

진도해역 해삼 인공종자생산 및 중간육성 연구

이기채** · 양사람*·전영호*·김영룡·정지민·박종규·오홍식·이창혁
전라남도 해양수산과학원 진도지원

◎ 연구의 배경 및 목적

중국에서 해삼은 육지의 고려인삼과 같은 자양 보혈작용의 효과가 있어 「바다의 인삼」이라는 의미로 해삼(海參, haishen)이라 불린다. 이와 달리 일본에서는 야행성으로 쥐와 닮았다하여 해서(海鼠, 바다의 쥐), 영어로는 길쭉하고 울퉁불퉁한 오이모양 때문에 sea cucumber(바다의 오이), 프랑스에서는 beche-de-mer(바다의 별레)로 부르고 있고 일본에서는 표면이 미끄럽다고 하여 나마코로 불린다. 해삼에 대한 각국의 전통적인 관점에 드러나 있다.

국내에서는 돌기해삼을 포함한 해삼류의 식품 선호도가 높지는 않지만 중국과 전 세계 화교권에서는 해삼류 중 특히 돌기해삼의 경우 웰빙 식품으로서 수요량이 높다. 중국에서 해삼의 소비량은 매년 지속적으로 증가하고 있어 우리나라에서의 생산량이 증가하게 되면 대 중화권 수출 경쟁력을 확보할 수 있는 중요한 수출전략 품종 중의 하나이다.

국내에서 해삼 생산량을 증가시키기 위해서는 무엇보다도 해삼 종자의 원활한 공급이 뒷받침되어야 하는데, 2012년 국내 종자생산량은 중국 584억 마리에 비해 약 1,000만 마리에 불과한 실정이다. 또한 국내 종자생산업체는 2012년 허가업체 117개소(제주도 홍해삼 종자생산업체 제외) 중에서 81개소만 실제 생산에 참여하고 있으며, 국내 자체 생산기술이 미흡하여 대부분 중국에서 생산 전문인력을 채용하여 종자를 생산하고 있다. 해삼의 종자생산은 단기간에 이루어지는 장점이 있지만 고도로 숙련된 기술과 많은 노동력을 필요로 하는 단점도 있다. 중국으로부터 채용한 기술자의 경우도 생산기술이 검증되지 않은 인력으로 인해 대량종자생산에 실패하는 경우가 종종 발생하며, 실제 기술자 여부를 검증하기도 쉽지 않다. 숙련된 기술이 있는 중국 인력을 확보했다 하더라도 기술력의 수준 및 생산 방식에 있어 차이가 크며, 중국 기술자의 경우 국내에 기술 이전을 꺼리기 때문에 자체 생산기술력을 확보하고 있는 국내업체들은 거의 없는 실정이다. 또한 국내 해삼 종자생산 업체에 종사하는 국내인력의 경우 높은 노동 강도와 열악한 환경 등으로 취업을 꺼리는 경우가 많아 실제로 생산 현장에서 중국 인력에 의존하는 경우가 더욱 증가하고 있다. 이 뿐만 아니라 종자생산 시 사용되는 해삼 먹이 등도 국내 기술개발 미흡으로 대부분 중국산 제품을 사용하고 있어 이 부분에 대한 지속적인 연구 개발이 필요하다.

이러한 해삼 종자생산의 애로점을 조금이나마 해결 하고자 전라남도 해양수산과학원 무척추동물시험장에서의 종자생산 과정과 진도군 “태오수산”과 “대신수산”에서 실시한 종자 생산과정을 기록 관찰하여 기술 보급을 위해 현장 중심의 “해삼 인공종자생산 보고서”를 작성하였다. 본 보고서는 해삼 종자생산에서 가장 어려움이 많은 모삼에서의 산란, 수정란에서 부터 종자생산과정을 정리한 것이다.

전 세계적으로 1,500여 종이 넘는 해삼이 있는 것으로 알려져 있다. 중국에는 100여 종이 있으나 이들 가운데 식용 가능한 종은 20여 종이다. 우리나라의 경우 해삼은 크게 청해삼, 홍해삼, 흑해삼으로 구분하고 있으며 우리나라 전 해역에 서식하고 있다. 우리나라 해삼(*Stichopus japonicus*)은 순수목(Aspidochirotida), 돌기해삼과(Stichopodidae), 돌기해삼속(*Stichopus*)에 속한다. 국내에서는 약 14종이 서식하는 것으로 알려져 있는데 그 중 산업·경제적으로 중요한 종은 해삼 (*Stichopus japonicus*)이다.

해삼의 산업화가 이루어지기 위해서는 기본적으로 저가의 우량종묘가 대량으로 공급되어야 한다. 본 보고서는 지금까지 연구한 결과를 토대로 해삼양식의 기반을 구축하고자 하였다. 지속적으로 많은 부분이 보완되어야 할 것으로 판단된다.

우리나라의 해삼 종자생산은 어미관리, 채란, 초기사육(체장 1 cm 미만)까지는 어느 정도 가능하나 실제 상품용 양식크기의 중간종자(2 ~ 5 cm) 육성 기술은 미흡한 상태로 대부분 국가 또는 지방자치체의 씨뿌림 양식용 납품에만 의존하고 있어 어업인이 양식하고자 하는 상품생산용 중간육성 종자생산은 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다(해양수산부, 2013).

해삼종자의 당년 출하를 위해서는 중간육성 기술개발이 필수적이나 국내의 경우 중간육성 기술이 개발되지 않아 당년 산 종자의 약 80% 정도가 양식용으로 부적합 한 체중 1 g 이하(체장 3 cm)에 머물고 있어 양식 어업인에 의한 당년산 종자 판매가 거의 없으며, 종자의 출하지연에 따른 겨울철 저수온(5 ℃ 이하) 관리에 의한 대량폐사로 큰 손실이 발생하고 있다(해양수산부, 2013).

