입량 추세를 보면 세계 금융위기가 왔던 2008년에는 수입량이 줄었다가 2009년에 다시 회복하였으며, 2010년에는 경기회복에 따른 외식수요 증가로 6월까지 전년 동기대비 39.6% 증가한 증가세를 보여주고 있으며 건해삼은 고급 식재료로 주로 이용되기 때문에 경기변동에 따른 소매 및 외식수요에 따라 수입량이 민감하게 작용한 것으로 나타났다.

표 5-15. 홍콩 건해삼 수입현황

(단위 : US천불, %)

순위	수입국	2007년		2008년		2009년		2010년 6월	
		금액	증감률	금액	증감률	금액	증감률	금액	증감률
-	합 계	232,527	42.2	201,748	-13.2	226,770	12.4	134,236	39.6
1	일 본	155,304	43.1	132,207	-14.9	136,026	2.9	86,917	31.8
2	필리핀	8,435	71.3	7,947	-5.8	7,354	-7.5	5,249	71.2
3	중 국	278	-8.1	1,884	576.9	15,060	699.3	4,064	181
4	인도네시아	7,710	47.1	4,768	-38.2	5,392	13.1	3,464	54.1
5	러시아	571	-33.3	396	-30.6	187	-52.8	3,101	=
6	예 맨	2,863	-40.1	4,570	59.6	3,113	-31.9	2,982	179.7
7	스리랑카	2,220	71.8	1,485	-33.1	2,089	40.7	2,817	182
8	미 국	4,220	78.4	3,182	-24.6	6,952	118.5	2,783	-14.3
9	대 만	2,613	-31.6	1,150	-56	2,039	77.2	2,424	269.5
10	피 지	2,492	53.7	2,706	8.6	2,927	8.2	2,231	56.6
11	호 주	5,098	14.4	5,960	16.9	4,029	-32.4	1,962	37.4
12	이집트	2,511	35.4	2,500	-0.4	1,861	-25.6	1,573	170.5
13	싱가포르	1,351	-7.7	1,899	40.5	3,045	60.4	1,532	39.1
14	마다가스카르	2,363	30.7	2,476	4.8	2,430	-1.9	1,474	25.8
15	세이셸	1,306	-14.5	1,197	-8.3	1,860	55.3	1,267	-9.2
17	한국	1,551	186.2	1,308	-15.7	2,527	93.1	942	117.2

수입 국가별 수입단가를 살펴보면 단연 일본산이 kg당 약 US\$214로 가장 높으며, 그 뒤로 호주산(US\$83)이 평균 단가(US\$45)보다 높으며, 한국산은 US\$43.57로 평균보다 약간 낮았으며 필리핀과 인도네시아산 건해삼은 Black Fish, Tiger Fish 종으로 품질면에서 타국가산보다 떨어지는 것으로 알려져 있어 수입단가도 매우 낮았다(표 5-16).

표 5-16. 국가별 건해삼 수입단가

구 분	수입국	수입금액(US천불)	수입물량(톤)	수입단가(US\$/Kg)
-	전 체	226,770	5,037	45.02
1	일본	136,026	635	214.21
2	필리핀	7,354	480	15.32
3	인도네시아	5,392	485	11.12
4	미국	6,952	250	27.81
5	호주	4,029	48	83.94
6	한국	2,527	58	43.57

홍콩에서 유통되는 해삼은 주로 건해삼과 냉동해삼이 있으며, 건해삼이 대부분을 차지한다. 홍콩 내에서 건해삼은 인삼 등 건강식품이나 건전복 등 수산물을 취급하는 수입업체나 도매상에 의해 수입되고 있다. 건해삼은 수입업체에 의해서 도매상과 소매상에 공급되기도 하지만, 도매상이 직접 수입하여 유통되는 경우도 많아서 도매상의 역할이 중요하다. 건해삼 도매상은 약재상 골목으로 유명한 성완(Sheung Wan)에 밀집되어 있으며, 이들은 제비집, 동충하초, 건전복 등과 함께 건해삼을 취급하는 도매상으로 도·소매를 겸하는 경우도 많다(그림 5-24). 특히 성완 Wing Lok은 “인삼과 제비집의 거리(Ginseng & Bird's nest Street)”로 지정되어 있는 메인 장소로 건해삼을 포함한 건수산물도 많이 거래되고 있다. 실질적

으로 도매상에서 가장 많이 거래되는 건해삼은 일본산과 호주산으로 해삼 품종이 다르기 때문에 판매층이나 가격은 전혀 다르며, 같은 원산지도 제품과 건조상태, 산지에 따라 가격은 천차만별이다. 필리핀이나 인도네시아산 건해삼은 레스토랑 등 외식업체로 공급되는 경우가 많으며 고급 레스토랑에서는 일본산이 공급되기도 한다. 판매는 보통 600g 단위로 판매가 되며, 판매가격은 제품에 따라 차이가 많이 난다. 보통 일본산은 600g 기준 HK3,000~8,000 (480~1,280천원), 호주산은 HK700~2,000(96~320천원)의 가격대를 형성하고 있다. 일본산은 워낙 고품질·고가로 판매되기 때문에 일본산이더라도 산지에 따라 가격이 달라지기도 하는데, 보통 관동(關東)과 관서(關西)지방으로 구분되어 판매되며 관동지방이 관서보다 가격이 높게 판매된다(그림 5-25). 홍콩에서 건해삼이 판매되는 주요 소매상으로는 일반 약재상을 포함한 중약체인점, 기타 마켓 등이 있다. 건강식품을 판매하는 약재상이 홍콩 전역에 분포되어 있으며, 대부분의 약재상에서 건해삼도 판매되고 있다. 약재상이 기업화된 체인매장인 중약체인점도 건해삼을 구매할 수 있는 곳으로 최근 제품 원산지나 품질에 대한 관심이 증가하면서 전통적인 약재상보다 중약체인을 선호하는 소비자가 늘고 있다. 건해삼은 고급레스토랑에서 요리로 판매되는 경우도 많으며 가격은 레스토랑과 요리 종류에 따라 다르나, 보통 해삼요리 한 접시에 HK\$200~400 정도이다. 보통 가정에서는 건해삼을 구입하여 직접 요리를 하여 먹기도 하는데, 가장 일반적인 요리가 간장과 굴소스로 만든 해삼요리이며, 그 밖에도 굴, 오징어, 버섯, 가리비 등과 섞어서 요리를 만든다.



성완 약재상 거리



성완 Wing Lok 거리 표지판



건수산물 전문 도매상(소매겸용)



건수산물 판매형태(유리병)

그림 5-24. 홍콩 약재 도매상 거리



일본산과 호주산 해삼



일본 관동 및 관서지방 해삼

그림 5-25. 호주산 및 일본산 건해삼

6. 결 론

해삼은 성게나 불가사리와 같은 극피동물로서, 한국보다 중국에서 값비싼 유일한 수산물이다. 전 세계 해삼의 생산량은 연간 10~11만 톤으로, 그 중 약 85% 정도가 중국에서 생산된다. 소비자들에게 가장 고급스런 해삼은 뽕이 반듯이 정렬된 북해도산이 세계 최고로 알려져 있으나, 사실은 한국산 생해삼이 식품 영양학적으로 북해도산보다 우수함이 해삼연구가들에게는 알려져 있었다. 중국과 일본은 해삼의 종묘기술 등 모든 측면에서 한국보다 앞서 산업화에 성공하고 있어, 한국산 건해삼은 일본 북해도산에 비하여 1/4 정도의 저가로 판매되고 있는데, 이는 단적으로 가공기술의 미비에서 비롯되는 것으로 그만큼 가공기술은 매우 중요하다.

해삼 가공기술 개발을 위하여 영양학적 성분분석과 안정성 검사를 추진하였다. 영양학적으로는 건조조건별로 보았을 때 저온조건인 냉풍건조나 동결건조 시 아미노산이나 지방산 변화가 적은 것으로 나타났으나 제품 제조 시 효율성 확보에 어려움이 있는 것으로 나타났다. 안전성 검사에서는 항생물질 10종과 중금속 5종에 대해서는 불검출되어 안전성에는 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다.

건해삼 최적의 공정과정을 찾기 위해 1차, 2차, 3차 공정을 거쳐 건해삼을 제조 하였다. 건해삼 제조 시 염장수의 농도는 30~40%의 농도가 적당하며 해삼을 삶는 과정에서는 처음부터 찬물에 넣어서 끓이는 것보다 펄펄 끓는 상태에서 투입하여 삶아야 하며 삶은 후에는 차가운 물에 바로 투입하여 내부의 열을 빨리 식히는 것이 변질과 형태 변화를 최소화 할 수 있다. 또한 무염수에 삶는 과정을 반복함으로써 해삼의 염분농도를 줄여서 건조 후 소금이 석출되는 현상을 방지할 수 있으며 건조방법은 40℃ 온풍건조가 최적의 조건으로 나타났다. 동결건조의 경우 사포닌 함유량이 타 건조방법에 비해 낮은 것으로 나타났다. 건조과정에서 해삼의 품질변화를 최소화하기 위해 배면이 아래로 향하게 하고 철망을 이용하여 건조 시 수분이 고루 빠져나가게 하며 표면의 갈라짐과 패임을 방지하기

위해 적당량의 수분을 공급하여 제조할 경우 좋은 것으로 나타났다.

중국에서 건해삼 우수 등급 조건으로 형태의 경우 뿔이 굵고 많으며(6선, 4선) 통통하고 길며(긴타원형) 발이 살아 있는 것을 최상으로 쳐주며 특히 등쪽에 굽어 있거나 이빨(입)이 나오거나 상처 흔적이 남아 있는 것은 등급이 떨어진다. 색깔은 검고 잔돌기에 흰반점이 있는 것 또는 자연색깔(갈색, 진회색 등)에 잔돌기에 흰 반점이 있는 것이 좋으며 향은 해삼특유의 향긋한 냄새(숙성된 사과향)가 나는 것이 좋다고 한다. 화학검사에서는 소금의 함유량이 낮은 것을 선호하고 화학약품이나 설탕 등을 사용하여 수율을 올리려 했던 것은 제외되었다. 음식검사에서는 복원시기(이틀간 5~6배 복원)와 원물 형태 그대로 복원 되어야 하며, 복원시 크기는 요리사에 따라(복원 크기평균 8배 이상)가 다르게 나타났다. 식감은 부드러우면서 씹는 질감이 쫄쫄해야 되며 해삼 특유의 향이 있어야 한다.

건해삼은 상당히 비싼 제품이다. 그러나 비싼 만큼 제조공정이 복잡하고 많은 시간이 걸린다. 또한 음식으로 먹기 위해서도 상당한 시간과 노력이 필요하다. 특히 건해삼은 과거 장기보관시설이 없던 시절에 장시간 해삼을 보관하고 요리하기 위해 개발된 것으로 보인다. 건제품은 상당한 보관기관을 확보할 수 있다. 최근에는 냉장, 냉동 보관 기술이 많이 발달하고 포장기술 또한 과거와 비교되지 않을 정도로 그 기술은 크게 발달하였다. 그러한 점을 고려할 때 장기보관과 편의성을 고려한 해삼제품을 개발하여 중국인들의 식성을 바꾸어 간다면 새로운 블루오션분야를 개척할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 진공포장 및 냉장기술을 접목하여 요리하기 쉬운 자숙해삼 제품을 개발하여 판매한다면 건해삼 제조에 드는 비용절감 및 중국 사람들의 요리의 수고를 덜 수 있어 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다(그림 5-26).



그림 5-26. 해삼 냉동, 냉장 편의식품

핵심 사항

- 해삼의 영양학적 성분 분석결과 건조방법 및 지역별로 일반성분에 있어서는 큰 차이를 보이지 않으나, 아미노산 성분에 있어서는 건조 시 영양성분 파괴가 적은 냉동 동결건조 부분이 다소 높게 나타남
- 건해삼의 안정성을 검사한 결과 중금속 Cd, Cu, Pb, Cr, Hg 및 테트라사이클린계 4종, 플로로퀴론계 5종 및 옥솔솔린산 항생제의 잔류량은 검출되지 않음
- 건해삼 제조 시험에서는 건조조건은 온풍건조 40℃, 염장은 30~40% 고염수를 사용하는 것이 건해삼 제조시 형태 보존에 좋은 것으로 나타남
- 향후 건해삼외에 중국 현대인의 기호에 적합한 냉동냉장 편의 식품 개발 분야도 필요할 것으로 보임



| 제6장 |

해삼 종묘 · 양식단계별 사료개발

1. 서 론
2. 먹이생물 배양
3. 해삼 부유유생 먹이실험
4. 어린해삼 배합사료 개발
5. 결 론

제6장

해삼 종묘 · 양식단계별 사료개발



1. 서 론

정부는 늘어나는 국내 수산물 수요와 더불어 급증하는 수출 수요를 충족시키기 위하여 양식산업을 수산업의 신동력원으로 집중 육성하기로 하였다. 그 중 해삼은 세계시장에서 수요에 비해 공급이 부족한 품목으로 갯벌을 활용한 종묘생산 및 양식업의 발달로 우선적으로 선택과 집중된 전략품목이다. 이에 따라 해삼의 인공종묘생산기술의 확립과 함께 양식에 대한 관심이 증가되고 있다. 중국과 일본에서는 이미 1980년대부터 해삼 종묘생산이 수행되었다(Zhang & Liu, 1998). 그러나 우리나라에서는 1990년대부터 해삼과 관련된 소수의 연구가 추진되었으나, 본격적인 연구는 2006년 국립수산물과학원에서 해삼양식기술개발을 실시하였다. 2006년에 완료한 해삼양식기술개발은 본격적인 해삼양식에 관한 해삼산업화를 위한 기초를 다진 연구로 인공종묘대량생산 기술 개발·보급 및 마을어장 씨뿌림 자원조성 기술 산업화 유도를 시도하였다. 그러나, 현재까지 우리나라의 해삼양식 산업화가 정착된 상황은 아니다.

해삼의 자원조성 및 산업화 양식을 위해서는 인공종묘의 대량생산에 의한 양질의 수정란을 확보하여 부유유생 및 어린해삼의 안정적인 사육이 선행되어야 한다. 즉 초기 부유유생 시기의 먹이섭취 여부가 초기 생존율에 매우 중요하다. 자연환경에서 부화된 유생들은 선택적인 먹이섭취를 하는 것이 아니라 해수 중의 먹이가 입으로 자연히 흘러들어가 섭취하게 되는 경우가 많고 이때의 먹이는 자연 상태의 해양 미세조류 가운데도 크기가 미세하고 다양한 nanoplankton이라

할 수 있다. 해산 어패류 및 모든 양식생물에 있어 사료공급은 양식 생산비의 절반 이상을 차지할 뿐 아니라 양식에 의한 수질오염은 급이되는 사료로부터 유래하기 때문에 대상종을 위한 배합사료 개발은 양식 생산성과 환경보호 측면에서 가장 우선적으로 고려되어야 한다.

현재 중국의 해삼산업은 이미 해삼양식을 위한 기반이 확보되어 있다. 특히, 중국 해삼산업이 크게 발전할 수 있었던 계기는 산업화 실용화를 할 수 있는 부유유생과 어린해삼 전용 배합사료 개발에 큰 무게를 둘 수 있다. 국내에서는 부유유생에 아직도 구조에 의한 먹이공급을 주로 하고 있지만 중국의 경우는 산란하여 부유유생 단계에는 식물플랑크톤을 농축하여 냉동보관 후 충분히 공급하고, 어린해삼 단계에서는 이들의 성장과 생리를 고려한 해삼전용 인공배합사료를 제조하여 양식이 안정화 될 수 있도록 공급하고 있다(그림 6-1).

특히 부유유생의 먹이생물로 많이 이용되고 있는 식물플랑크톤은 대량배양 시 넓은 배양공간, 많은 배양시간, 불안정한 먹이공급 및 전문적인 배양기술 등 많은 문제점들이 있어 이런 문제점들은 살아있는 생먹이생물 공급을 제한하고 양식생산 단가를 올리는 요인이다. 따라서 보관이 편리한 냉동먹이생물(Day & Fenwick, 1993)과 건조먹이생물(Hidu & Ukeles, 1962)로 만들어 사용하는 방법이 제시되었다. 식물플랑크톤의 냉동과 건조에 관한 연구는 주로 담수산 식물플랑크톤에서 활발하였으며 이들 냉동과 건조된 식물플랑크톤은 동물과 인간의 단백질 대체원, 공업 또는 의약품의 원료로서 주로 이용되었다(Shelef & Soeder, 1980). 냉동과 건조된 먹이생물에 대한 연구는 새우류(Brown, 1972; Aujero & Millamena, 1981), 조개류(Hidu & Ukeles, 1962), 로티퍼(Hirayama & Nakamura, 1976), 알테미아(Persoone & Soregloos, 1975) 등을 대상으로 많이 연구되었으나, 해삼에 의한 연구는 진행된 바가 없다.

또한, 실제로 세계시장에서 최대 해삼 수요국인 중국 역시 어린해삼의 먹이원으로서 단순한 해조분말에서 인공 배합사료로 옮겨가고 있다. 용도에 따라 증묘용 매쉬 타입과 축제식 양식용 펠렛타입 두 가지로 구분된다. 해삼 배합사료에

대해서는 업체별로 독자적인 기술을 보유하고 있으나 주요 성분은 다음과 같이 거의 유사하다. ① 대형갈조류(모자반, 미역, 다시마 등), ② 동물성 단백질(어분, 오징어, 새우분말 등), ③ 식물성 단백질원(대두박), ④ 비타민과 미네랄믹스, ⑤ 효모류, ⑥ 개펄 등이 그것이다.

해삼 종묘생산기술개발과 함께 지금까지 해삼에 관한 연구로는 섭식과 소화 (Tanaka, 1958), 생식(Tanaka, 1958), 유생사육(Sui et al., 1986; Sui, 1989), 대사 (Kato & Hirata, 1990; Kashenko, 2000; Li et al., 2002) 및 추출물(Tian et al., 2005) 등 생물학적 특성에 초점을 두고 진행되었고, 해삼양식에 필요한 배합사료 개발에 관한 연구는 거의 없다. 지금 현재 해삼 배합사료 원료는 전적으로 중국에서 수입을 하고 있으나 수급의 불안정, 외화낭비 등의 제반 문제점들을 가지고 있어 국가적으로도 큰 손실이 초래되고 있으며, 최근에는 사료원 중 일부가 수입 금지 품목으로 지정되면서 손쉽게 구할 수 없는 실정이다.



그림 6-1. 중국 대련 대표해삼사료 제조회사(대련교룡사료중심)

일반적으로 배합사료는 생사료와 비교하여 영양학적으로 균형 있는 사료로 만들 수 있고, 보관 및 취급이 용이하며, 사료 급이량 조절이 쉬워 양식생물을 건강하게 키울 수 있다. 또한 생산량을 쉽게 조정하여 기간별 계획생산이 가능하므로 공급과 가격이 안정적인 장점을 가지고 있다. 그러나 배합사료의 가격이 배합 원료 단가, 영양소의 종류와 균형에 따라 달라지기 때문에, 경제적으로 배합되어야 할 원료의 종류나 적정 첨가범위, 필수영양소의 종류 및 함량은 양식 대상종에 따라 달라지기 때문에 그 종에 맞도록 연구가 반드시 수행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 기존에 발표된 해삼 배합사료 연구결과를 참고하여 해삼 부유유생의 먹이원으로서 생먹이생물-냉동농축-건조분말을 급이하였을 경우를 중국냉동농축사료와 비교해 보고, 어린해삼 인공배합사료를 제조·급이하여 수온이 18~24℃로 상승하는 5~7월동안 어린해삼의 성장률을 조사하였다. 그리고, 연구결과를 토대로 수입에 의존하고 있는 해삼 사료의 국산화 대체 가능성을 규명해보았다.

2. 먹이생물 배양

효율적인 해삼 종묘생산을 위해서는 적절한 먹이생물의 선택과 대량배양이 가능해야 한다. 해삼은 수정 후 어린해삼이 되기까지 약 14~21일 정도 부유생활을 거치는데 매일 계속해서 먹이를 공급해 주어야 한다. 소요되는 먹이생물의 필요량을 확보하기 위해서는 예비 배양을 포함하여 유생 사육 개시 약 1개월 전부터 배양을 시작하여 유생사육에 충분히 공급할 수 있는 먹이량을 확보하여야 한다.

유생의 먹이생물로는 일반적으로 소화가 잘되고 영양가가 높은 미세조류가 좋다. 주로 이용되는 먹이생물은 부유성 규조류인 *Chaetoceros* spp., 황색 편모조류 *Isocrysis galbana*, *Pavlova lutheri* 등을 이용한다. 그 외 유생의 먹이로는 부유성 규조류 중 *Thalassiosira* sp., *Phaeodactylum tricornutum*, *Skeletonema costatum* 등이 널리 이용된다. 또한 다양한 먹이공급을 위하여 *Dunaliella tertiolecta*, *Nannochloris oculata* 등의 녹조류를 혼합공급하기도 한다.

본 연구에서는 해삼 부유유생의 먹이원으로써 규조류(*Phaeodactylum tricornutum*), 녹조류(*Nannochloris oculata*), 편모조류(*Isocrysis galbana*)를 혼합하여 사용하였다.

Phaeodactylum류 : 우상목 규조의 1종으로 1속 1종 *Phaeodactylum tricornutum* 이 기재되어 있다. 피각이 거의 없어 형태변이도 빈번하게 일어나며, 많은 침상의 세포가 있지만 3방향으로 돌기를 뺀 정상세포나 추원형 세포도 보인다. 염분에 대한 내성범위가 매우 넓은데 9~92psu이며 그 중 가장 적합한 염분은 25~32psu이다. 적응 가능 온도 범위는 5~25℃이지만, 10~20℃에서 고밀도로 증식하므로 비교적 저온의 여러 나라에서도 야외 배양되고 있다. 조도 범위는 1,000~8,000lux이고 가장 적합한 범위는 3,000~5,000lux이며 소량 배양 시에는 직사광선을 적극 제어해야 한다. pH가 7~10인 환경에서 성장번식 가능하고 가장 적합한 범위는 7.5~8.5이다. 극히 증식률이 높아 고밀도(>3,000만cells/ml)에 달하는 경우도 있다. 소규모로 고밀도 배양이 가능하여 먹이생물로서의 활용도가 높다.

*Chaetoceros*류 : 규조류로 이매패류의 인공종묘생산에 가장 유용한 미세조류의 한 종류로 *Ch. calcitrans*, *Ch. gracilis*, *Ch. simplex* 등이 있다. *Ch. gracilis*는 *calcitrans*와 비교하여 피각이 약간 크고 4개의 자모도 긴 경향을 보인다. 또한, 대량배양이 용이하기 때문에 다량의 급이가 요구되는 모패관리, 부착기 이후의 치패나 보리새우류 등의 갑각류 먹이로써도 사용되고 있다. *Ch. calcitrans*는 약간 소형이고 대량배양은 *gracilis* 비해 어렵지만 조개류의 부유기 유생에 공급한 경우 유생의 생존율이나 부착율이 높다. 이것은 입이 작은 부화 직후 유생기의 패류 유생도 섭식이 가능하고 소화되기 쉽기 때문으로 추정된다.

*Nannochloris*류 : *Nannochloris*는 조개나 갑각류의 먹이로는 부적절하고 많은 경우 섭식하여도 소화되지 않고 변으로 나온다. 그러나 규조류 등과의 혼합 공급 시 보조적인 먹이로 이용하여 효과를 본 사례가 보고되고 있다.

*Tetraselmis*류 : *Tetraselmis*류는 선명한 녹색이기 때문에 녹조류로 인식되기 쉽지만 실제로는 담녹조류에 속한다. *T. tetrathele*, *T. suecica* 및 *T. chui*가 일반적으로 배양되고 있다. 세포의 정단이 움푹 들어가고 거기에서 돌출된 거의 같은 길이 4개의 편모로 활발하게 수영한다. 미부가 중심축으로부터 약간 굽어 있는 종도 많다.

*Pavlova*류, *Isocrysis*류 : 합포조강에 속하며 운동세포는 다수가 난형이거나 구형으로 세포가 원을 그리듯이 움직이고 크기는 5~7 μ m이다. *Isocrysis*의 성장 온도는 20~25 $^{\circ}$ C로 30 $^{\circ}$ C 이상에서는 거의 증식하지 않는다. 그러나, *Isocrysis*(*aff. galbana*)는 염분에 대한 적응 범위가 광범위하지만 비중 1.005~1.040인 환경에서 정상적으로 성장 번식한다. 가장 적합한 비중은 1.015~1.025(염분농도는 22.7~35.8psu)사이이다. 성장번식의 적응 온도 범위는 9~35 $^{\circ}$ C이고 가장 적합한 온도의 범위는 25~32 $^{\circ}$ C이고 온도가 37 $^{\circ}$ C 이상 일 때 사망한다. 1,000~31,000lux의 조도범위에서 정상적으로 성장번식하며 가장 적당한 범위는 5,000~11,000lux이다. pH는 5.0~9.0이고 가장 적합한 범위는 pH 7.5~8.5이다. 두 종 모두 배양액에 비타민류를 첨가할 필요가 있으며, 특히 *Pavlova*는 비타민 B12의 생물학 정량으로 증식에 비타민류가 필수적이

다. 또한, 고도불포화지방산으로써 EPA와 DHA를 함유하고 있기 때문에 영양가가 우수하다. 더구나 세포벽을 가지지 않고 소형이기 때문이 입이 작은 유생에서도 용이하게 섭취되고 소화에도 좋다고 보고되고 있다.

기타 부유성 미세조류 : 우상목 규조류의 *Nitzschia*가 이매패류의 모패용 먹이로 많이 이용되고 있으며, *Thalassiosira*는 털게의 먹이로써 필수적이라는 보고도 있다. 한편 고도불포화지방산을 갖고 있지 않지만 녹조류의 *Dunaliella* sp.는 성체 유생의 정상적인 발생에 적절한 먹이가 된다는 보고가 있다.

현재 자체 배양중인 미세조류 종류를 아래 그림에 나타냈다(그림 6-2).

가. 배양해수 처리 및 배지 조제

먹이생물 배양에 사용되는 해수는 세균 오염 및 다른 미생물의 혼입을 방지하기 위해 기본적으로 여과 및 멸균 처리하여 사용하였다. 중간·대량배양용 배양해수는 자연침전, 모래여과, 1~10 μ m 필터의 단계별 여과를 거친 후 약품 멸균 방법을 실시하였고, 원종 보존용 배양해수는 여과된 해수에 가열·고압멸균을 거친 후 사용하였다.

원종 보존용 삼각플라스크(500ml)는 고압 멸균기에 넣어 121 $^{\circ}$ C, 1.5기압에서 15분간 멸균 처리하였고, 중간·대량배양(5L 이상) 시에는 차아염소산나트륨(Sodium hypochloride, NaClO)과 티오황산나트륨(Sodium thiosulfate, Na₂S₂O₃)으로 표 6-1과 같이 살균 처리하여 사용하였다(여과해수 15L 기준).

식물플랑크톤 배양에 사용하는 영양배지로는 Provasoli ES배지, f/2 배지 등 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 conwy 배지를 사용하였다. 미량금속 원소의 경우, 100ml 증류수에 정량의 시약을 각각 넣고 염산 5~6방울을 떨어뜨려 잘 섞은 후, 배지 L당 1ml 기준으로 conwy 배지에 넣어 섞어서 사용하였다(표 6-2). 기본적으로 식물플랑크톤 배양 시에는 conwy 배지와 비타민을 첨가해주지만, 규조류 배양 시에는 규산염과 미량금속 배지를 추가하여 정량껏 첨가하였다.

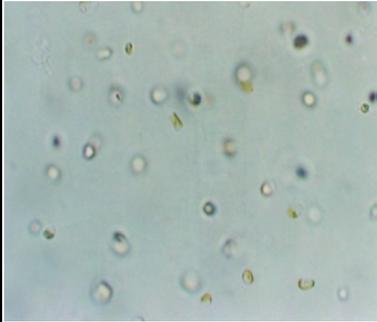
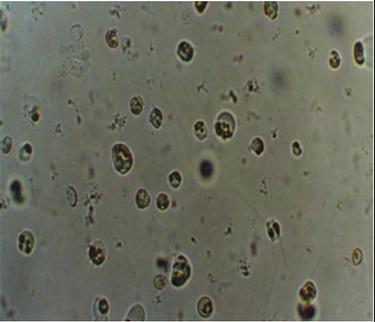
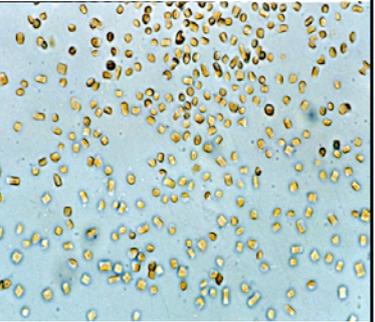
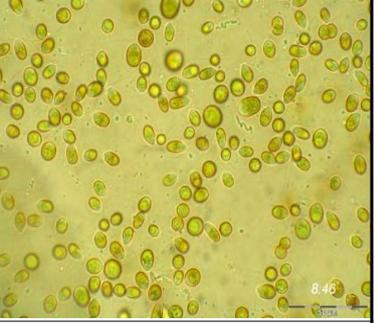
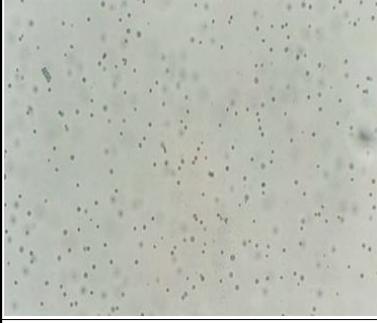
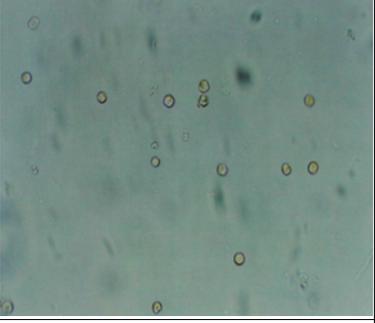
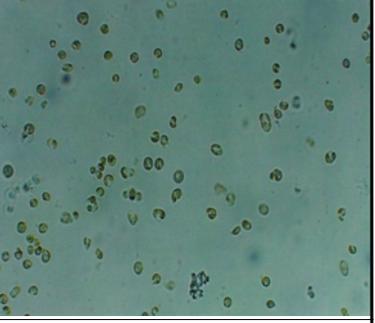
		
<i>Chaetoceros simplex</i> cell size : 5~6 μ m	<i>Chaetoceros gracilis</i> cell size : 6~7 μ m	<i>Chaetoceros calcitrans</i>
		
<i>Phaeodactylum tricornutum</i> cell size : 25~30 μ m	<i>Nitzschia</i> sp.	<i>Skeletonema costatum</i> cell size : 2~21 μ m
		
<i>Tetraselmis tetrathele</i> cell size : 5~15 μ m	<i>Tetraselmis suecica</i> cell size : 5~15 μ m	<i>Dunaliella</i> sp. cell size : 6~9 μ m
		
<i>Chlorella ellipsoidea</i> cell size : 2~10 μ m	<i>Isochrysis galbana</i> cell size : 5~6 μ m	<i>Pavlova lutheri</i> cell size : 3~6 μ m

그림 6-2. 배양중인 미세조류 원종

표 6-1. 여과해수 소독 및 안정화 작업

여과해수(L)	차아염소산나트륨(ml)	티오황산나트륨(g)
1	0.3	0.1
5	1.3	0.6
10	2.5	1.2
15	3.8	1.8
20	5.1	2.4
30	7.6	3.6
40	10.1	4.8
50	12.7	6
60	15.2	7.2
70	17.7	8.4
80	20.3	9.6
90	22.8	10.8
100	25.3	12
200	50.7	24
300	76.0	36
400	101.3	48
500	126.7	60
1000	253.3	120

표 6-2. 먹이생물 배양용 배지 조성표(Conwy medium)

종 류	시 약	중 량 (증류수 20L)	
Conwy medium	NaNO ₃	2Kg	
	EDTA-Na ₂	900g	
	H ₃ BO ₃	672g	
	NaH ₂ PO ₄	400g	
	FeCl ₃ · 6H ₂ O	26g	
	MnCl ₂ · 4H ₂ O	7.2g	
	미 량 금 속	ZnCl ₂	2.1g
		CoCl ₂ · 6H ₂ O	2.1g
		CuSO ₄ · 5H ₂ O	2.0g
		(NH) ₄ 6Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	2.1g
Vitamin	d-Biotin(vitamin H)	1g	
	Vitamin B ₁₂	1g	
	Vitamin B ₁	20g	
규산염	Sodium Silicate-Solution	2Kg	

나. 먹이생물 배양방법

일반적인 먹이생물의 배양과정은 500ml 삼각플라스크에 여과해수 250~300ml를 채운 후 고압 멸균 시켜 순수원종을 약 1/5 정도의 농도로 접종하여 정치배양하면 최대 증식기가 된다. 이를 다시 수~수십 L 용기에 멸균해수를 재접종하여 5~10일 배양 시켜, 다시 500~1,000L 수조에 1/10 비율로 접종하여 계대배양을 시킨다. 그림 6-3은 먹이생물 배양현황을 보여주고 있다.

(1) 원종배양

먹이생물의 중간배양 및 대량배양을 안정적으로 유지하기 위해서는 순수원종을 확보·관리해야만 한다. 우리 센터에서는 국립수산물과학원 패류양식연구센터와 한국미세조류은행에서 분양받은 원종을 보존 및 재접종으로 배양을 실시하였다. 현재 배양중인 원종으로는 규조류 6종, 녹조류 6종, 편모조류 2종을 보유하고 있다(표 6-3).

삼각플라스크에 1×10^4 cells/ml 농도로 접종 후 종이 호일로 밀봉하여 광주기 12L:12D, 온도 20~23℃, 조도 1,000~1,500lux 조건하에 정치배양 하였고, 아침/저녁으로 흔들어주었다. 세포농도 최대시기가 되는 약 30일 간격으로 매달 재접종을 실시하였다.

(2) 중간·대량배양

중간배양은 보존 배양의 환경 조건을 해제하여 대량 배양으로 전환하는 준비 단계로 일반적으로 먹이생물을 수~수십 L에서 배양한다. 증식방법은 300~400ml 원종을 5L 수조에 분주하여 $3 \sim 4 \times 10^4$ cells/ml의 농도로 배양을 시작하였으며, 배양액 1L당 conwy 배지, 금속배지 및 규산염의 첨가농도는 1ml씩, 비타민은 0.1ml 기준으로 첨가하였다(표 6-4).

접종 후 5~7일째에 $500 \sim 800 \times 10^4$ cells/ml(최대 $2,000 \sim 3,000 \times 10^4$ cells/ml) 농도로 증식되면 이것을 해삼 유생의 먹이로 공급하였고, 장기보존을 위해 농축 및 분말화 하였다. 또한, 같은 방법으로 대량배양(500~1,000L) 및 노지배양(80톤)을 실시하였다.



(위) 원종정체배양, 중간배양(5L); (중간) 대량배양(1톤), 노지배양(80톤); (아래) 실내 고밀도 대량배양

그림 6-3. 먹이생물 배양현황

표 6-3. 미세조류 보유현황

종류(Class)	종(Species)
규조류 (Bacillariophyceae)	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>
	<i>Nitzschia</i> sp.
	<i>Chaetoceros simplex</i>
	<i>Ch. calcitrans</i>
	<i>Skeletonema costatum</i>
	<i>Thalassiosira weissflogii</i>
착편모조류 (Haptophyceae)	<i>Isocrysis galbana</i>
녹조류 (Chlorophyceae)	<i>Nannochloris oculata</i>
담녹조류 (Prasinophyceae)	<i>Dunaliella tertiolecta</i>
	<i>Tetraselmis tetrathele</i>
	<i>Te. suecica</i>
	<i>Tetraselmis</i> sp.
황갈조류 (Chrysophyceae)	<i>Pavlova lutheri</i>

표 6-4. 배지의 첨가농도

《기 준》	
Conwy medium	1ml/L
비타민	0.1ml/L
금속배지	1ml/L
규산염	1ml/L

실내에서 중간배양 시에는 표 6-5와 배지양을 조절하여 공급하였으며, 대량배양 및 노지배양에 사용된 배지는 경제성을 감안하여 시중에서 판매되는 저렴한 요소와 복합비료를 사용하였다. 사용량은 다음 표 6-6과 같다. 요소와 복합비료를 일정량의 여과해수에 잘 섞어 완전히 녹인 후 사용하였으며, 규조류 배양 시에는 원종 보존 및 중간배양과 마찬가지로 규산염을 첨가하였다.

표 6-5. 중간배양(5~50L) 시 사용배지 투여량

여과해수(L)	배지(ml)	비타민(ml)	금속배지(ml)	규산염(ml)
5	3~4	0.5	1.0	1.0
10	10	1	1.5	1.5
20	20	3.0	7.5	7.5
30	30	4.5	5.5*2	5.5*2
40	40	6.0	14.5	14.5
50	50	7.5	18	18

표 6-6. 대량배양(60~1,000L) 및 노지배양 시 사용배지 투여량

여과해수(L)	요소(g)	복합비료(g)
100	6	4
300	18	12
400	24	16
500	30	20
600	36	24
700	42	28
800	48	32
900	54	36
1000	60	40

다. 먹이생물 장기보존방법

수확된 먹이생물을 장기보존하기 위한 방법으로 농축하여 냉동시키는 방법과 농축된 미세조류를 동결건조하여 분말화하는 방법을 선택하였다. 수확방법은 세포 최대 증식기에 수확한 미세조류를 튜블러 원심분리기(Tubular centrifuge)를 이용하여 농축시켰으며 paste 상태로 된 먹이생물을 냉동 보관하였다(그림 6-4). 또한, 냉동 보관된 paste 상태의 먹이생물을 -80°C 의 초저온 냉동고에 보관하였고 진공동결건조기를 이용하여 72시간 동결건조한 후 mixer로 갈아 해삼 먹이실험에 사용하였다(그림 6-5).



그림 6-4. 튜블러원심분리기를 이용한 미세조류 농축 및 수확 과정



그림 6-5. 동결건조기를 이용한 미세조류 건조분말화

3. 해삼 부유유생 먹이실험

가. 재료 및 방법

(1) 어미해삼 구입 및 산란유발

해삼 부유유생 먹이실험을 위하여 2012년 6월 27일 충청남도 태안해역에서 어획된 건강한 어미해삼을 선별하여 산란에 사용하였다. 어미해삼은 간출자극, 표면자극, 수온자극 순서로 산란유도 후 500L 원형 수조에 여과해수를 채우고 어미해삼을 입식하여 자연수온 하에 수정란 발생여부를 관찰하였다.



그림 6-6. 건강한 어미해삼 산란유발

(2) 수정란 부화 및 발생

어미해삼의 방란 · 방정이 이루어져 수정이 확인된 수정란을 $60\mu\text{m}$ 의 물러가제로 수거하여 깨끗한 여과해수로 3~4회 세란한 뒤 실험에 사용할 수정란을 확보하였다.

(3) 부유유생 먹이실험

(가) 사육수조 및 사육환경

부유유생 먹이 급이 실험은 5L 투명 원형수조를 사용하여 4개의 실험구에서 실시되었다. 각각의 실험구는 규조류, 녹조류, 편모조류를 배양하여 각각 혼합한 생먹이생물, 냉동농축, 건조분말 그리고 대조구로 중국농축사료를 사용하였다(그림 6-7). 사육수는 최종 $5\mu\text{m}$ 여과장치를 거친 여과해수를 사용하였고, 부화 후 2일이 경과할 때부터 먹이생물을 급이 하였으며 각 수조에 1개체/ml의 밀도로 부유유생을 수용하였다. 사육수온은 실내 자연 온도($20^{\circ}\text{C}\sim 23^{\circ}\text{C}$)로 유지하였고, 유생의 움직임을 거스르지 않는 범위 내에서 약하게 폭기시켰다. 실험기간(15일) 동안 용존산소는 $5\sim 6\text{mg/L}$ 로 유지시켰다. 실험기간 동안 환수는 하지 않았으며 찌꺼기가 관찰될 때에만 바닥청소를 해주었고, 부족한 양만큼 사육수를 보충하였다. 매일 일정 시간에 먹이를 공급 하였으며, 급이 3시간 후 실체현미경으로 성장을 관찰하였고 전장(body length, μm)을 측정하였다(그림 5-8, 5-9).



그림 6-7. 해삼 부유유생 먹이실험 수조 및 먹이 급이



그림 6-8. 부유유생 먹이급이 관찰용 실체현미경

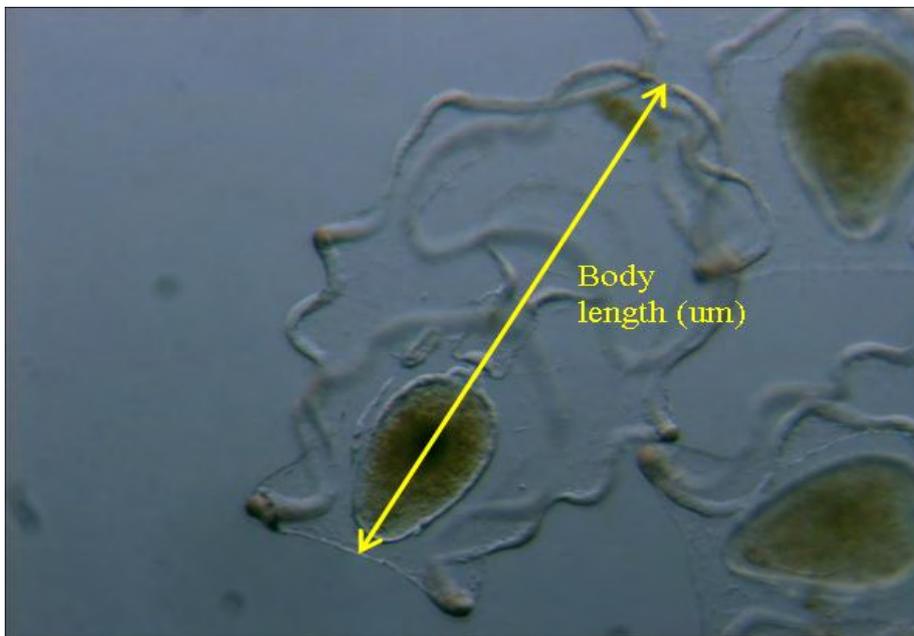


그림 6-9. 아우리쿨라리아 전장 측정 방법

(다) 먹이생물 배양 및 급이

실험에 사용된 생먹이는 규조류(*Phaeodactylum tricornutum*), 녹조류(*Nannochloris oculata*), 편모조류(*Isocrysis galbana*)를 배양·혼합하여 사용하였다. 냉동농축 사료는 앞서 배양된 3종의 먹이생물을 원심분리기(15,000rpm, 50Hz)를 이용하여 농축 후 냉동 저장하여 사용하였고, 건조분말사료는 냉동농축 된 먹이생물을 동결건조하여 사용하였다(그림 6-10). 1,000~2,000×10⁴cells/ml 농도로 배양한 규조류, 녹조류, 편모조류의 각각 240L를 냉동농축하였을 경우 각 310g, 250g, 260g이 생산되었고 이를 다시 동결건조 분말화 하였을 때 55g, 80g, 50g이 생산되었다. 규조류, 녹조류, 편모조류를 혼합하여 환산한 경우, 생먹이생물 1L → 냉동농축 1.1~1.3g → 건조분말 0.3~0.5g이 생산되었다. 대조구로 사용한 중국농축사료는 중국에서 수입한 1L 용량의 농축 먹이생물 3종(홍효모 100억cells/ml, 각모조 1억cells/ml, 엽조 5,000만 cells/ml, 제조사 익삼보)을 혼합 급이하였다.