뿐만아니라 중국은 해삼종자의 중간육성 기술이 확립되어 있어 일부 양식 어업인들은 국내산 보다는 중간육성을 거친 중국산 대형종자(3 ~ 5 g)의 수입을 원하고 있으나, 국내 종자 생산업체의 반대로 이식이 중단되고 있는 실정이며, 국내 양식용 종자의 가격(3 ~ 5 g)이 1마리당 1,500~1,800원의 고가 양식으로 경제성이 없어 양식을 하려는 어업인이 거의 없다.

따라서 해삼양식 산업화의 빠른 정착을 위해서는 종자생산업체와 중간육성업체, 가공품을 포함한 상품생산업체 등 3단계의 분업화가 이루어져야 하며, 종자생산과 분리된 중간육성 업체의 육성이 시급한 실정이다.

또한, 생산된 중간종자(평균중량 최소 5g ~ 최대 50 g)를 활용하여 중국과 같이 축제식 양식장에 입식하여 양성하면 입식 투자비용 대비, 출하 기간이 단축되어 소득이 높아지기 때문에 생산 효율적인 면에서 경제적이라는 장점이 있다. 체중 0.3 ~ 1.0 g/마리의 종자를 생산하여 축제식 양식장을 이용한 중간양성을 진행할 경우, 자연 해수에서 유입되는 먹이를 먹기 때문에 사료를 공급하지 않거나 소량으로 공급하여 관리가 쉽고 생산비를 절감할 수 있는 장점이 있다(진도군, 2016). 해삼의 중간육성은 대부분 배합사료에 의존하고 있으며, 이시기에 많은 폐사가 발생할 수 있어 배합사료 급이, 사육밀도, 환경관리 등을 잘 조절해야 한다(농림수산식품부, 2012).

따라서 본 연구에서는 해삼의 중간육성 단계의 기초자료를 얻기 위하여 해삼 크기(평균체중 1 ~ 20 g 내외, 20 ~ 35 g 내외, 35 g 이상)별 사육밀도를 다르게 구성하여 배합사료 급이 빈도, 부착기질에 따른 해삼의 성장을 비교 실험하여 적절한 중간 육성기술을 구명하고, 실제적으로 중간육성 시기와 현장 실용화 진단 및 중간육성 시 주의해야 할 가이드라인을 살펴보고자 하였다.

본 연구의 목적은 양식현장에서 적용 가능한 복합 시험구를 선정하여 성장도 및 생존율 변화추이 분석을 통해 양식효율성 및 적합성에 대하여 평가하고자 하였으며, 해삼 중간양성 기술을 개발함으로써 대량생산 기반 마련 및 어가경영의 안정화에 기하는데 있다. 나아가 전복 등 유류 육상양식장을 이용하여 대체품종으로써 해삼양식의 가능성을 검토하고자 하였다.

1. 생태학적 특성

가. 분류학적 위치



그림 1. 돌기해삼의 분류학적 위치.

그림 1. 돌기해삼의 분류학적 위치.

극피동물(Echinodermata, 棘皮動物)은 바다나리아문, 불가사리아문, 성게아문으로 나누며, 현생종은 바다나리류, 불가사리류, 거미불가사리류, 성게류, 해삼류의 5강(綱)으로 분류된다(그림 1). 해삼류는 전 세계적으로 약 1,500여 종이 알려져 있으며, 식용으로 사용할 수 있는 것은 약 40여종이다(謝忠明 등, 2009). 국내의 경우 돌기해삼은 체표 색깔에 따라 청해삼, 흑해삼, 백해삼 및 홍해삼으로 불리지만 유전학적으로 차이는 없다.

나. 지리적 분포

우리나라에 주로 서식하고 있는 돌기해삼(*Apostichopus japonicus*)은 상업적으로 가장 가치가 높은 종으로 우리나라 전 연안과 일본의 북해도에서 큐슈우, 중국 북부연안, 홍콩, 러시아 동해안, 사할린, 쿠릴열도 등 주로 서부태평양에 분포한다(그림 2). 돌기해삼의 분포한계는 북쪽으로 사할린 연안, 러시아, 알래스카이며, 남쪽으로는 일본의 토네가시마(種子島)이다. 중국에서는 요녕성(Liaoning), 하북성(Hebei), 산둥성(Shandong)의 연안에 주로 분포하며, 중국의 남방 분포한 계는 강소성(Jiangsu)의 려원강(連雲港; Lian Yungang)의 Dalian Island이다

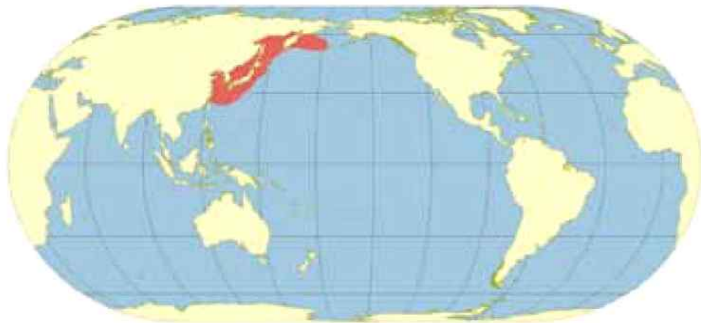


그림 2. 돌기해삼의 지리적 분포(FAO, 2012).

그림 2. 돌기해삼의 지리적 분포(FAO, 2012).

다. 서식환경

초기 해삼은 부유유생단계를 지나면 저서생활을 한다. 치삼과 유삼처럼 작은 개체들은 파도에 견디는 힘이 약하기 때문에 주로 조간대나 조하대에서 생활하는 것으로 알려져 있다. 개체가 성장하면서 수심이 깊은 곳으로 이동하며, 일반적으로 다 자란 해삼은 5~15m 수심에 주로 분포한다. 15 m 이심에서는 수가 점차적으로 줄어드는데 그 원인은 먹이의 부족으로 볼 수 있다. 崔相(1963)은 수심과 해삼 크기와의 관계를 조사한 결과, 체중 50 g 이하는 연안에 붙어 서식하고, 체중 50~100 g은 수심 5 m 전후, 체중 100~150 g은 수심 5~10 m, 체중 150~200 g은 수심 10~15 m, 체중 200 g 이상의 대형 해삼은 15 m 전후에 분포한다고 보고하였다. 해삼은 은신처에 대한 의존도가 높으며, 주로 암초, 돌무덤, 사니질, 해조류 등 먹이와 은신처가 확보되는 곳을 선호한다. 성장에 적합한 수온은 8~15℃이며, 보통 -2~30℃에서 견딜 수 있으나 0℃ 이하 혹은 28℃ 이상에서 장기간 노출되면 위험하다. 해삼은 혐염성 생물로서 적합한 염분은 24~34 psu이다.

라. 산란

보고된 자료들에 따르면 자연환경에서 산란이 시작되는 수온은 13~15℃이며 23℃ 전후로 산란을 마친다. 그래서 산란수온 범위를 13~23℃라 할 수 있는데 진도지역의 경우 5~6월 사이, 18~23℃ 사이에 주로 산란하는 것으로 보아 지역적 차이가 있어 보인다. 산란이 끝난 개체들은 체중이 급격히 줄어 바위 틈 등에 숨는데 이때가 여름잠을 자는 하면기이다. 보통 21~22℃부터 하면기에 들어가며 이기

간 동안에는 소화관이 퇴화되고 먹이도 먹지 않는다. 이는 고수온기 불필요한 체내 활동에너지를 줄이기 위한 중 특이성으로 보인다. 그 후 수온이 다시 내려가기 시작하여 18℃ 정도 되었을 경우 먹이 활동을 다시 시작한다.

마. 성장

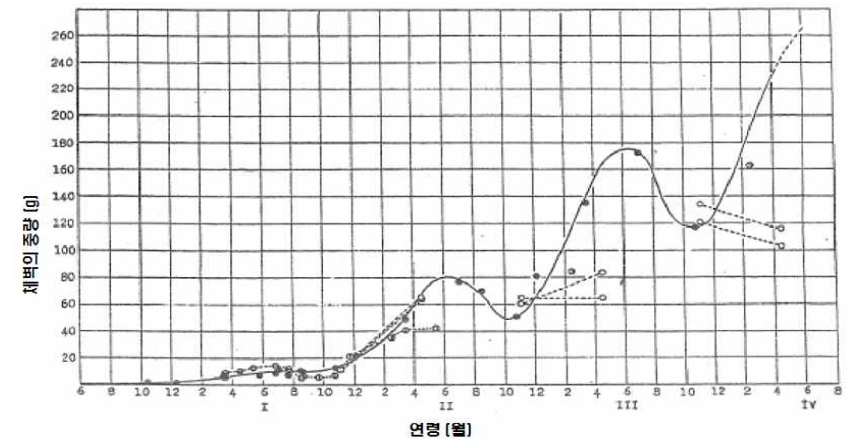


그림 3. 돌기해삼의 성장(崔相, 1963).

해삼의 성장은 서식지의 환경조건에 따라 매우 다양하게 나타난다. 崔相(1963)은 6월초에 발생한 해삼은 만 1년에 각 중량 9 g, 만 2년에 80 g, 만 3년에 175 g, 만 4년에 260 g에 달한다고 보고하였다(그림 3). 그러나 서식장소와 환경에 따라서 개체별로 크기 차이가 굉장히 많이나며, 2년치를 1년만에 성장하는 경우도 많다. 반면 성장하기 못하는 개체는 1~2cm 에 계속 머무르는 경우도 많다

바. 먹이

자연상태에서 해삼은 주로 펄을 섭취하여 펄 속의 유기물을 흡수하고 다시 내보낸다. 이 펄 속에는 대형해조류의 단편들이 가장 많이 포함되어 있으며, 다양한 종류의 유기점진물도 존재한다(Dar and Ahmad, 2006). 이를 토대로 해삼의 배합사료 제조 시 분말로 된 다양한 종류의 해조류와 펄을 주요 성분으로 한다(Liu et al., 2010).

이러한 사항은 배설물을 통하여 확인하기 쉽다. 섭이가 왕성한 경우에는 마디가 있는 굵은 배설물이 많이 관찰된다. 먹이나 건강상태에 따라서 배설물의 모양이 다르게 나타난다. 섭이가 왕성하고 성장이 좋은때는 굵은마디의 배설물이 보이

며, 사료의 질이 좋지않거나 섭이상태가 좋지 않으면 마디가 없이 가늘고 긴 배설물이 많이 보인다.

2. 일반성분

생해삼과 건해삼의 일반성분을 분석한 결과는 표 1과 같다(국립수산물학원, 2009). 중국에서 돌기해삼의 영양성분을 분석 결과, 해삼은 고단백질로서 18 종류의 아미노산(그 중 8 종류는 인체가 합성할 수 없는 필수 아미노산), 인, 철, 요오드, 아연, 셀렌, 바나듐, 망간 외의 다양한 원소, 비타민 B1, B2, B3, E, K 등 다종류의 비타민류, 콘드로이틴, 글루타민, 글리코사이드, 타우린, 항산화효소인 SOD 등의 생물활성 성분을 포함한 50종 이상의 천연 영양성분의 보고(寶庫)라고 하였다.