먹이생물 공급량은 생먹이와 중국농축사료의 경우 혼합 3종을 약 3×10⁴cells/ml 농도로 하여 매일 공급하였고, 냉동농축사료는 0.02g씩, 건조분말사료는 0.01g씩 여과해수에 희석하여 매일 공급하였다.



그림 6-10. 부유유생 종류별 먹이생물 급이, 생먹이, 냉동농축, 건조분말, 중국농축사료

나. 연구결과

(1) 산란유발 및 실험준비

수온 17℃에서 옮겨온 건강한 어미해삼을 공기 중에 약 1시간 동안 노출시켜 간출자극과 표면자극을 시킨 후, 수온 23℃의 자연수에 유지시켰다. 이러한 산란 자극 결과 부유유생 먹이실험에 사용할 100만개의 건강한 수정란을 획득하였다. 수정란의 크기는 150 μ m 전후였으며 부화 후 12시간 후에 건강한 낭배기 단계로 진입하였고, 36시간 후에 부유유생인 아우리쿨라리아 단계로 발달하였다(그림 6-11).

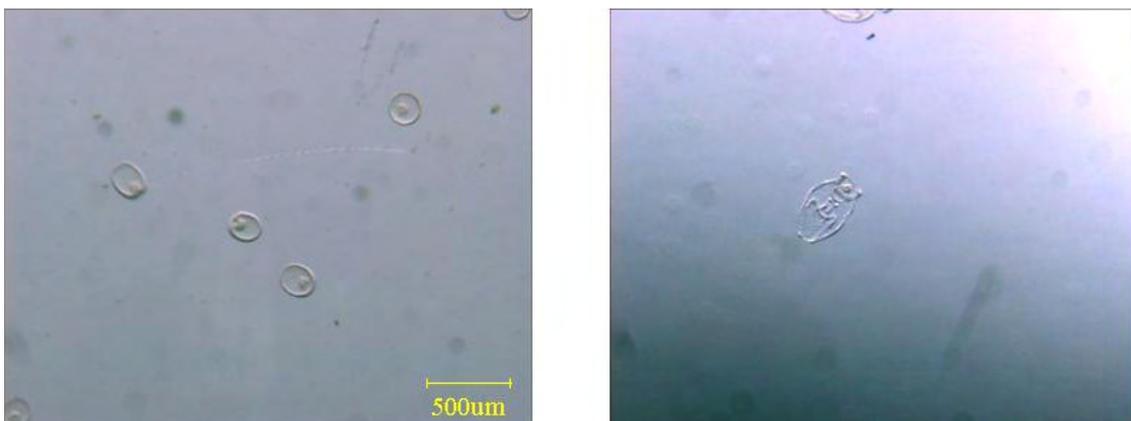


그림 6-11. 부화후 해삼 낭배기(좌, 12시간 후)과 아우리쿨라리아유생(우, 36시간 후)

(2) 먹이생물에 따른 부유유생 사육실험

해삼 부유유생사육에 미치는 먹이생물의 영향을 알아보기 위하여 *Phaeodactylum tricornutum*, *Nannochloris oculata*, *Isocrysis galbana*의 3종류를 혼합하여 생먹이, 냉동농축, 건조분말 시켜 준비하였고, 대조구로서 중국농축사료를 공급하여 사육한 결과를 그림 6-12부터 그림 6-15에 나타내었다.

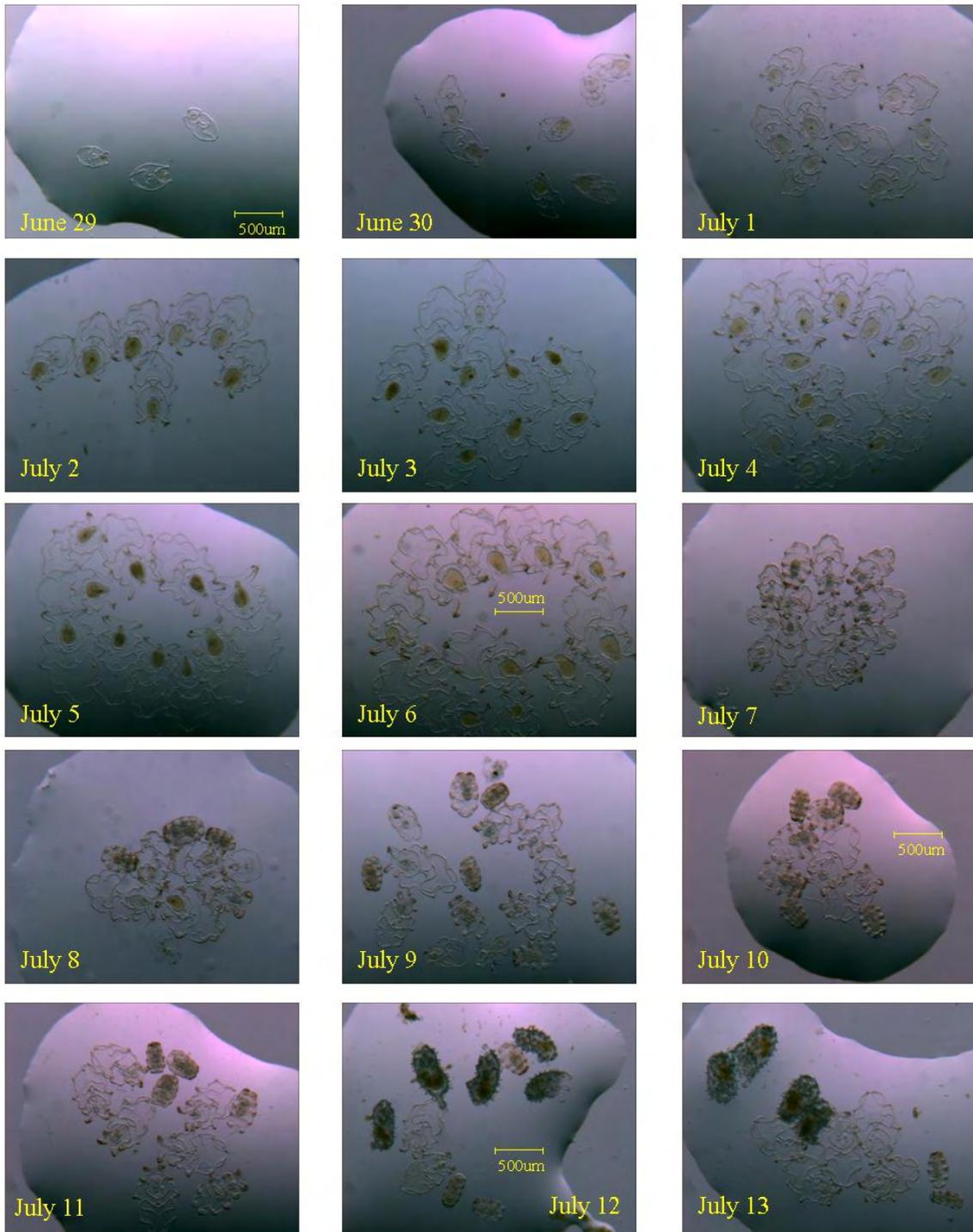


그림 6-12. 생먹이생물 공급에 따른 해삼 부유유생 성장 변화 관찰

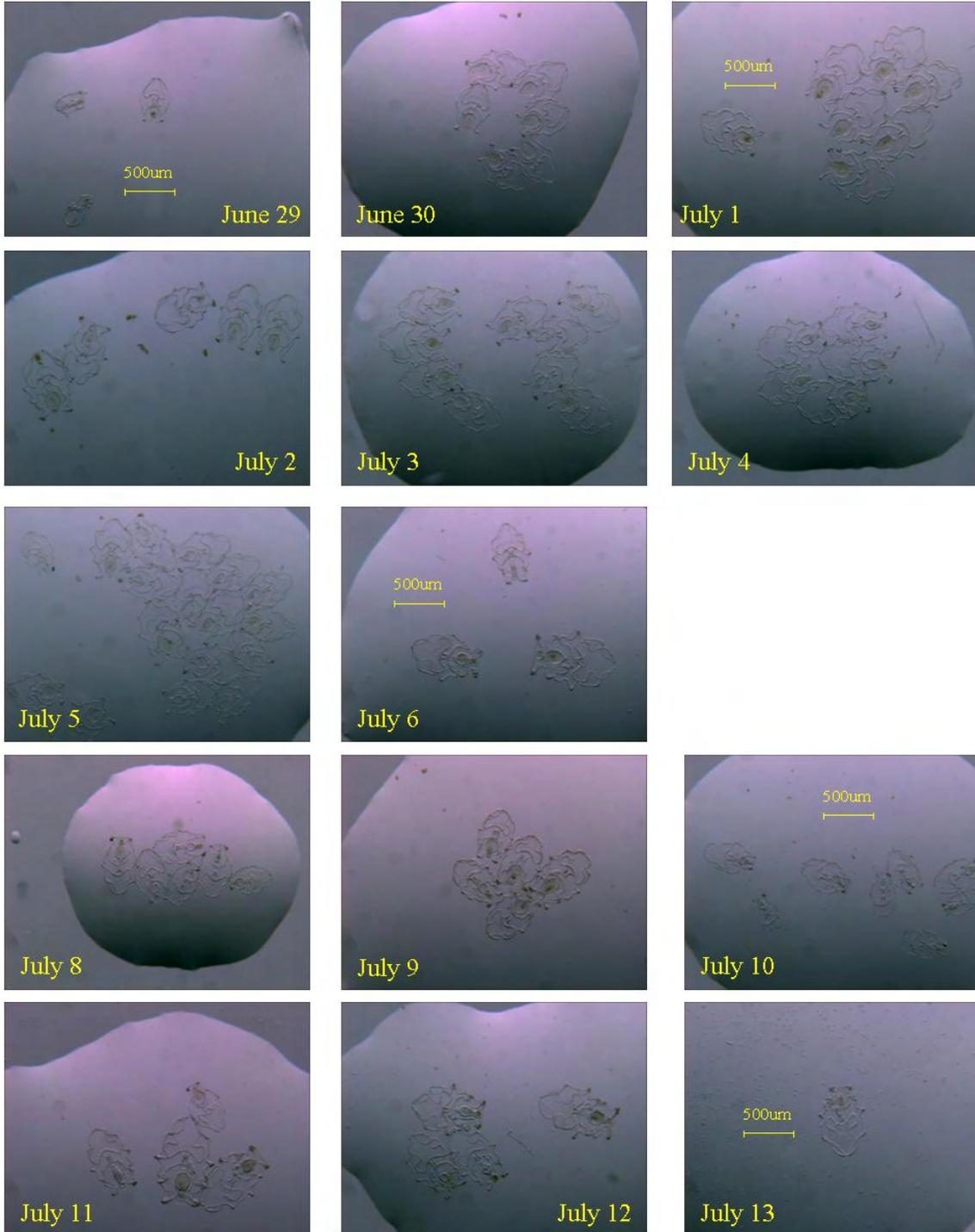


그림 6-13. 냉동농축먹이생물 공급에 따른 해삼 부유유생 성장 변화 관찰

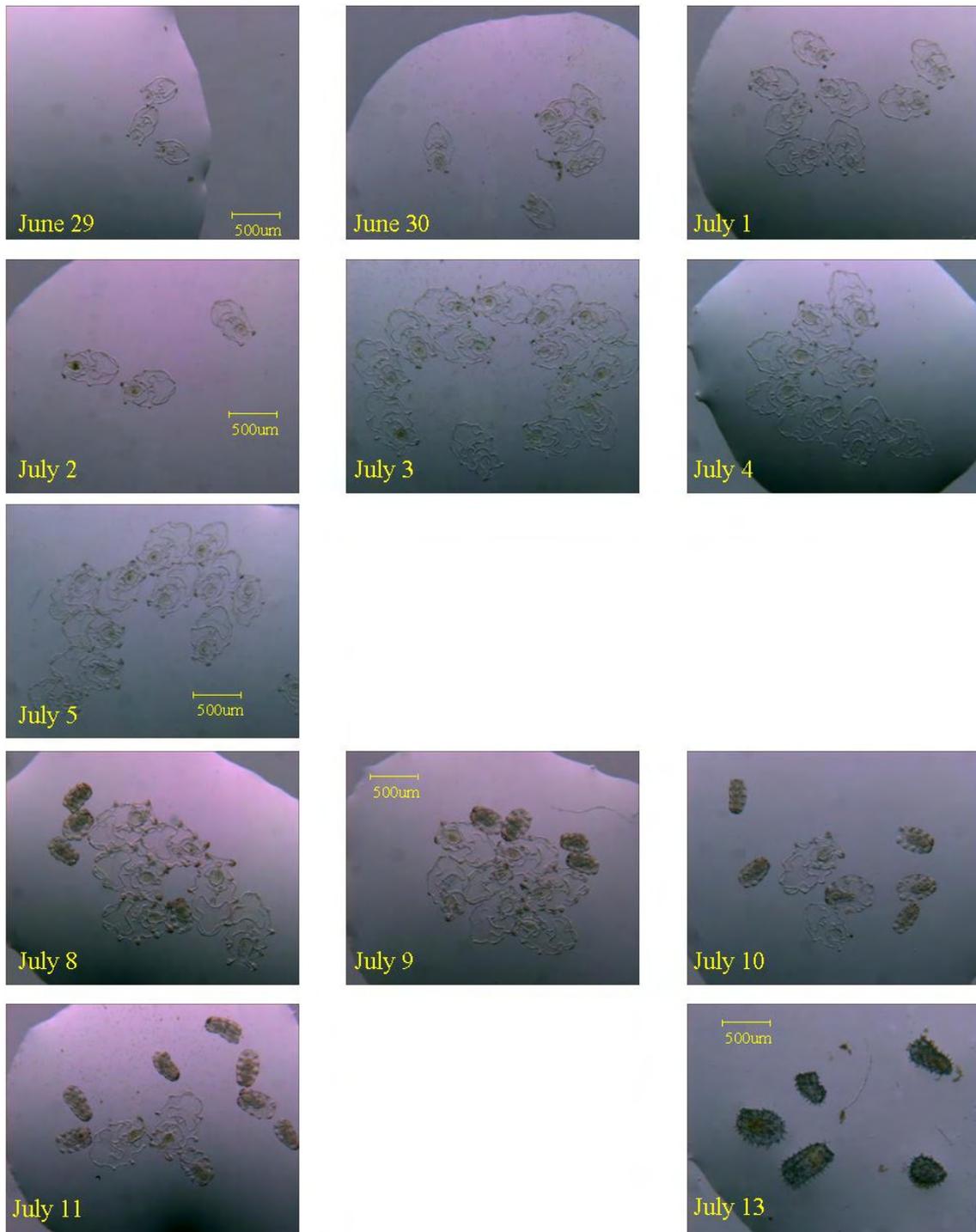


그림 6-14. 건조분말 먹이생물 공급에 따른 해삼 부유유생 성장 변화 관찰

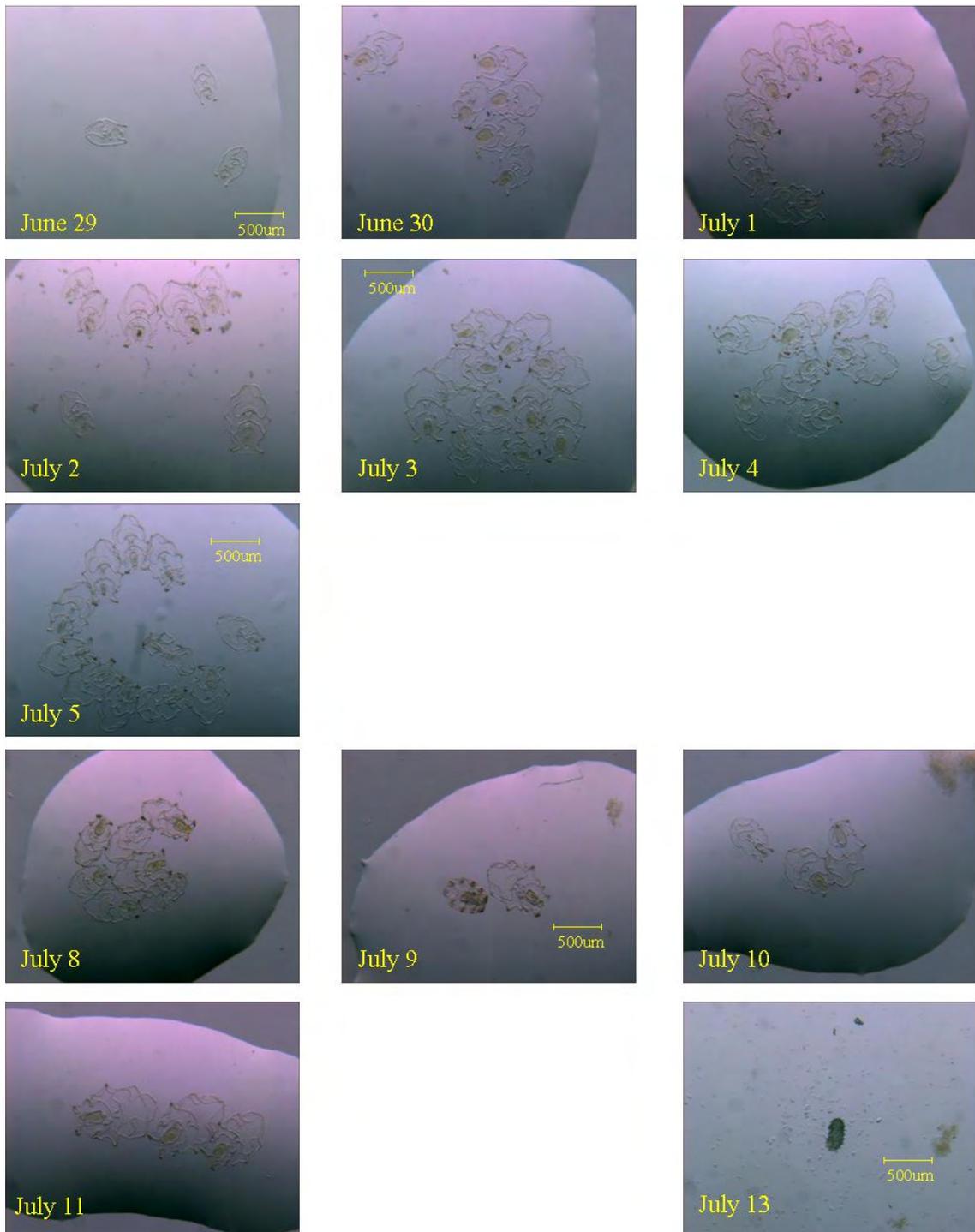
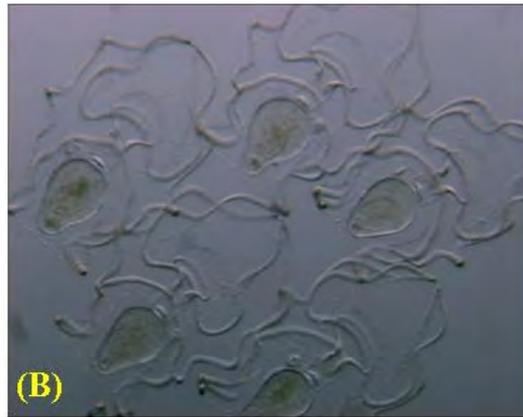


그림 6-15. 중국냉동농축사료 공급에 따른 해삼 부유유생 성장 변화 관찰

부유유생의 성장률을 알아보기 위한 실험에서는 실험구 모두에서 공급한 먹이를 충분히 섭식하는 것을 위충만도로부터 확인하였다(그림 6-16). 사육초기에는 모든 실험구에서 비교적 빠른 성장을 보였으나 중반 이후부터는 각 실험구별로 현저한 성장 차이를 보였다.

생먹이 공급구는 평균체장이 먹이 급이 7일째(7월 5일) $908\mu\text{m}$ ($774\sim 1,107\mu\text{m}$)로 최대를 보였으며, 이 후 변태에 따라 축소되기 시작하였다. 냉동농축 공급구는 먹이급이 3일째(7월 1일)에 평균체장 $700\mu\text{m}$ 이상으로 최대를 보였으며 이후 감소하기 시작하였으나 실험기간동안 돌리올라리아 및 펜탁톨라 단계로 변태하지는 않았다. 또한, 7월 11일 현미경 관찰 결과 움직임이 둔해지면서 몸체가 축소, 작은 흰반점이 생기는 피부궤양이 관찰되었다(그림 6-17). 건조분말 공급구는 점차적으로 평균체장이 증가하는 양상을 보이며 7월 4일(먹이급이 6일째)에 최대 $702\mu\text{m}$ 를 보였으며, 점차 체장이 감소하였다(그림 6-18).



(A) 생먹이, (B) 냉동농축, (C) 건조분말, (D) 중국농축

그림 6-16. 해삼 부유유생(아우리쿨라리아) 위충만도(급이 4일째, 7월 2일)

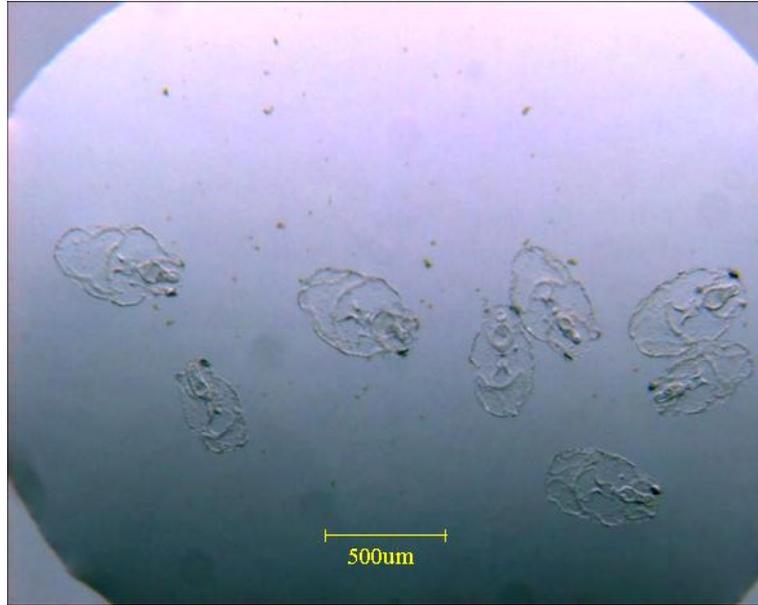


그림 6-17. 흰반점 및 피부궤양이 발생한 해삼 부유유생(7월 11일, 냉동농축 실험구)

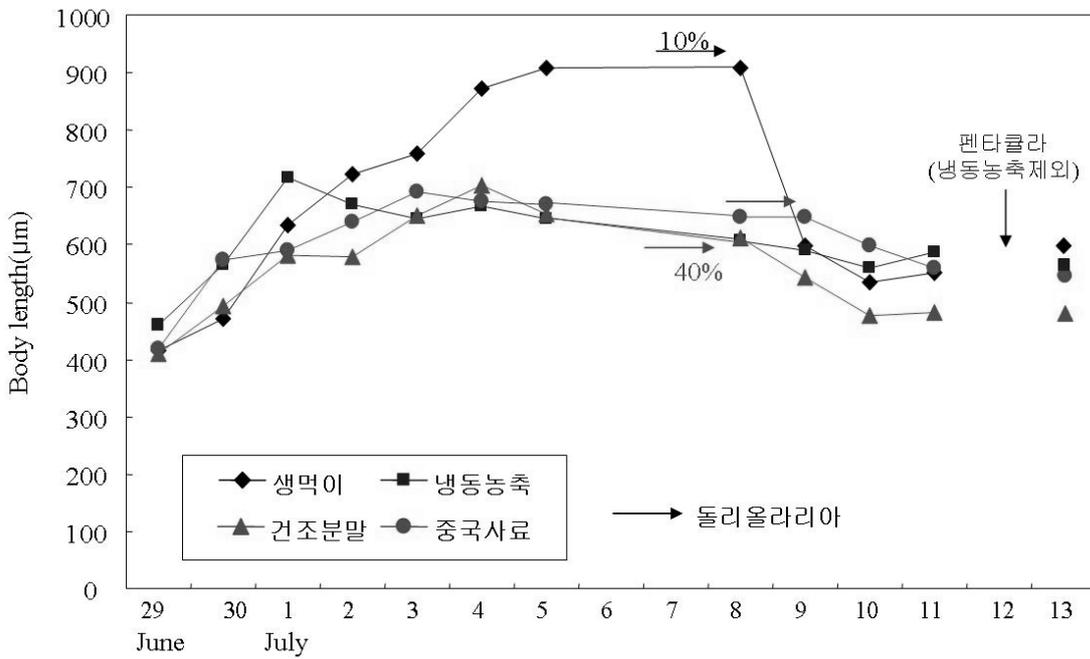


그림 6-18. 종류별 먹이에 따른 해삼 부유유생의 성장률

해삼 부유유생의 변태시기를 살펴보면 급이 10일째(7월 8일)에 생먹이와 건조분말 실험구에서 돌리올라리아 유생이 출현하기 시작하였으며, 출현비율은 각각 10%와 40%를 나타냈다. 중국농축사료 실험구에서는 7월 9일부터 돌리올라리아 유생이 출현하기 시작하였으며, 7월 12일에는 냉동농축 실험구를 제외한 나머지 3개의 실험구 모두에서 펜탁톨라로 성장 발달하였다. 냉동농축 실험구에서는 실험 완료인 급이 15일째(7월 13일)까지 돌리올라리아 및 펜탁톨라로 변태하지 못하였다. 7월 13일 현미경 관찰 결과에서는, 생먹이 실험구에서 아우리쿨라리아 : 돌리올라리아 : 펜탁톨라 = 5 : 2 : 4(그림 6-19)의 비율로 함께 출현하는 양상을 보였으며, 건조분말 실험구에서는 대부분이 펜탁톨라 단계로 변태하는 것을 관찰하였고, 중국농축사료 실험구 역시 펜탁톨라 유생이 출현하기 시작하였다.

부유유생의 생존율은 각 수조마다 다양하게 나타났으나, 실험 종료기인 급이 15일째(7월 13일)에 생먹이 실험구에서 83.1%로 가장 높은 생존율을 보였으며, 나머지 3 실험구는 건조분말 21.6%, 중국농축사료 12.8%, 냉동농축 1% 미만의 생존율을 보이며 심한 감모를 나타냈다(그림 6-20). 생먹이생물 실험구를 제외한 실험구에서 낮은 생존율을 보이는 것은 실험기간동안 환수를 하지 않아 생먹이를 제외한 실험구에서 수질악화로 인한 것으로 추정되며 실제 해삼종묘생산에서 환수를 고려한 유생관리에서는 높은 생존율을 보여준다.

이상의 결과로부터 해삼의 부유유생 단계에서는 생먹이를 급이하였을 경우 가장 높은 성장률을 보이는 반면에, 건조분말을 급이하였을 경우 가장 빠른 변태율을 나타냈다.

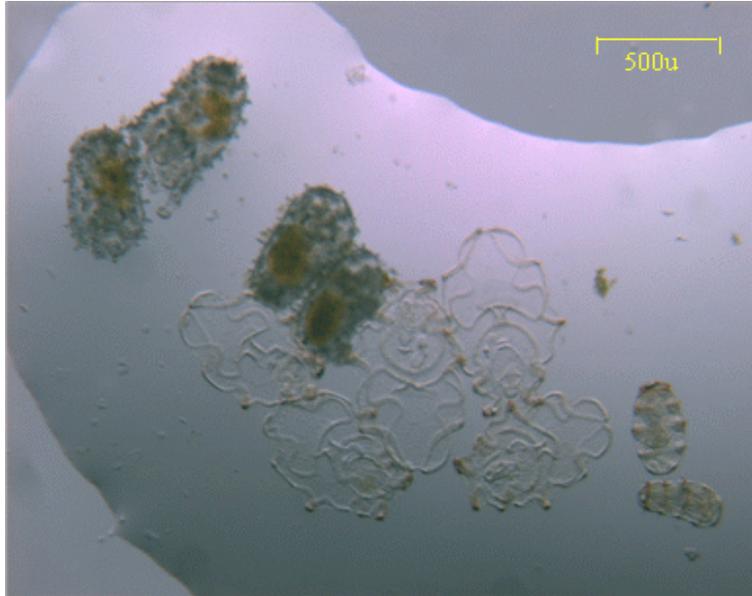


그림 6-19. 생먹이생물 실험수조 해삼부유유생의 성장 관찰

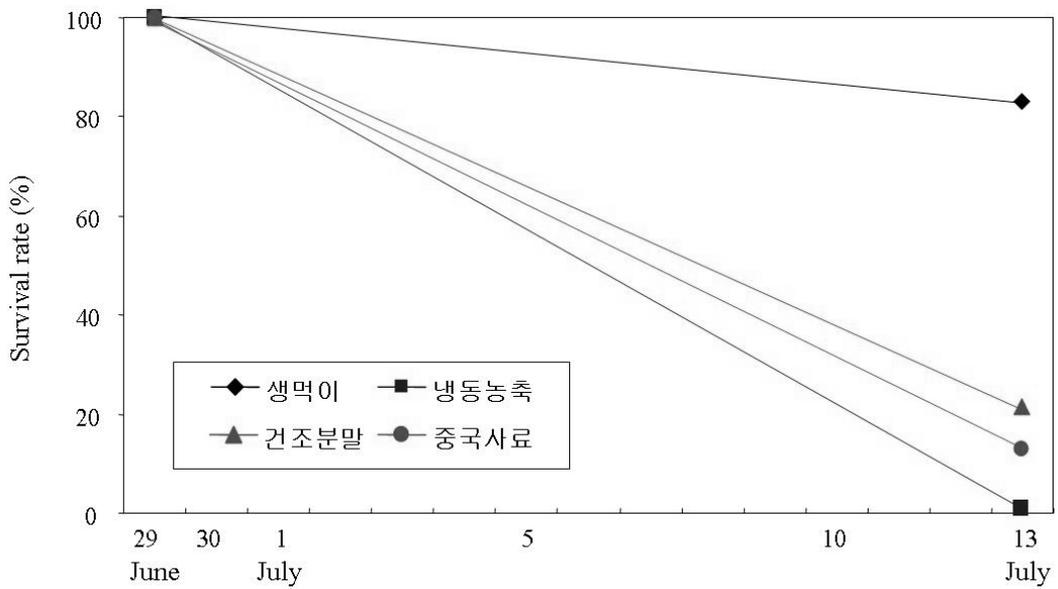


그림 6-20. 먹이 종류별 실험구에서 해삼 부유유생의 생존율(%)

4. 어린해삼 배합사료 개발

가. 재료 및 방법

(1) 어린해삼 선별 및 관리

실험에 사용한 어린해삼은 2011년 6월에 갯벌연구센터에서 생산한 1g 내외의 어린해삼을 선별하여 사용하였다. 실험실 수조에 수용 후 일주일동안 안정화시킨 후 실험을 개시하였다(그림 6-21). 어린해삼(평균 개체수 : 70 ± 1 inds., 평균체중 : 40.26 ± 0.27 g)은 총 12개 수조(50L 유리 사각수조)에 3반복으로 수용하였다. 각 수조는 실험기간 동안 약하게 폭기를 유지하였다. 실험구는 4종류로 3개의 실험구는 자체개발 배합사료를 나머지 하나는 현재 종묘생산에서 사용하는 중국 사료를 대조구로 사용하였다(그림 6-22). 실험사료는 처음에 어린해삼 체중의 5%씩 1일 2회(7:30, 17:30) 급이 하였으나 체중의 감소가 발생하여, 5월 18일 이후부터는 체중의 10%씩을 급이 하였다. 급이 후 어린해삼의 활발한 섭식활동을 위해 3시간씩 정수하였고, 그 후 각 수조마다 여과해수를 4.8L/min로 조절하여 유수하였다. 사육수는 자연침전 → 모래여과기 → 재침전 → 카트리지필터($10\mu\text{m}$, $5\mu\text{m}$)로 여과하여 사용하였다. 또한 어린해삼의 부착 및 사료 잔여물이 침전·부착할 수 있는 망지를 각 수조 바닥에 깔아주었다. 수조에 쌓이는 사료 찌꺼기 및 어린해삼의 배설물은 3일에 한 번씩 사이펀을 이용해 제거하였으며, 일주일 간격으로 수조를 청소하였다. 실험은 총 8주(5월 8일~6월 29일)동안 이루어졌다. 실험 중간(3회; 5월 12일, 5월 31일, 6월 13일)과 실험 종료(6월 29일) 후, 각 수조 내 전체 어린해삼의 무게 및 마리수를 측정하고 증체율, 일간 성장률, 생존율을 평가하였다.



그림 6-21. 사료개발 실험을 위한 어린해삼 선별작업

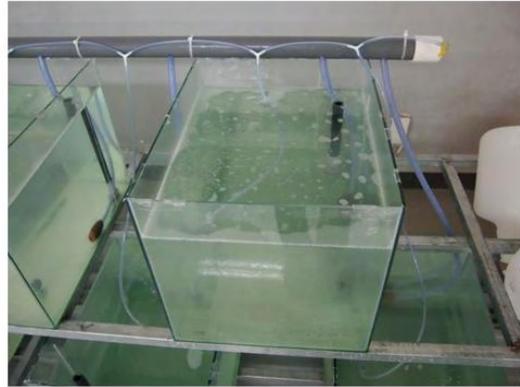


그림 6-22. 어린해삼 사료개발 실험을 위해 제작된 실험수조 전경

(2) 사육환경

어린해삼 사료 실험기간 동안 배합사료별 수조마다 다항목수질측정기(Horiba; U-51)를 이용하여 수조 내 수온, 염분, DO 및 pH를 매일 일정시간에 측정하였다(그림 6-23).



그림 6-23. 다항목수질측정기(Horiba, U-51)

(3) 사육수조 및 부착기질 소독

어린해삼을 수용할 수조는 차아염소산나트륨(유효염소 5%, NaClO)를 100배 희석하여 브러쉬로 벽면 및 바닥을 소독 한 후, 담수를 이용하여 충분히 세척, 여과해수로 행구어 사용하였다. 부착망지 또한, 충분히 세척한 후 재사용하였다(그림 6-24).



그림 6-24. 사료개발 실험 수조 청소

(4) 사료원 및 실험 배합사료 제조

실험에 사용한 사료 원료의 배합비율을 표 6-7에 나타냈다. 단백질과 탄수화물, 발효원, 기질 함량을 달리한 디자인으로 총 4종류의 실험 배합사료를 제조하였다. 실험배합사료의 단백질원으로 갈색어분, 탈피대두박, 발효대두박을, 탄수화물원으로 밀가루, 지층이, 미역분말을, 발효원과 기질로서 각각 막걸리 제조분과 머드분말을 사용하였다. 대조구로 사용한 중국사료는 모두 중국에서 수입한 사료 제품 - 배합사료, 지층이, 해조류분말, 수산효모, 머드분말 - 을 사용하였다(그림 6-25). 모든 실험구의 실험배합사료를 표 6-7과 같이 일정량을 혼합하여 여과해수에 희석하여 끓인 후 상온에서 식혔다. 기타첨가제로는 복합비타민과 미네랄을 물에 녹여 끓인 배합사료가 식은 후 정량 혼합하였다. 실험에 사용한 사료는 10일 단위로 만들어 냉장 보관하여 사용하였다. 사료공급은 매일 2회(아침과 저녁) 각각 정량을 분배하여 급이 하였다. 먹이공급량은 다른 문헌을 참고하여 처음에 체중의 5%를 급이 하였으나 어린해삼의 체중 감소가 발생하여 5월 18일 이후부터는 체중의 10%로 증가시켜 급이 하였다.

8주 실험기간 동안 어린해삼의 성장률과 생존율 중간점검은 총 5회 실시하였으며, 각각의 실험구에 대하여 어린해삼의 무게(g) 및 개체수를 매개변수로 성장률과 생존율을 측정하였다(그림 6-26).

표 6-7. 어린해삼 배합사료 원료 배합비율(%)

	실험배합사료(자체개발)				중국수입사료	
	(%)	Diet 1	Diet 2	Diet 3	(%)	Control
단백질	어분	20	20	20	수입사료*	30
	대두박	20	20	-		
	발효대두박	-	-	20		
탄수화물	밀가루	20	20	20	지충이	25
	지충이	20	10	10	미역분말	10
	미역분말	10	10	10	수산호모	10
발효원	막걸리제조분	10	10	-	머드분말	25
씹는기질	머드 분말	-	10	20		

* 수입사료 성분 : 지충이분말(*Sargassum thunbergii*), 홍합(*Mytilus edulis*), 옥수수 단백질(Corn protein), 복합인산에스테라아제(Phosphoesterases complex), 복합비타민(Centrum), 미네랄, 미량원소, 성장촉진제



국내개발사료



중국수입사료

그림 6-25. 어린해삼 배합사료원



무게측정 및 개체수 파악
그림 6-26. 어린해삼 중간점검

나. 연구결과

(1) 사육환경

배합사료 개발 실험기간 동안 수조 내 환경변화는 그림 6-27에 나타내었다. 실험기간동안 수온은 17.1~24.4℃(평균 21.2℃) 범위로 변화하였고, 시간경과에 따라 점차 상승하는 경향을 나타내었다. 염분농도는 30.0~33.8psu(평균 32.8)의 범위로 실험기간 내내 안정적인 범위를 나타냈다. 용존산소(Dissolved oxygen)의 경우는 4.52~9.26mg/L(평균 6.9)의 범위로 나타났으며, 수온의 상승과 함께 감소 경향을 나타내었다. pH는 7.2~8.2로 안정적인 값을 나타냈다.

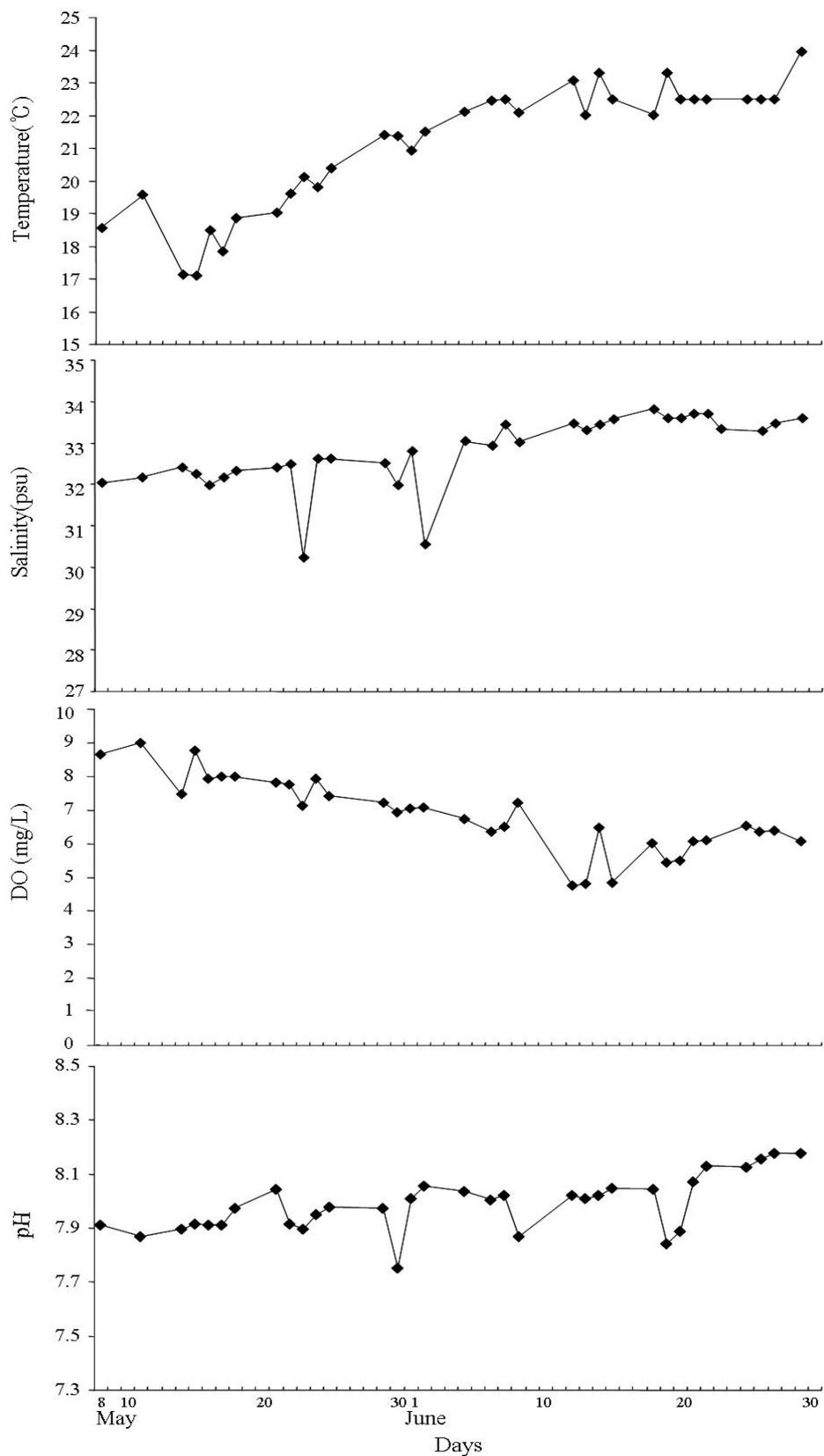


그림 6-27. 어린해삼 사료개발 실험기간동안 수조 내 환경변화

(2) 배합사료별 어린해삼 사육실험

배합사료의 단백질원과 탄수화물원과 함량이 각기 다른 실험배합사료로 1g 내외의 어린해삼을 8주간 사육 실험한 개체수의 변화를 표 6-8에 나타내었다. 실험에 사용한 개체수는 52~90개체로 완만하게 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 실험 개시일로부터 17일째(5월 31일)에 3번 수조(실험구 1)에서 20개체, 9번 수조(실험구 3)에서는 전량폐사가 발생하였다(그림 6-28). 전량 폐사한 실험구 3의 9번 수조는 결과 분석 및 해석에서 제외시켰으며, 사육실험 결과는 실험구별 평균으로 나타냈다.