표 1. 돌기해삼의 일반성분 분석(가식부 100g 당)

구분	열량(kcal)	수분(g)	단백질(g)	지방(g)	회분(g)	탄수화물(g)
생해삼	25	91.2	4.4	0.3	3.3	0.8
건해삼	348	1.5	77.6	0.9	17.0	3.0

◎ 실험 방법 (또는 연구방법)

1. 해삼 인공종자 대량생산

실험 모şam은 진도해역에서 채집된 150~250g 자연산 돌기해삼을 이용하였다. 사육실험은 콘크리트 12톤수조(2m×6m×1m) 에서 초기에는 무환수지수식 시스템으로 진행되었으며, 점차적으로 환수량을 늘려 나갔다.

실험장소는 진도관내 해삼양식여가의 양식장에서 모şam을 수용 산란방출 시킨 이후 부유유생을 진도지원 무척추동물시험장으로 옮겨 수용하여 양성관리 하였다 먹이는 대부분이 중국에서 사용되고 있는 해삼사료와 영양제, 초기사료, 해조분말 등을 구입하여 사용하였다.

초기에는 효호모, 건효모, 염조 등의 미세조류를 주로한 먹이를 공급하였으며 이후 점차적으로 개구사료, 유삼사료, 치삼사료와 스피루리나, 가리비분말, 새우분말 등을 추가하여 급이 하였다.

분말사료를 물에 희석하여 플랑크톤네트에 거른 후 먹이를 급이하는 방식으로 성장단계에 따라 먹이량과 급이방법을 조정하였다.

또한 서식환경을 고려하여 조도관리는 천장의 LED 조명을 주간에는 계속켜 주었으며 야간에는 소등하였으며 창을 통해서도 지속적으로 간접조명이 들어 올 수 있도록 하였다. 유생의 부착시기에 부착판을 수조에 넣어주었다. 기존에는 전복유생을 부착시키는 골판 형의 PC과판을 사용하였으나, 이번실험에서는 평판형의 PC 부착과판을 사용하였다.

수질환경은 종자생산 기간 동안 매일 오전 10시를 기준으로 수질환경 조사를 실시하였다. 수온, 염분, 용존산소는 다항목 수질측정기(ProPlus, YSI, USA)로 측정하였고, pH는 pH meter(Pro-1020, YSI, USA)를 이용하여 조사하였다.

사육수온은 진도 해역특성에 따라 산란시에는 진도군 남부해역인 고군 해역수온이 북서해역의 무척추시험장 보다 2~4℃ 높게 형성되었다.

수질안정을 위하여 사육초기에는 수질정화 미생물(광합성미생물)인 아쿠아박터를 500~1000ml 씩 매일 투여하였다 부착유생의 성장과 먹이투여량 증가에 따라 수조 청소와 헹수와 환수량은 점진적으로 늘려 나갔다

환수시 해수는 모래여과기를 통과한 해수를 수조내에 들어가기 전 섬유 백필터(bag filter)를 통하여 2차여과 후 수조내에 들어가도록 하여 펄 등의 이물질 유입을 최소화 하는데 노력하였다.

유생의 발달단계 관찰은 현장에 현미경(올림푸스 CX31RTSF)과 대형 모니터를 설치한 후 시간대별로 관찰하고 사진촬영을 실시하였다.

2. 육상수조식 고밀도 양성기술 개발

해삼 중간육성을 위한 양식장으로는 무척추동물 시험장 생산동 내 사각콘크리트 수조(14.4 m³, 폭 2 m × 길이 6 m × 깊이 1.2 m) 12개를 시험수조로 이용하였고, 사육수로는 모래여과기를 거친 여과해수를 공급하였다

해삼종자는 2018년 11월 12일 전라남도 진도군 의신면에 위치한 종자생산 양식업체 (대신수산)에서 해삼종자를 구입하여 사용하였다.

주로 부착기질 및 바닥에 침전 된 펄과 배설물을 제거하기 위하여 수조 청소를 실시하였으며, 청소 시 배수구로 빠져나오는 해삼을 막기 위하여 망지로 배수구를 막아 청소를 진행하였다. 크레인을 이용해 에어브러워가 시설된 지지대를 제거한 후, 파판 및 랫셀망에 부착된 해삼을 전량 수거하였다. 파판, 랫셀망, 수조

바닥을 여과해수로 세척 한 후, 여과수를 받은 수조에 해삼을 입식하였고, 에어브러워 및 에어스톤을 재 시설해 주었다.

해삼은 입식 후 표. 의 비율을 기준으로 배합사료를 제조하여 먹이를 공급 하였으며, 급이량은 수조별 해삼 총 중량에 사료조성 배합비율을 곱하여 환산하였다. 배합사료의 영양 강화를 위하여 ' 19년 10월부터 기존 배합비율에 새로 구입 한 스피룰리나 분말을 0.01% 비율로 추가 급이 하였으며, 수온 변화에 따른 섭이 활동 정도, 배변상태 및 파판 내 부착된 사료 등을 고려하여 수질환경에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 해삼 총 중량 대비 3 ~ 5 % 내외로 먹이공급량을 조절 하며 급이 하였다.

사료 제조방법은 분말 상태의 먹이를 골고루 혼합하기 위해 드릴을 조립해 균 질기로 사용하였으며(그림.), 분말사료를 소량 혼합하고 균질화 하는 작업을 5회 반복해 후 시험구별로 1일 1회 또는 2일 1회 먹이를 공급하였다. 먹이급이 시에는 에어스톤이 시설 된 곳에 먹이를 공급해, 먹이가 양식수조 내 골고루 분산 될 수 있도록 하였다. 공급 후 해삼의 활발한 섭식활동을 위하여 약 6 ~ 7시간 동안 정 수하도록 하고, 공급한 먹이가 쉼타 및 닳셀망에 부착할 수 있는 시간을 두었으며, 그 후에는 계속 환수를 유지하여 수조 내 찌꺼기가 쌓이는 것을 최소화 하였다.

2018년 11월 1일부터 2019년 11월 30일까지 매일 오전 10시를 기준으로 중간 육성 시험구에 대한 수질환경 조사를 실시하였다. 수온, 염분, 용존산소는 다항목 수질측정기(ProPlus, YSI, USA)로 측정하였고, pH는 pH meter(Pro-1020, YSI, USA) 를 이용하여 조사하였다.

성장도 측정은 수조 내 해삼을 전량 수거하여 펄 등의 이물질을 세척한 후 정밀저울(CAS, WZ-3A, 측정단위 0.01g)로 총 중량을 측정하였으며, 핸드 카운터기 를 이용해 개체수를 산정하였다. 성장도는 총 중량(kg)을 개체수로 나누어 평균 개체중량(g)을 환산하여 비교하였으며, 생존율은 입식 대비 매월 성장도측정 시 계측되는 해삼 개체수를 백분율로 환산하였다. 월별 성장도 및 생존율 변화추이 분석을 통해 최적 양성조건 구명 연구의 기초자료로 활용코자 하였다.

◎ 결과 및 고찰

1. 해삼 인공종자 대량생산

기술한 해삼 인공종자 대량생산 방법은 실제 “무척추동물시험장” 과 관내 해삼 양식 어장에서 양식 어업인들과 종자생산 기술자들에 의한 종자생산 과정을 기록과 관찰에 의해 정리하였다.

가. 종자생산 시설

해삼 인공종자 생산을 위한 시험장의 사육수조는 사각콘크리트 수조 총 30 개로 그 크기는 12톤(내경 2×6×1 m)이다. 모든 수조는 냉온수 각 주수관(직경 50 mm pvc 파이프) 1개, 배수관(직경 100 mm pvc 파이프) 1개를 설치하였고, 에어라인 (직경 20 mm pvc 파이프)은 수조 바닥에 각 4줄을 설치 후 고정하였다(그림 4).

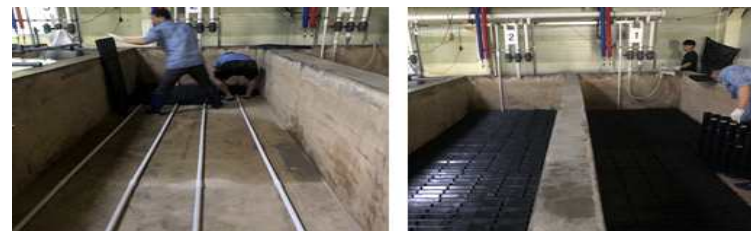


그림 4. 해삼 종자배양장의 시설(주수관 및 배수관).

나. 사육수조 소독 및 준비

사육수조는 차아염소산나트륨 20 ppm으로 소독한 후 주수관에 백필터를 설치한 다음 사육수를 수조 내에 유입하였다. 사육수는 30개의 수조 중 산란 및 부화를 위한 수조 3개만 주입하였으며, 나머지 수조는 소독 후 건조 시킨 상태를 유지하였다(그림 5).



그림 5. 해삼 종자생산 사육시설.

다. 종자생산용 어미 해삼

1) 어미 확보

어미 해삼은 2019년 5월 25일 전라남도 진도군 고군면 해역에서 해삼양식어가에서 양성한 개체들을 구입하였다. 구입한 양은 약 500개체로 전체 습중량은 약 100kg 이었다

2) 어미 해삼 운송

어미 해삼은 해수 없이 비닐에 넣은 후 스티로폼 박스 5개에 나누어 아이스팩과 함께 포장하여, 전라남도 진도군 해삼 종자배양장으로 운송하였으며, 운송 소요시간은 약 1시간이었다. 운송과정과 어미 수용시 내장을 배출한 어미 해삼은 약 30% 전후였다.

3) 어미 해삼 수용 및 관리

운송된 어미 해삼은 해수로 깨끗이 씻은 후 12톤 콘크리트 산란수조 3개에 수용하여 순치하였고(그림 6), 공기는 공급하였으나 먹이는 공급하지 않았다. 또한 스트레스에 의한 산란 및 내장배출을 최소화하기 위해 별도의 배설물 수거작업도 하지 않았다. 운송과정 중 측정된 아이스박스 내 수온은 16.8~17.9℃였고, 어미 체란수조의 수온은 17.0~20.3℃로 체란수조의 수온과 운송시 다소 편차를 보였다. 체란수조의 염분은 32.5~33.3 psu, 용존산소는 7.8~8.1 mg/L, pH는 8.0~8.3이었다.



그림 6. 어미해삼의 운송 및 산란수조 내 수용.

라. 산란, 발생 및 부화

1) 산란

일반적으로 어미 해삼의 산란 유발방법은 간출자극, 표면자극, 수온자극 및 정자현탁액 살포 등의 방법을 사용하지만 본 연구에서는 자연산 해삼이 산란기인 점을 감안하여 수온 21℃의 산란수조에 수용하여 자연산란을 할 때까지 기다렸다. 2019년 5월 27일 오후 6시경 산란수조에 수용한 해삼은 22시부터 수컷이 방정을 시작하였으며, 그 후 약 1시간이 경과한 23시부터 암컷의 방란이 시작되었다(그림 7). 필요 이상의 정자는 기형의 난발생을 유발하므로 방정하는 수컷들은 즉시 폐체를 이용하여 다른 수조에 수용하였다. 2019년 5월 28일 00시 30분경 산란이 종료된 어미해삼은 산란수조에서 전부 수거하였다.



그림 7. 어미해삼의 방정, 방란.

2) 정자제거

여분의 정자 제거를 위하여 산란수조에 에어스톤을 통하여 공기를 최대한 공급하면 거품이 생기게 되어, 이것을 제거하는 과정을 60분간 실시하였다.

3) 발생 및 부화

정자를 제거한 후 산란수조의 사육수를 다른 수조에 1/2씩 분조하였고, 해수를 1/2 채워 주었다. 수정란의 물리적 스트레스를 최소화하기 위하여 공기는 미세하게 공급하여 수정 후 약 11~12시간까지 별도의 조치 없이 유지하였다.