각 실험구별 평균 개체수의 변화를 살펴보면 표 6-9와 그림 6-29와 같다. 실험구당 평균 62~77개체의 어린해삼이 사용되었고 실험기간 동안 측정은 모두 5회 이루어졌다. 모든 실험구에서 시간 경과에 따라 개체수가 다소 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 어린해삼의 개체크기가 작거나 무게가 가벼워 환수과정에서 유수에 의한 흐름에 지배당하여 사망한 것으로 사료의 영향에 의한 폐사개체는 발생하지 않았다.

실험구별 어린해삼의 평균 중량변화를 살펴보면 표 6-10과 그림 6-30과 같다. 사료는 체중의 5%를 각각의 실험구에 급이 하였다. 5월 12일 첫 번째 중간 측정 시 전체적으로 평균중량이 34~39g으로 1~7g정도 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 수조 내 물곰팡이 및 사육수 내 해적생물로 알려진 요각류 및 부유성 동물플랑크톤(단각류, 조에아 유생, 화살벌레 등)의 출현이 어린해삼의 중량 감소에 영향을 미친 것으로 사료되나, 물곰팡이 및 해적생물이 어린해삼의 생존에 직접적인 영향을 미치지 않았다. 실험 기간 중 사료 급이량을 증가시켜 5월 18일 이후부터 체중의 10%를 급이 하였다. 그 결과 어린해삼은 급격하게 성장하였으며 6월 13일에는 실험 개시일보다 62~101g으로 1.5~2.5배의 높은 성장을 나타냈으며, 실험 종료인 6월 29일에는 모든 실험구에서 2배 이상의 높은 성장을 보였다. 각 실험구별 성장률은 실험구 3, 실험구 2, 실험구 1, 중국농축사료 순으로 나타났다(그림 6-30).

표 6-8. 어린해삼 배합사료개발 실험 개체수 변화양상

Individuals	NO.	May 8	May 12	May 31	June 13	June 29
Diet 1	1	57	57	54	53	46
	2	78	77	72	71	70
	3	52	60	40	40	38
Diet 2	4	74	70	68	65	61
	5	84	83	79	76	72
	6	66	62	62	57	57
Diet 3	7	67	65	65	65	59
	8	72	72	72	69	67
	9	56	47	0(폐사)	0(폐사)	0(폐사)
Control	10	66	64	62	45	46
	11	90	90	80	78	78
	12	74	71	70	66	60



그림 6-28. 3번 수조와 9번 수조 어린해삼 폐사개체(5월 31일)

표 6-9. 실험기간동안 실험구별 평균 개체수 변화

Mean Individuals	May 3	May 12	May 31	June 13	June 29	Survival rate(%)
Diet 1	62	62	55	55	51	82.3
Diet 2	75	72	70	66	63	84.0
Diet 3	70	69	69	67	63	90.0
control	77	75	71	63	61	79.2

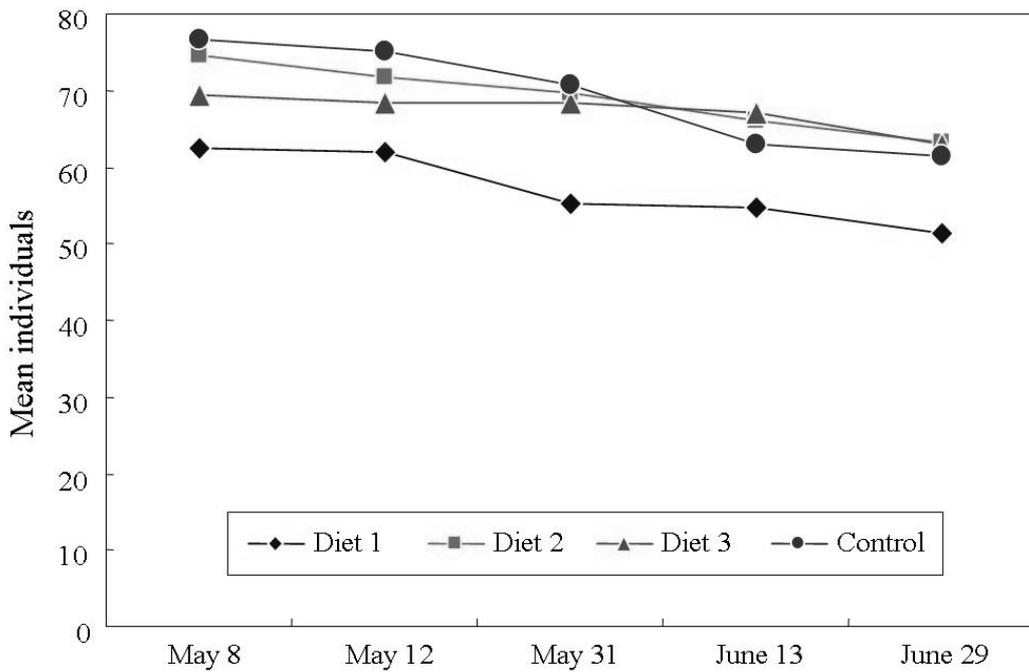


그림 6-29. 어린해삼 사료개발 실험기간동안 실험구별 평균 개체수 변화

표 6-10. 실험기간동안 실험구별 평균중량변화(g)

Mean weight(g)	May 8	May 12	May 31	June 13	June 29
Diet 1	40.25	35.53	40.82	63.09	82.65
Diet 2	40.20	39.13	51.95	82.60	100.83
Diet 3	39.94	34.80	54.22	100.89	107.37
control	40.36	33.85	40.70	61.74	70.95

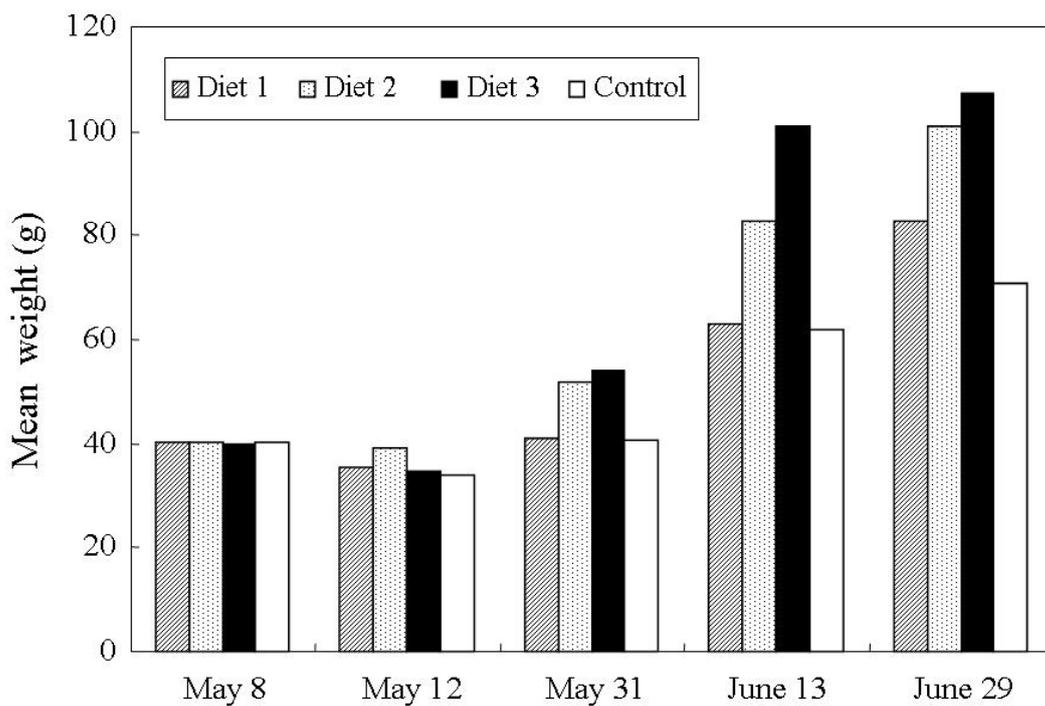


그림 6-30. 실험기간동안 실험구별 평균중량변화(g)

각기 다른 실험배합사료로부터 어린해삼을 8주간 양성하여 얻은 개체별 평균 체중의 변화 결과를 살펴보면 표 6-11과 같다. 가장 높은 성장률을 보인 실험구 3은 다른 실험구 모두와 유의한 차를 보였다($p < 0.05$). 실험구 1, 2, 즉 자체개발 사료는 중국사료와 유의한 차를 보이지 않았다. 일반적으로 사료내 단백질 함량이 증가하면 어류의 성장이 향상되는 것으로 알려져 있다(NRC, 1993). 실험구 3의 경우, 단백질원과 발효원으로 발효 대두박을, 기질로써 머드를 사료원으로 첨가하여 사용하였다. 기존의 해삼 단백질 요구량 실험(Seo et al., 2008)에서 사료내 단백질 함량이 증가할수록 어린해삼의 성장이 향상되어 단백질 함량이 30%인 실험구에서 양호한 성장을 보인다고 보고하였다. 본 연구에서는 단백질원과 발효원으로 발효대두박을 사용하여 40%로 향상시켜 비교 실험한 결과, 중국사료(배합사료 30%)의 결과보다 훨씬 더 성장이 양호한 것으로 나타났다. 또한, 단백질원인 대두박을 발효시켜 사용함으로써 어린해삼의 소화 및 흡수율을 향상시켜 어린해삼의 성장에 기여했을 가능성도 있다.

각 실험구별 일간 성장률을 살펴보면, 실험구 3은 0.03g/day, 실험구 1과 2는 0.02g/day, 중국 사료에서 0.01g/day의 순으로 높은 성장률을 나타냈다(표 6-11).

표 6-11. 실험구별 어린해삼의 평균 성장률(g)

	May 8	May 12	May 31	June 13	June 29	Growth rate(g)/day
Diet 1	0.61	0.54	0.66	0.96	1.31	0.02
Diet 2	0.51	0.52	0.65	1.06	1.40	0.02
Diet 3	0.63	0.57	0.79	1.50	1.71	0.03
Diet 4	0.50	0.44	0.56	0.93	1.06	0.01

실험배합사료를 섭취한 어린해삼의 생동력은 육안으로 관찰할 수 있었다. 또한 그림 6-31은 사료 급이 후 수조내부를 촬영한 사진으로 어린해삼의 왕성한 섭이 활동 및 배설물을 나타낸 것이다.

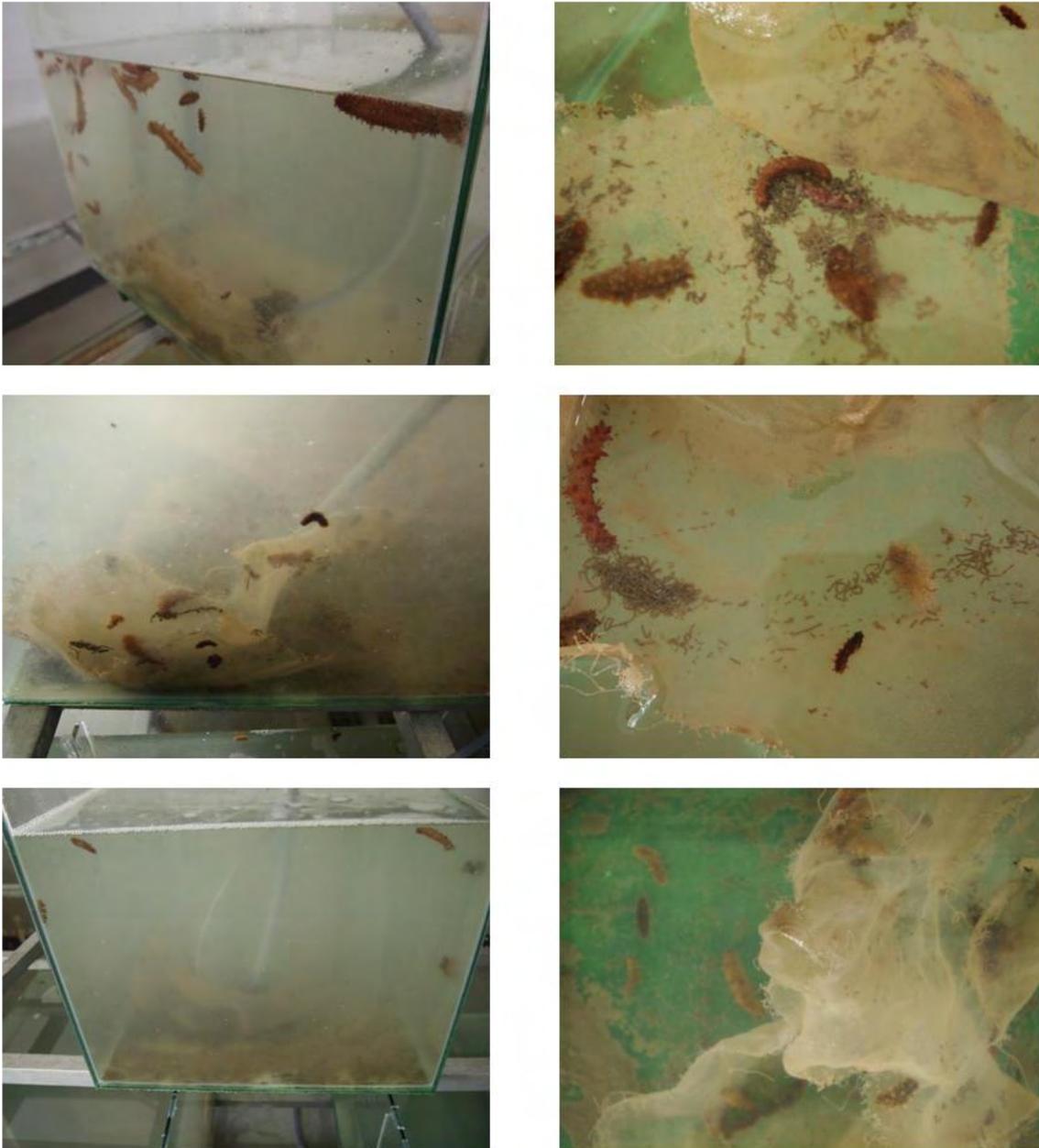


그림 6-31. 섭이활동중인 어린해삼(좌)과 섭이활동 후 어린해삼 배설물(우)

(3) 해적생물

실험기간동안, 사육수조 내에서 관찰된 해적생물을 다음 그림에 나타내었다(그림 6-32). 관찰된 생물은 원생동물(protozoan), 스쿠치카, 저서성 요각류, 단각류, 갑각류 유생 등 아주 다양하게 출현하였다. 일반적으로 원생동물에 감염되면 내장과 호흡수가 체외로 방출되어 결국에는 폐사로 연결된다. 또한 요각류(*Microsetella* sp., *Tigriopus japonicus*)의 공격을 당한 어린해삼들의 몸체에 상처가 생기고, 운동력이 약해지면서 폐사로 연결된다. 이 외에도, 각종 바이러스 및 박테리아, 곰팡이, 편형동물 등이 질병원으로서 알려져 있으나, 해적생물이 해삼 유생에 미치는 직접적 증후나 그에 대한 대처방안이 아직 규명되지 않아 이에 대한 시험연구가 반드시 필요하다.



그림 6-32. 사육수 내 출현한 해삼의 해적생물

5. 결 론

가. 부유유생 먹이실험

해삼 부유유생의 먹이생물로서 매우 중요한 식물플랑크톤의 안정적인 배양공급이 어렵기 때문에 냉동, 건조 먹이생물과 같은 대체 먹이원의 개발에 대한 연구가 많이 수행되고 있다. 본 연구에서는 해삼 부유유생에게 혼합(규조류, 녹조류, 편모조류) 식물플랑크톤의 생먹이생물, 냉동농축, 건조분말을 먹이로 공급하였을 때 성장과 생존율을 비교 조사하였고, 더불어 중국 냉동농축 사료와의 비교를 통해 국내 사료 대체 효율성에 대해 알아보았다.

본 연구에서는 부화 후 3일이 지난 후 평균 426 μ m 크기의 아우리쿨라리아 유생이 되어 활발한 운동능력과 함께 먹이를 섭취하기 시작하였으며, 종류별 먹이 실험구에 따라 최대 성장일 및 크기가 다양하게 나타났다. 그러나 아우리쿨라리아 단계에서 최대 성장률은 생먹이생물 실험구에서 가장 높게 나타났으며(평균 908 μ m), 나머지 3개의 실험구는 비슷한 성장률을 보였으나 중국농축, 냉동농축, 건조분말 순으로 나타났다. 최대 성장을 한 후 먹이 급이 10일째부터 돌리올라리아로 변태하기 시작하였으며 이때 몸은 수축하여 생먹이 실험구에서는 평균 394 μ m, 건조분말 실험구에서는 평균 363 μ m를 나타냈다. 또한 15일째에는 섬모가 소실되어 5개의 측수를 갖는 펜타툴라 유생으로 변태한 후 저서생활로 들어갔다. 이러한 결과는 Lee & Park(1999)의 보고와 비슷하다.

생존율에 있어서 생먹이생물-건조분말-중국농축-냉동농축 순으로 각각 83.1%, 21.6%, 12.8%, <1%으로 나타났다. 생먹이생물 실험구를 제외하고 나머지 실험구에서는 극히 저조한 생존율을 보였다. 이는 3개의 실험구에 사용한 냉동농축, 건조분말을 먹이로 공급한 경우 운동성이 없어 수조 바닥으로 침적해 해삼 부유유생이 섭취할 수 있는 먹이의 양이 극히 제한되며 침적된 사료 찌꺼기로 인해 수조 내 수질악화가 일어나 생존에 좋지 않은 환경이 조성되어 나타난 결과로 생각된다. 실제로 실험기간동안 각 수조 내 부유유생의 움직임을 살펴본 결과 생먹

이 실험구에서는 상하좌우로 아주 활발한 움직임은 보였으나, 다른 나머지 3개의 실험구에서는 천천히 상하의 움직임만이 관찰되었다. 그러나 실제 해삼종묘생산에서는 환수를 지속적으로 하기 때문에 이러한 사례는 충분히 개선될 수 있다.

2011년과 2012년에 중국냉동농축사료를 이용한 인공종묘 대량생산 시 부유유생을 지나 착저단계인 펜탁툴라기까지의 생존율은 약 20%로 나타났다(Chapter 1 & 2). 본 연구결과는 12.8%의 생존율을 보였으나 이는 생산규모에서 오는 차이 및 환수율에 의한 것으로 생각된다.

또한, 2005~2006년에 걸쳐 부유유생 먹이로 식물플랑크톤 구조류(*Chaetoceros calcitrans*)와 편모조류(*Pavlova lutheri*, *Isocrysis galbana*)를 함께 공급하여 부유유생이 변태되어 착저기에 안정되게 이르게 될 때까지 생존율이 48.1~57.7%로 나타났다(해양수산부, 2006). 이를 토대로 본 연구 결과에서 높은 성장률을 보인 생먹이생물 실험구를 다양한 식물플랑크톤을 먹이로 공급하여 실시한다면 착저기인 펜탁툴라까지의 생존율을 50% 이상으로 안정되게 끌어올릴 수 있을 것으로 판단된다.

변태율에 있어서는 건조분말 실험구에서 가장 빨랐으며, 생먹이, 중국농축사료, 냉동농축 순으로 나타났다. 특히, 생먹이생물 실험구에서 먹이 급이 15일째에 아우리쿨라리아 : 돌리올라리아 : 펜탁툴라 = 5 : 2 : 4의 비율로 함께 출현하는 양상을 보였다. 일반적으로 해삼 부유유생 사육 시 먹이생물로서 생먹이(*Pavlova*, *Chaetoceros*, *Chlorella*, *Dunaliella*) 등이 주로 사용되며 이에 대한 많은 연구가 있다. 石田(1979)에 의하면 *Pavlova lutheri*, *Chaetoceros gracilis*의 단독 구 및 *Pavlova lutheri*와 *Chlorella* sp.의 혼합구는 정상적으로 변태를 하였으나 *Chlorella* sp.의 단독구에서는 16일째까지도 돌리올라리아기로 변태하지 못하였다고 보고했으며, 河合(1985)은 먹이 종류에 의한 성장시험에서 단독 투여의 경우 *Chaetoceros* 시험구가 가장 좋았고 혼합 투여의 경우에서도 *Chaetoceros*를 주체로 한 *Pavlova*를 혼합한 시험구에서 성장이 좋았다고 하였다.

본 연구에서 사용한 생먹이원으로는 규조류(*Phaeodactylum tricornutum*), 녹조류(*Nannochloris oculata*), 편모조류(*Isocrysis galbana*)를 혼합하여 급이 하였다. 일본의 경우, 해삼 유생에 녹조류(*Tetraselmis*) 및 편모조류(*Isocrysis*, *Pavlova*)를 급이 하였을 경우 활발한 섭이활동은 이루어지지지만 소화·배설을 하지 못해 항상 위 속에 머물러 있다고 보고하였다. 따라서 현재 일본은 해삼 연구의 비교 분석을 보다 용이하게 하기 위해 모든 해삼을 다루는 곳에서 부유유생의 먹이로 생먹이 *Chaetoceros gracilis* 단독구를 사용한다고 한다. 혼합 먹이원이 다양한 영양분을 함유하고 있기 때문에 먹이 효과가 개선되기는 하지만 해삼 유생에 적합성을 판단하는 연구가 추가적으로 요구된다.

나. 어린해삼 배합사료 개발

최근 해삼 양식에 대한 관심이 증가하면서 종묘생산 및 양식기술에 대해서는 많은 연구가 진행되고 있으나, 양식생산 비용의 50% 이상을 차지하는 배합사료 개발에 관한 국내 연구는 거의 없는 실정이다. 현재 어린해삼 양성용 먹이로 해조류 분말이나 인공배합사료를 전적으로 수입에 의존하고 있는 실정이다. 해조류나 상업용 수입사료의 문제점 및 제한성이 분석되면서 배합사료를 처음으로 섭취하는 어린해삼에 적합한 배합사료 개발의 필요성이 대두되었다. 기존 어패류 및 해삼 배합사료의 필수 영양소 균형을 검토하여 기초적인 표준배합사료를 설계하는데 참고하였다.

기존에 보고된 어린해삼의 영양소 요구량과 균형을 조사하여 고효율 배합사료를 설계한 기본적인 정보를 바탕으로, 영양소의 균형을 고려하면서 어린해삼이 최대한 이용할 수 있는 값싼 원료를 선택하고 그 이용성을 조사하였다. 또한, 값비싼 수입원료에 대한 선정된 원료의 대체효과 및 성장효과에 관한 연구를 통해 보다 경제적인 배합사료를 설계하고 실제적인 어린해삼의 높은 성장률 측정 실험을 통하여 개발사료의 사용 가능성을 제시하였다. 실험수조에서 수입산 해삼사료와 자체개발사료의 비교 성장 사육실험을 수행하여 자체개발 사료의 현장적용

가능성을 확인하였다.

본 연구결과를 바탕으로 자체개발 배합사료가 수입사료와 비교하여 어린해삼의 성장에 뒤지지 않는다는 것을 반복 실험을 통해 증명하였으며, 경제성만 확보된다면 현재 해삼종묘생산업체들이 전적으로 의존하는 수입사료를 충분히 대체할 수 있을 것으로 판단되었다.

이상의 결과들을 통해 어린해삼 배합사료의 원료 구성에 대한 것을 요약하면 다음과 같다.

- 단백질원 : 어린해삼 배합사료의 단백질원으로서 동물성 원료보다는 식물성 원료의 사용이 더 효율적이며, 그 중에서 저렴하고 쉽게 구할 수 있는 대두박을 사용하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 그러나, 대두박 단일보다는 어분 혼용이 효과적인 것으로 사료된다.
- 지질원 : 해삼의 지질 이용성은 매우 낮음을 고려할 때, 지질 함량이 높은 원료 첨가는 좋지 않으며 본 연구에서 지질원은 제외시켰다.
- 탄수화물원 : 본 연구에서 사용한 탄수화물원은 밀가루, 지층이 분말, 미역 분말 3가지를 40%의 비율로 공급하였다. 중국에서는 지층이 분말을 20~40% 함량으로 사용하고 있으나, 20%가 좋다고 알려져 있다. 또한, 일반적으로 소맥분 15% 정도를 포함하는 것이 좋다고 알려져 있으나 대신하여 해조류 분말 50%까지 대체가능하다. 그러나, 밀가루로 인해 수조바닥에 침전되어 사료섭취가 감소하고 시간 경과에 따라 사료의 부패현상이 발생할 수 있음을 감안하여 수조 청소 및 밀가루의 비율을 낮추는 등의 방법으로 수조 내 환경을 주의 깊게 관찰할 필요성이 있다.
- 발효원 : 어린해삼의 효율적인 성장을 위해서 소화이용율과 면역을 증가시킨 어린생물 기능성 단백질로 안전한 생산에 기여할 발효대두박과 막걸리 제조분을 첨가해 주는 것이 좋으며, 사료의 단가, 원료의 구입 및 어린해삼

의 영양소 요구량을 고려하여 각각의 발효원 원료를 첨가해주면 좋을 것으로 예상된다.

- 기질 : 일반적으로 머드는 무기물로써 영양분 섭취를 위함보다는 해삼의 소화율을 돕기 위해서 첨가해주는 것으로 중국에서는 약 15% 정도를 첨가하는 것으로 알려져 있다. 국내 머드를 공급한 Diet 3(20%)에서 가장 높은 성장률을 보인 결과로부터 국내 머드 첨가 효과를 확인하였다.
- 일반적으로 어린해삼의 급이량은 체중의 3~5%를 급이하는 것으로 알려져 있다. 본 연구 또한 체중의 5%를 급이하는 것으로 시작하였는데 오히려 체중의 감소가 발생하여 실험 중반 이후 10%로 증가하여 급이하였다. 이 후, 어린해삼의 급격한 성장 및 다수의 배설물을 관찰하였으며 최적의 성장기(수온 22~24℃)에는 급이량을 증가시켜도 가능 할 것으로 판단된다. 단, 급이량의 증가는 수조 내 침전물의 발생과 직결되므로 더 주의 깊게 관찰할 필요성이 있다.
- 사료원들은 모두 섞어 끓여 식힌 후 망지에 걸른 것만 급이하였다. 그러나 중국 수입사료와 비교하여 국내 자체개발사료 원료들이 다소 조립질이 많아 걸른 후 망지에 남는 양이 중국 수입에 비해 세배 이상 많았다. 따라서 해삼의 사료섭취 특성 등을 고려하여 사료의 형태 및 사료 공급횟수 및 공급량의 사육기법에 대한 연구가 꾸준히 수행되어야 할 것이다.

이상의 요약사항들은 해삼의 사육조건(수온, 수질 및 밀도 등), 건강상태 그리고 개체 차이 등에 따라 달라질 수 있음을 참고하여 해삼양식을 위한 사료 제조에 응용하여야 할 것이다.

핵심 사항

- 부유유생 먹이생물 비교실험 결과 선택적으로 먹이를 섭취하기보다는 해수 중 먹이가 자연히 흘러들어가 섭취하는 것으로 나타남. 종류별 먹이 급이 시 생먹이의 성장률이 가장 높았으며, 냉동농축, 건조분말, 중국농축 순으로 나타남.
- 변태율은 건조분말을 급이하었을 경우 착저단계인 펜탁톨라기까지 100% 진행하는 것을 관찰하였고, 중국농축사료(50% 이상), 생먹이(36%)순으로 나타났으며, 냉동농축 먹이를 급이하었을 경우 변태가 발생하지 않음.
- 부유유생기에서 착저기까지 생존율은 생먹이생물 실험구에서 가장 높았으며, 건조분말, 중국농축사료, 냉동농축 순으로 높게 나타남
- 기본적으로 어린해삼의 배합사료 원료는 단백질, 탄수화물, 발효원, 기질 등의 영양소가 골고루 함유되도록 하였음
- 어린해삼 급이량을 체중의 5%에서 10%로 증가시킨 경우, 급이량의 변화에 따라 어린해삼 중량도 함께 증가하는 양상을 보여 높은 성장률을 나타냈으나, 이는 수조내 사료 침전물 및 배설물의 발생량도 더불어 증가함을 의미하기 때문에 주의 깊은 관찰이 요구됨
- 본 연구에서는 어린해삼 사료 배합시 단백질 및 발효원 40%(어분, 발효대두박), 탄수화물 40%(밀가루, 지층이, 해조분말), 기질 20%(머드분말)의 비율로 배합하여 급이하였을 경우 가장 높은 성장률을 보임
- 이는 중국수입사료의 대체원으로서 충분한 활용가능성을 증명하였으나 개발된 사료에 대한 재진단이 반드시 필요할 것으로 사료됨



| 제7장 |

해삼 인공어초 개발

1. 서 론
2. 해삼 인공어초 기능성 영양인자 분석
3. 해삼 운동특성 실험 연구
4. 해삼 인공어초 개발 연구
5. 해삼 인공어초의 안정성
6. 결 론

제7장 해삼 인공어초 개발



1. 서 론

가. 해삼 인공어초 개발개념

해삼양식의 생산량 증대를 위해서는 건강한 양식종묘의 확보와 안정적인 육성 기술의 확보가 중요하다. 특히 육성기술 확보를 위해서는 안정적인 서식공간의 확보가 중요하며, 특히 해삼양식의 경우 해삼의 섭식, 이동, 배설에 이르는 일련의 생태활동을 유지할 수 있는 공간이 확보되어야 서식 및 양식지로서의 역할을 수행할 수 있다.

따라서 해삼 인공어초의 개발을 위해 본 연구에서는 해삼의 서식지 조성 기능에 중점을 두어 서식지 조성을 위한 주요 요소로 섭식-이동-배설에 이르는 기초적인 생태 동선을 확보하고자 하였다. 이를 위해 다음과 같은 인공어초의 개발원칙을 수립하여 적용하였다.

- 해삼의 동선을 고려한 인공어초 개발
- 해삼의 섭식-배설의 생리활동을 고려한 인공어초 개발
- 수확성을 고려한 개발
- 자원보호기능을 고려한 개발
- 인공어초의 배치를 통한 위집효과 고려

위의 개발원칙을 적용하기 위해 다양한 형상을 고려하여 인공어초 개발을 실시하였으며, 이때 개발의 전제는 해삼의 생태 및 운동특성을 기본으로 하였다.

예를 들면 해삼의 동선을 유도하기 위해 파형의 골을 이용하여 동선 유도가능하도록 하였고, 섭식기능의 강화를 위해 인공어초 표면에 항상 유기물과 소화 흡수를 돕는 사니질이 침적될 수 있도록 하였다. 물론 이때 동선의 확보를 통해서 해삼의 이동 경향을 파악할 수 있으며, 이는 연동운동에 의한 배설 기능의 강화도 고려할 수 있다.

나. 과업의 내용 및 추진전략

본 과업은 표 7-1과 같이 전체 3개년 과제로 1차 년도에는 해삼 인공어초의 기반조사를 수행하였고, 2차 년도에는 인공어초의 개발을, 3차 년도에는 다양한 효과조사를 통해 인공어초의 기능성을 검토하고, 그 개발기술을 정립하는 단계로 계획되었다.

본 2차 년도 연구에서는 인공어초의 개발을 중점적으로 진행하였으며, 특히 해삼의 생태 및 운동특성을 고려한 해삼 인공어초의 표준모델을 개발하고 이에 대한 안정성 분석을 실시하였다. 특히 인공어초의 개발의 대상은 씨뿌림식, 축제식, 육상수조식의 세 개 양식방법에 대한 인공어초개발을 목표로 하였다. 그러나 본 해삼양식을 위한 인공어초는 표현을 “인공어초”라고 제시하고 있지만 실질적으로는 해삼양식을 위한 구조물이므로 양성기의 개념이 더욱 적합할 것으로 판단된다.

그림 7-1은 2차 년도 연구과제의 추진전략을 도시하였으며, 1단계에서는 인공어초의 개발을 위한 다양한 설계인자를 검토를 위해 행동특성 및 기존 개발현황들을 통한 분석을 실시하였으며, 2단계에서는 각 설계인자를 고려한 인공어초의 표준모델을 제시하고, 그 안정성을 검토하였다.

표 7-1. 연차별 과업내용

연 차	주요과업내용
1차 년도 (본 양성기술개발 기초연구)	<ul style="list-style-type: none"> • 해삼 고밀도사육 축양 시스템 Pilot 시험 • 해삼 갯벌 축제식 본 양성 선행 예비시험 및 문제점 분석 • 해삼 인공어초 관련조사 및 본 양성 예비실험
2차 년도 (본 양성 기술개발)	<ul style="list-style-type: none"> • 해삼 인공어초 관련 자료 조사 • 해삼 인공어초의 기능성 영향인자 검토 및 적용 • 해삼 인공어초의 안정성 검토 • 해삼 인공어초의 개선안 제시
3차 년도 (본 양성 기술정립)	<ul style="list-style-type: none"> • 해삼 본 양성 개발 기술 산업화 대량생산 시험 진단 • 해삼 본 양성 기술 정립

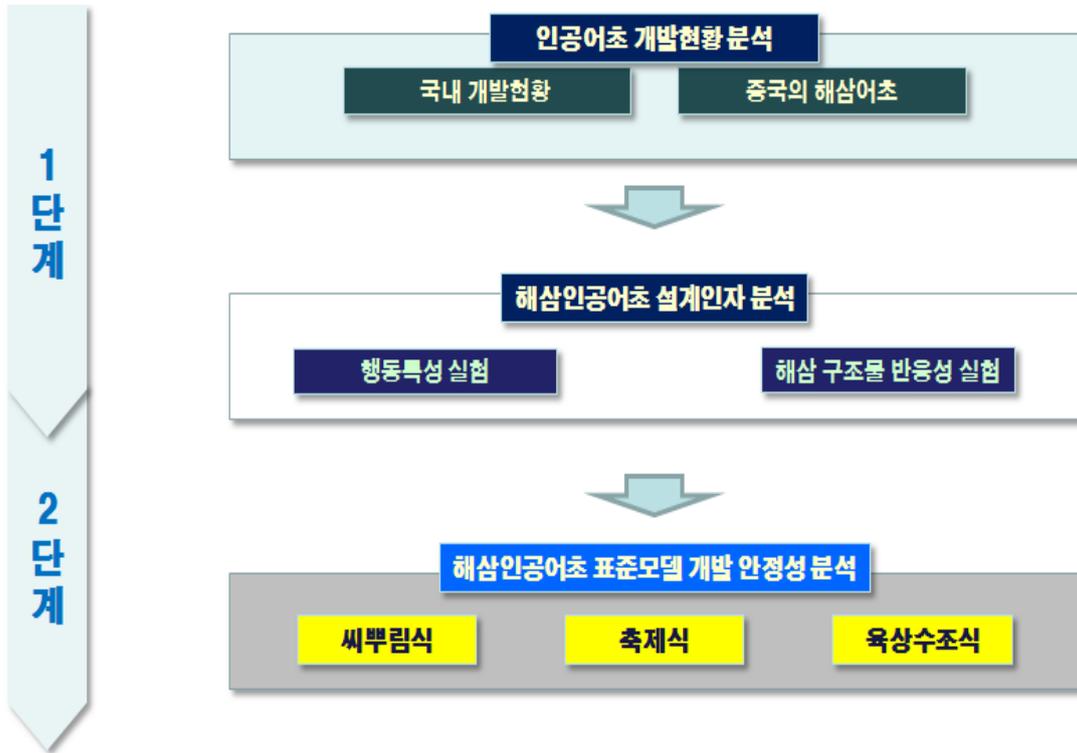


그림 7-1. 연구의 추진전략

2. 해삼 인공어초 기능성 영향인자 분석

해삼 인공어초의 개발을 위해 먼저 기존의 다양한 인공어초개발 결과를 분석하여 해삼 인공어초 개발을 위한 기능성 요소를 분석하고, 이러한 분석결과와 해삼의 생태특성 및 행동특성을 함께 분석하여 해삼 인공어초의 개발을 위한 설계 요소로 반영하였다.

이때 해삼의 생산성 향상을 위한 기능성과 자원의 보호를 위한 기능성을 함께 고려하였다.

가. 재료 및 방법

해삼 인공어초 기능성 영향인자의 분석을 위해 해삼의 생태 특성과 기존 인공어초 및 양식시설의 개발사례를 통해 그 특성과 장단점을 분석하였다.

(1) 해삼의 생태특성

(가) 해삼 현황

극피동물(棘皮動物)에 속하는 해삼류는 국내에 약 14종이 서식하는 것으로 알려지고 있는데 그 중 산업 경제적으로 중요한 종은 해삼(*Stichopus japonicus*)이다. 해삼은 영어권에서는 바다의 오이라 하여 sea cucumber라 부르며, 중국에서는 해삼(海蔘)으로, 일본에서는 껍질표면이 미끌거린다 하여 나마코(ナマコ)로, 아주 오랜 옛날에는 바다쥐(海鼠)라 부른 적도 있다.

해삼의 채취는 대부분 마을어장에서 잠수기 또는 해녀에 의해 자연산의 채취에만 의존해 오고 있다. 그러나 연안어장의 환경오염과 기후변화, 해안매립 등으로 산란장과 서식장이 축소되고 무절제한 남획으로 전 세계적으로 자원량이 감소하고 있는 국제적인 개체군 보존관리 위협 중이다.

우리나라의 자연산 해삼 생산량은 1990년 2,491톤을 최고로 하여 2002년에는

833톤으로 감소하고 있는 자원관리 대상품종이다. 최근에는 인공종묘에 의한 씨뿌림 양식이 시도되면서 생산량은 점차 회복되어 2007년에는 2,936톤으로 증가하였으며, 2010년에는 2000톤 수준으로 다시 줄어들고 있다(표 7-2, 그림 7-2). 지속적인 자원회복을 위해서는 인공종묘의 대량생산 및 씨뿌림 방류에 의한 자원조성과 함께 수요증가에 대응하기 위한 대량 양식생산이 필수적이다.

우리나라의 해삼은 전국적으로 분포하고 있으며, 속초-강릉-울진의 동해안과 통영-거문도-제주-진도로 이어지는 남해안, 보령-백령도의 서해안에서 주로 서식하고 있으며, 최근 종묘방류에 의한 해삼양식이 이루어져 다양한 지역에서 해삼의 생산이 이루어지고 있다(그림 7-3).

표 7-2. 연도별 해삼 어획량 동향(자연산)

연도별	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
생산량(톤)	2,491	1,892	1,419	900	833	1,281	1,154	1,136	1,614	2,936
생산금액(억원)	65	140	102	83	80	111	114	115	158	276

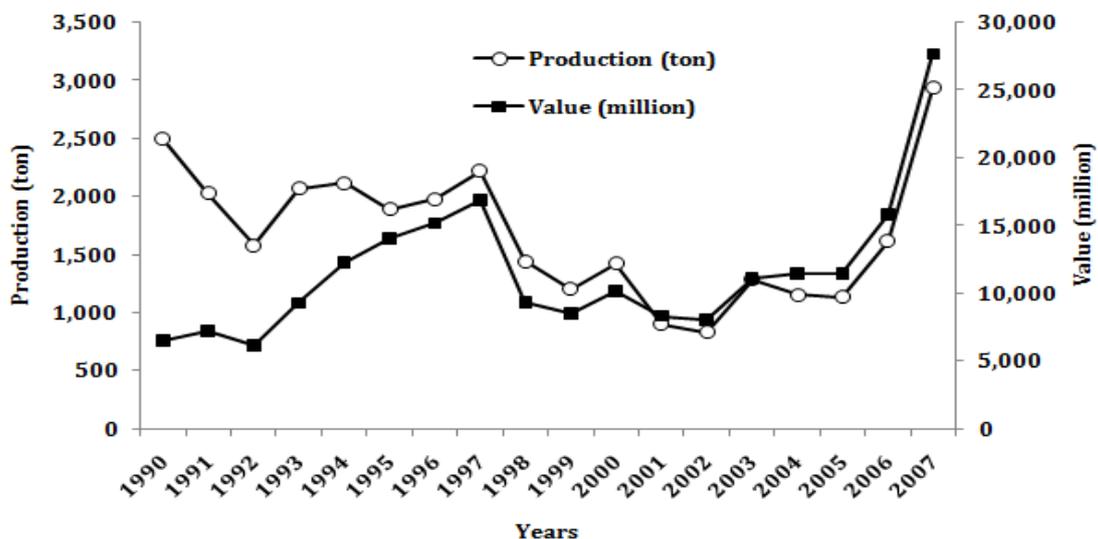


그림 7-2. 연도별 해삼생산량 추이



그림 7-3. 우리나라 해삼의 분포

(나) 해삼의 생물학적 특성

1) 형태적 특성

극피동물은 몸의 표면에 가시가 있는 동물이지만 해삼은 몸이 가늘고 길어서 꿈틀거리는 벌레와 같은 모양을 하기 때문에 성게나 불가사리류와 구별해서 극피동물 중 별도의 해삼강류(海蔘綱類)에 포함시키고 있다.