해삼은 2019년 05월 28일 11시를 수정시점으로 하여 수정 후 약 11시간 후 포배기(blastula stage)에 접어들었고, 약 30~40시간 후에 아우리쿨라리아(auricularia) 유생으로 부화하였다(그림 8). 부화된 유생수를 계측한 결과, 약 6천 8백만 발생, 부화시 사육환경은 수온 19.1~20.2℃ 이었고, 염분은 33.0~33.4 psu, 용존산소는 7.9~8.3 mg/L, pH는 8.20이었다.



그림 8. 해삼 수정란의 발생 및 부화.

4) 채란 후 어미해삼 처리

2019년 5월 29일 0시 50분경 산란이 종료된 어미 해삼(암컷 약80개체, 수컷 약60개체)은 다른 수조에 분리 수용하였고, 추후 친자확인용 유전자 검사 시료로 활용하기 위해 별도로 사육 관리하였다. 미방란 및 미방정 개체들도 많았기 때문에 암컷과 수컷의 개체는 정확하지 않다.



그림 9. 친자확인용 어미해삼 표본.

마. 부유 유생사육

1) 사육환경

2019년 5월 27일 부화된 아우리쿨라리아(auricularia) 유생부터 6월 05일 부착한 펜탁툴라(pentactula) 유생까지 사육기간 동안 수온, 염분, DO 및 pH는 표2와 같

다. 해삼은 배양장 내 과거 양식방식같이 빛을 완전히 차단하지 않고 빛이 들어와 약간 어두운 상태를 유지하였고 지붕은 초기에는 차광막을 이용해 빛을 일부분 차단하였고 무척추동물시험장 수조로 옮겨 수용(5.28)하였을 때는 판넬지붕으로 창문으로만 빛이 들어오는 형태를 유지하였으며 주간에는 조명등을 켜 상태로 관리하였다.

2) 사육방법

해삼 유생사육은 수조 분조에 의한 초기에는 무환수 방법으로 사육하였다. 무환수 방법은 무엇보다도 사육유생의 밀도가 중요하다. 일반적으로 종자 생산기술이 앞서있는 중국의 경우 유생의 사육밀도를 0.2개체/mL로 조절하여 사육하고 있으며, 본 연구에서도 이와 같은 밀도를 기준으로 아래와 같은 방법으로 사육하였다(그림 10~11).

표 2. 해삼 종자생산 사육수조의 수질 변화

일시	수온(℃)	염분(PSU)	DO(mg/L)	PH	비고
5.28	18.9	32.3	7.98	8.15	아우리쿨라리아 유생초기
5.29	18.4	32.6	7.96	7.98	아우리쿨라리아 유생중기
5.30	18.5	32.1	8.01	8.00	
5.31	18.7	32.3	7.98	8.10	
6.1	18.9	32.3	7.96	8.11	
6.2	18.7	32.0	8.00	8.12	아우리쿨라리아 유생후기
6.3	18.5	32.1	7.98	8.10	
6.4	18.4	32.5	7.99	7.98	돌리올라리아 유생초기 부착파관 투입
6.5	18.5	32.5	8.11	8.08	돌리올라리아 펜탁툴라 유생 (부착기)
6.6	18.6	32.4	7.89	8.13	
6.7	18.5	32.1	7.90	7.91	

① 수정 후 2일째(2019년 5월 28일) 부화수조의 유생을 망목 40 μm 플랑크톤네트(400목)로 걸러 세척된 100 mL 비이커에 넣고 1 mL 당 부화유생을 계수한 결과, 부화된 유생은 총 6천 8백만 개체였으며, 사육수조별 수량을 감안하여 종자생산 수조에 수용하였다.

② 초기에는 사육수조 3개를 사용하였으며, 각 수조의 내부에서 망목 40 μm 플랑크톤 네트(400목)로 걸러 약 6,800만 마리의 유생을 3개 수조에 분조하였다. 유생의 사육밀도는 0.7 개체/mL이었다. 일정기간 사육 후 분조 전 6개의 수조는 미리 사육수를 채워 유생이 받는 충격을 최소화하였다.

③ 분조 후 항생제인 암피시실린(역가기준) 계열 20 ppm과 플로르페니콜(역가기준) 10 ppm을 3개 수조에 대한 약욕을 실시하였다.

④ 수정 후 3일(5월 29일)째 아우리쿨라리아 유생이 중기에 접어들었으며, 이 시기에 3개 수조에서 6개 수조로 분조준비를 시작하였다(수조 당 900만마리 유생, 유생 밀도 0.3 개체/mL). 분조 수조는 기존수조의 사육수를 절반씩 분조하였다(각 수조당 수위 60 cm). 그 후 2시간 간격으로 20 cm씩 수위를 상승시켜 최종적으로 80-90 cm의 수위를 유지하였다.

⑤ 수정 후 5일(6월 2일)째 후기의 아우리쿨라리아 유생을 다시 6개 수조에서 9개 수조로 최종 분조하였다(수조 당 500만마리 유생, 유생밀도 0.2개체/mL). 분조 수조는 쪽과 오른쪽의 남은 두 개의 수조였으며, 옆 수조의 사육수를 절반씩(40 cm) 분조하였고, 2시간이 지난 후 20 cm의 수위를 상승시켰다. 수정 후 6일(6월 17일)째 32개 수조로 분조를 시작한지 16시간이 경과한 다음 최종적으로 20 cm의 수위를 상승시켰다.

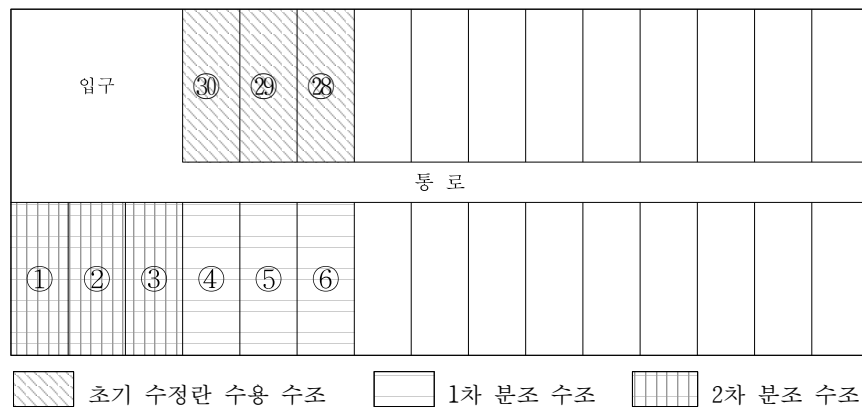


그림 10. 해삼 유생사육 분조 모식도(무척추동물시험장)



그림 11. 해삼 유생의 수집 및 분조.

3) 부유유생 단계별 성장 및 특징

가)아우리쿨라리아 유생

수정 후 2일째인 34시간 후 부화된 아우리쿨라리아 유생은 좌우대칭이었고, 수정 42시간 후 위와 입의 형성이 완료되었다. 유생의 크기는 $448.36 \pm 36.61 \mu\text{m}$ 이었으며, 위는 타원형의 형태로 크기는 가로 $63.57 \pm 1.99 \mu\text{m}$, 세로 $115.49 \pm 0.88 \mu\text{m}$ 이었다. 수정 후 3일째 유생의 크기는 $610.14 \pm 40.95 \mu\text{m}$ 이었으며, 위의 크기는 가로 $143.17 \pm 1.55 \mu\text{m}$, 세로 $201.90 \pm 2.93 \mu\text{m}$ 이었다. 수정 후 4일째 아우리쿨라리아 유생은 중기로 접어들었고, 유생의 크기는 $637.53 \pm 27.91 \mu\text{m}$, 위의 크기는 가로 $172.05 \pm 6.61 \mu\text{m}$, 세로 $218.08 \pm 4.27 \mu\text{m}$ 이었다. 수정 후 5일째 아우리쿨라리아 유생의 크기는 $708.77 \pm 76.61 \mu\text{m}$ 로 성장하였고, 위의 크기는 가로 $189.42 \pm 16.03 \mu\text{m}$, 세로 $242.31 \pm 12.65 \mu\text{m}$ 이었다.

수정 후 8일째 오전에 아우리쿨라리아 유생은 후기에 접어들었으며, 크기는 $897.18 \pm 67.33 \mu\text{m}$ 로 아우리쿨라리아 유생 단계 중 가장 커졌다. 위의 크기 역시 가로 $243.56 \pm 28.69 \mu\text{m}$, 세로 $359.18 \pm 30.39 \mu\text{m}$ 로 가장 커졌으며, 5쌍의 유리 구체(hyaline spheres)가 형성되었다. 또한 위와 식도 사이에서 초기 촉수들이 형성되기 시작하였다(그림 12, 표 3).

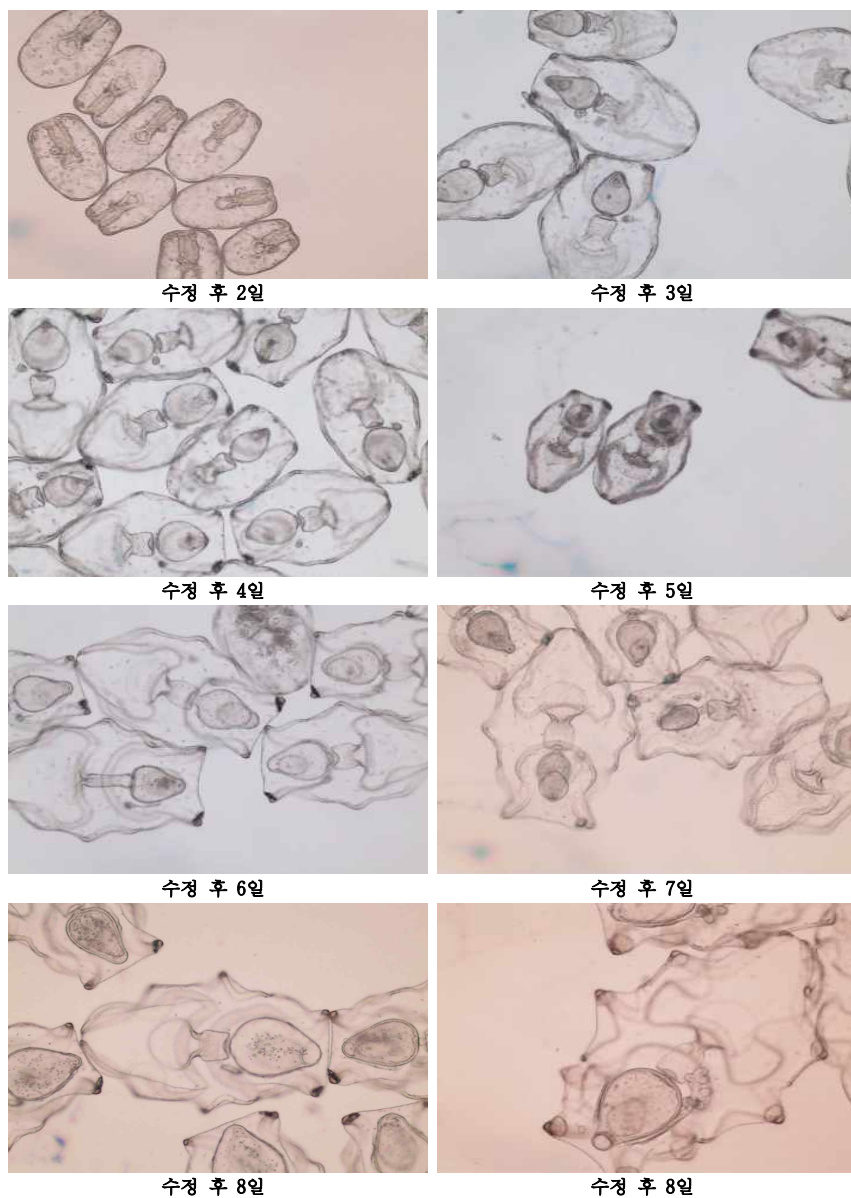


그림 12. 아우리쿨라리아 유생의 수정 후 소요 일수별 발달 과정.