해삼류는 미세한 특징적 차이에 의해 몇 개의 그룹으로 나누어진다(그림 7-4). 그 중 해삼은 같은 종이라도 해삼(청해삼), 홍해삼, 흑해삼의 3가지 종으로 구별하고 있는데(그림 7-5), 이들은 체색뿐만 아니라 분포 서식장소, 몸의 신축성 또는 난의 형태, 변태이후 어린해삼 시기의 체색변화 패턴, 내부 및 외부기관의 구조 등에 많은 차이점이 나타나기 때문이다.

최근에는 외형 및 생태적으로 차이를 보이고 있는 해삼(청해삼), 홍해삼, 흑해삼을 같은 종류로 볼 것인가에 대한 Isozyme 연구 결과, 이들은 유전자 그룹은 하나이지만 유전적으로 여러 형태가 존재하는 것으로 추정하고 있다. 따라서 학자들 중에는 이것을 다른 종류로 다루는 것이 자연스럽다는 설과 분포·서식장의 차이에서 나타나는 단순한 생태형이라는 설이 있지만 아직까지 정설은 없다.

그러나 국립수산물학원 서해수산연구소에서는 전남 완도의 「연안수산」에서 해삼의 대량 인공종묘생산 시험결과 약 100만 마리의 어린해삼 중에서도 홍해삼과 흑해삼은 출현하지 않았으며, 홍해삼의 인공종묘생산 시험에서도 해삼과 흑해삼이 전혀 나타나지 않는 것으로 보아 산업적으로는 해삼과 홍해삼, 흑해삼을 다른 종류로 다루는 것이 타당하다고 판단하였다.

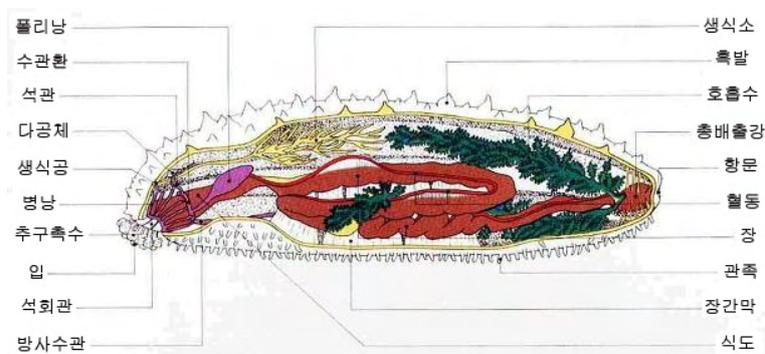


그림 7-4. 해삼의 내부구조



(위) 청해삼, (중간) 홍해삼, (아래) 흑해삼(출처: 박영제)

그림 7-5. 해삼의 종류

2) 생태적 특성

우리나라에 분포 서식하는 해삼류는 약 14종이 있으며, 세계적으로는 1,500여 종이 있다. 해삼은 우리나라의 전 연안에 분포하며, 주 분포수역은 외해수의 영향을 받는 곳이다. 국외에서는 북동태평양 전역에 분포하며, 연해주, 사할린, 알래스카 연안부터 홋카이도, 일본열도, 황해, 발해만, 동지나해 등의 연안 수심 0~40m에서 광범위하게 분포하고 있다.

종류별 분포를 보면 홍해삼은 일반적으로 외해수의 영향을 강하게 받는 암초지대나 그 주변의 여울과 같은 작은 돌 또는 조약돌로 된 저질이 비교적 외해까지 발달된 해역에서 주로 서식한다.

청해삼은 순수한 펄 지역을 제외한 암반, 작은 돌, 조약돌과 연결된, 모래 또는 사니질 지역으로 홍해삼보다 넓게 분포하며, 조류소통이 좋고 용존산소가 풍부한 해역에 많다. 특히 어릴 때에는 내만의 해조류가 많은 곳 또는 암초지대에서 홍해삼과 섞여 생활하지만 성장과 함께 외해의 사니질이 있는 깊은 곳으로 이동하기도 한다. 일반적으로 청해삼은 얕은 장소에는 소형의 개체가 많고, 깊은 장소에는 대형개체가 많이 분포하는 경향이 있으며, 이 반대의 현상은 볼 수 없다. 이것은 저질의 구성과도 밀접하게 관련이 있으며, 수심이 깊어지면서 펄 성분이 많아지고 해삼의 먹이가 되는 유기탄소나 유기질소를 많이 함유하기 때문이다. 따라서 수심에 의한 해삼의 층별 분포는 생리적 또는 생태적인 현상이라 할 수 있다.

흑해삼은 부영양화가 진행된 곳이나 육수의 영향을 받는 곳 또는 부니가 많은 곳에서 볼 수 있다.

3) 습 성

해삼은 수온이나 계절의 변화에 따라 매년 정해진 생활을 반복한다. 연중 해삼의 식욕이 가장 왕성하고 운동이 활발한 시기는 가을 이후 수온이 19℃ 이하로 내려갈 무렵이며, 특히 운동이 활발한 시기는 8~16℃ 전후 사이의 봄까지로 이 때가 해삼의 활동기이다.

해삼은 특이하게 여름잠(夏眠)을 잔다. 특히 홍해삼은 예외 없이 여름잠을 자지만 청해삼의 어리고 작은 개체는 여름잠을 자지 않는다. 해삼은 초여름부터 장마기에 걸쳐 수온이 17.5℃~19℃이상이 되면 운동이 활발하지 못하고 식욕이 감퇴하여 소화관이 위축되기도 하는데, 이때가 하면전기(夏眠前期)로 여름잠에 돌입하는 시기이다. 이후 수온이 25℃ 이상이 되면 단식 상태에 들어가 소화관은 퇴축하고 운동을 전혀 하지 않게 되는데, 이때가 완전히 여름잠에 빠지는 하면성기(夏眠盛期)이다. 해삼은 이렇게 수온이 상승하면 여름잠을 자지만 일본 홋카이도에서는 하면(夏眠)하지 않고 연중 활동 상태에 있다고 알려져 있다. 우리나라에서도 하계 저층 냉수대가 존재하는 진도 조도연안은 하면기간이 9월 중순에서 11월 중순까지로 다른 지역보다 2개월 정도 하면기간이 짧는데 그 이유는 저수온 때문이다.

해안 갯벌의 조수웅덩이(tide pool)에 서식하는 어떤 종의 해삼은 하루 동안에 0~40℃의 급격한 수온 변화에도 견디지만 대부분의 해삼은 수온이 상승하여 고온의 상태가 지속되면, 폐사에 이르기 때문에 30℃ 전후가 고수온에 대한 생리적 한계로 파악된다.

홍해삼이나 청해삼 모두 거의 유사한 생활주기를 매년 반복하고 있지만 여름잠에 들어가는 수온은 홍해삼이 좀 낮은 것으로 알려져 있다. 수온에 대한 적응 범위는 청해삼이 홍해삼에 비해 큰데, 동일 조건에서 사육한 경우, 홍해삼은 8~24℃의 범위에서 성장하지만, 청해삼은 5~28℃의 범위에서 성장한다.

또 해삼의 적수온 상한은 17.5~19℃라고 되어 있지만 그 하한 수온에 대하여는 잘 알려져 있지 않다. 일반적으로 수온에 대한 성장은 온도 변화폭이 좁은 협온성(狹溫性)적 성격이 강하며, 봄부터 여름에 이르는 수온상승기에는 안정한 수온을 찾아 깊은 곳의 바위틈으로 이동하기 때문에 여름에는 해삼을 잡기가 쉽지 않다. 따라서 여름철에는 생산량이 적어 가격도 매우 비싸지게 된다. 그렇지만 왕성한 활동을 하는 봄철에는 잡기가 쉬어 해삼 가격이 연중 가장 싸진다.

4) 성 장

해삼의 성장은 수온 16~17℃ 이하에서 볼 수 있어서, 연간 실질적인 성장을 볼 수 있는 것은 11월부터 이듬해 5월까지의 7개월에 지나지 않으며, 16~17℃ 이상에서 체중은 반대로 줄어들 수도 있다. 해삼의 성장은 크기에 따라 다른데 체장 5cm 이하의 어린해삼의 경우 성장 수온 범위는 15~23℃로 적정 성장수온은 19~20℃내외이다.

어린해삼은 대체로 여름잠을 자지 않고 꾸준한 먹이섭취로 성장이 지속되지만 체장 10cm 이상 크기의 해삼은 여름잠에 들어가 체장과 체중이 동시에 감소되고, 적정 성장수온도 10~16℃로 낮아진다.

극피동물은 일반적으로 체액중의 수분이나 염분의 출입을 조절하는 기능을 가지고 있지 않기 때문에 서식범위가 해수역으로 한정되며, 기수역에는 극히 일부만이 서식한다. 해삼을 담수가 섞인 바닷물에 적시면 몸이 비정상적으로 팽창하거나 비틀어지는 것은 이 때문이다.

염분에 대한 저항성은 홍해삼이 청해삼에 비해 저염분에 약하다. 염분적응 범위는 청해삼이 22.77~32.34psu(평균 30.71psu), 홍해삼이 24.58~34.69psu(평균 31.98psu) 정도이며, 염분이 낮은 내만의 사니질에서의 성장도 홍해삼보다 청해삼이 빠르다.

매년 체장과 중량 증가를 보면 1년에 약 6cm(중량 15g), 2년에 13cm(중량 122g), 3년에 18cm(중량 307g), 4년 21cm(중량 470g)이지만 인공먹이로 양식할 경우에는 이보다 성장량이 더 증가한다.

(다) 해삼서식지의 해역특성

1) 지형

반도국가인 우리나라는 동해, 남해, 서해가 서로 상이한 지형적인 특징을 가지고 있다. 동해안은 해안선이 단조로우며 조석이 발달하지 않고, 해류와 파랑에 영향을 받으며, 지형변동이 왕성한 해역이나 조차가 거의 발달하지 않아 갯벌이 발달하지 않는 지역이다. 남해안의 경우 수심이 영해의 대부분이 100m 이하로

동해에 비해 상대적으로 낮으며, 다도해와 복잡한 해안선으로 인해 심해역은 남해의 남동측 해역에 주로 발달한다. 서해안의 경우 낮은 수심과 높은 조차로 조류의 발달이 크며, 조간대가 발달하였다. 지형은 완만한 경사를 이루고 있다. 동해안의 가사문단, 용추갑, 호미곶에 대한 수심 DL(-) 250m 까지의 지형변동 특성을 살펴보았을 때, 가사문단의 경우 해안선에서 10km 정도 이안하면 수심 250m까지 깊어지는 약 2.5%의 경사를 가지고 있으며, 용추갑의 경우 이안거리 4km까지는 수심 100m까지 2.5%의 경사로 급격하게 깊어지다가 0.8%로 다소 완만해져 약 23km에서 DL(-) 250m까지 깊어진다. 호미곶에서는 15km정도 이안거리를 가질 때 DL(-) 250m 수심으로 깊어지며 이때의 경사는 1.67%이다.

남해권과 동해권의 경계에 위치한 영도에서의 지형단면은 전면의 대한해협의 발달로 이안거리가 32km가 될 때 깊은 수로의 골을 이루며 수심은 DL(-) 220m이다. 남해안의 경우 복잡한 해안선으로 DL(-) 100m 이내의 수심이 발달하고 있으며, 평면적으로 제주도와 함께 발달하고 있다. 제주도와 남해안 사이는 제주 북서측 연안에 발달하는 DL(-) 123m의 깊은 지형을 제외하고는 대부분 DL(-) 80m 이내의 지형을 보인다. 서해권의 죽도의 경우 이안거리가 20km까지 DL(-) 100m 정도의 수심을 보이며, 그 이상 이격되어도 거의 100m의 완만한 수심 분포를 보인다. 서해권의 안마도, 외파수도지역의 지형 또한 이안거리 20km 정도까지는 DL(-) 50m까지 깊어지다가 50km 까지는 DL(-) 50m를 유지하는 완만한 경사를 보인다(그림 7-6).

이러한 남해안 및 서해안의 리아스식 해안은 높은 조간대와 함께 연안의 표사 이동을 활발하고, 완만한 육상지형에서 형성된 하천의 영향으로 육지기원 유기물 및 퇴적물의 영향으로 생산성 높은 갯벌의 발달을 야기하였다.

2) 파랑

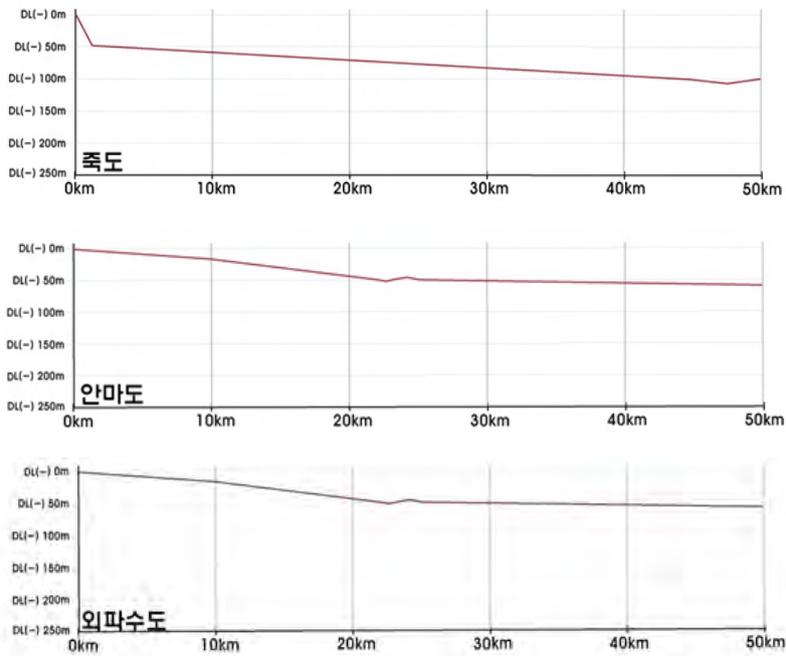
해삼 인공어초의 설계를 위해서는 해역에 작용하는 다양한 외력조건을 고려하여 각 외력조건에 대응할 수 있는 구조물을 설계하여야 하며, 이때 구조물의 안정성에 영향을 미치는 주요 요소는 흐름과 파랑으로 파랑의 경우 해양에서 발생

하는 해양파 중 주로 가장 빈도와 에너지가 큰 풍파를 대상으로 설계한다. 항만 및 어항구조물 설계기준(2005)에서는 시설물에 작용하는 파랑의 조건을 50년 빈도 설계파를 채택할 것을 제시하고 있다.

해역의 불확정적이 파랑의 발달특성을 고려한 설계파랑기준을 제시하기 위해 2005년 해양연구원에서는 “전해역 심해설계파 추정 보고서”(2005. 12)를 출간하였으며, 해양구조물을 설계하는 항만 및 어항의 설계 시 주로 반영되고 있다. 우리나라 전 해역에 대한 심해 설계파 기준을 제시하고 있으며, 서해안부터, 남해안, 동해안에 이르는 격자와 제주권을 포함하여 100여 개의 격자점을 제시하고 있으며, 추가로 제공된 프로그램에 의해서 각 격자점에서의 빈도별 설계파랑을 산출할 수 있도록 하고 있다.



1) 기선의 위치



2) 남서해안 기선의 종단면도

그림 7-6. 우리나라 동-남-서해의 지형특성

그림 7-7은 우리나라 전 해역 심해설계파랑의 발달특성을 나타내고 있으며, 막대의 방향은 파향, 크기는 파고를 나타내고 있다. 우리나라 3면에 발달하고 있는 해삼의 주요 서식지를 고려할 때 남해안은 10m가 넘는 높은 파랑이 발달하고 있으며, 서해안보다는 동해안이 크게 발달한다. 또한 제주도의 경우 태풍의 진행경로에 위치하여 비교적 사면모두 높은 파고를 나타내었으며, 남동측 해역의 경우 15m를 넘는 높은 파고가 발달하고 있음을 확인할 수 있다.

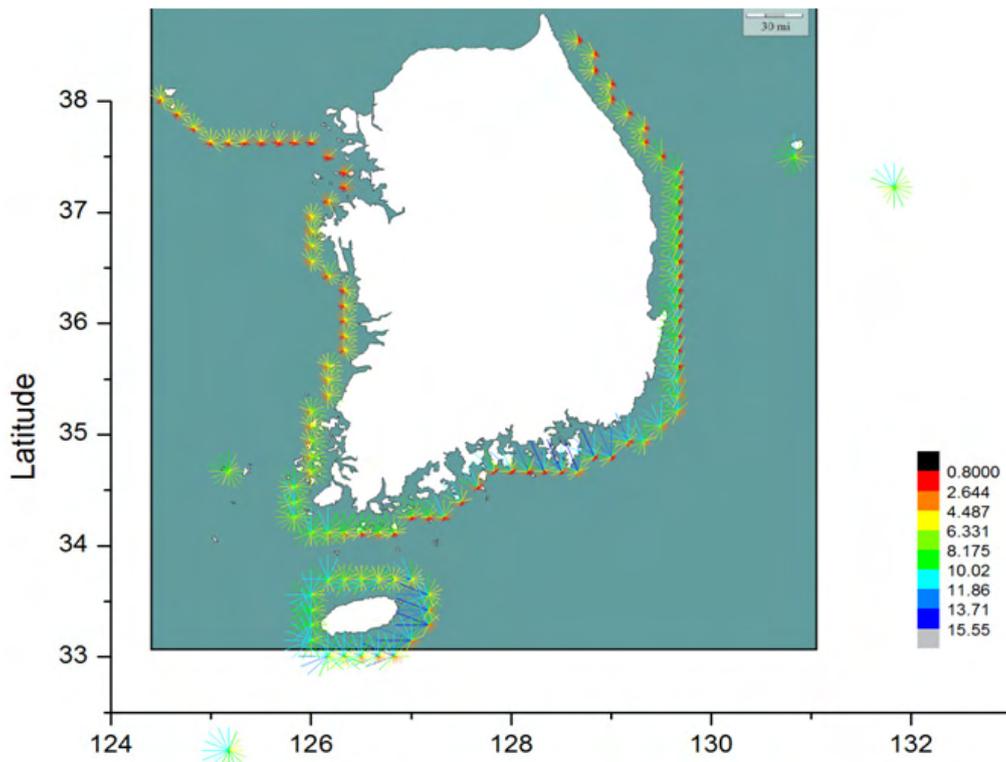


그림 7-7. 전 해역 심해설계파랑의 분포

그림 7-8은 각 해역에서 발달하는 심해파랑 제원을 50년 빈도 설계파랑을 대상으로 최대값을 도시한 것이다. 여기서 파고와 주기는 유의 파고이며, 해역별로 분명한 차이를 보이고 있다. 가장 높은 파가 발달하는 해역은 제주해역이며, 남해안이 대체적으로 파고가 높으며, 동측이 서측보다 높게 발달한다. 파고의 분포는 서해안이 5~11m의 분포를 보이며, 남해안이 9~15m, 동해안이 7~11m의 범위를 보이며 마지막으로 제주해역의 경우 9~14m로 가장 높은 파고분포를 보였다. 주기는 지형적으로 남측으로 개방되어 있는 남해안과 제주해역이 가장 크게 발달하여 서해안의 경우 유의파주기가 10~15sec, 남해안의 경우 13~18sec, 동해안의 경우 11~14sec의 범위를 보였다. 제주해역의 경우 13~17sec의 범위로 가장 높은 주기를 보였다.

고파랑이 발생하는 대부분의 조건은 열대이동성 저기압인 태풍과 동계 북서계절풍에 의한 것이다. 특히 파랑의 경우 파랑의 입사방향으로 개방되어있는 지형의 경우 차폐된 경우 보다 상대적으로 현격한 입사 파랑의 차이를 보이게 되므로 이에 대한 검토가 중요하다.

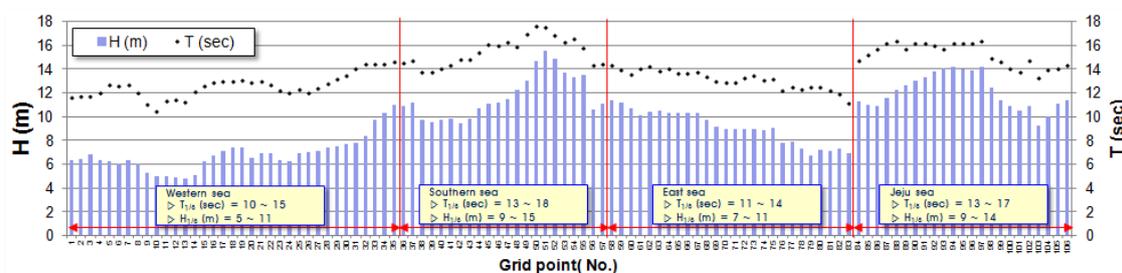


그림 7-8. 해역별 발달하는 파랑제원

3) 조류

조류의 경우 외해역에서 연안역으로 수심이 낮아질수록 대륙의 서편에서 영향은 상대적으로 증가한다. 다음은 국립해양조사원에서 발간한 조류도에서 이야기하는 각 연안역의 조류발달 특성을 나타내며, 남해안과 서해안을 중심으로 기술한다(그림 7-9).

㉠ 서해안

- 목포항 및 부근

다도해로서 유로(流路)가 여러 갈래의 대·소 수도(水道)를 이루어 분류되었다가 다시 합류하는 등 유황(流況)이 매우 복잡하고 유속도 매우 강한편이며 반일주조류가 우세한 왕복성 조류의 규칙적인 1일 2회의 창·낙조류가 일어나고, 일조부등(日潮不等)은 작은 편이나 칠발도~맹골도 외해에서 크게 나타난다. 유속은 맹골, 거차, 장죽, 횡간수도 등에서 매우 강하며, 와류현상도 뚜렷하다. 해안 및 도서 부근의 협수도(狹水道)에서는 왕복성 조류가 매우 강하게 흐르고 외해에서는 유황, 유속이 시시각각으로 변화하는 회전성 조류현상도 나타난다.

- 흑산제도 부근

우리나라 서남단에 위치한 해역으로써 해상국립공원인 대흑산도, 흥도, 가거도 등 크고 작은 섬들이 많이 산재해 있으며, 주변국 및 연근해로 통항하는 대형선박이 빈번한 항로이다. 창조류(漲潮流)가 낙조류(落潮流)보다 우세하며, 창조류는 북류~북동류, 낙조류는 남류~남서류가 주류(主流)를 이루고 있다. 이 해역 일대의 조류형태는 반일주조(半日週潮)가 우세한 혼합조형태의 조류로서 1일 2회의 창낙조류가 나타나고, 일조부등은 달의 적위(赤位)가 최대로 된 후 1~2일에 나타나며 대조기에는 하·동, 삭·망에 소조기에는 춘·추 양현에 나타난다. 조석현상이 급변하는 해역으로 조석은 남에서 북측으로 그리고 서에서 동측으로 조차가 증가한다. 창조류는 남해안에서 전파되어 북서류-북류-북동류하며 군산해역으로 흐르고 낙조류는 이와 반대로 흐른다. 수치모형실험 결과 평균대조기 창조최강유속은 매물수도에서 3.6km, 가거도 3.0km 및 대흑산도에서 3.1km까지 나타

나며, 낙조 최강유속은 만재도에서 3.4km, 가고도 2.9km 및 대흑산도에서 3.3km 까지 예측되었다.

- 군산항 부근

많은 도서가 육안에 근접하여 산재해 있으며, 대·소 선박의 통항이 매우 빈번한 해역으로서 비교적 규칙적인 창·낙조류가 북동-남서 방향 또는 동-서 방향에서 일어나며, 남측해역의 유속이 북측해역에 비해 다소 강하다. 조류형태는 대체로 반일주조류가 우세한 왕복성이지만 지형적인 영향으로 일부 연안역에서는 일주조류가 다소 강하게 나타나기도 한다. 최강류는 삭·망 후 약 1일에, 일조부등은 달의 적위가 최대인 시각으로부터 약 2일 후에 나타나며, 대조기에는 하·동절의 삭·망에, 소조기에는 춘·추절의 양현(兩弦)에 나타난다.

- 인천항 및 부근

인천항을 중심으로 북쪽의 강화도와 남쪽의 태안반도 사이에 있는 경기만의 남측으로 도서가 많이 산재해 있으며 유로가 여러 갈래의 대·소 수도를 이루어 분류되었다가 다시 합류하는 등 유황이 매우 복잡하고 유속도 매우 강한 편이다. 반일주조류가 우세한 왕복성 조류로 규칙적인 1일 2회의 창·낙조류가 일어나고 일조부등은 작은 편이나 지형적인 영향으로 대이작도에서 소야도 사이의 서수도 부근에서 크게 나타나며, 곳에 따라 와류 또한 심하게 일어난다.

㉞ 남해안

- 여수에서 완도

도서가 가장 많이 산재해 있는 다도해로서 여러 갈래의 크고 작은 수도를 이루어 분류되었다가 다시 합류하는 등 그 유황이 매우 복잡하고 유속은 강하며, 국부적이기는 하지만 초도, 손죽도 부근에서는 환류가 일어나 순간적으로 강한 흐름이 발생한다. 전반적으로 반일주조류가 우세하며 북부해역은 대체로 일조부등이 작아서 규칙적인 1일 2회의 창·낙조류가 일어나며, 도서가 산재해 있는 곳에서는 전류시를 전·후하여 조목이 형성 되었다가 유속의 성쇠(盛衰)에 따라 조목 또한 성쇠한다.

- 부산에서 여수

부산항은 일반적으로 반일주조형의 왕복성 조류가 주축을 이루고 주류대를 벗어난 지점에서는 유속도 미약하고 반류(反流) 또는 환류(還流)하는 등 매우 복잡한 유황을 보이며 중앙부해역의 진해만은 반일주조가 우세하고 규칙적인 창·낙 조류가 일어나지만 유속은 약한 편이다. 삼천포부근은 대방 수도에서 가장 강한 흐름이 있으며 외해는 반일주조가 우세한 혼합조(混合潮) 형태의 왕복성조류가 주축을 이루고 거제도 동측 해역에서는 대조기와 소조기의 유황이 판이하고 특히 소조기에는 북동류의 흐름이 강하게 나타나 편류하는 현상이 있다.

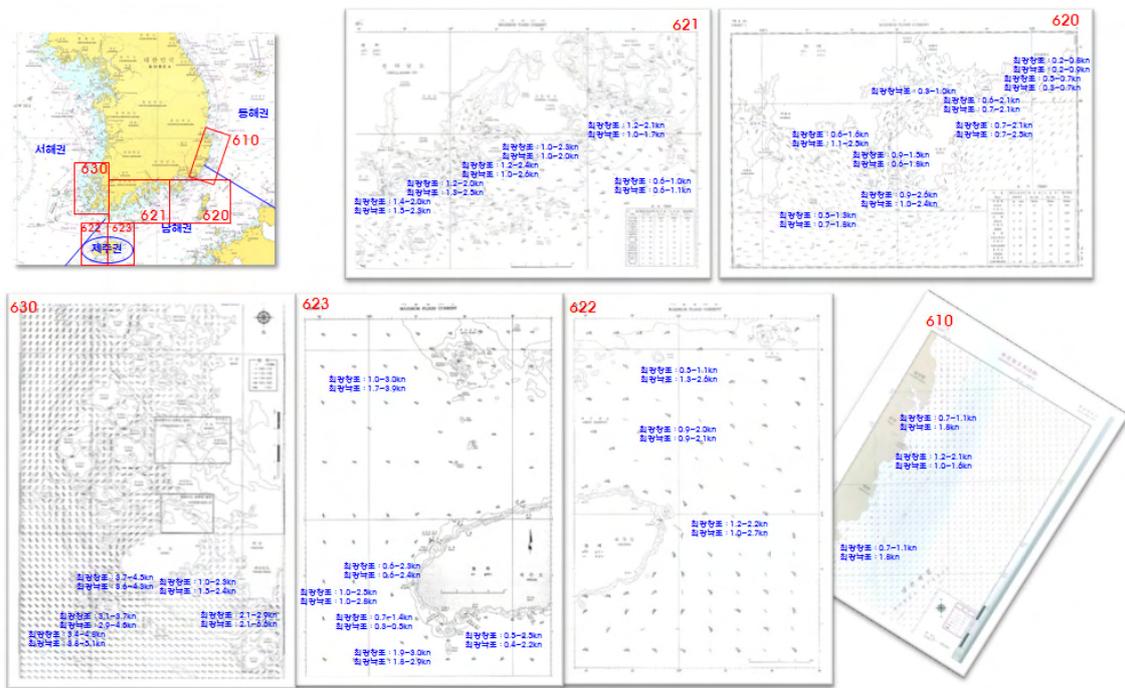


그림 7-9. 해역에 발달하는 조류특성

(2) 기존 인공어초 개발 경향

우리나라의 인공어초 개발은 공식적인 일반어초로 개발된 사례는 아직 없으며, 충남 태안 남면에서 개발된 어초가 현재 효과조사 중인 것으로 알려져 있다. 반면 중국에서는 파판 혹은 망지를 이용한 다양한 양성기 개념의 소재를 활용하고 있으며, 석축식과 같은 축제식 시설을 이용하여 해삼의 양식시설로 활용하고 있으며, 공식 혹은 비공식적으로 해삼양식을 위한 다양한 양성기가 개발되어 있는 것으로 알려져 있다.

중국에서는 해삼의 대량생산은 축제식을 이용한 양식에 의해 많은 양이 생산되고 있으며, 반면 장자도에서는 축제식보다는 자연방류에 의한 씨부림에 의해 양질의 해삼을 생산하고 있다. 이러한 해삼은 중국에서 최상품으로 판매되고 있기도 한다. 국내에서는 축제식을 이용한 양식은 충남 태안에서 일부 이루어지고 있고, 기존연구에서도 아직 국내실정에 적합한 기술은 정립되지는 않았다.

중국 축제식 양식장의 경우 넓이 0.5~1.0m, 높이 30~50cm, 3~4m간격의 투석과 1~2m³크기의 돌을 거리 2~3m, 행거리 3~4m의 무더기식 투석, 하늘별 모양 투석을 한다. 국내에서는 돌무더기 투석 이외에도 플라스틱을 이용한 인공어초를 개발하여 사용하기도 하지만 그 효과에 대한 부분은 아직 정립되어 있지 않다. 또한 국내 충남 태안지역에서는 새로운 해삼양식장 조성을 위하여 전복양식단지 아래에 1톤 정도 크기의 호박돌을 투석하기도 한다(그림 7-10).

실제적으로 투석에 의한 돌무더기 조성은 해삼 은신처로서 가장 자연스러운 방식이므로 효과가 큰 것으로 보고되고 있다. 해삼은 대부분 20m 수심 까지 주로 분포한다고 되어 있으나, 중국 장자도 같은 경우는 수심 40~50m까지 양식장을 조성하여 씨부림 양식을 하고 있다. 국내에서는 대부분 수심 5m 정도에서 채취를 많이 하고 있다.

국내에서 개발된 인공어초의 경우 합성수지를 이용한 어초와 옥수수전분을 이용한 블록형 인공어초가 개발되어 있다. 합성수지(PE)를 이용한 인공어초의 경우

은신처 제공이 주된 목적이며, 유공을 설치하여 해삼의 내외부로의 이동을 가능하게 하였다(그림 7-11).

블록형 어초의 경우 옥수수 전분을 이용하여 친환경 소재를 사용하였으며, 육면체형과 반구형, 터널형이 제안되어 있으며, 표면에는 요철을 두고 있으며, 하부에는 해삼의 은신을 위한 큰 요철을 두고 있다. 반구형의 경우 반구형태 표면에 유공을 두어 해삼의 반구내외로 해삼의 이동이 가능하게 하였고, 터널형의 경우 중앙부에 터널을 설치하여 해삼의 은신처를 제공하고자 하였다(그림 7-12).

반면 유삼 및 어린해삼단계에서는 파판과 망지를 이용하는 것이 일반적이며, 그림 7-13은 중국 및 우리나라에서 사용되고 있는 파판과 망지의 형태를 나타내고 있다.



1) 만조시의 축제식 양식장



2) 간출된 축제식 양식장(협곡)



3) 간출된 축제식 양식장(광폭)

그림 7-10. 중국 축제식 양식장의 투석



1) 평면



2) 측면

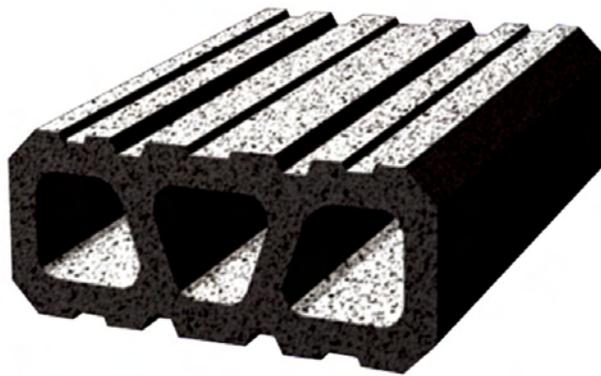


3) 국내에서 개발된 해삼 인공어초와 돌무더기 투석

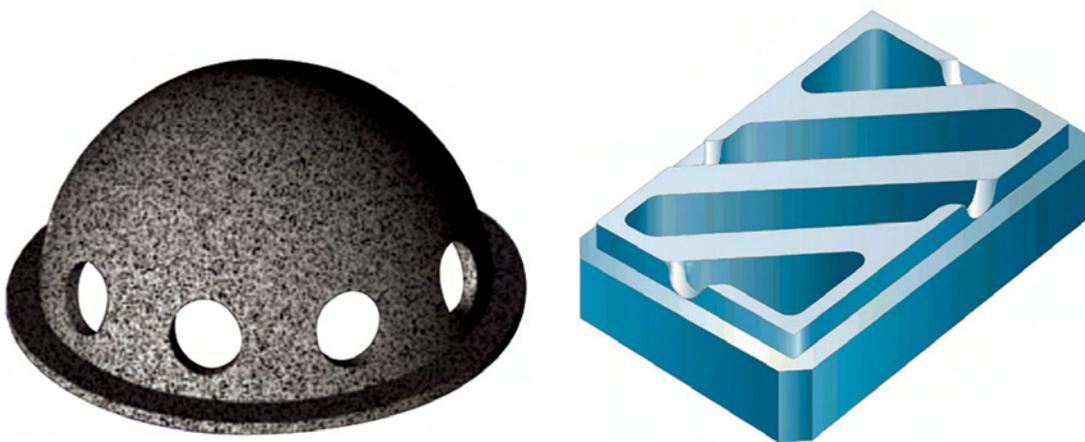
그림 7-11. 쉘터형 해삼 인공어초



1) 상하 요철형

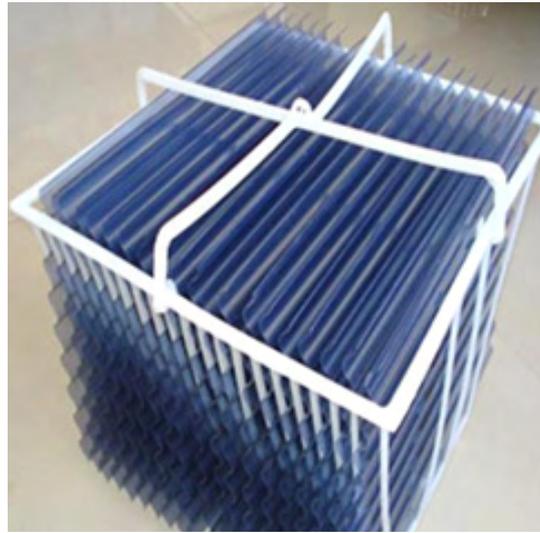


2) 터널형



3) 은신처형

그림 7-12. 블록형 해삼어초(태안군 남면)



1) 파판(대련지역)



2) 파판(연태 복례지역)



3) 망지(산동 와황텐 지역)

그림 7-13. 다양한 해삼양성기의 기질

나. 연구결과

(1) 해삼 생태를 고려한 인공어초 설계요소

전술한 해삼의 생태특성을 고려한 해삼 인공어초의 설계를 위한 생물학적 설계요소는 표 7-3과 같다. 해삼의 서식수심은 DL(-) 0m의 간조선에서부터 수심 DL(-) 40m까지 서식하며, 수심에 따라 비교적 비례하는 체형을 보이고 있다. 주요 서식수심은 광도달수심을 중심으로 구분하여 조성하며, 이때 기준 수심은 투명도를 고려하여야 할 것이다. 광도달수심의 이심에는 유기물의 위집을 이용하여 먹이를 지속적으로 공급하고 동선을 확보할 수 있는 구조가 필요하며, 광도달 수심 이내에서는 은신처의 제공과 해조류의 조성 및 연계하는 구조가 필요하다.

해삼은 암반과 사니질의 경계에 주로 서식하며, 해수유통이 좋으며, 용존산소가 높은 지역을 좋아하는 특성을 보인다. 따라서 해삼 인공어초는 암반의 역할을 할 수 있는 구조물이 필요하며, 이때 암반의 형상은 와류를 이용하여 부유 유기물이 침적되어 지속적으로 급이원을 조성할 수 있는 굴곡이 크며, 방향성을 가지지 않는 구조물이 필요하다. 특히 해삼의 먹이는 해조류 및 각종 유기물을 먹이로 하고 있으며, 구조물의 표면에 먹이 침적을 위한 요철이 필요하다.

해삼의 산란은 5월에서 8월까지 진행되며, 암반 혹은 자갈에 착생하고 있는 해조류(잘피)의 줄기에 산란하는 특성을 고려하여 인공어초의 시설지 혹은 인공어초에 조성하는 해조류는 잘피를 중심으로 고려하는 것이 필요하며, 해조류의 부착면을 고려하는 것이 필요하다.

해삼은 먹이의 섭식과 배설을 주로 이동을 하면서 진행한다. 따라서 해삼의 이동을 위한 동선의 확보가 인공어초의 설계에서 중요하며, 동선에는 먹이가 유지되어야 한다. 특히 수온의 변화에 급격하게 변화하는 해삼의 행동 특성과 주야간의 해삼의 이동을 고려한 인공어초의 형상과 배치가 중요하다.

이상의 해삼의 생태특성을 고려하여 기존의 일반어초의 형상에서 고려한다면, 방갈로, 반구형, 자연석어초가 제안될 수 있으나 위의 내용을 종합적으로 반영한 기존의 인공어초는 없다. 따라서 위의 여러 가지 생태요소를 종합적으로 고려한 인공어초의 개발이 필요하다.

표 7-3. 해삼의 생태특성을 고려한 인공어초의 설계요소

항목	생물학적 설계요소	구조물 구조 및 위치 제안
수심	<ul style="list-style-type: none"> - 수심 0~40m 내외(얕은 곳은 소형개체, 깊은 곳은 대형개체) 	<ul style="list-style-type: none"> - 주서식 수심은 조간대~수심 40m이지만 해삼의 먹이생물인 해조류가 살아갈 수 있는 광량이 확보되는 수심 15m 이하에 해삼의 자원량 증대를 위한 구조물을 시설하는 것이 바람직함
저질 및 서식지 선택성	<ul style="list-style-type: none"> - 어린개체 : 수심이 낮은 내만 연안 해조장의 암반에 서식 - 성장할수록 외해수의 영향을 받는 해조류가 서식하고 있는 자갈과 사각질, 사니질이 혼재된 곳에 서식 - 해수의 유통이 좋고 용존산소량이 많은 곳 	<ul style="list-style-type: none"> - 해조류가 서식하고 있는 암초지대 및 사각질, 사니질의 저질상태를 가진 지점에 구조물을 배치하도록 함
섭식형태	<ul style="list-style-type: none"> - 미역, 다시마, 모자반, 파래 등의 해조류 - 펄속의 유기물, 원생동물, 갑각류, 연체동물의 유생, 어류의 사체 	<ul style="list-style-type: none"> - 시설물 내 먹이생물인 해조류의 부착효과를 높이기 위해 경도가 높은 재질 또는 공극이 많은 다공질 콘크리트, 표면이 요철구조인 구조물을 사용하면 유리
산란형태/산란장 특성	<ul style="list-style-type: none"> - 산란기 : 5~8월 - 조간대 바위나 자갈 밑, 암초에 착생하고 있는 해조, 사니질에 분포하는 질피의 줄기 	<ul style="list-style-type: none"> - 자연석 투석을 통하여 은신처를 제공하고 먹이발생을 유도하여 산란장기능을 할 수 있도록 함 - 투석의 적지는 해수유통이 심한 곳, 해수가 너무 깨끗해서 부니가 거의 없는 곳을 피해야 함
이동성	<ul style="list-style-type: none"> - 낮에는 바위틈의 그늘에 붙어 활동하지 않고 밤에 활동 - 관족이 나와 바다밑을 기어 다님 - 수온이 17.5~19°C 이상에 달하면 식욕이 감퇴하고 움직임이 없어지는 휴면시기에 돌입하고 수온이 그 이하로 내려가면 활동이 활발해짐 	<ul style="list-style-type: none"> - 해삼의 서식과 산란을 위해 자연석을 투석하여 은신처를 제공하는 것이 바람직 - 여름철 해삼의 활동이 부진해지는 휴면 시기에 해삼이 서식할 수 있도록 표층 온도의 영향을 덜 받는 은신처가 많이 확보된 구조물 (자연석 투석)을 배치하면 해적생물의 공격도 피할 수 있어 자원량 증대에 유리
적용 인공어초	<ul style="list-style-type: none"> - 방갈로 어초 - 반구형 어초 - 자연석 어초 	<ul style="list-style-type: none"> - 표면적과 옆면적이 넓어 해조류와 해삼의 착생이 용이한 구조물이 유리 - 은신공간이 많이 제공될 수 있는 자연석 어초도 고려할 수 있음

해삼이 서식하는 해역의 특성은 동해의 경우 급한 경사와 암반이 발달하는 지형적인 특성으로 고파랑과 연안의 표사이동을 고려한 인공어초의 설계가 필요하며, 남해안의 경우 지속적으로 내습하는 태풍, 연안에 발생하는 다양한 위해요소(적조, 연안오염 등)를 고려한 설계가 되어야 한다. 서해안의 경우 조류와 이상 경로로 내습하는 태풍 그리고 연약지반에서의 침하를 고려한 내침하성, 그리고 높은 탁도로 인한 부유물질에 대한 인공어초 표면의 관리에 대한 고려가 중요하다.

(2) 기존 해삼 인공어초의 개발경향 및 특징

해삼 인공어초는 해역의 자원조성을 위한 기존의 인공어초의 기능보다는 양식을 위한 양성기의 개념으로 개발되어 왔다. 표 7-4는 그동안 개발된 해삼 인공어초 및 특징을 나타내고 있다.

자연석의 경우 가장 범용적으로 사용되고 있으며, 축제식 양식장의 경우 대표적인 해삼서식처 조성방법이다. 자연석의 축적으로 인해 생기는 공간으로 해삼의 은신 및 서식이 유리하며 부유 유기물의 침적에도 유리하다. 특히 수온의 변화보다 자연석 표면의 온도변화가 늦으므로 상대적으로 그러나 시공성과 재료원의 한계가 있으며, 유지관리 및 수확에도 한계가 있다.

파판은 주로 육상수조에서 양성기의 용도로 사용되며, 합성수지를 이용하여 제작한다. 파판의 다층배열을 통해 해삼밀도를 증가시키며, 파판의 거치대를 이용하여 다층 배열한다. 중량이 경량화 되어 작업성은 좋으나, 육상수조 혹은 축제식 양식장과 같은 외력의 영향이 적은 곳에만 제한적으로 적용이 가능하다. 특히 파판의 경우 수류에 부유된 유기물이 파판의 형상에 의해 와류가 발생하며, 이러한 와류의 발생은 유기물의 침적을 유도하는 형상을 가지고 있으므로, 인공어초의 형상에 파형을 적용한다면 표면에 유기물을 침적시켜서 급이 기능을 확보할 수 있는 중요한 기능적 요소가 될 것으로 판단된다(그림 7-14).

표 7-4. 기존 인공어초의 특징

구조물형식	장 점	단 점	비 고
자연석	은신성 있음, 부착기질 있음	재료원 부족, 설치 어려움(중량)	
파판	부착기질, 부착면적 넓음, 이동통로 있음	강도작음 대형화 한계 외력에 대한 항력کم	
셀터형인공어초	음광성, 부착면 있음, 이동통로 있음	급이 기능과 연계어려움, 동선 확보 어려움	
망지	부착기질 높음, 부착면 넓음	성형성 낮음, 급이기능 있음, 항력낮음	
다공질 블럭	다공질(치삼은신), 고중량(외력 저항성 높음)	다공질(어미해삼 은신기능), 고중량(시공성)	
블록형인공어초	안정중량 확보 유리, 요철형으로 유기물 침적유리	동선확보 어려움, 저질이용어려움	

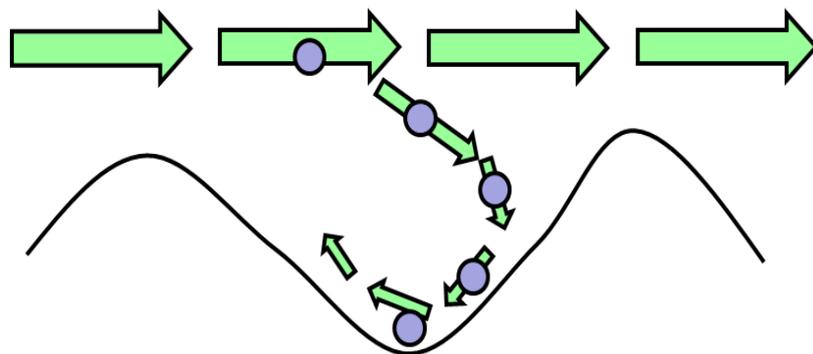


그림 7-14. 파형 표면에서의 와류에 의한 유기물의 침적

셸터형 인공어초는 원통형으로 흑색의 원통의 표면에 유공을 만들어 내외로 해삼의 이동이 용이하게 하였으며, 이러한 원통을 결합하여 시설하였다. 흑색의 재질은 해삼의 은신성을 유도하여 위집효과를 기대할 수 있다. 그러나 저면에서부터 연결된 해삼의 동선의 확보가 어려우며, 해삼의 먹이가 되는 유기물의 침적에 한계가 있을 수 있다.

망지는 파판과 함께 주로 해삼의 육상수조식 양식에 사용되며, 성형성이 적으나 부착면적과 부착기질이 좋아 어린해삼의 양성용으로 널리 쓰이고 있다. 특히 망지는 수중부유물의 필터 역할을 하여 망지표면에 유기물이 부착되는 장점이 있다. 그러나 망지의 재료 특성상 성형성에 한계를 가지고 있으므로 인공어초의 개발시에는 부분적인 요소로 활용하면 그 효과를 증대할 수 있을 것이다.

다공질 블록은 사석 혹은 돌을 이용하여, 결합제로 덩어리로 성형한 형태로 다공질을 가지고 있어서 공극의 크기를 인위적으로 조절할 수 있으며, 이러한 공극은 해삼에게 은신처 기능을 제공할 수 있다. 특히 성형성이 높은 특징을 가지고 있으며, 다공질로서 작용하는 외력에 안정성이 뛰어난 특성을 가지고 있다. 그러나 소재에 따라서는 제작비의 단점이 발생할 수 있으므로 대량 생산 및 최적설계를 통한 경제성 확보가 중요하다. 또한 다공질 구조로 동선의 확보 및 유기물의 침적이 다소 감소될 수 있다.

블록형 인공어초는 현재 개발되어 효과조사 중인 어초로 양식을 위한 목적보다

는 해역의 자원조성을 위한 인공어초의 기능이 주된 효과로 판단된다. 특히 표면의 요철은 해삼의 동선 및 유기물의 침적에 효과적이며, 하부의 공간은 해삼의 은신처 기능을 제공한다. 친환경 재질을 이용하여 시공성 및 친환경성도 확보하였다.

(3) 해역특성에 따른 인공어초의 개발

(가) 수심에 따른 인공어초 개발

해삼 인공어초의 설계를 위해서는 그림 7-15와 같이 설치하고자하는 대상해역에 따라 그 기능이 다르게 고려되어야 한다. 조간대 상부의 육상에서는 육상수조식의 해삼양식이 이루어 질수 있으며, 이때 구조물은 안정성보다는 기능성을 중심으로 개발되어야 한다. 조간대의 축제식 양식장은 외력으로 부터는 안정적이거나 해역의 기상에 노출되므로 부식 및 반응성에 대한 안정성이 고려되어야 하며, 해삼의 사육 밀도 혹은 기능성을 최대한 보장하는 방향으로 고려되어야 한다.

항상 수면 하에 위치하는 조하대 공간에는 주로 씨뿌림식 양식을 대상으로 하며, 이때 인공어초의 기능은 자원조성과 생산성의 확보라는 두 가지 목적을 함께 고려하여야 한다. 그러나 원칙적으로 씨뿌림 양식을 위한 양성초와 자원조성을 위한 인공어초는 근본적인 목적에서 차이를 가지고 있다. 씨뿌림 양식을 위한 양성초는 씨뿌림 원점을 중심으로 생산성을 가장 중점적으로 설계 및 배치하여야 하며, 자원조성용 인공어초는 해삼자원의 보호 및 조성을 위한 목적으로 단기적인 생산성 증대 보다는 장기적인 생산효과 유발을 목적으로 한다. 따라서 양성초와 인공어초의 목적이 해삼을 위집하는 목적은 같지만, 생산성의 측면에서 양성초는 수확이 용이하고, 자원의 보호가 함께 이루어져야 한다.

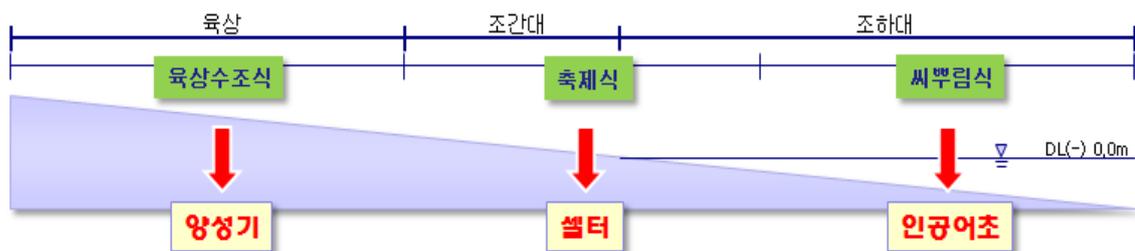


그림 7-15. 해삼 인공어초의 설치 위치에 따른 인공어초 특성

(나) 해삼 인공어초 설계요소

해삼의 생태 특성을 고려한 인공어초의 설계가 될 수 있도록 주요 설계요소를 검토하였다. 해삼 인공어초의 설계를 위한 주요 요소는 크게 저질특성, 운동특성, 섭이특성, 생산성으로 4가지 분야로 검토하였다.

저질특성은 저질의 종류, 경사, 공극율, 입도, 조도 등의 요소를 검토할 수 있다. 저질의 종류는 즉 사질과 니질, 평판과 파판과 같이 재질과 형상에 따른 해삼의 선호성을 고려하여야 하며, 경사 또한 이동을 하면서 수압/용존산소/수질의 변화를 보일 수 있는 요소이므로 해삼의 생태 특성과 연계된 고려가 필요하다.

운동특성은 이동속도, 이동거리, 구조물 선택성 등의 해삼의 이동 및 동선을 확보하는 데에 중점적으로 고려하였다. 이러한 운동속도 혹은 이동거리 등은 해삼 인공어초의 규모와 배치에 영향을 줄 수 있으며, 해삼의 체형을 고려한 운동 능력과 인공어초와의 규모를 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

섭이 기능으로서는 인공어초 표면에 자연적으로 유기물이 침적하게 하여 인위적인 사료의 공급 없이도 자연적으로 섭이가 가능하도록 하는 것이다. 이러한 요소는 해삼의 운동특성과도 함께 고려되어야 한다.

마지막으로 본 인공어초는 씨뿌림식 양식을 대상으로 개발되므로 생산성 즉 수확기능을 극대화 할 수 있는 설계가 되어야 한다. 또한 무분별한 수확중심의 개발은 장기적인 생산성 감소를 가져오므로 자원조성효과를 고려한 개발이 설계가 되어야 한다.

$$\begin{aligned}
 F\{x\} = & f_{\text{bottom}}\{\text{저질종류, 경사, 공극율, 입도, 조도}\dots\} \\
 & + f_{\text{action}}\{\text{이동속도, 이동거리, 구조물 선택성}\dots\} \\
 & + f_{\text{feed}}\{\text{사료잔류, 섭이기능}\dots\} \\
 & + f_{\text{harvest}}\{\text{수확용이, 체류성}\dots\}\dots
 \end{aligned}$$

이러한 각 부분의 설계요소를 고려하여 인공어초의 설계가 이루어지도록 하여야 하며, 각 요소만을 고려하는 것이 아니라 종합적이고, 지속적인 해역의 해삼 자원의 이용을 고려한 설계가 되어야 한다. 또한 해삼의 상품화가 이루어지는 생산주기를 고려하여 설계가 된다면 효과적인 인공어초의 개발이 될 것이다.

3. 해삼 운동특성 실험 연구

해삼의 운동특성을 고려한 해삼 인공어초의 개발을 위해 해삼운동특성실험을 실시하였다. 해삼운동특성실험은 저질조건 및 형태, 해삼의 체형 그리고 저면의 경사 등을 고려하여 구조물의 형상 및 선호 조건을 도출하고자 하였으며, 각 조건에서 이동하는 해삼의 운동특성의 검토를 통해서 인공어초의 형상 및 배치의 기초자료로 활용하고자 하였다.

가. 재료 및 방법

(1) 실험조건

(가) 실험수조

해삼의 운동특성을 검토하기 위해서 가로 180cm, 세로 90cm 높이 70cm의 수조 2개를 이용하였다. 수조하부에는 바닥과 10cm의 유격을 두어 배수와 급수를 용이하게 하였으며, 수심은 실험용 저질이 설치되어있는 면으로부터 20cm에 맞추어 실험하였다(그림 7-16, 7-17).

수조의 내부는 180cm의 긴 방향으로 구역을 2개로 분리하여 각각 실험을 실시하였으며, 각각의 수조는 바닥에서 10cm 이격된 저면에 한 변이 80cm인 정방형의 저면판을 설치하여 실험하였다. 2개의 수조는 각각 급배수장치가 설치되어 있으며, 수온의 조절을 위해 히팅기와 냉각기를 설치하였다.

(나) 계측장치

해삼의 운동특성의 모니터링은 화상해석을 통해 실시하였으며, 분석을 위한 화상의 취득을 위해 수중 모니터링 렌즈를 2개의 수조에 각각 2개의 관측카메라를 설치하여 연직하방으로 관측하였다(그림 7-18).

관측된 영상에서 이동하는 거리 및 방향을 확인하기 위하여 흰색무명실을 이용하여 격자망을 형성하여 기준 격자를 설치하였으며, 기준 격자망은 저질에서부터 4cm 상부에 설치하였다. 이는 실험에 사용된 해삼의 체장을 고려하여 해삼의 움직임이 격자에 의해 방해받지 않기 위한 간격이다(그림 7-19).

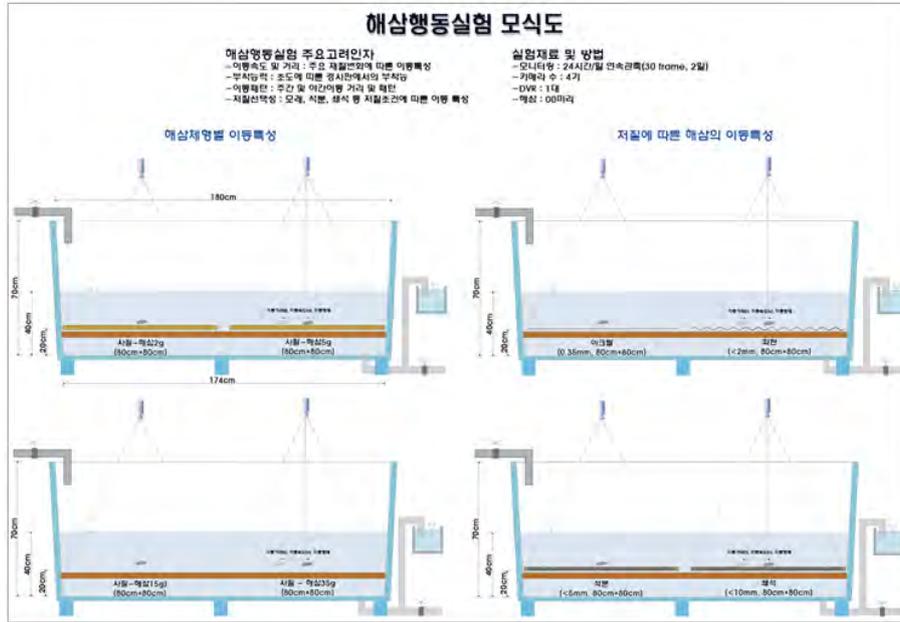


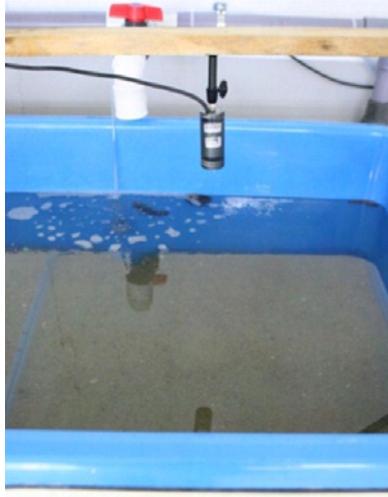
그림 7-16. 실험수조의 모식도



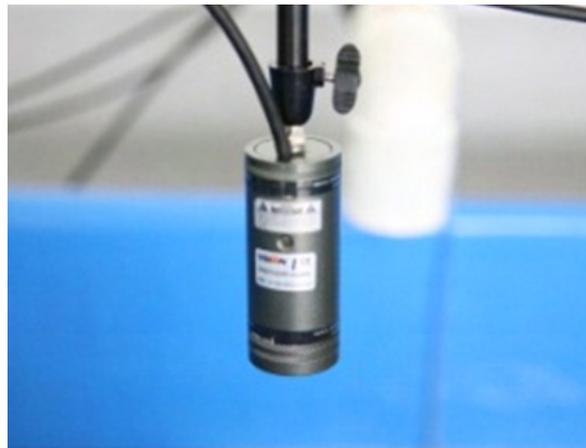
그림 7-17. 실험수조의 설치모습

모니터링 된 영상은 DVR에 기록되어 보관되었으며, 각각의 영상은 4채널의 DVR에 동시에 녹화되도록 하였고, 실험영상의 녹화는 30프레임으로 계측하였다. 카메라는 수중용 카메라를 사용하였으며, 수시로 렌즈부를 청결하게 유지하여 실험하였다(그림 7-18).

수조내의 수온은 유사한 조건으로 유지하기 위해 봉상수온계와 전자식 온도계를 각 수조에 설치하여 모니터링 하였고, 실험 시 해삼에 영향을 미치는 광원 즉 조도를 계측하기 위해서 조도계를 이용하였다. 조도의 계측은 수면 상에서 계측하였다.



1) 카메라의 설치



2) 모니터링 카메라



3) 영상녹화 시스템

그림 7-18. 해삼운동모니터링 관측시스템

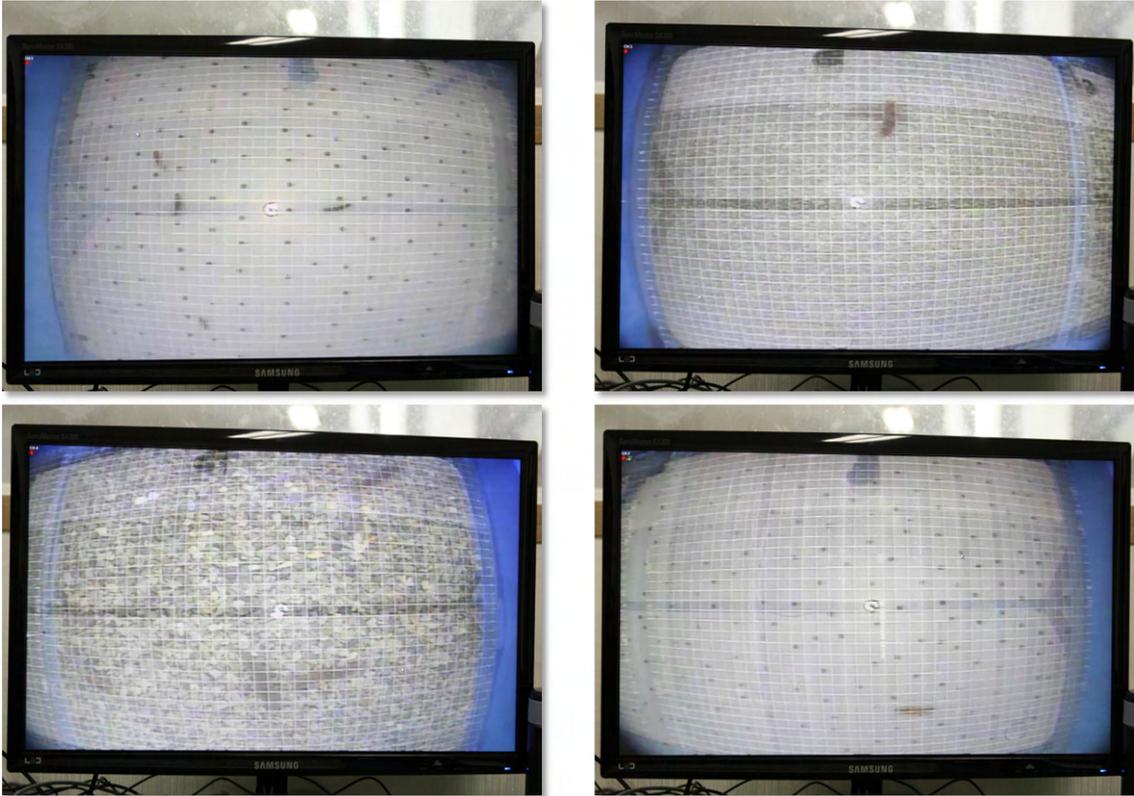


그림 7-19. 모니터링 영상 예

(다) 저질/저면 조건

실험에 사용된 저질 및 저면의 조건은 사질, 석분, 쇄석, 파판, 활면조건에 대해 실험하였으며, 각 실험조건에 대한 경사를 조정하여 다양한 케이스를 조합하였다.

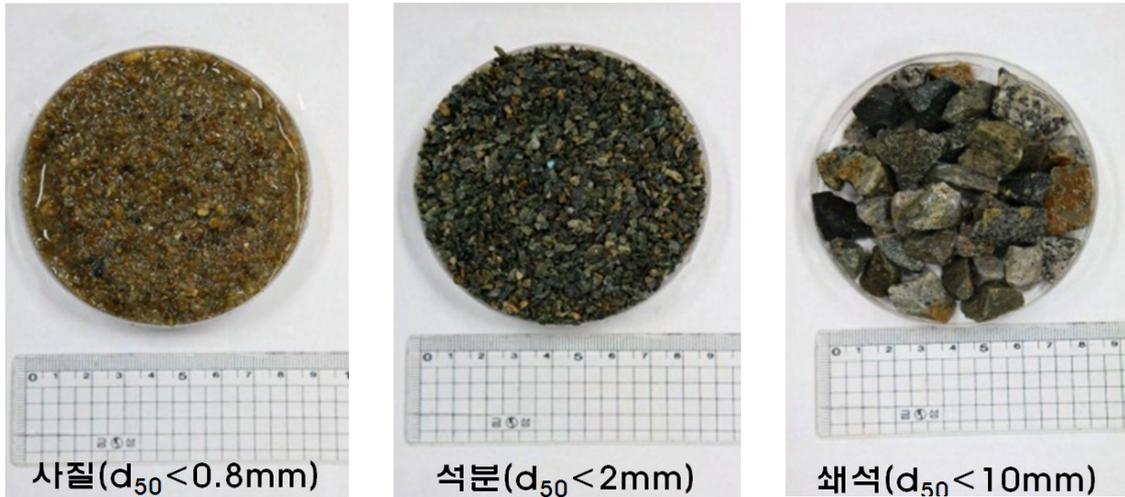
사질의 입경은 통과중량백분율(d_{50})을 기준으로 0.8mm의 조립질 모래를 사용하였으며, 석분의 조건은 장방 2.0mm 격자망을 통과하고, 1.0mm 격자망에 남은 재질을 사용하였다. 또한 쇄석은 10.0mm 망을 통과하고 5.0mm 망에 남은 쇄석을 사용하였다(표 7-5, 그림 7-20).

파판은 파장이 65mm, 파고가 25.15mm인 파판을 사용하였으며, 재질은 PE재질이다. 활면조건은 재질은 아크릴을 사용하였으며(그림 7-21), 시료의 이탈을 방지하기 위한 장방형 사각틀을 아크릴로 제작하고 활면 실험 시에는 시료를 제거한 상태에서 실험하였다.

경사조건에는 시료의 변형이 발생할 수 있는 이동상 조건에는 실시하지 않았으며, 고정상의 파판과 활면조건에서만 그 운동 특성을 분석하였다. 경사는 5°와 10°의 경사에 대해 실험하였다.

표 7-5. 실험용 저질/저면의 조건

저면조건	규격	비고
사질	$d_{50} = 0.8 \text{ mm}$	
석분	$1.0 \text{ mm} < d < 2.0 \text{ mm}$	
쇄석	$5.0 \text{ mm} < d < 10.0 \text{ mm}$	
파판	$L = 65 \text{ mm}, H = 25.15 \text{ mm}$	
활면	아크릴($t = 5 \text{ mm}$)	



1) 사질

2) 석분

3) 쇄석

그림 7-20. 실험용 저질시료

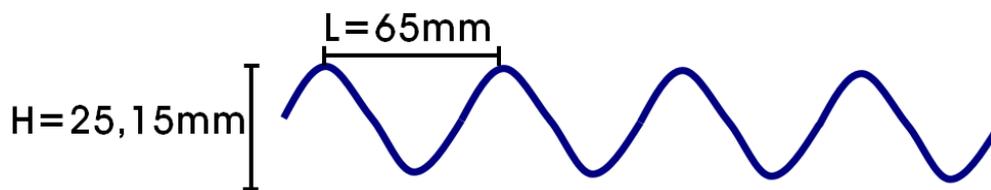


그림 7-21. 파판의 형상

(라) 실험용 해삼

실험용해삼은 체중이 50g 이하의 해삼을 A, B, C, D의 4개 그룹으로 분류하여 실험하였으며, 각 그룹의 조건은 그림 7-22와 같다. A그룹은 대략 체중 2g에 체장 24.4mm의 조건이며, B그룹은 대략 체중 5g에 체장 55.2mm의 조건, C그룹은 대략 체중 16g에 체장 62.0mm의 조건 그리고 D그룹은 대략 체중 35g에 체장 75.8mm의 조건이었다(그림 7-23). 특히 실험에서 해삼의 체장은 해삼의 상태와 상황에 따라 변화하는 값이므로 특별한 변별력은 가지고 있지 않다.

해삼의 선별은 불규칙하게 1만 마리 이상의 집단에서 추출하였으며, 각각 실험 상 표본의 문제점을 고려하여 10마리씩 추출하여 실제 실험에 적용한 해삼은 각 그룹에서 5마리씩 사용하였다. 실험의 진행 중에 행동에 현격한 문제가 발생하거나, 폐사하는 해삼의 경우 여분의 해삼으로 교체하려고 하였으나, 다행히 본 실험에서는 그러한 문제는 발생하지 않았다.

지속적인 해삼의 운동테스트로 인해 해삼의 체중과 생체조건인 저감되는 영향을 방지하기 위하여 1회의 예비실험을 통해 해삼의 운동범위 및 운동특성에 대한 기초적인 자료를 확인하였고, 본 실험은 미리 동일 조건에서 추출한 해삼에 대해서 실험을 실시하였다. 각 실험에 대한 조건은 표 7-6과 같다.

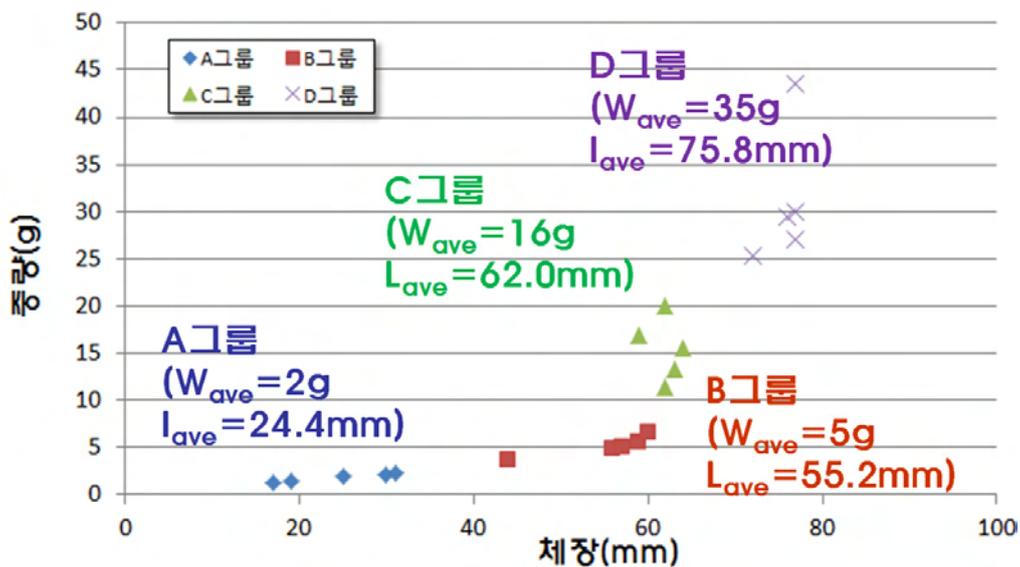


그림 7-22. 실험용 해삼의 조건



A그룹(≒ 2g)



B그룹(≒ 5g)



C그룹(≒ 16g)



D그룹(≒ 35g)

그림 7-23. 실험용 해삼의 모습

표 7-6. 실험조건

Case	Cam. No.	재질	경사	해삼	조도	수온
Case-1	01	활면(아크릴)	0°	A	286	11.1
	02	파판(중, PE)	0°	B	291	11.1
	03	석분(d50<2mm)	0°	C	287	11.2
	04	쇄석(d50<10mm)	0°	D	290	11.2
Case-2	01	활면(아크릴)	0°	B	268	11.9
	02	파판(중, PE)	0°	C	266	11.9
	03	석분(d50<2mm)	0°	D	271	11.5
	04	쇄석(d50<10mm)	0°	A	284	11.5
Case-3	01	활면(아크릴)	0°	C	277	12.2
	02	파판(중, PE)	0°	D	277	12.2
	03	석분(d50<2mm)	0°	A	305	12.1
	04	쇄석(d50<10mm)	0°	B	304	12.1
Case-4	01	활면(아크릴)	0°	D	292	12.3
	02	파판(중, PE)	0°	A	273	12.3
	03	석분(d50<2mm)	0°	B	295	12.1
	04	쇄석(d50<10mm)	0°	C	297	12.1
Case-5	01	활면(아크릴)	5°	B	273	11.5
	02	파판(중, PE)	5°	C	265	11.5
	03	파판(대, PE)	5°	D	257	11.3
Case-6	01	활면(아크릴)	5°	D	310	12.0
	02	파판(중, PE)	5°	B	271	12.0
	03	파판(대, PE)	5°	C	322	11.9
Case-7	01	활면(아크릴)	5°	C	301	12.1
	02	파판(중, PE)	5°	D	321	12.1
	03	파판(대, PE)	5°	B	305	12.2
Case-8	01	활면(아크릴)	10°	B	302	12.0
	02	파판(중, PE)	10°	C	278	12.0
	03	파판(대, PE)	10°	D	276	12.1
Case-9	01	활면(아크릴)	10°	D	303	12.1
	02	파판(중, PE)	10°	B	294	12.1
	03	파판(대, PE)	10°	C	289	12.2
Case-10	01	활면(아크릴)	10°	C	276	12.0
	02	파판(중, PE)	10°	D	294	12.0
	03	파판(대, PE)	10°	B	302	12.1
Case-11	01	사질(d50<0.8mm)	0°	A	272	12.1
	02	사질(d50<0.8mm)	0°	B	269	12.1
	03	사질(d50<0.8mm)	0°	C	273	12.2
	04	사질(d50<0.8mm)	0°	D	282	12.2

(2) 실험방법

해삼운동실험조건을 확인하기 위해 조도계와 수온계를 이용하여 실험조도 및 수온을 검토하였으며, 실험상의 편차를 저감하기 위해 실험은 실내에서 야간동안 실시하였다.

예비실험을 통해 알게 된 해삼의 이동에 따른 소요시간이 30분에서 40분정도가 되는 자료를 바탕으로 실험시간은 50분을 기준으로 실시하였고, 정방 800mm의 저질 중앙에 각 그룹의 해삼 5마리를 투하하여 50분 동안의 이동특성을 검토하였다.

실험조건을 편차를 최대한 줄이기 위해 2개의 수조 4개의 실험조건에서 동시에 실시하였으며, 각 저질조건은 특정 수조에서 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해 밀어내기 식으로 변경하며 실험을 실시하였다. 예비실험결과 수조에 따른 특성을 나타나지 않는 것으로 확인하였으나, 실험은 계속해서 실험구를 밀어내기 식으로 변화하면서 실험하였다.

실험영상의 취득은 수중모니터링 카메라를 통해서 취득되는 영상을 녹화기에 30프레임으로 저장하면서 실시하였고, 자료의 해석은 실험 시 설치한 20mm 간격의 격자망을 이용하여 영상에서 해삼의 이동위치와 격자망의 거리를 이용하여 이동궤적을 계측하였다.

해삼의 이동위치는 전체적인 실험결과에서 실험구의 해삼이탈시간을 고려하여 5분 간격으로 해삼의 위치를 분석하였으며, 이때 이동한 위치를 궤적으로 연결하여 5분간 이동한 거리를 계산하였다. 실험결과는 각 5분간의 구간별 이동거리를 중심으로 도시하였으며, 정방 80mm의 실험구 내에서의 이동 궤적을 표시하였다.

나. 연구결과

해삼의 운동특성 실험은 해삼의 체형별, 저질조건(재질, 형상, 경사)별로 검토하였으나, 전체 해삼의 일반적인 결과를 대상으로 하지는 못하였다. 그러나 본 연구에서 대상으로 하는 어린해삼 단계의 행동특성을 파악하기 위해서 최대한 실험조건을 다양하게 구성하였으며, 그 결과를 다음과 같이 제시한다.

(1) 해삼의 이동특성

해삼의 운동특성 실험결과를 분석하기에 앞서 해삼의 이동에 대한 행동 특성을 분석하는 것이 필요하다.

해삼의 경우 그림 7-24와 같이 연동운동에 의해 이동한다. 연동운동은 체장의 1/3정도 되는 몸통 부분은 저면에 관족으로 지지하고, 체장의 입측 1/3을 늘여서 전방으로 이동한 후 이를 지지하여 몸통을 끌어 당겨 이동을 한다. 이러한 연동운동은 직진성이 강하며, 방향전환을 위해 해삼은 체장의 2/3를 똑바로 세워 방향을 전환한 후 이동한다(그림 7-25). 이러한 방향전환 시에는 저질이 분착이 용이한 조건이어야 한다.

이러한 운동은 그림 7-26과 같이 현재 있는 위치를 회피하기 위해서이며, 이러한 회피의 원인은 급이, 배설이 주된 원인이며, 빛, 수온, 수압 등과 같은 영향에 의한 스트레스를 피하기 위해 이동하는 것으로 판단된다.

해삼의 이동시에는 몸을 늘렸다가 수축하는 형태의 운동을 하며, 해삼의 표면에 외부자극이 있을 경우 수축하여 몸을 보호한다. 이러한 특성은 인공어초의 개발시 요철과 같은 표면 형태를 조성할 경우 해삼의 이완-수축시 해삼의 몸통이 요철에 끼일 수 있는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 해삼 인공어초의 표면은 요철형보다는 완만한 경사를 가진 요철형태를 가지는 것이 필요하다. 이를 위해 파형에 의한 표면형상의 확보가 필요하며, 표면에는 유기물이 침적되도록 하여 급이와 배설의 기능을 확보한 동선 확보를 통한 인공어초를 개발하는 것이 중요하다.

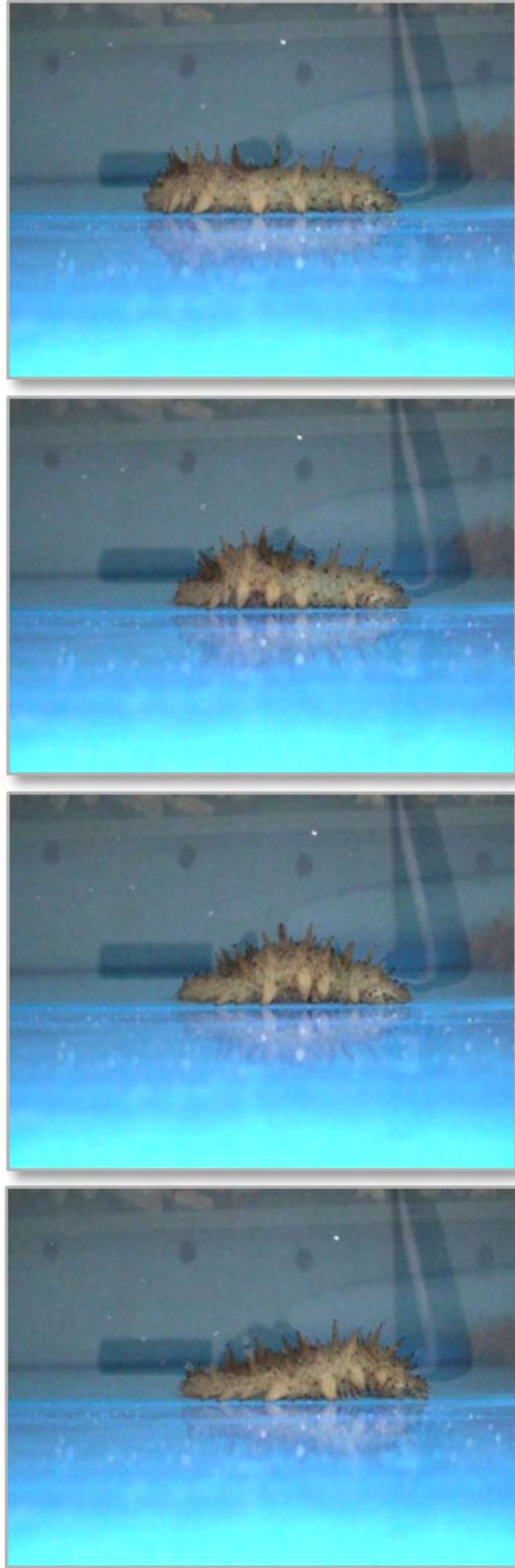


그림 7-24. 해삼의 이동(연동운동)

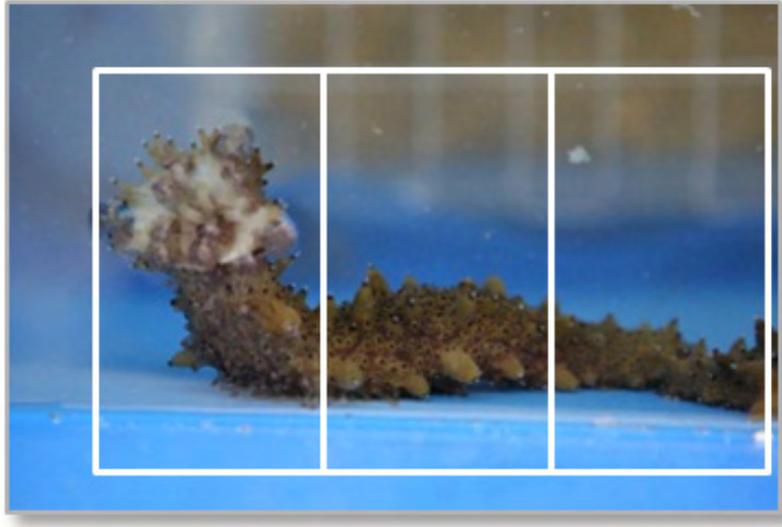


그림 7-25. 해삼의 먹이지향 운동

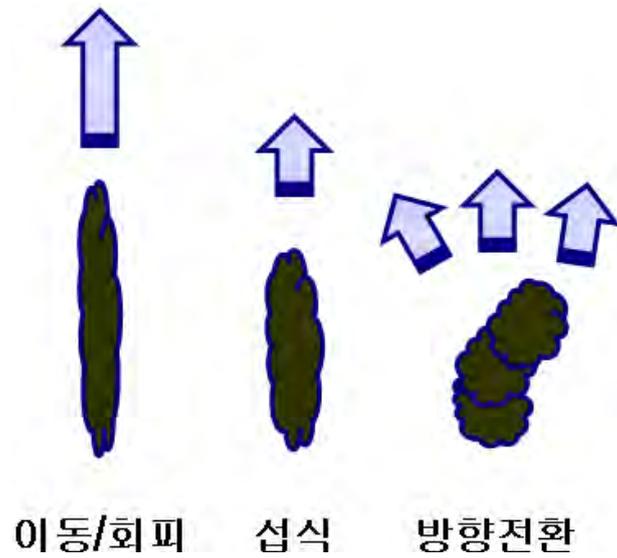


그림 7-26. 해삼의 이동조건

(2) 체형에 따른 운동특성

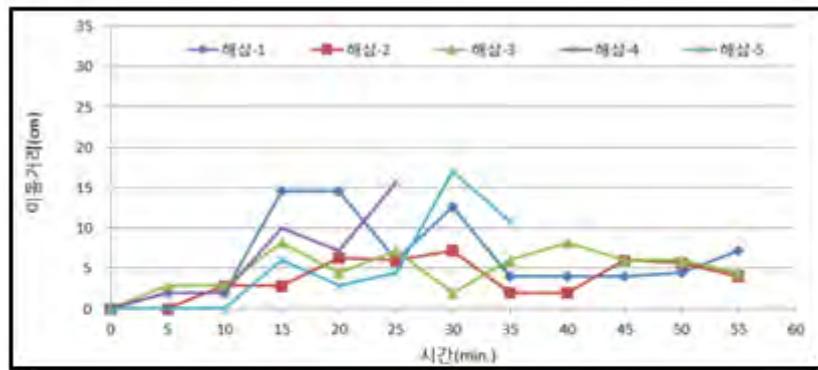
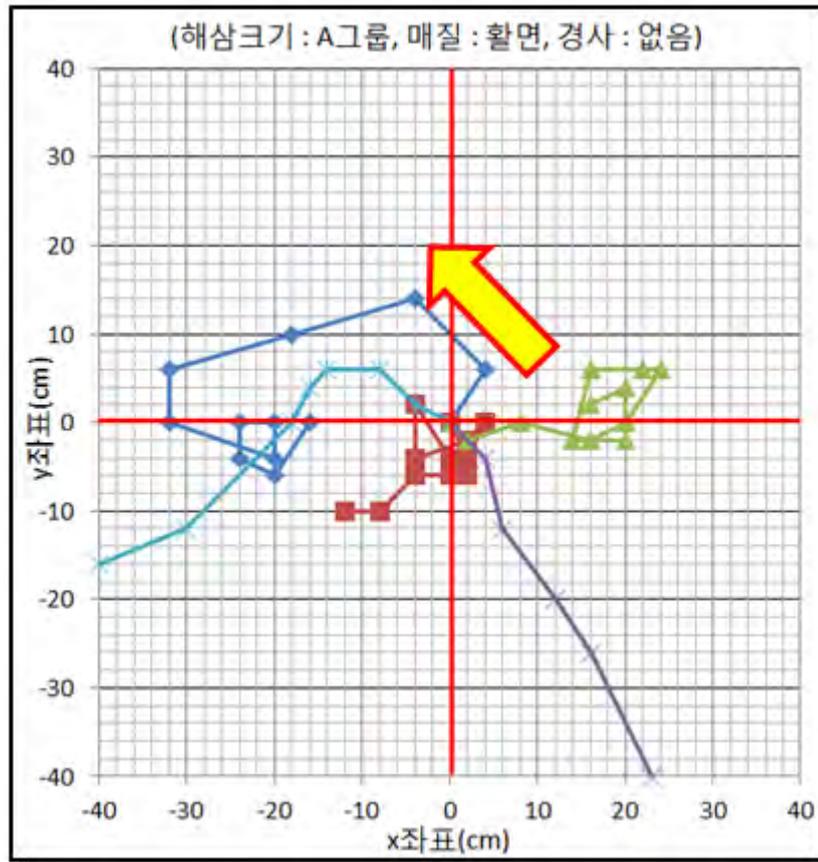
해삼의 체형에 따른 운동특성을 검토하기 위해서 4가지 그룹의 해삼의 체형을 대상으로 검토하였다. 저질조건은 활면 아크릴이며, 초기 실험구의 중앙부에 해삼을 투하한 후 50분간 이동거리 및 속도를 측정하였다.

실험결과 해삼은 A그룹에서 체형이 큰 D그룹으로 갈수록 이동속도는 증가하는 경향을 보였으며, 방향성도 뚜렷이 보였다.

그림 7-27은 A그룹의 이동결과로 해삼의 이동궤적이 다소 투하원점을 중심으로 불규칙하게 이동하고 있으며, 하단의 이동속도의 경우도 초기 10분과 40분 이후에는 큰 이동을 하지 않고 있다. 반면, B그룹의 실험결과는 초기에 좌우방향으로 신속히 이동하고 30분 이후에는 실험구를 벗어나는 경향을 보였다(그림 7-28). C그룹의 경우(그림 7-29) A그룹에 비해 활발하게 운동하고 있으며, B그룹에 비해서는 순간속도에서 다소 작은 경향을 보인다. D그룹의 경우 상대적으로 가장 체형이 큰 그룹이며, 이동경향도 초기 20분 내에 대부분 실험구 영역을 이탈하였다(그림 7-30).

이러한 실험결과를 통해서 해삼의 체형이 증가 할수록 방향성과 이동속도가 증가하는 경향을 보이고, 초기의 이동성도 높다는 것을 알 수 있다. 따라서 인공어초의 설계를 위해서는 다양한 해삼의 체형을 고려한 형상의 개발이 필요하며, 선호하는 조건이 될 때까지 계속해서 이동하는 해삼의 행동특성을 고려할 때 동선의 연속성을 고려하는 것이 중요할 것을 판단된다.

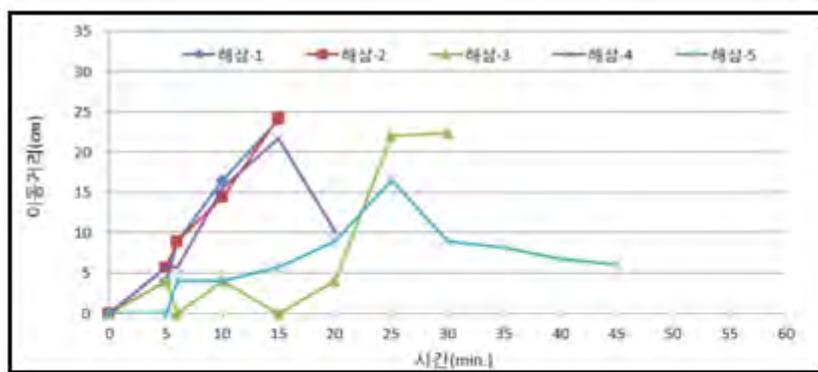
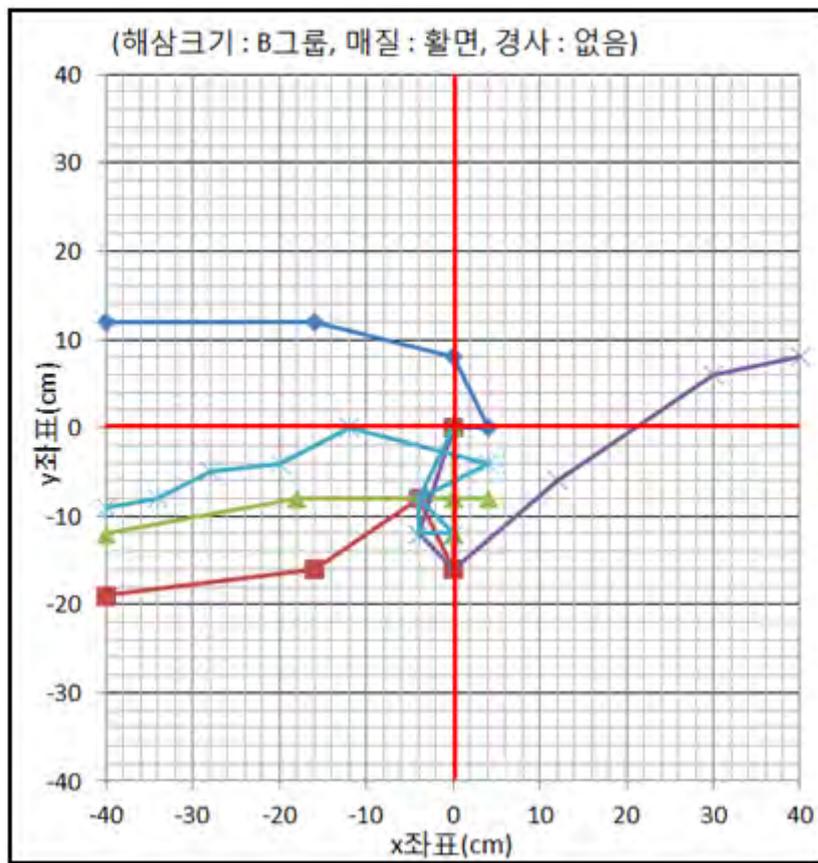
여기서 방향성은 개별 해삼이 이동할 때의 직진성을 말하며, 실험에 사용된 해삼의 전체적인 방향성을 가지지 않았다.



A그룹
 ($W_{ave} = 2g, l_{ave} = 24.4mm$)

활면아크릴

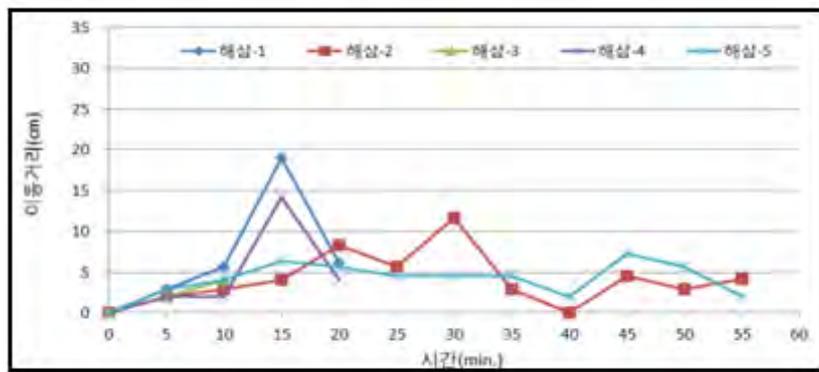
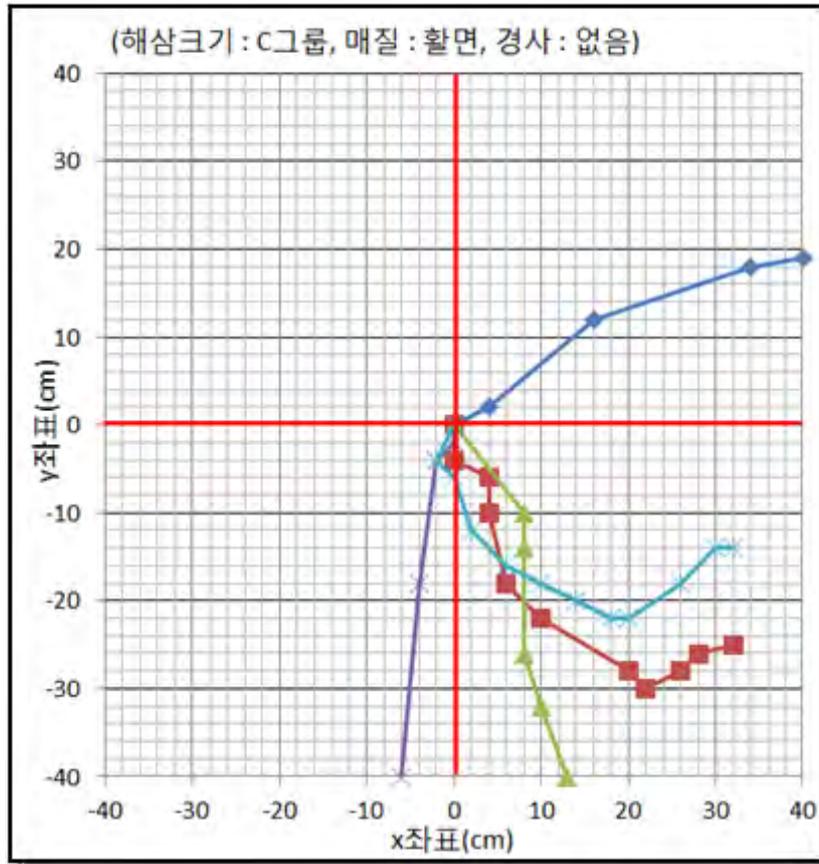
그림 7-27. 체형에 따른 해삼의 이동특성(A그룹)



B그룹
 ($W_{ave} = 5g, L_{ave} = 55.2mm$)

활면아크릴

그림 7-28. 체형에 따른 해삼의 이동특성(B그룹)

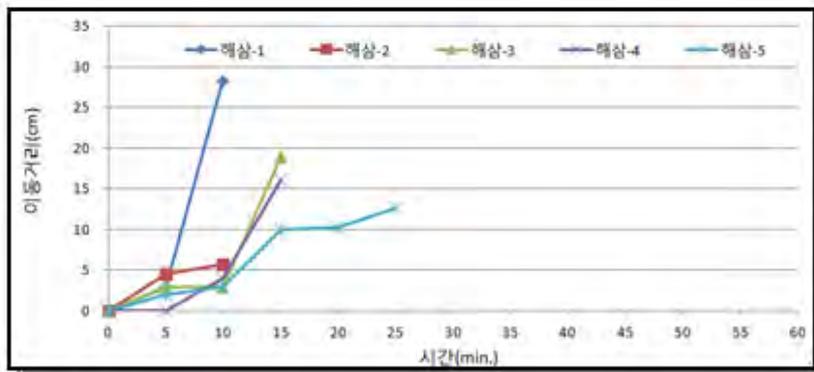
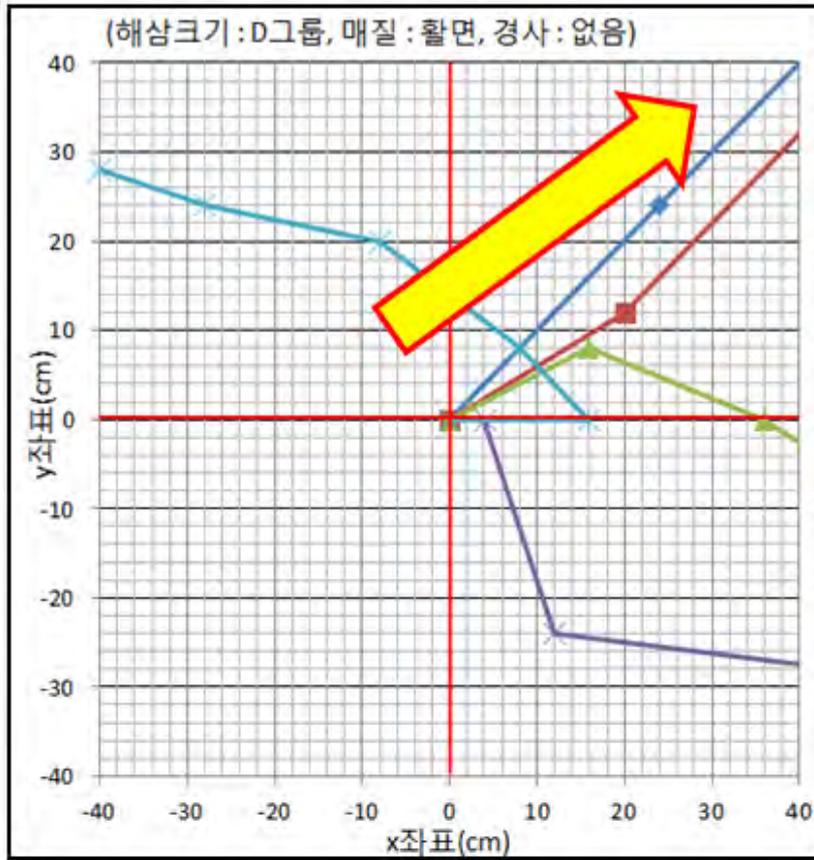


C그룹
 $(W_{ave} = 16g, L_{ave} = 62.0mm)$



활면아크릴

그림 7-29. 체형에 따른 해삼의 이동특성(C그룹)



D그룹
 ($W_{ave} = 35g, l_{ave} = 75.8mm$)

활면아크릴

그림 7-30. 체형에 따른 해삼의 이동특성(D그룹)

(3) 저면 재질에 따른 운동특성

저질조건에 따른 해삼의 운동특성을 파악하였다. 그림 7-31부터 그림 7-33까지는 사질, 석분, 쇄석에 대한 해삼의 운동특성을 나타내며, 그림 7-34는 저면의 형상을 파판으로 하여 운동특성을 분석하였다.

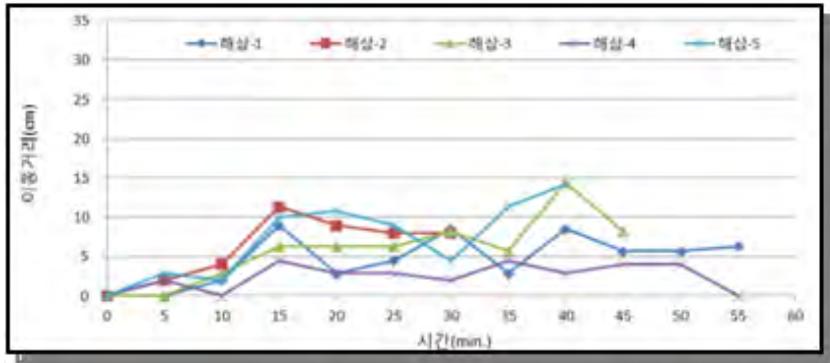
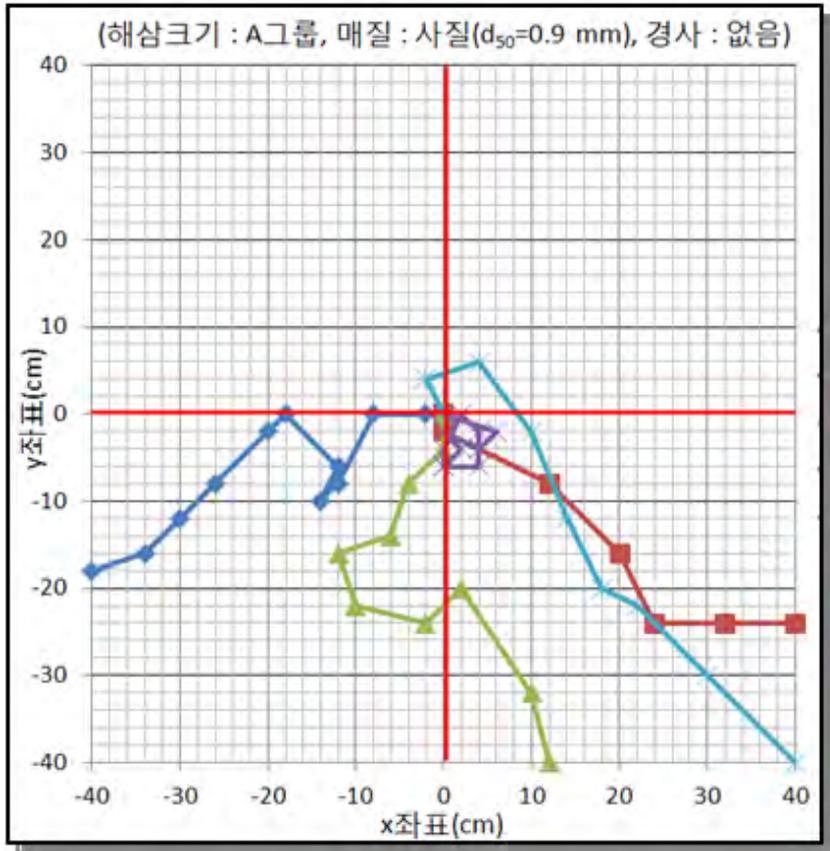
실험의 비교에 사용한 해삼은 A그룹의 2g 정도의 어린해삼을 사용하였다. 결과적으로 체형이 큰 해삼의 경우 저질의 영향을 받지 않고 운동하였으며, 2g 정도의 어린해삼의 경우 저면의 조건에 상대적으로 민감하게 이동하는 것을 관찰하였다(그림 7-31).

사질의 경우 해삼의 5분당 이동속도는 15cm 이내였으며, 조립의 조건인 석분과 쇄석조건으로 갈수록 해삼의 이동성은 증가하여, 이동속도 및 직진성도 증가하였다. 특히 쇄석의 경우 초기에 30분까지 해삼이 전체적으로 실험구를 벗어나는 활발한 운동성을 보였다(그림 7-33).

저질의 입경의 경우 해삼이 먹이를 섭식하여 소화를 돕기 위한 재료로도 사용되는 특징이 있음을 고려 할 때 저질은 사질이하의 입경이 해삼의 생태에도 유리할 것으로 판단되며, 이때 해삼의 체형에 따라 저질의 영향을 받는 정도가 차이가 있다.

파판의 경우 파판의 방향에 해삼의 운동이 영향을 받고 있음을 알 수 있으며, 이러한 파판의 파형에 의한 해삼의 이동경로에 대한 영향은 해삼 인공어초의 개발 시 해삼의 동선을 유도할 수 있는 조건으로 적용할 수 있으므로 이에 대한 반영이 필요할 것으로 판단된다. 특히 파판의 표면이 활면조건이므로 해삼의 이동성을 양호하였다(그림 7-34).

이상의 실험결과를 통해 사질과 파판의 형상을 이용한 인공어초의 개발이 필요하다고 할 수 있다. 따라서 파판의 형상을 다양하게 하여 다양한 체형의 해삼의 서식성을 조성하고, 파판의 형상을 이용하여 해삼의 동선을 유도하도록 하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 이때 파판의 표면에는 작은 요철을 두어 부유하는 유기물 혹은 세립질 니질/사질이 표면에 침적되도록 하여 해삼의 서식공간으로서의 급이 기능을 가지도록 하는 것도 중요할 것으로 판단된다.



A그룹
(2g)

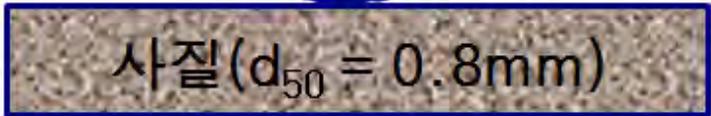
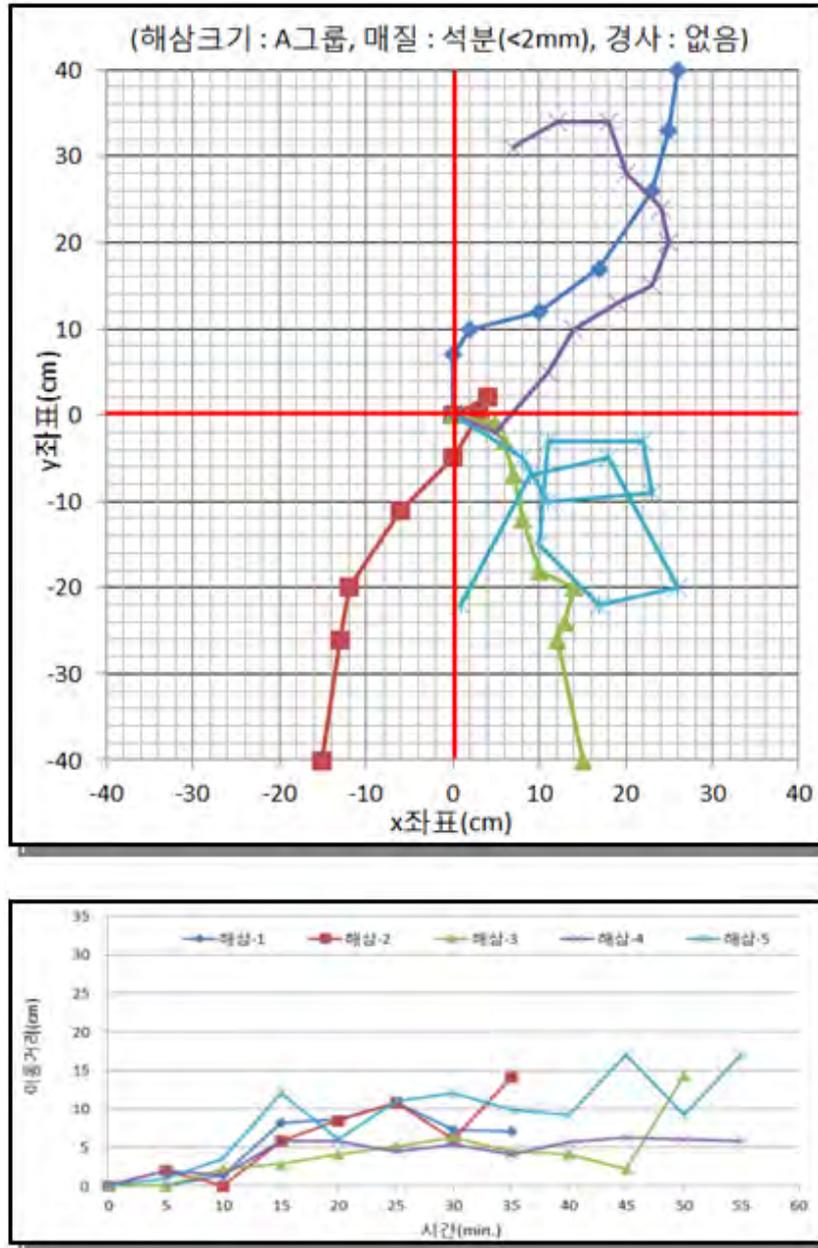


그림 7-31. 저질조건에 따른 해삼의 이동특성(사질)



A그룹
(2g)

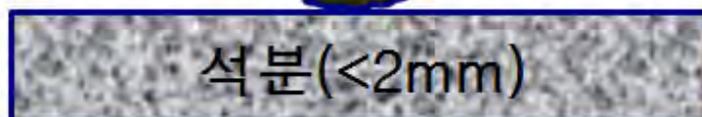
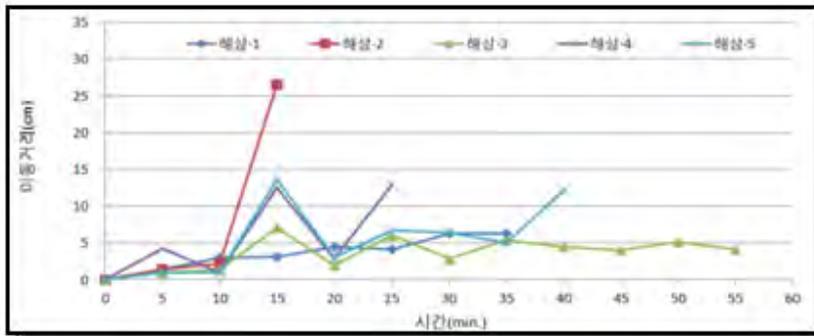
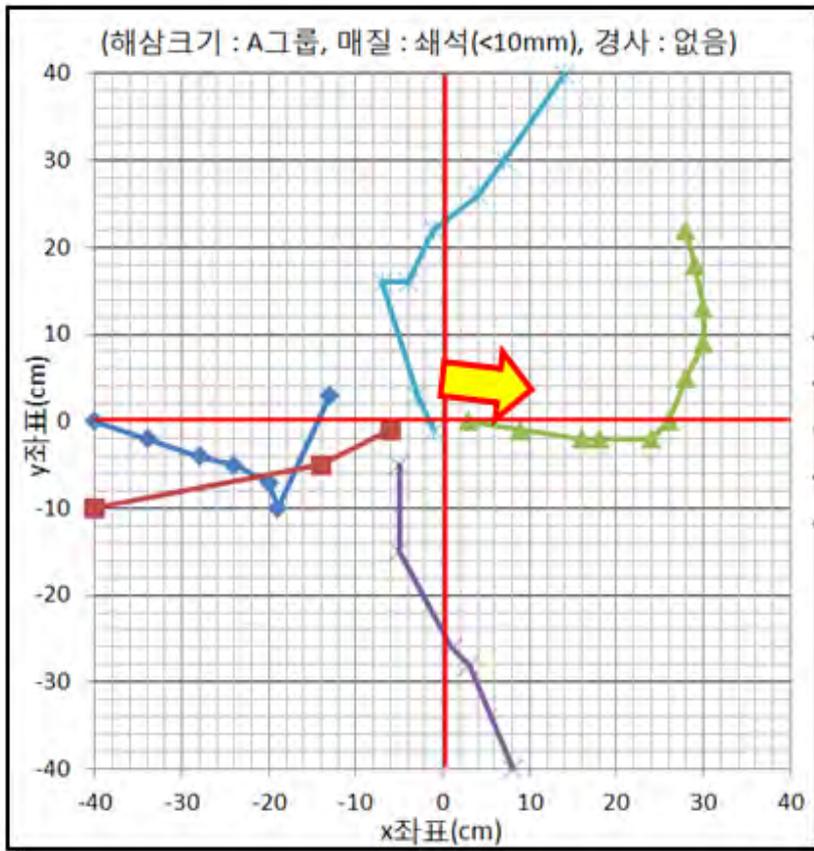
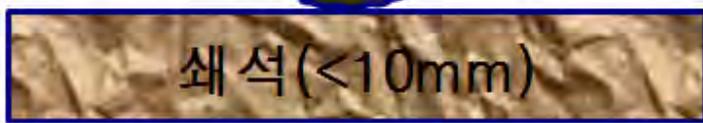


그림 7-32. 저질조건에 따른 해삼의 이동특성(석분)



A그룹
(2g)



쇠 석(<10mm)

그림 7-33. 저질조건에 따른 해삼의 이동특성(쇠석)

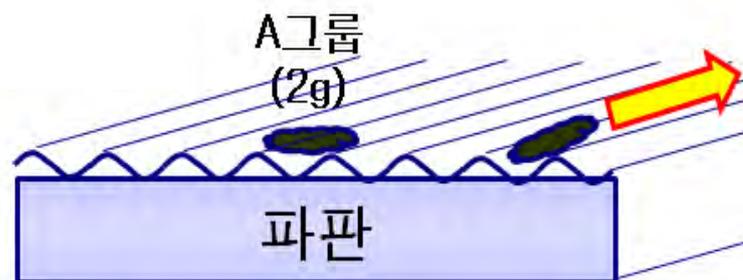
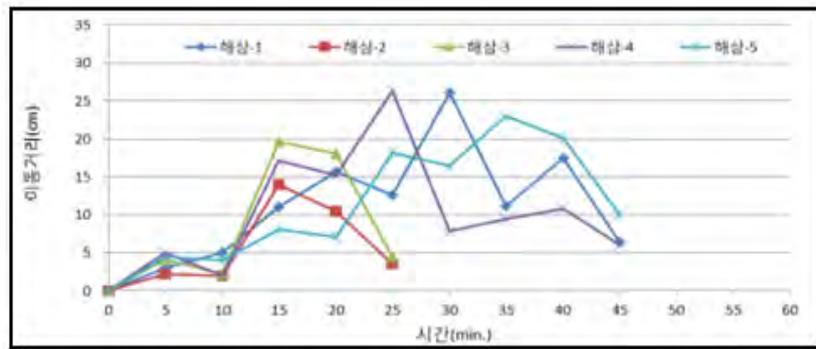
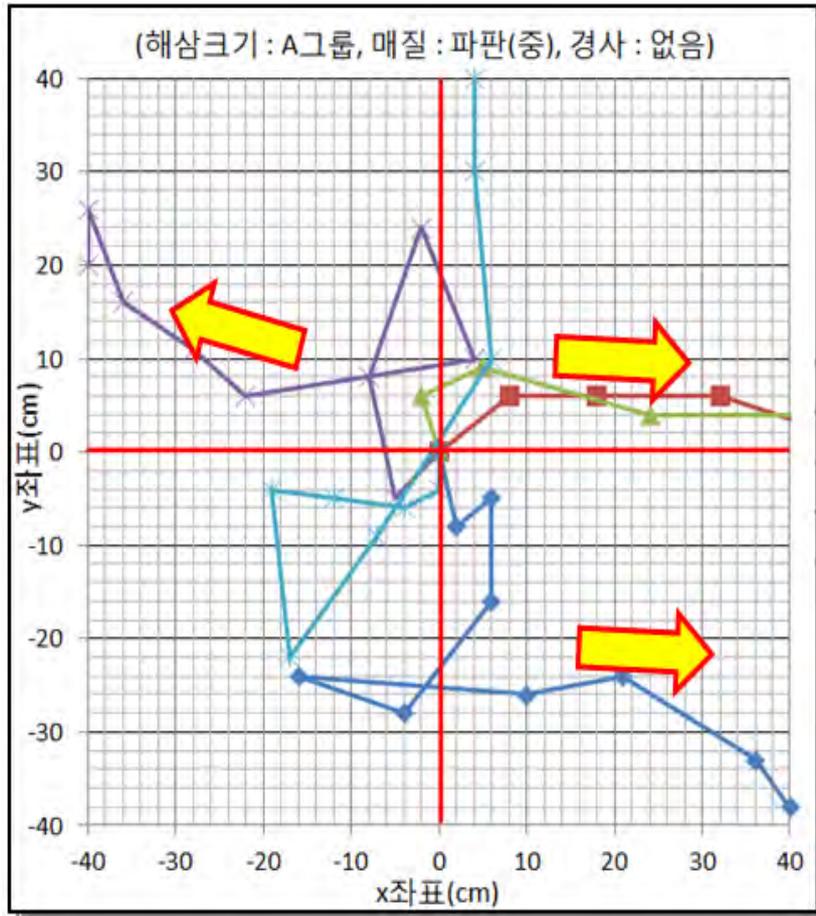


그림 7-34. 저면형상에 따른 해삼의 이동특성(파판)

(4) 저면 경사에 따른 행동특성

해삼이 서식하는 실제 해역은 평탄하지만은 않으며, 특히 저면경사의 경우 다양한 조건을 보일 수 있다. 이러한 서식특성을 고려하여 바닥경사에 따른 해삼의 이동특성을 파악하였다. 또한, 해삼 인공어초의 형상은 반드시 저면에서 돌출되는 형태를 가지게 되므로 이때 경사에 의한 동선확보는 반드시 필요하다.

본 실험의 경사조건은 5°와 10°에 대해 검토하였다(그림 7-35, 7-36). 실험 수조의 제약으로 위의 두 개 경사에 대해서만 검토하였으며, 경사가 수직에 까지 이른다고 할지라도, 관측에 의한 해삼의 부착능력을 고려할 때 이러한 조건에서의 이동은 충분히 가능할 것으로 판단된다.

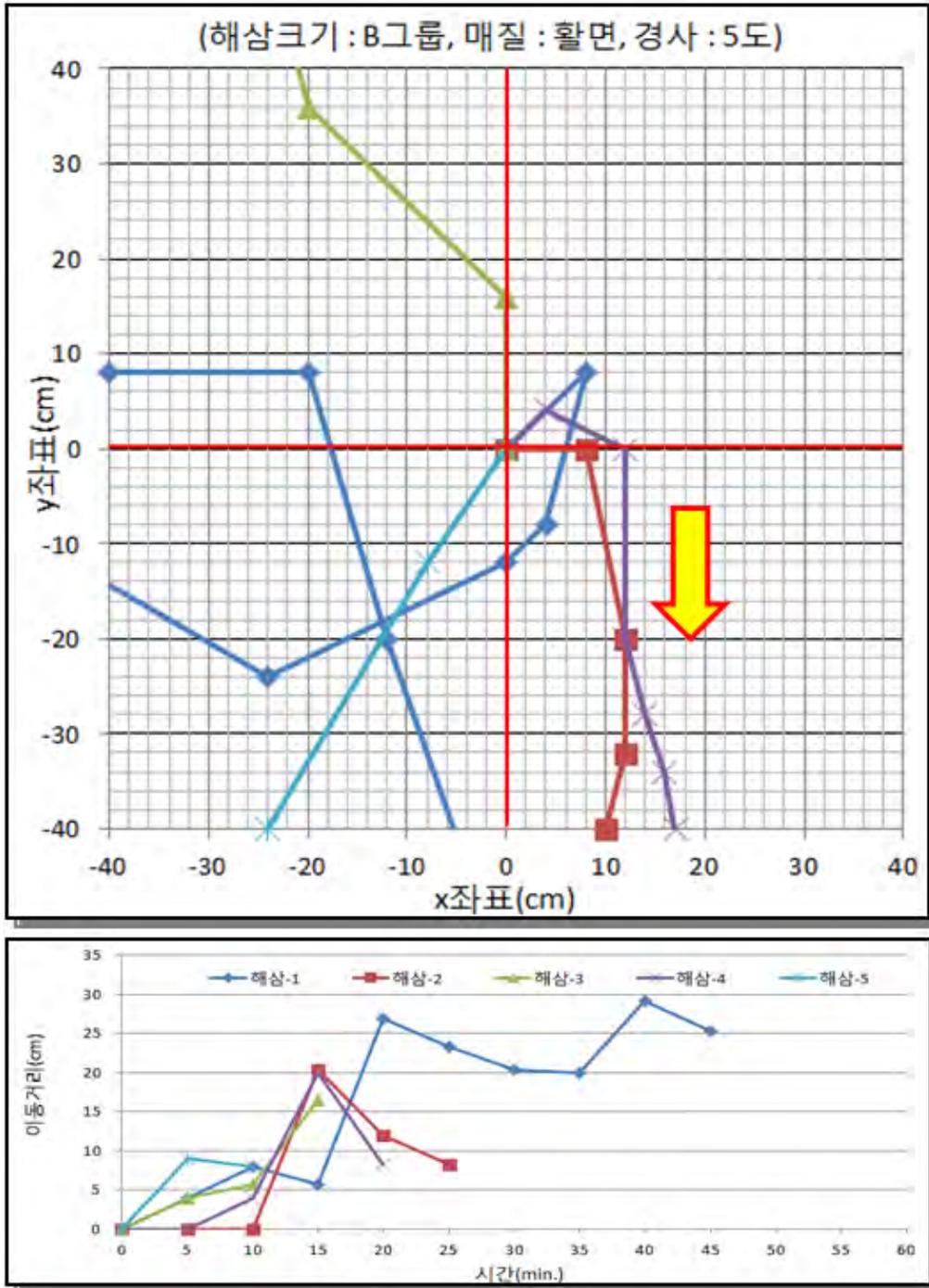
실험결과 해삼의 운동은 경사가 급해질수록 해삼운동이 방향성을 가진다는 것이다. 경사가 완만한 5°조건에서 이동속도는 높았다.

실험결과와 가장 큰 특징은 해삼의 이동 방향이다. 해삼의 이동방향은 정수면을 향하는 것이 대부분이었으며, 이러한 특징은 본 실험조건에서만 특징적으로 나타나는 결과인지는 분명하지는 않지만, 대부분의 실험결과에서도 유사한 경향을 보이는 것으로 판단할 때 이는 해삼의 특징 중의 하나로 판단된다.

이러한 해삼의 경사면에서의 방향성은 실제 해역에서 인공어초를 시설할 경우 해삼의 이동 동선에 인공어초를 시설할 경우 해삼이 인공어초 위로 이동하기가 용이함을 예측할 수 있고, 이때 인공어초의 배치를 통한 해삼의 접근성을 높인다면 인공어초에 의한 해삼의 위집 및 자원조성효과도 극대화 될 것으로 판단된다.

이상의 실험결과를 종합한 그림 7-37 결과에서 해삼의 체형의 크기에 비례하는 운동성의 증가를 확인할 수 있으며, 저질의 조건은 해삼의 체형이 작은 조건일 때에는 영향을 받지만 해삼이 운동성이 증가되는 조건일 때는 저질의 영향은 적다.

이러한 해삼의 운동특성은 해삼 인공어초의 설계를 위한 중요한 근거가 될 수 있을 것으로 판단되며, 특히 해삼의 다양한 서식조건을 복합적으로 고려할 때 해삼 인공어초의 효과는 극대화 할 수 있을 것으로 판단된다.



B그룹
(4g)

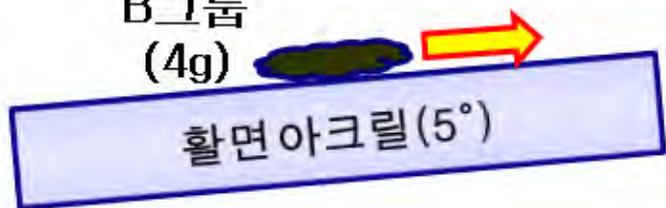


그림 7-35. 저면경사에 따른 해삼의 이동특성(5°)

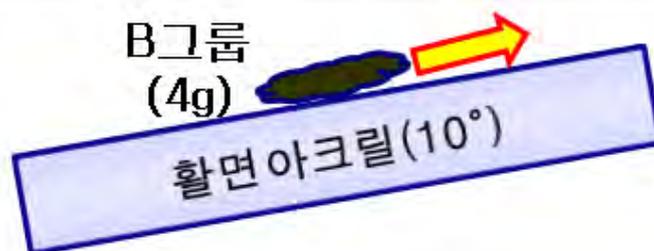
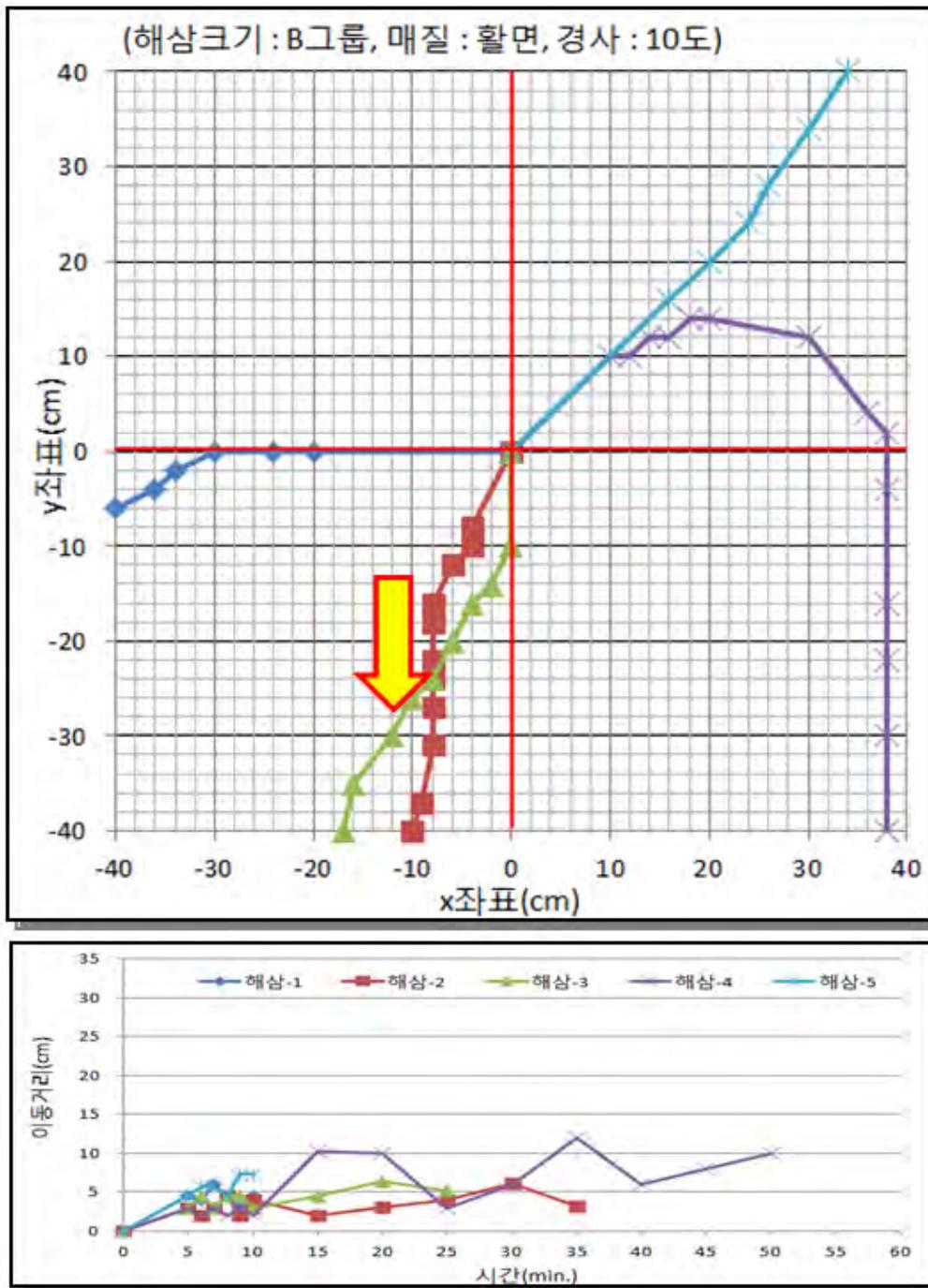


그림 7-36. 저면경사에 따른 해삼의 이동특성(10°)

이동속도(cm/min)

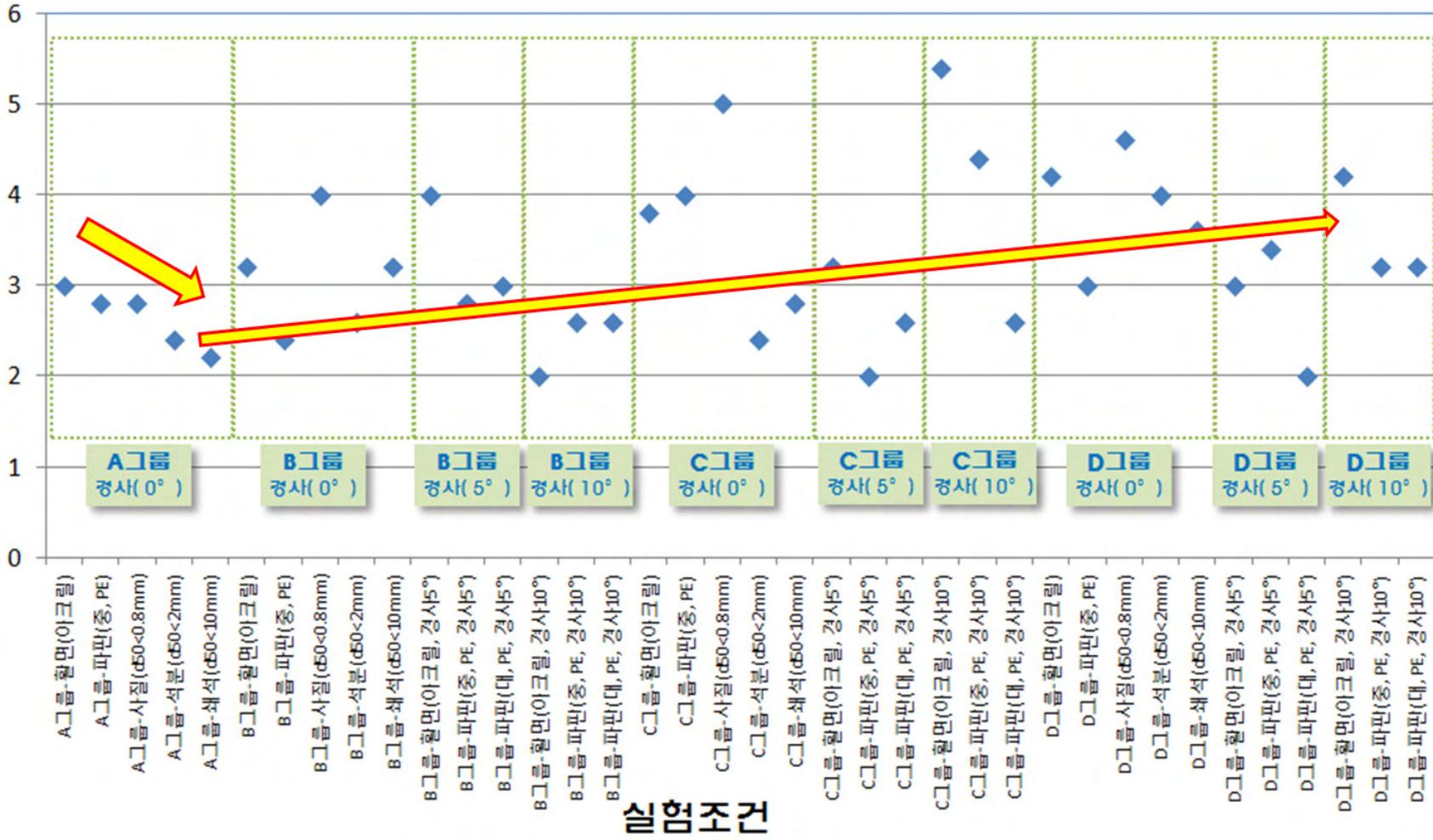


그림 7-37. 해삼의 이동특성

4. 해삼 인공어초 개발 연구

가. 해삼 인공어초의 설계요소 및 개발방향

이상의 해삼의 생태 특성과 해삼의 운동특성실험을 통해 얻어진 결과를 통해 해삼 인공어초의 개발을 위한 주요 설계요소를 정리하면 표 7-7과 같다.

해삼의 이동은 단순 이동 시 체장을 수축/확장하며 연동운동으로 이동하므로 인공어초의 표면에는 지지기반의 부착기질 확보가 필요하며, 먹이검색 및 방향 전환 시 체장의 1/3을 하부에 지지하고, 몸통을 이용하여 입부분을 움직여 선회하는 먹이지향 운동을 고려하여 부착기질 및 파판의 유효간격 결정이 필요하다.

해삼의 부착성은 활면에서 가장 안정적인 이동을 보이고, 조면 혹은 자갈면에서도 연동운동으로 이동이 용이한 특성을 고려할 때 인공어초의 표면은 활면을 유지하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

먹이섭취는 이동 시 먹이가 존재하면 섭식행동을 하며, 근처에서 이동하며 머무르는 특성을 고려하여, 인공어초 설계 시 적응형파형판 구조를 이용하여 부착성 및 먹이공급기능을 함께 제공하는 것이 중요할 것이다. 특히 먹이의 섭취가 용이한 파판의 형상을 적용하는 것이 필요할 것이다.

인공어초의 경사는 수직의 조건에도 활면 시 이동이 용이함을 확인 할 때(중간육성용), 경사는 이동에 장애가 되지 않으며, 경사상에서는 주로 수면방향으로 이동, 부착밀도의 확대를 위해 경사식을 이용하여야 한다.

이러한 인공어초 설계요소를 통한 본 과업에서 목표하고 있는 씨뿌림식, 축제식, 육상수조식의 인공어초 혹은 양성기의 개발방향은 표 7-8과 같이 정리 할 수 있다.

인공어초 개발에 있어서 대상 형식에 다른 가장 특징적인 부분은 외력 및 직사광선에 대한 노출의 유무이다. 따라서 인공어초를 표준모델화 하여 개발하는 것이 유리하며, 재질과 중량을 이용하여 안정성 및 기능성을 확보하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

표 7-7. 해삼의 운동 특성을 고려한 인공어초 설계요소

행동구분	특 징	비 고
이동	단순 이동 시 체장을 수축/확장하며 연동운동으로 이동	지지기반의 부착기질 확보
먹이지향 운동	먹이검색 및 방향 전환 시 체장의 1/3을 하부에 지지하고, 몸통을 이용하여 입부분을 움직여 선회	부착기질 중요, 파판의 유효간격 결정
부착성	활면에서 가장 안정적인 이동을 보임, 조면 혹은 자갈면에서도 연동운동으로 이동이 용이	상대적인 활면의 유용성
먹이섭취	이동 시 먹이가 존재하면 제자리에 머무름, 따라서 인공어초 설계 시 적응형파형판 구조를 이용하여 부착성 및 먹이공급 기능을 함께 제공하는 것이 중요	먹이의 섭취가 용이한 형상(파판)
경사	수직의 조건에도 활면 시 이동이 용이함을 확인 할 때(중간 육성용), 경사는 이동에 장애가 되지 않으며, 경사상에서는 주로 수면방향으로 이동, 부착밀도의 확대를 위해 경사식 이용	

표 7-8. 해삼 인공어초의 개발방향

구조물형식	씨뿌림식	축제식	육상수조식
외력	해양외력에 노출	외력의 영향 적음, 수심낮음	외력의 영향 적음
형상 및 배치	그늘 및 은신처 확보, 무지향성 이동방식을 고려한 배치	그늘 및 은신처 확보,	부착밀도의 극대화, 동선 확보
표면	활면 및 부착기질이 높은 것	활면 및 부착기질이 높은 것	활면
재질	고중량, 내구성, 내부식성	해역에 노출되므로 내구성 및 부식에 강한 재질, 표면 온도변화가 작은 재질	가공성 및 작업성이 높은 경량화가 가능한 합성수지
안정성	안정중량 및 형상 확보	경량	경량
시공성	수중설치에 대한 시공성 확보	경량화로 인한 시공성 확보	착탈교환형, 시공성 확보
수확성	수확성 고려	이동형, 수확성 고려	부착식, 수확성 고려

나. 해삼 인공어초(파균형 다층 해삼 인공어초)의 특징

이상의 다양한 해삼 인공어초의 설계요소를 반영하여 파균형 다층 해삼 인공어초를 개발하였다. 해삼 인공어초의 형상은 그림 7-38과 그림 7-39와 같으며, 어초에 적용된 특징은 주요 요소별로 특징은 그림 7-40과 같다.

각 세부 주요 특징은 크게 다음 5개항을 정리할 수 있으며 각항에 대한 세부 내용은 계속해서 후술한다.

- 파균형 다층 표면형상
- 유공 표면과 연결기둥
- 표준화된 다층형 인공어초
- 해저면 보호를 위한 저질보호용 친환경 어초형상
- 씨뿌림식 해삼유도용 배치

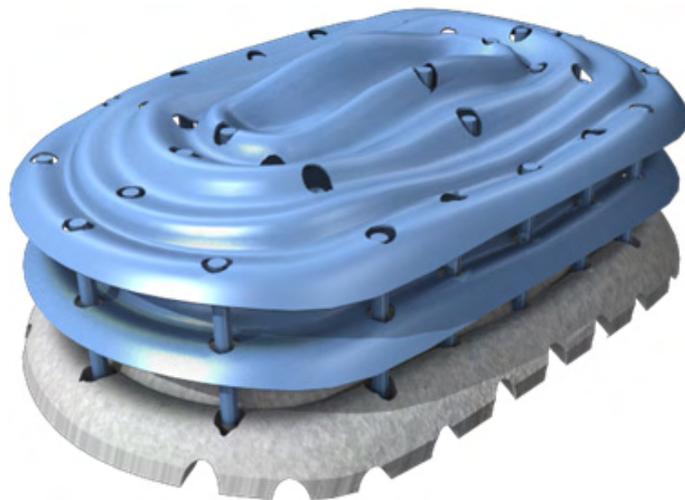


그림 7-38. 파균형 다층 해삼 인공어초

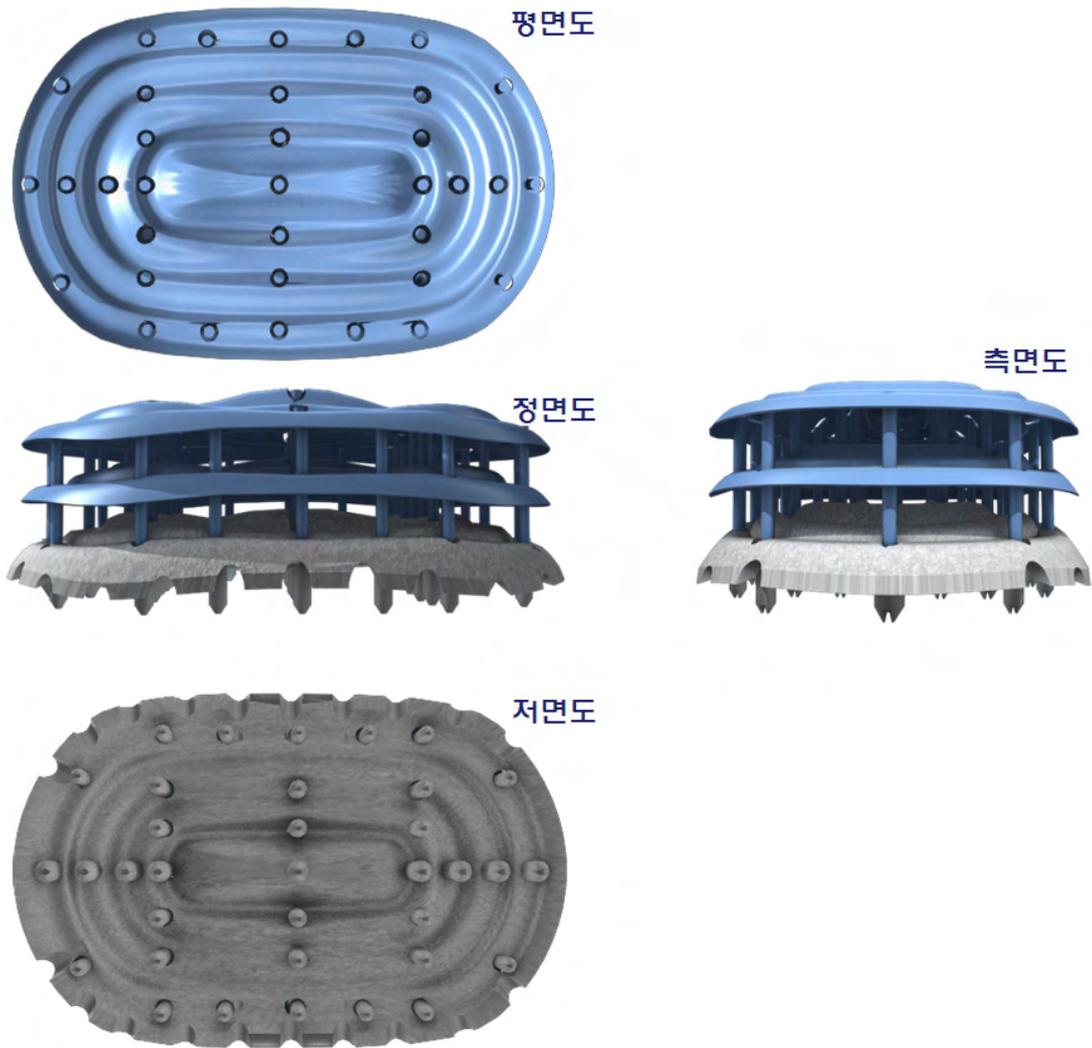


그림 7-39. 파균형 해삼 인공어초의 세부형상

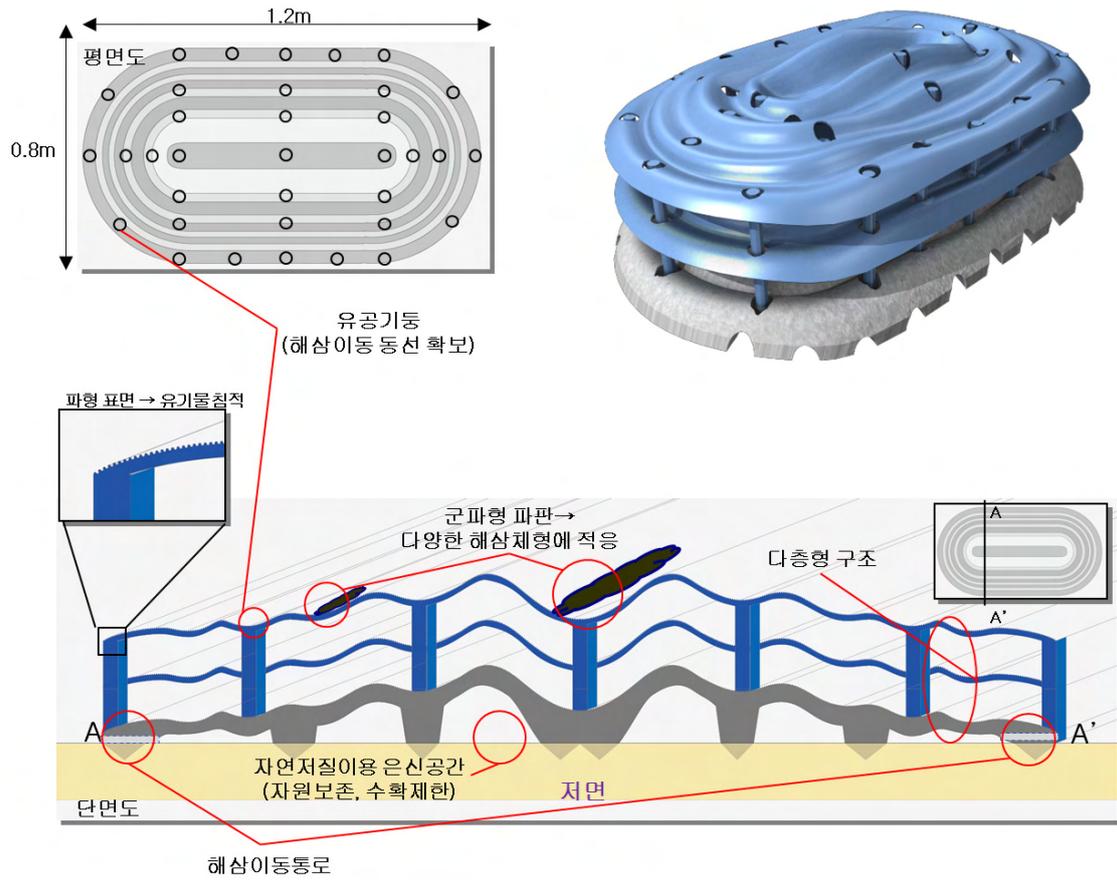


그림 7-40. 파균형 다층 해삼 인공어초의 특징

다. 해삼 인공어초(파균형 다층 해삼 인공어초)의 세부특징

(1) 파균형 다층 표면형상

- 다양한 해삼체형에 적용이 가능한 형상 : 파고와 주기가 다른 2개 이상의 파랑을 합성하였을 때 나타나는 군파형상을 해삼 인공어초 표면에 적용하여 다양한 해삼체형에 적용하고자 하였음(그림 7-41).

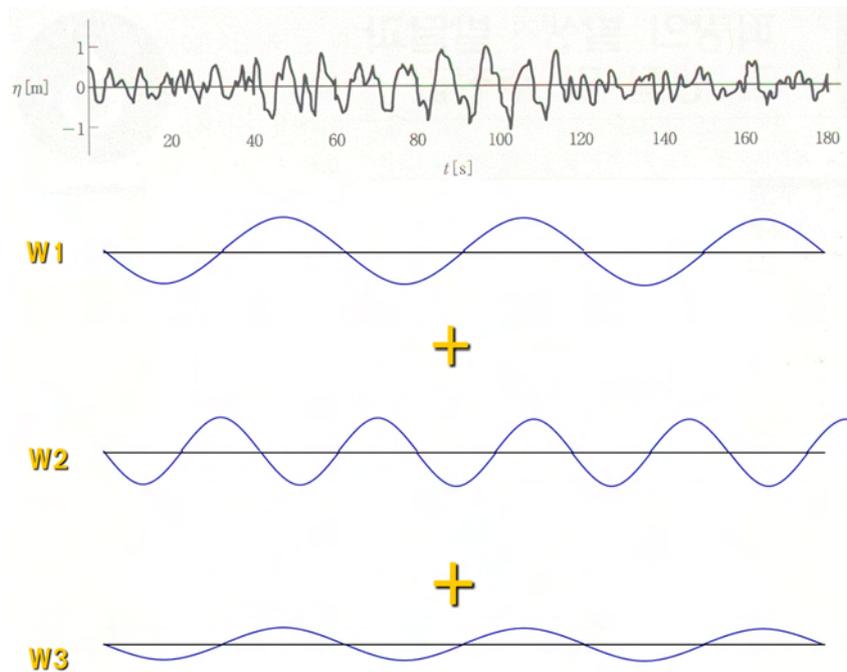


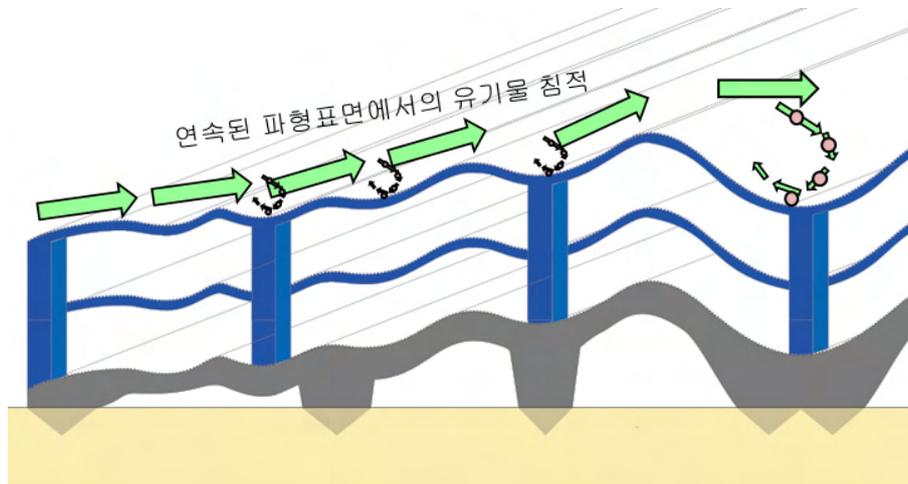
그림 7-41. 파군의 형성

- 다양한 크기의 파형의 골에 다양한 체형의 해삼이 서식하기 쉬움(그림 7-42).



그림 7-42. 다양한 체형에 적용 가능한 파균형 어초형상

- 파형 표면에서의 와동에 의한 부유 유기물의 침적 유도(그림 7-43).



7-43 파균형 인공어초표면에서의 와동에 의한 유기물 침적

- 타원 트랙을 조성하여 섭식 및 배설을 위한 이동 동선 확보 : 타원형 트랙 구조를 적용하여 해삼의 섭식/배설을 위한 동선을 확보하여 해삼의 어초 서식성을 증대(그림 7-44).

타원형 트랙구조로 해삼의 섭식 및 배설을 위한 이동동선 확보

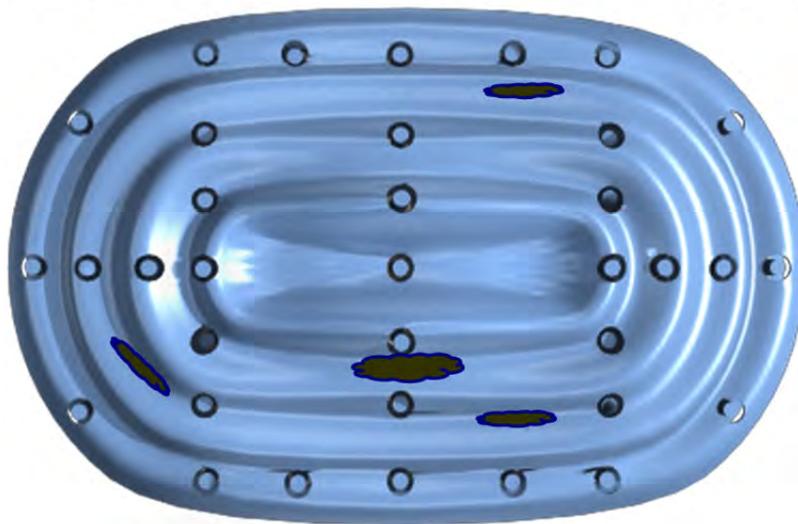


그림 7-44. 타원형 트랙구조에 의한 해삼의 이동동선

- \cap 형 어초형상으로 내파성 증대 : 어초의 형상을 이용하여 수평방향 흐름에 저항하는 기능을 증대 할 수 있으며, 작용하는 파압에도 내파성능(전복, 활동)을 증대할 수 있음(그림 7-45).

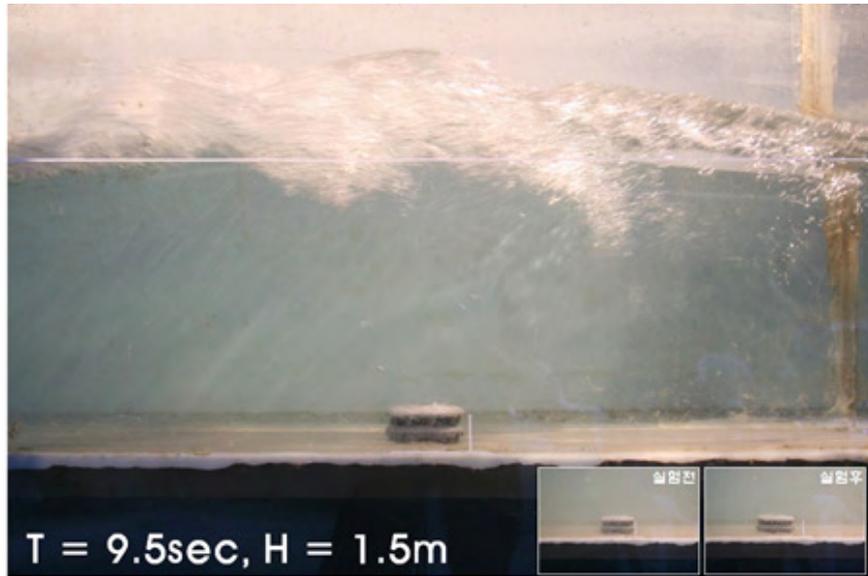


그림 7-45. \cap 자형 형태로 내파성능(전복, 활동) 증대

- 표면의 소규모 요철과형 적용 : 파형에 의해 침적된 유기물이 요철표면에 항상 존재하도록 하여 해삼의 급이 기능을 확보할 수 있도록 함(그림 7-46).

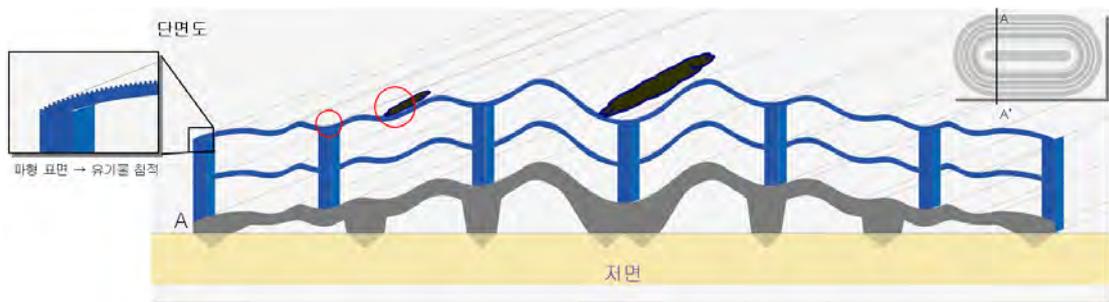


그림 7-46. 요철형 파형표면

(2) 유공 표면과 연결기둥

- 음지와 양지를 주야로 이동하는 해삼의 생태특성을 고려하여 어초 표면에 유공을 적용하고 이를 상하로 연결하는 기둥을 설치하여 해삼의 상하 이동 동선을 확보(그림 7-47).

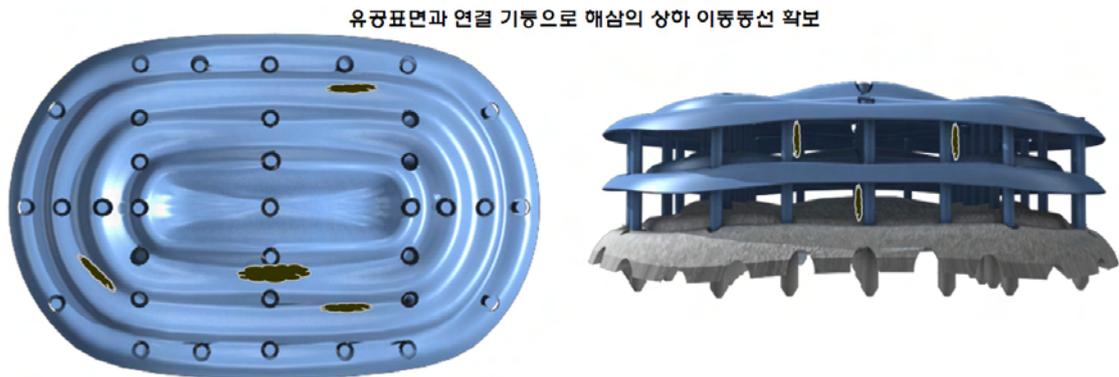
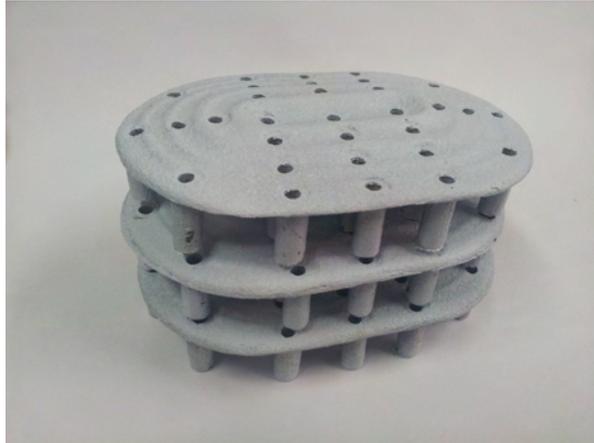


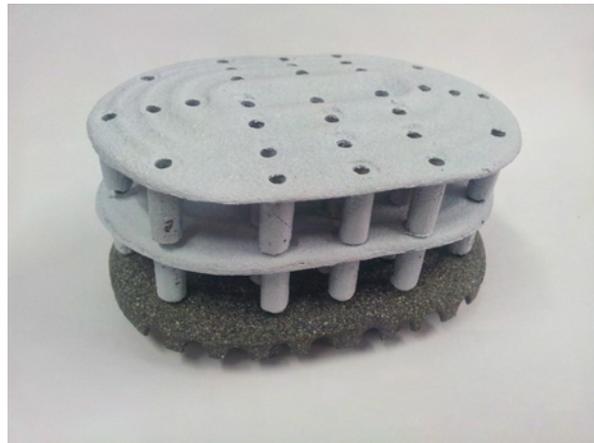
그림 7-47. 유공표면과 연결 기둥을 이용한 해삼의 상하 이동 동선 확보

(3) 표준화 된 다층형 인공어초(그림 7-48)

- 해삼의 서식밀도 증가 : 해삼의 구조물 은신성을 고려한 인공어초를 제작하기 위해 다층구조를 적용하고 층간의 해삼의 이동 동선 확보를 통해 해삼의 서식밀도를 높일 수 있도록 하였음.
- 인공어초 블록의 표준화 : 인공어초블록의 표준화를 통해 다층 적재가 가능하게 하였고, 해역의 특성과 용도에 따라 콘크리트 어초와 합성수지어초의 조합이 가능하도록 하였음.
- 안정성 및 수확성의 확보 : 인공어초 블록은 파랑과 흐름과 같은 외력이 크게 작용하는 곳에서는 해역의 외력특성을 고려한 적절한 콘크리트 블록의 다층 적재를 통해 안정성을 확보. 합성수지 블록은 시공성과 수확성을 고려하여 외력이 약한 지역에 설치 가능하며, 수확 시에는 저중량이므로 인공어초 블록을 분리하여 해삼의 수확이 가능함. 각 층의 인공어초의 연결은 나사봉을 이용하여 상하 너트를 이용하여 결속.
- 어초형상의 표준화로 생산성 증대 : 인공어초 형상과 재질의 표준모델 적용으로 생산단가 저감 및 경량화로 인한 시공성 증대.



1) 합성수지 조합



2) 콘크리트-합성수지 조합형



3) 콘크리트 조합

그림 7-48. 표준화된 인공어초 블록의 다양한 조합

(4) 해저면 보호를 위한 저질보호용 친환경 어초형상

- 해역의 하부 블록으로 사용되는 콘크리트 블록의 경우 인공어초의 하부에 해삼의 서식공간을 적용하여 인공어초 해저면 설치 시 블록의 상재에 따른 저면의 훼손을 막을 수 있도록 하였음.
- 콘크리트 블록의 표면의 유공과 측면의 \cap 자형 유공을 설치하여 해삼의 이동동선을 확보(그림 7-49).



그림 7-49. 인공어초 하부의 공간확보를 통한 해저면 보호

- 콘크리트 어초의 기둥은 끝단은 원추형으로 적용하여 내침하성을 높이며, 거푸집의 탈형 시에도 작업성을 높이고자 하였음.
- 콘크리트 블록의 침하고를 고려하여 설치 후 어초의 상부 표면이 저질과 유연하게 연결되도록 하여 해삼의 구조물 연결동선을 최대한 확보하도록 하였음(그림 7-50).



그림 7-50. 침하를 고려한 해삼의 동선 확보

(5) 씨뿌림식 해삼유도용 배치

- 장방형 구조의 방사형 및 동심원 배치를 적용한 씨뿌림 해삼의 적극적 위집 가능.
- 씨뿌림식 양식에 효과적인 인공어초 배치와 해삼이동의 불특정 방향성을 고려한 인공어초의 배치(그림 7-51).

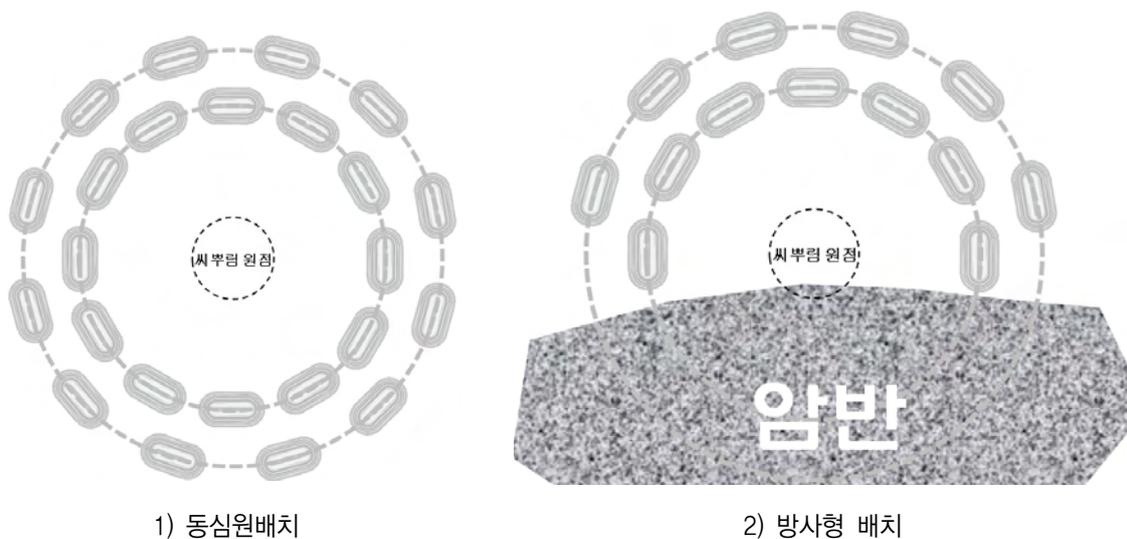


그림 7-51. 파균형 해삼 인공어초의 배치

라. 해삼 인공어초(파균형 다층 해삼 인공어초)의 효과 검토

(1) 성장률 및 생존율

인공어초에서의 성장률과 생존율의 검토는 해삼의 생태특성과 인공어초가 개방적이고 위집성을 목적으로 하는 시설 특성임을 고려할 때 근본적인 논의에는 한계가 있으나, 본 해삼 인공어초 개발연구에서 인공어초 개발의 주요 목표가 위집성과 서식성의 증대를 목표로 하고 있고, 본 인공어초에서 이러한 효과가 발생함을 전제로 전술한 해삼의 성장 및 생존특성을 반영하여 정성적인 검토를 실시하였다.

(2) 수익성

파균형 다층인공어초의 수익성 분석은 기초적인 생산단가를 중심으로 콘크리트 어초와 합성수지어초의 생산금액을 확인하고 이에 대한 본 연구결과의 생산성을 반영하여 검토하였다.

콘크리트 어초는 표면의 이형 형상으로 정확한 무게의 산출에는 한계가 있지만 약150kg이며, 부피는 0.07m^3 으로 높이는 0.2m이며, 가로는 1.2m, 세로는 0.8m이다.

어초의 제작은 상판 및 하판의 거푸집을 제작하여 상부면을 하부면으로 거치하여 성형 및 탈형을 실시하며, 이 때 어초의 설계금액은 2012년 태안군 인공어초 시설단가를 기준으로 환산하여 적용하였으며, 실제 본 인공어초의 생산비용과는 약간의 차이는 있을 수 있으나 기존의 일반어초 중 규모가 가장 작은 콘크리트 인공어초(뿔삼각형 인공어초)의 생산기준을 환산하여 제시하였다.

뿔삼각형 인공어초의 경우 부피는 0.5m^3 로 본 인공어초보다 부피와 중량 모두 7배 정도 크다. 뿔삼각형 인공어초가 해상이동 10km를 기준으로 2012년 기준 60만원이므로 기당 시설비용은 약 15만원 내외가 될 것으로 판단된다, 그러나 블록의 소형화로 인한 생산단가의 경우 다소 증가하는 경향을 고려할 때 실제 생산비용을 약간의 증가가 예상된다. 특히 구조적인 안정성과 해역의 특성에 적합한 중량을 확보하기 위해서는 다양한 규격에 대한 검토가 필요하므로 실제로 각 해역에 적합한 인공어초의 생산비용은 다소 편차가 발생할 것으로 판단된다.

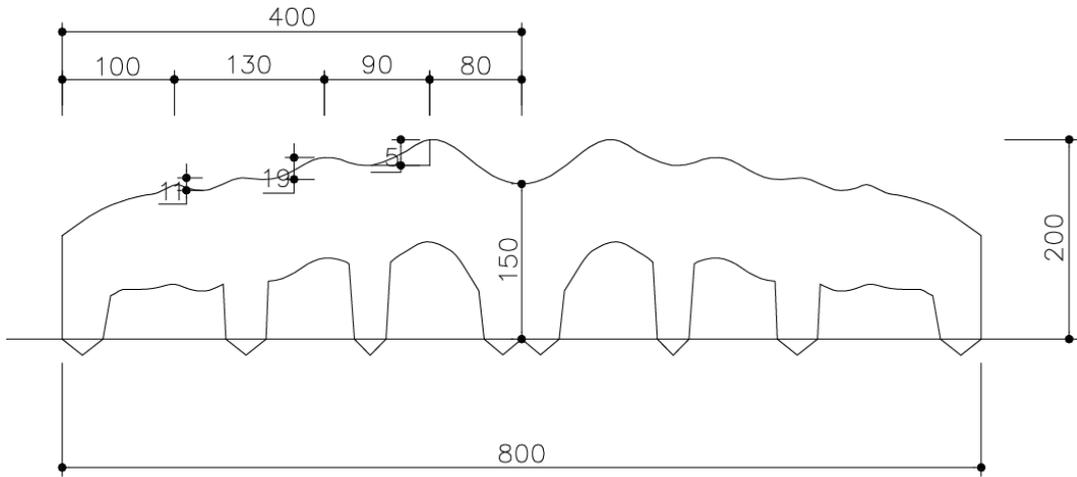
그리고 본 인공어초는 효과조사를 통해 더욱 향상된 형상의 개선이 필요할 수도 있으며, 이러한 개선된 인공어초의 경우 다소 생산단가의 차이가 발생할 것으로 예상된다. 따라서 1개소의 인공어초 배치를 고려할 때 12기의 2열, 즉 씨부림 원점을 중심으로 24기를 시설한다고 고려할 때 1개 단지에 360만원 정도의 조성비용이 예측되며, 2년간 양식한 해삼의 가격을 2만원/kg으로 고려한다면, 2년간의 유지관리비용은 추가로 고려하지 않을 경우 1개의 단지에서 180kg 이상의 해

삼이 생산되어야 생산성을 확보할 수 있을 것이다.

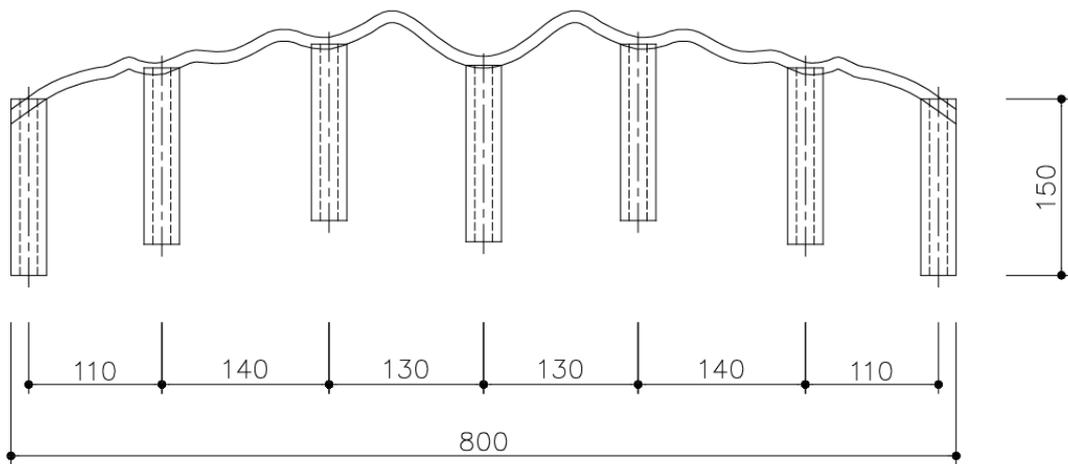
이러한 해삼의 생산량은 각 어초에서 7.5kg의 해삼의 생산기준을 의미하며, 해삼의 개체를 300g으로 고려한다면, 각 기에서 25마리의 생산을 의미한다.

해삼 인공어초의 하부와 상부면을 고려할 경우 부착면은 1.28m² 정도가 되며, 300g 정도의 해삼이 25마리 서식하는 것을 가정할 경우 생산원가에 대한 경제적 타당성을 발생할 것으로 판단되며, 어초의 안정성과 자원보존을 중점적인 목적으로 하고 있는 콘크리트 어초인 본 경우 외에 합성수지 인공어초의 경우 중량과 시공비에서 현격한 감소가 발생하며, 생산단가를 10만원 이내로 저감할 경우 합성수지의 총 부착면적이 콘크리트인공어초에 비해 더욱 큰 점을 고려한다면, 생산성 및 수익성을 더욱 증대될 것을 판단되며, 향후 효과 조사를 통한 효과적이고 개선된 형상의 개발과 대량생산을 통한 생산단가의 저감을 통해 수익성을 확보하는 것이 더욱 효과적인 해삼산업을 육성하는 것이 될 것으로 판단된다.

콘크리트 블록과 합성수지 블록의 수익성과 안정성을 고려한 조합을 적용하는 것이 인공어초의 수익성 향상에 효과적일 것으로 판단되며, 이는 현장의 효과조사를 통해 최적의 시설조건을 도출하는 것이 중요할 것으로 사료된다.



a) 콘크리트 블록



b) 합성수지 블록

그림 7-52. 해삼 인공어초의 표준규격

5. 해삼 인공어초의 안정성

개발된 해삼 인공어초의 안정성을 평가하기 위해서 2차원 단면실험을 통해 안정성 평가를 실시하였다. 실험은 규칙파에 대해 실시하였으며, 두 가지 형상조건에 대한 다양한 주기조건의 안정조건을 찾기 위한 목적으로 실험을 실시하였다.

가. 재료 및 방법

(1) 실험시설

수리모형실험은 폭 1.0m, 높이 1.0m, 길이 35m의 수로에서 수행되었다. 단면수로에는 전기서보피스톤식 조파기가 설치되어 있으며 규칙파 및 불규칙파를 조파할 수 있다. 수로 내에서 구조물설치로 인한 반사파와 조파판에서 발생하는 재반사를 효과적으로 제어하기 위해 단면수로는 수로 폭 1.0m를 폭 0.5m와 폭 0.5m로 분할하였다. 분할된 수로에서 단면모형은 전면 폭 0.5m의 수로에 설치하여 제반 자료를 취득하고, 후면 폭 0.5m의 수로에서는 입사파의 설정 및 보정을 수행한다(그림 7-53).

단면수로는 주기와 파고를 연속적으로 변화시킬 수 있게 설치되어 있으며, 전면 중앙 25m 구간을 강화유리로 처리하여 실험장면 관찰이 용이하도록 되어있다. 또한, 조파판 전면에 용량식 파고계가 부착되어 있어 파고계에서 독취된 자료를 바탕으로 반사파 흡수식 제어가 가능하고, 수로 양쪽 끝 부분에는 여러 겹의 다공성 구조로 형성된 소파장치가 설치되어 있다.

본 실험에 사용된 조파기는 스펙트럼 함수에 의한 불규칙파와 각각의 성분파에 대해 임의의 스펙트럼 값을 입력하여 조파할 수 있으며, 파고계, 파압계 및 유속계 등을 연결하여 동시에 32채널의 데이터를 얻을 수 있다. 수로 내에 제체를 설치할 경우, 월파 및 투과파 등에 의해 제체 전·후 수면의 차이가 순간적으로 발생할 수 있으며, 이러한 수위차이는 수로 양 끝단으로 연결된 파이프와 폭 0.5m의 후면 수로를 통하여 제체 전·후면의 수위가 동일하게 유지된다.

본 단면 수리모형실험에 사용된 단면수로의 제원 및 기능을 요약하면 표 7-9와 같다.

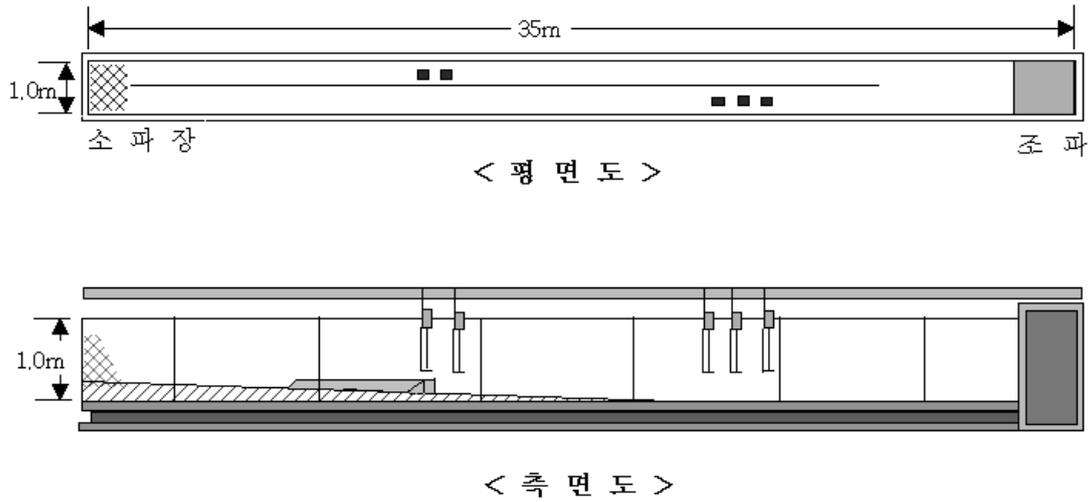


그림 7-53. 단면수로 모식도

표 7-9. 단면수로 및 조파기 특성

구 분		실험 시설 및 장비	비 고
수로 제 원		35m(L)×1.0m(W)×1.0m(H)	
조파기 성 능	조파판 크기	1.0m(W)×1.0m(H)	
	최대파고	0.25	
	재현주기	0.5 sec ~ 2.5 sec	
	최대수심	0.8m	
	구동방법	전기서보피스톤식	

(2) 계측장비 및 주변장치

(가) 계측 및 분석시스템

컴퓨터, 증폭기 및 A/D converter로 구성되어 있으며, 실험과 제원에 따라 생성된 조파신호를 조파기로 송신하고, 파고계로부터 독취된 자료를 주파수 스펙트럼 및 파고 등으로 분석하는 기능을 하는 장치이다.

- 해석컴퓨터 : 개인용컴퓨터(PC)로서 실험자료의 취득과 조파기의 제어 및 자료분석에 사용되며, 조파신호 생성, 자료독취 및 독취자료의 분석에 사용되었다.
- 증폭기 : 분석정도를 향상시키기 위해 파고계의 미세 전압을 증폭하는 장치이다.
- 제어장비 : 컴퓨터에서 생성된 조파신호와 조파판 변위신호를 합성하여 구동부 제어기에 송신하는 장치이다.
- 자동레벨 : 모형의 설치 및 정확한 수준점의 적용을 위해 자동레벨을 이용하여 모형설치 및 수위변동을 검토하여 실험의 정도를 높게 하였다.

(나) 계측장비

- 파고계 : 실험과 설정 및 실험파고 계측에 사용된 파고계는 용량식 파고계 (모델명 CHT4-50)로서 길이가 50cm이고 측정범위는 $0 \sim \pm 25\text{cm}$ 이며, 평면 수리모형실험시 15대의 파고계를 운용하였다.
- A/D, D/A converter : 데이터 독취를 위해 파고 계측기로부터 전송된 아날로그 신호를 이산화하여 디지털 값으로 변환하고(A/D), 목표스펙트럼에 의해 생성된 디지털 조파신호를 아날로그 형태로 변환(D/A)하는 장치이다.
- Camcorder, VTR, TV 및 카메라 : 실험과정의 모니터링, 촬영, 편집 및 결과분석을 위해 사용되었다.

(다) 소파시설

모형실험은 유한한 수조에서 수행되므로 구조물과 수조벽면 등에서 실제와 관계없는 반사파가 발생하게 된다. 본 실험 시 수조벽면은 유공블럭과 다공질 소파제로 피복하여 반사파 발생을 최소화하였으며, 조파기 후면에는 스테인리스 재질의 소파시설을 배치하여 반사파를 최소화 하였다. 대상해역 외의 주변지형 및 구조물에서 발생한 반사파가 조파판에서 재반사 되는 것을 최소화하기 위해 소파제 및 쇄석을 설치하여 재반사를 최소화 하였다.

(3) 모형의 축척과 제작

(가) 일반사항

조파판 전면에서 모형수심이 시작되는 곳까지 수평 약 8m 이상의 일정수심 구간을 두었으며, 이는 조파기에 의해서 발생된 파가 일정수심을 전파하며 발달할 수 있는 거리를 두기 위한 것이다. 모형 제작 시 현 실정을 감안하고, 가능한 한 상사 재현성을 고려하여 정교한 작업을 수행하였다.

(나) 축척 및 상사율

모형의 축척과 제작은 실험의 목적, 실험수조, 실험시설 및 실험장비 등의 규모와 성능을 종합적으로 고려하여 선택되지만 가장 중요한 것은 실험의 목적에 따라 원형에서의 수리현상이 모형에서 가장 잘 재현될 수 있어야 한다.

본 과업에서는 수심, 조위, 해저경사, 설계파, 구조물의 마루높이, 모형제작 영역, 실험수조의 크기 등을 종합적으로 고려하여 연직 및 수평방향의 축척을 1:10으로 한 정상모형을 사용하였다. 모형은 Froude 상사법칙을 적용하여 원형을 축소하여 제작하였으며, 사용된 상사율을 요약하면 아래 표 7-10과 같다.

모형실험의 결과를 원형에 적용하려면 모형과 원형 사이에는 수리학적 상사가 성립되어야 하며, 수리학적 상사법칙은 모형실험에서 측정된 여러 물리량을 원형에 적용할 때의 환산율을 규정한 것이다. 원형과 모형에서 완전상사를 이룬다는 것은 실질적으로 불가능하다 할 수 있으며, 실제의 수리현상에서 하나 혹은 몇

개의 성분력이 작용하지 않거나 혹은 무시할 정도로 작은 경우가 대부분이므로 지배적인 힘 하나만을 고려하는 것이 일반적이다.

유체가 받는 외력으로는 압력, 중력, 점성력, 표면장력, 탄성력 등이 있으며, 유체에 작용하는 주요 외력이 중력인 경우에는 Froude 상사법칙이 적용되고, 점성력이 흐름을 지배하는 경우에는 Reynolds 상사법칙이 적용된다. 해양구조물과 관련된 수리모형실험은 자유수면을 갖는 파랑실험이므로 중력이 유체의 운동을 지배한다. 따라서, 모형과 원형 사이의 상사관계는 Froude 상사율에 의해 지배되며, 제반 인자는 Froude 상사율에 의거 축소하였다(표 7-10).

시간축척을 $M_T = T_p/T_m$, 거리축척을 $M_L = L_p/L_m$, 수심축척을 $M_h = h_p/h_m$, 파고축척을 $M_H = H_p/H_m$ 이라 할 때 Froude 상사법칙에 의해

$$M_L = M_h = M_H = M_T^2$$

이며, 평면실험에서는 1/10 축척의 모형을 사용하였기 때문에

$$M_L = M_h = M_H = 10$$

이므로, $M_T = \sqrt{10}$ 이다. 즉,

$$L_p = 10L_m, h_p = 10h_m, H_p = 10H_m, T_p = \sqrt{10} T_m$$

임을 알 수 있다.

또한, 원형과 모형에서의 유체의 밀도와 단위중량이 같다고 가정하면 중량(W)과 힘(F)의 상사율은 $M_W = M_F$ 이다. 따라서

$$M_W = M_F \Rightarrow W_p/W_m = F_p/F_m = [L_p/L_m]^3 = 10^3$$

이므로, $W_p = 10^3 W_m$ 으로 주어진다.

표 7-10. Froude 상사법칙 적용 예

항 목	기 호	축 척	예	원 형	모 형
길 이	L_r	L_r	1/10	10m	1m
수 심	h_r	L_r	1/10	10m	1m
파 고	H_r	L_r	1/10	1.0m	10cm
파 장	λ_r	L_r	1/10	10m	1m
주기와 시간	T_r	$L_r^{1/2}$	$(1/10)^{1/2}$	6.00sec	1.89sec

- 모형의 제작

인공어초의 모형은 합성수지를 이용하여 제작하였으며, 먼저 목형을 제작하여 몰드를 제작한 후 가소성수지를 주입하여 성형하였다. 콘크리트는 비중이 2.3의 조건을 만족하도록 제작하였고, 합성수지의 경우 비중 1.1의 조건으로 제작하였다.

(4) 실험조건

(가) 실험수심

금번 수리모형실험에 적용한 실험수심은 조하대의 조건을 고려하여 수심 3m를 대상으로 시험하였다.

(나) 실험파 설정

실험파랑조건은 해역에 발생하기 위한 발생빈도가 높은 대표적인 파랑조건에 대해 검토하였으며, 향후 해역에 인공어초의 시설 시에는 해역의 외력조건을 검토하여 안정성을 검토하여야 할 것이다.

실험파의 주기는 규칙파랑조건으로 3.2sec, 4.7sec, 6.3sec, 7.9sec, 9.5sec에 대해 검토하였으며, 각 주기조건에서 파고는 0.7m에서 1.5m까지 안정성을 검토하였다. 이러한 파고조건은 수심의 50%까지 발생하는 파랑에 대해 검토하였다(표 7-11). 이러한 입사파랑조건은 기본적으로는 비쇄파 조건이나 수조 바닥의 수심변화로 인해 발생하는 천수현상에 의해 쇄파가 발생하기도 하였다.

표 7-11. 실험파랑제원

단면	실험파	파랑조건(원형)			파랑조건(모형)			
		h (m)	T (sec)	H (m)	h (cm)	T (sec)	H (cm)	
해삼 인공어초	3.0	3.2	3.2	0.7	30	1.0	7	
				0.9			9	
				1.1			11	
				1.3			13	
				1.5			15	
			4.7	0.7			1.5	7
				0.9				9
				1.1				11
				1.3				13
				1.5				15
			6.3	0.7			2.0	7
				0.9				9
				1.1				11
				1.3				13
				1.5				15
		7.9	0.7	2.5	7			
			0.9		9			
			1.1		11			
			1.3		13			
			1.5		15			
		9.5	0.7	3.0	7			
			0.9		9			
			1.1		11			
			1.3		13			
1.5	15							

(5) 실험항목

(가) 안정성

실험에 사용된 인공어초의 안정성은 구조물의 초기위치를 확인한 후, 내습파에 의한 인공어초의 움직임을 육안 및 비디오 레코더를 이용하여 관찰하였다. 본 실험에서는 구조물의 전도 및 활동을 고려하여 안정성을 분석하였다.

(6) 실험안

(가) Type-1

본 인공어초는 표준모델형태를 이용하여 조합에 의한 해역 적용성을 높일 수 있도록 개발되었으며, 본 실험에서 적용된 Type-1은 외력이 비교적 발생하는 씨뿌림식 해역에 적용하는 구조로 콘크리트 블록을 2중으로 적재하는 형상이다(그림 7-54). 적재는 상하블록이 결합할 수 있도록 실험에서는 접착제를 이용하여 결합하였으나, 원형에서는 나사봉을 이용하여 상하를 결속할 수 있도록 하였다.

(나) Type-2

Type-2는 하부에 콘크리트 블록을 두고 상부에 합성수지를 이용한 블록을 2단 적재하는 방식으로 파균형 다층 해삼 인공어초의 표준형이다(그림 7-55). 하부의 콘크리트 블록은 중량에 의해 설치원점을 확보하기위한 용도이며, 하부에는 공극을 두어 자원조성기능을 기본적으로 할 수 있다. 그리고 상부에는 결합형 합성수지 블록을 적용하여 탈부착에 의한 해삼수확의 용이성을 증대하고자 하였다.

나. 연구결과

(가) Type-1

실험결과 콘크리트 블록에 의한 Type-1의 경우 대부분의 실험조건에서 안정하였으며, 원형상 파고 1.5m, 주기 9.5sec 조건에서 활동하는 특성을 보였다. 블록의 편평도 높아 비교적 작용하는 파력에 비해 안정적인 결과를 보였으며, 전도는 발생하지 않았으며, 활동에 의한 피해가 발생하였다. 이러한 결과는 현지의 사니질, 혹은 암반조건에서는 더욱 안정적인 결과를 보여줄 것으로 판단되며, 해역의 외력특성을 고려한 안정적인 블록의 조합을 선택하는 것이 중요하다.

(나) Type-2

Type-2는 파균형 해삼 인공어초의 표준형으로 콘크리트 블록의 상부에 합성수지 블록을 2층으로 적재하는 형식이다. 안정성 실험결과 파고 1.0m가 넘을 때 대부분 주기에서 불안정한 결과를 보였으며, 이러한 결과는 본 인공어초의 설치시 외력조건 및 설치수심을 고려한 안정성이 중요한 것을 확인 할 수 있다. 특히 상부의 수지를 이용한 블록의 경우 작용하는 외력에 대한 항력의 증가로 작용할 수 있으므로 콘크리트 블록의 2단에 대한 수지블록의 조합도 현장의 특성 따라 다양한 적용이 가능할 것이다.

본 인공어초의 시설은 반드시 지형과 외력조건을 고려한 배치설계가 병행되어야 하며, 각 조건에 대한 안정적인 형상의 적용이 중요하다. 표 7-12는 안정성 시험결과이며, 그림 7-54와 그림 7-55는 실험 시 블록이 설치장면이며, 그림 7-56은 안정성 실험장면이다.

그림 7-57은 안정성 규칙파랑 조건에 대한 안정성 실험결과를 도시한 그림이며, Type-1의 조건이 주기가 9.0초 일 때 파고 1.6m, 주기가 10초일 때 파고 1.4m 정도에서 안정한 결과를 보였으며, Type-2의 경우 주기가 2.0초 일 때 파고 1.6m, 주기가 10초일 때 파고 0.8m 정도에서 안정한 결과를 보여 상대적으로 상당히 정온한 해상상태에서 안정할 수 있는 결과를 얻었다.

이러한 결과는 인공어초의 안정성에 대한 기초적인 수리학적 특성으로 향후 실시 설계 및 효과조사 단계에서는 다양한 파랑조건 및 구조물의 조건을 조합을 통한 안정성 검토가 필요할 것으로 판단된다.

표 7-12. 파균형 다층 해삼 인공어초의 안정성 실험결과

단면	실험파	파랑조건(원형)			실험결과	
		h (m)	T (sec)	H (m)	Type-1	Type-2
해삼 인공어초	3.0	3.2	0.7	안정	안정	
			0.9	안정	안정	
			1.1	안정	안정	
			1.3	안정	불안정	
			1.5	안정	불안정	
		4.7	0.7	안정	안정	
			0.9	안정	안정	
			1.1	안정	불안정	
			1.3	안정	불안정	
			1.5	안정	불안정	
		6.3	0.7	안정	안정	
			0.9	안정	안정	
			1.1	안정	불안정	
			1.3	안정	불안정	
			1.5	안정	불안정	
		7.9	0.7	안정	안정	
			0.9	안정	불안정	
			1.1	안정	불안정	
			1.3	안정	불안정	
			1.5	안정	불안정	
		9.5	0.7	안정	안정	
			0.9	안정	불안정	
			1.1	안정	불안정	
			1.3	안정	불안정	
			1.5	불안정	불안정	

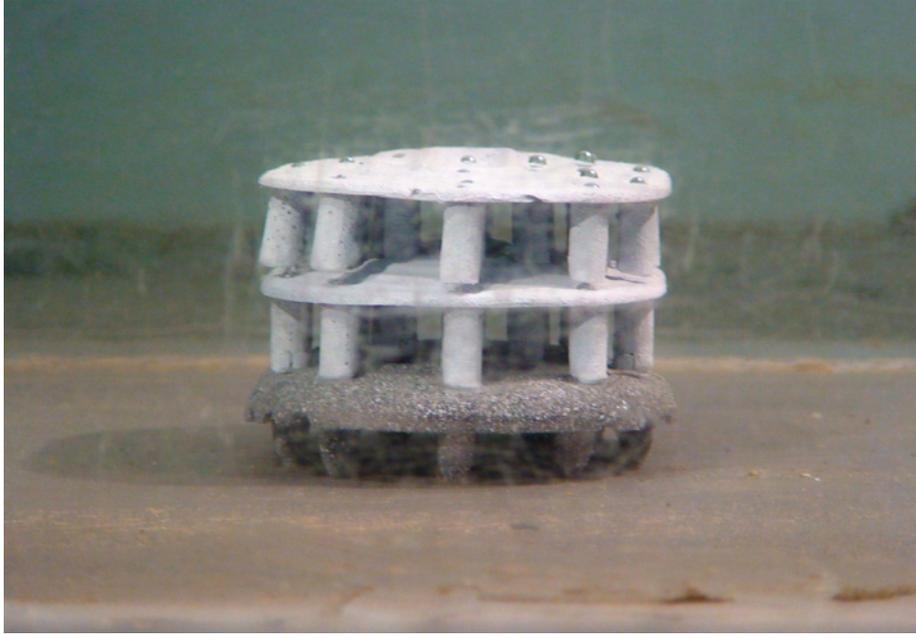


1) 측면

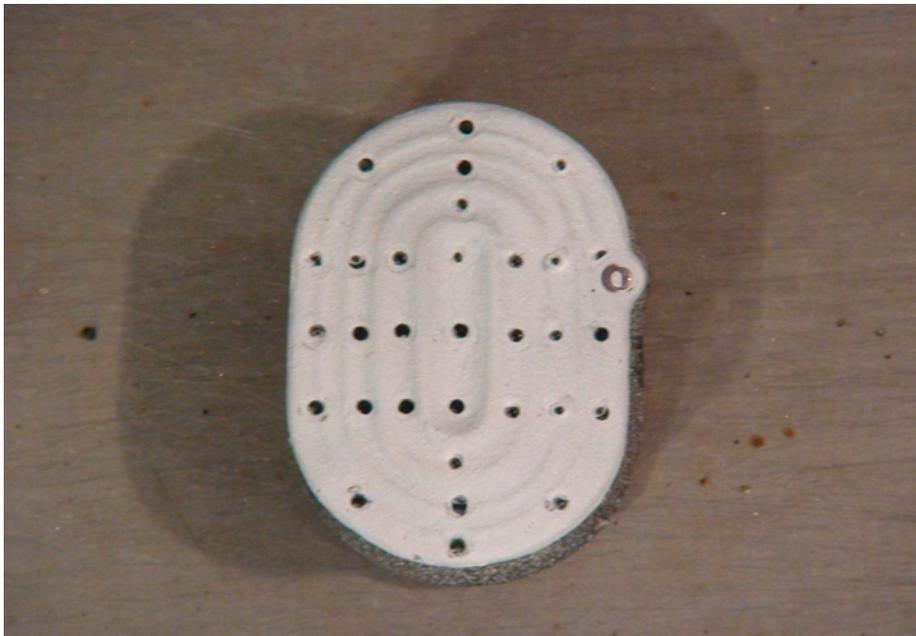


2) 평면

그림 7-54. 해삼 인공어초의 설치모습(Type-1)

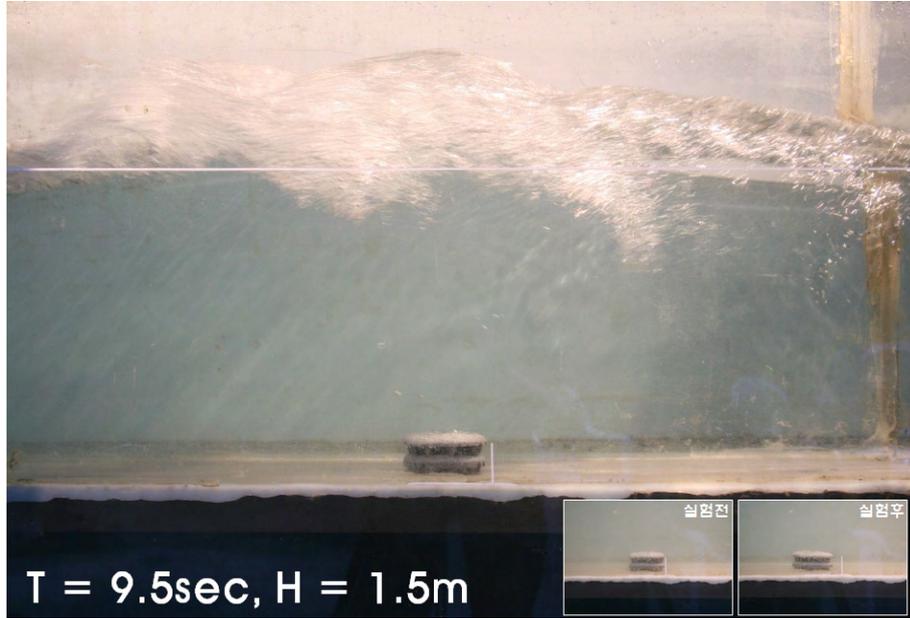


1) 측면



2) 평면

그림 7-55. 해삼 인공어초의 설치모습(Type-2)



1) Type-1



2) Type-2

그림 7-56. 해삼 인공어초의 실험결과와 활동모습(T = 3.0sec, H = 1.5m)

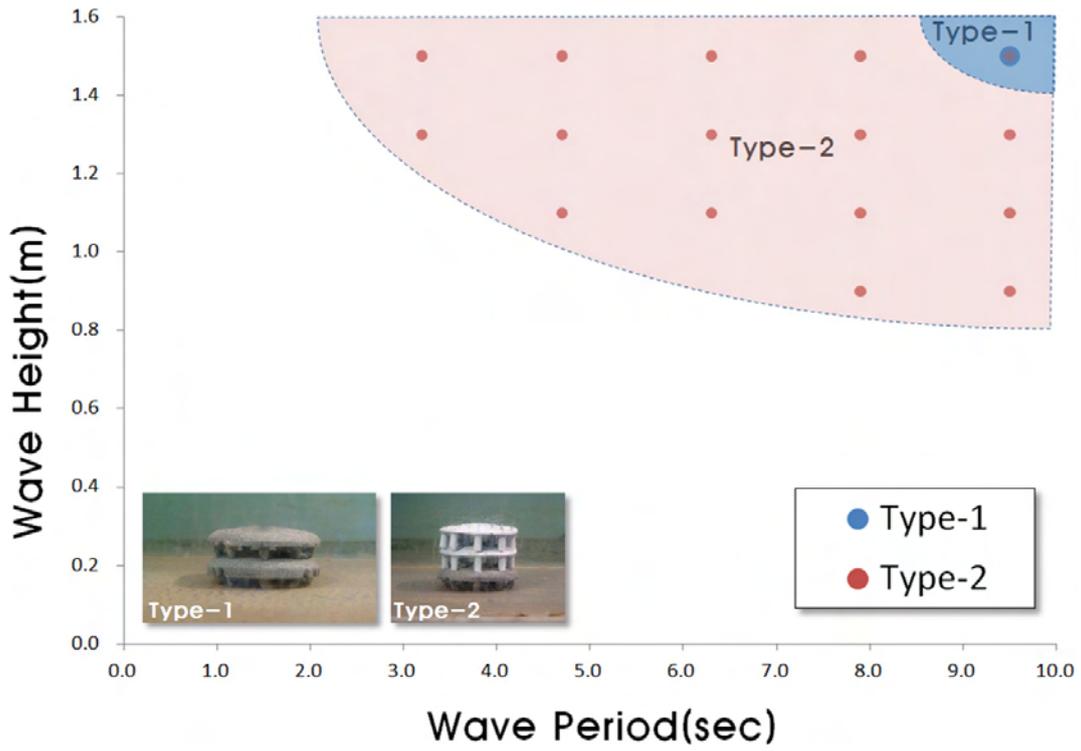


그림 7-57. 해삼 인공어초의 안정성 실험결과(규칙파)

6. 결 론

가. 파균형 다층 해삼 인공어초 개발

해삼양식을 위한 각 양식방법(축제식, 씨뿌림식, 육상수조식)에 대한 해삼 인공어초의 개발을 위해 표준화된 인공어초 모델을 개발하였다. 개발목적이 실질적으로는 양식용 인공어초이므로 기존의 자원조성용 인공어초의 개념보다는 양성기의 목적을 두는 것이 합리적일 것으로 판단되며, 인공어초 개발 시 자원조성기능을 첨가하여 본연의 인공어초의 기능도 할 수 있도록 하였다.

인공어초의 개발은 위해 기존의 다양한 해삼양식시설 및 기질 등을 검토하여 설계요소로 적용하였으며, 이때 파균형상의 적용성을 확인하였다.

또한 해삼의 서식밀도 증대를 위한 다층형 형상을 적용하고자 하였고, 이 때 해삼의 생태 및 서식특성을 고려한 동선 및 유기물 침적기능을 적용코자 하였다.

효과적인 해삼 인공어초의 개발은 위해 4개 체형별 해삼의 운동특성을 검토하였으며, 이때 저질조건, 저면형상, 저면경사 등을 조합하여 각 체형에 대한 해삼의 운동특성을 파악하였다.

해삼의 운동은 일정한 소형의 체형에서는 저질의 영향을 크게 받고 있음을 확인하였고, 경사면에서는 정수면 부근 방향으로 이동하려는 특징과 파형판에서는 체형에 유효한 파형의 경우 파형 골을 따라 이동하는 특징을 보였다.

이러한 해삼의 운동특성 실험결과와 기존의 해삼의 생태, 생리 특징을 종합적으로 고려하여, 파균형 다층 해삼 인공어초의 표준모델을 제시하였으며, 각 특징은 다음과 같다.

- 파균형 다층 표면형상
- 유공 표면과 연결기둥
- 표준화된 다층형 인공어초
- 해저면 보호를 위한 저질보호용 친환경 어초형상
- 씨뿌림식 해삼유도용 배치

또한 본 인공어초의 대표적인 블록조합(Type-1, Type-2)에 대한 외력(파랑)에 안정성을 검토하기 위하여 규칙파랑에 대한 안정성을 검토하였으며, Type-1의 조건은 주기가 9.0초 일 때 파고 1.6m, 주기가 10초일 때 파고 1.4m 정도에서 안정한 결과를 보였으며, Type-2의 경우 주기가 2.0초 일 때 파고 1.6m, 주기가 10초일 때 파고 0.8m 정도에서 안정한 결과를 보여 상대적으로 상당히 정온한 해상상태에서 안정할 수 있는 결과를 얻었다.

이러한 결과는 인공어초의 안정성에 대한 기초적인 수리학적 특성으로 향후 실시 설계 및 효과조사 단계에서는 다양한 해역의 파랑조건 및 구조물의 조건을 조합한 조건에 대한 안정성 검토가 필요할 것으로 판단된다.

나. 인공어초의 효과검토

인공어초에서의 성장률과 생존율의 검토는 해삼의 생태특성과 인공어초가 개방적이고 위집성을 목적으로 하는 시설 특성임을 고려할 때 근본적인 논의에는 한계가 있으나, 본 해삼 인공어초 개발연구에서 인공어초 개발의 주요 목표가 위집성과 서식성의 증대를 목표로 하고 있고, 본 인공어초에서 이러한 효과가 발생함을 전제로 전술한 해삼의 성장 및 생존특성을 반영하여 정성적인 검토를 실시하였다.

본 파균형 다층인공어초는 다층형 구조로 해삼의 기초적인 부착면을 확대하여 서식밀도를 저감하였으며, 이는 각 층수에 기존의 서식지의 증가배수가 나타날 수 있도록 하였다. 특히 해삼이 경사면에서 수심이 저감되는 방향으로 이동하는 특성을 고려할 때 해삼의 인공어초로의 위집효과는 더욱 효과적일 것으로 판단되며, 인공어초 각 층의 형상을 고려할 때 일반적인 개방된 저질에서의 서식밀도 보다는 더욱 증가할 것으로 판단되며, 특히 생산성을 나타내는 성장률의 경우 지속적이고 안정적인 급이기능이 확보되어야 함을 고려할 때 파균형에 의한 지속적인 유기물의 침적 및 제공은 실내에서 안정적인 급이기능을 제공하는 성장률에 버금가는 급이효과 및 성장효과를 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

특히 주변의 환경 변화에 민감한 해삼의 단순하면서도 적극적인 생태특성을 고려할 때 씨뿌림에서 수확에 이르는 양식기간 및 양식공간의 확보와 유지는 해삼의 생산성에 직접적인 영향을 줄 것으로 판단된다. 육상수조식 및 축제식 양식의 경우 충분한 양식환경 제공과 급이량의 조절이 가능이 가능하므로 인공어초에 의한 양성기 개념의 효과는 기존의 성장 및 생존율의 결과와 유사할 것으로 판단되며, 다층형 구조에 의한 서식공간의 증대효과는 서식지 혹은 위집공간의 직접적인 증대를 야기하므로 각 층수에 대한 부착면의 증대효과는 가능할 것으로 판단된다.

콘크리트 어초는 표면의 이형 형상으로 정확한 무게의 산출에는 한계가 있지만 약150kg이며, 부피는 0.07m³으로 높이는 0.2m이며, 가로는 1.2m, 세로는 0.8m이다.

1개소의 인공어초 배치를 고려할 때 12기의 2열, 즉 씨뿌림 원점을 중심으로 24기를 시설한다고 고려할 때 1개 단지에 360만원 정도의 조성비용이 예측되며, 2년간 양식한 해삼의 가격을 2만원/kg으로 고려한다면, 2년간의 유지관리비용은 추가로 고려하지 않을 경우 1개의 단지에서 180kg 이상의 해삼이 생산되어야 생산성을 확보할 수 있을 것이다.

이러한 해삼의 생산량은 각 어초에서 7.5kg의 해삼의 생산기준을 의미하며, 해삼의 개체를 300g으로 고려한다면, 각 기에서 25마리의 생산을 의미한다.

해삼 인공어초의 하부와 상부면을 고려할 경우 부착면은 1.28m² 정도가 되며, 300g 정도의 해삼이 25마리 서식하는 것을 가정할 경우 생산원가에 대한 경제적 타당성을 발생할 것으로 판단되며, 어초의 안정성과 자원보존을 중점적인 목적으로 하고 있는 콘크리트 어초인 본 경우 외에 합성수지 인공어초의 경우 중량과 시공비에서 현격한 감소가 발생하며, 생산단가를 10만원 이내로 저감할 경우 합성수지의 총 부착면적이 콘크리트인공어초에 비해 더욱 큰 점을 고려한다면, 생산성 및 수익성을 더욱 증대될 것을 판단되며, 향후 효과 조사를 통한 효과적이고 개선된 형상의 개발과 대량생산을 통한 생산단가의 저감을 통해 수익성을 확보하는 것이 더욱 효과적인 해삼산업을 육성하는 것이 될 것으로 판단된다.

핵심 사항

- 해삼의 운동은 일정한 소형의 체형에서는 저질의 영향을 크게 받고 있으며, 경사면에서는 정수면 부근 방향으로 이동하려는 특징과 파형판에서는 체형에 유효한 파형의 경우 파형 골을 따라 이동하는 특징을 보임.
- 해삼의 운동특성실험결과와 기존의 해삼의 생태, 생리 특징을 종합적으로 고려하여, 파균형 다층 해삼 인공어초의 표준모델을 제시하였으며, 각 특징은 다음과 같음.
 - 파균형 다층 표면형상
 - 유공 표면과 연결기둥
 - 표준화된 다층형 인공어초
 - 해저면 보호를 위한 저질보호용 친환경 어초형상
 - 씨뿌림식 해삼유도용 배치
- 인공어초의 대표적인 블록조합(Type-1, Type-2)에 대한 외력(파랑)에 안정성을 검토하기 위하여 규칙파랑에 대한 안정성을 검토하여 Type-1의 조건은 주기가 9.0초 일 때 파고 1.6m, 주기가 10초일 때 파고 1.4m 정도에서 안정한 결과를 보였으며, Type-2의 경우 주기가 2.0초 일 때 파고 1.6m, 주기가 10초일 때 파고 0.8m 정도에서 안정한 결과를 보임.
- 콘크리트 어초는 표면의 이형 형상으로 정확한 무게의 산출에는 한계가 있지만 약 150kg 이며, 부피는 0.07m³으로 높이는 0.2m이며, 가로는 1.2m, 세로는 0.8m이다.
- 1개소의 인공어초 배치에서 12기의 2열, 즉 씨뿌림 원점을 중심으로 24기를 시설한다고 고려할 때 360만원 정도의 조성비용(직접비)이 예측되며, 해삼의 가격을 2만원/kg으로 고려한다면 1개의 단지에서 180kg 이상의 해삼이 생산되어야 하며, 평균 25마리의 생산을 의미함.

참고문헌

- 국립수산과학원 갯벌연구소 (2011) 태안군 갯벌산업 활성화 방안. 291pp.
- 김승일 (2010) 음식사: 해삼. Food culture 3(2): 182-186.
- 남명모, 이주, 문태석, 김수경, 황진욱 (2011) 전복과 해삼 수하양식을 위한 복합 사육기의 생산력 분석. 한국패류학회지 27: 323-330.
- 농림수산식품부 (2012) BFT를 이용한 친환경 고생산성 새우양식기술 개발. 72pp.
- 농림수산식품부 (2010) 초고밀도 육상순환 여과시스템에 의한 해삼양식 기술개발. 101pp.
- 농림수산식품부, 전라남도국제갯벌연구센터(2012) 해삼양식 산업화 추진협의 워크숍. 144pp
- 서주영, 김동규, 김근업, 조성수, 박홍기, 이상현 (2009) 사육조 내 사육기질이 어미 해삼의 성장 및 체성분조성에 미치는 영향. 한국양식학회지 22: 118-121.
- 신윤경, 전제천, 임재현, 김종욱 손맹현, 김응오 (2011) 북방전복 *Haliotis discus hannai*의 염분변화에 따른 생리적 반응. 한국패류학회지 27: 283-289.
- 이채성, 박영제 (1999) 해삼, *Stichopus japonicus* 유생의 성장과 생존에 미치는 먹이 및 수용밀도의 영향. 한국양식학회지 12: 39-45.
- 조성환, 조영진 (2009) 사료 종류별 사육수이 전복 치패의 성장에 미치는 영향. 한국패류학회지. 25(2): 121-126
- 진영국, 오봉세, 박민우, 조재권, 정춘구, 김태익 (2011) 실내 수조에서 북방전복과 해삼의 복합사육에 따른 생존과 성장. 한국패류학회지 27: 331-336.
- 해양수산부 (2006) 해삼 양식 기술개발. 151pp.
- 해양수산부 (2010) 해양환경공정시험법.
- Albert K.I. & Snorri G. (2007) Comparison of Juvenile Spotted Wolffish, *Anarchas minor*, Growth in Shallow Raceway and Circular tank. J. world Aqua. 38: 150-160.
- Aujero J.E. & Millamena O.M. (1981) Viability of frozen algae used as food

- for larval penacids. Fish. Res. J. Philipp. 6: 63-69.
- Brown A. (1972) Experimental techniques for preserving diatoms used as a food for larval *Penaeus aztecus*. Proc. Nat. Shellfish, Assoc. 62: 21-25.
- Buchabaum, M.R.a.P., Vicki & John, 1987. Living Invertebrates. Pacific Grove, CA, The Boxwood Press.
- Day J.G. & Fenwick C (1993) Cryopreservation of members of the genus *Tetraselmis suecica* used in aquaculture. Aquaculture 118: 151-160.
- Hans K.S. & Victor O. (1997) Growth and the effect of grading, of turbot in a shallow raceway system. Aquaculture International 5, 397-406.
- Hidu H. & Ukeles R. (1962) Dried unicellular algae as food for larvae of the hard shell clam, *Mercenaria mercenaria*. Proc. Nat. Shellfish, Assoc. 53: 85-101.
- Hirayama K. & Nakamura K (1976) Fundamental studies of the physiology of rotifer in mass culture. V. Dry Chlorella powder as a food for rotifers. Aquaculture 65: 301-307.
- Jeong, S.C., Jee, Y.J. & Son, P.W.(1994) Indoor tank culture of the abalon, *Haliotis discus hannai*. I. Effects of tank shape and stocking density on the growth of young abalone. Journal of Aquaculture, 7: 9-20(in korea)
- Kashenko S.D. (2000) Acclimation fo sea cucumber *Apostichopus japonicus* to decreased salinity at the blastula and gastrula stages: its effect on the desalination resistance of larvae at subsequent stage of development. Russian J. Mar. Bio. 26, 422-426.
- Kato A. & Hirata H. (1990) Effects of water temperature on the circadian rhythm of the sea cucumber *Stichopus japonicus* in culture. Suisanzoshoku 38, 75-80.
- Lee C.S. & Park Y.J. (1999) Influence of food and density on the growth and survival of Sea Cucumber, *Stichopus japonicus*. Journal of Aquaculture

- 12: 39-45.
- Li B., Yang H., Zhang T., Zhou Y. and Zhang C. (2002) Effect of temperature on respiration and excretion of sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Oceanologia et Limnologia Sinica* 33, 182-187.
- Myeong, J.I., Ko T.S. & Kim B.G. (1998) Effects of salinity, rearing density and feeding rate on survival of Korea rockfish(*Sebastes schlegeli*) larvae. *Bull. Nat'l. Fish. res. Dev. Inst. Korea* 54, 47-55
- NRC(National Research Council) (1993) Nutrient requirements of fish. National Academy Press Washington D. C, 114pp.
- Park, J.H., Kim, H.B., Kim, P.K. & Jo, J.Y.(2008) The growth of disk abalone, *Haliotis discus hannai* at different cultured densities in a pilot-scale recirculating aquaculture system with a baffled culture. *Aquacultural Engineering* 38: 161-170
- Persoone G. & Sorgeloos P. (1975) Technological improvements for the cultivation of invertebrates as food for fishes and crustaceans. I. Devices and method. *Aquaculture* 6: 275-289.
- Shelef G. & Soeder C.J. (Editors) (1980) Algae biomass-production and use. Elsevier/North Holland Biomedical Press, Amsterdam, 312pp.
- Sui X. (1989) The main factors influencing the larval development and survival rate of the sea cucumber. *Oceanologia et Limnologia Sinica* 20, 314-321.
- Sui X., Hu Q. and Chen Y. (1986) A study on technology for rearing of post-larve and juvenile of sea cucumber in high density tanks. *Oceanologia et Limnologia Sinica* 17, 513-520.
- Sun H., Liang M. Yan J. and Chen B. (2004) Nutrient requirements and growth of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. (in) A. Lovatelli, C. Conand, S. Purcell, S. Uthicke, J. F. Hamel and A. Mercier (eds.), *Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management*. FAO, Rome,

Italy, pp. 327-331

Tanaka Y., (1958a) Seasonal changes occurring in the gonad of *Stichopus japonicus*. Bulletin of Faculty of Fisheries, Hokkaido University 9, 29-36.

Tanaka Y., (1958b) Feeding and digestive processes of *Stichopus japonicus*. Bulletin of Faculty of Fisheries, Hokkaido University 9, 14-28.

Tian F., Zhang X., Tong Y., Yi Y., Zhang S., Li L., Sun P., Lin L. and Ding J. (2005) PE, a new sulfated saponin from sea cucumber, exhibits anti-angiogenic and anti-tumor activities in vitro and in vivo. Can. Biol. Ther., 4, 874-882.

Uthicke, S., (1999) Sediment bioturbation and impact of feeding activity of *Holothuria halodeima atra* and *Stichopus chloronotus*, two sediment feeding holothurians, at Lizard island, Great Barrier Reef. Bull. Mar. Sci. 64: 129-141

Zhang Q. and Liu Y. (1998) The culture and enhancement techniques of sea cucumbers and sea urchins. Qingdao Ocean University, Publishing House, Qingdao, China. p. 157.

崔 相 (1963) ナマコの研究. 海文堂, 東京, pp. 57-60.

河合博 (1985) マナマコの種苗生産-V. 1983年度三重縣浜島水産試験場事業報告, 7-13.

石田 雅俊 (1979) ナマコの種苗生産. 栽培技研, 8, 63-75.

山本 翠, 渡送 憲一郎 (1981)