나) 돌리올라리아 유생

수정 후 8일 오후에 접어들면서 아우리쿨라리아 후기 유생은 크기가 점차 작아지면서 돌리올라리아 유생으로 변하기 시작하였다. 이때부터 수조의 바닥 쪽에 유영하기 때문에 관찰하기가 쉽지 않다(그림 13, 표 3).

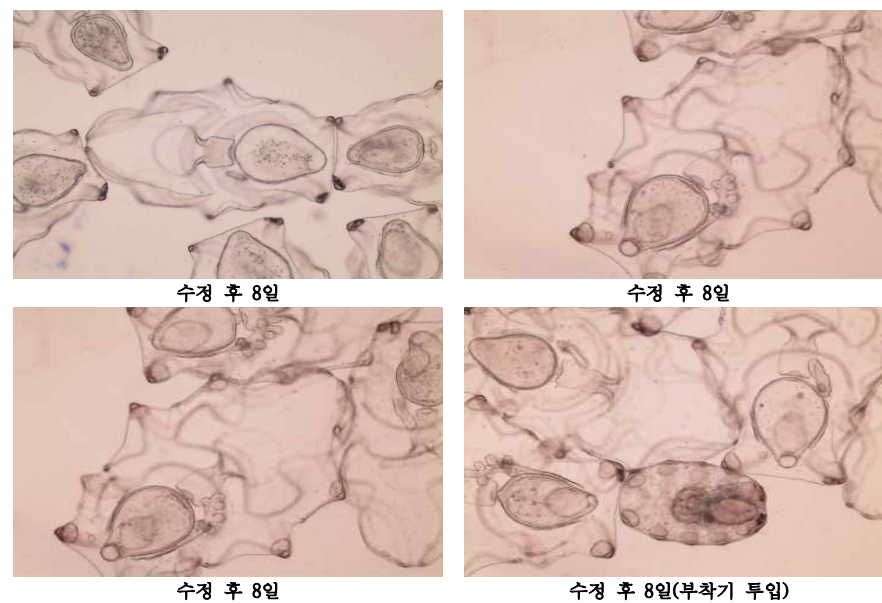


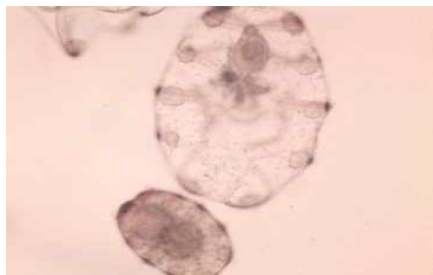
그림 13. 아우리쿨라리아 유생에서 돌리올라리아 유생 발달.

다) 펜탁틀라 유생

수정 후 9일째 돌리올라리아 유생은 몸체가 둥글게 되고 측수가 신장하여 밖으로 나왔다 들어가는 행동을 하는 초기 펜탁틀라 유생이 되며, 이 시기에 부착생활을 하게 된다.

그 후 몸 표면에 x자 모양의 골침과 몸의 후방에서 발과 같은 관이 나오게 되면서 후기 펜탁틀라 유생이 되며, 부착기질에 부착하게 된다. 이 후기 펜탁틀라 유생은 사육수의 수중에서 관찰되지 않는다.

본 연구에서는 펜탁틀라 유생의 안정적인 부착을 위해 부화 후 11일(부착판 투입 후 3일)에 후기 펜탁틀라 유생을 부착판에서 확인하였다(그림 14, 표 3).



수정 후 9일(부착기투입)



수정 후 9일(부착기투입1일)



수정 후 11일(부착기투입 3일)



수정 후 11일(부착기 투입 3일)

그림 14. 펜탁틀라 유생 초기 및 후기 외부형태.

표 3. 해삼 유생의 발달단계별 성장

수정 후 발달단계	발달단계	크기(μm)	비고
2일	아우리쿨라리아 초기	450.22±30.51	
3일		615.20±38.96	
4일	아우리쿨라리아 중기	640.32±28.30	
5일		705.56±70.12	
6일		785.20±16.55	
7일		865.33±88.69	
8일	아우리쿨라리아 말기 돌리올라리아	885.98±62.63	
9일		365.20±30.51	
10일	돌리올라리아/ 펜탁틀라	332.90±12.35	
11일		336.25±11.23	
12일		423.263±19.68	
13일	어린해삼		

4) 먹이공급

해삼의 인공종자생산 시 먹이 공급은 가장 어렵다. 현재 국내에서 가장 많은 실패를 하고 있는 부분 중 하나는 바로 먹이 공급이라고 할 수 있다.

먹이의 종류, 양 및 공급 방식 등은 중국에서 대부분 수입하고 있는 원료들을 사용하고 있는데 오래전부터 인공종자 생산기술을 확보하고 있는 중국에서도 종자생산 기술자나 지역마다 보유하고 있는 기술이 다르며, 이를 서로 공유하지 않아 어떤 방식으로 먹이를 공급하라는 지침은 표준화 되어 있지 않다. 또한 유생의 상태 등에 따라 매우 다양한 방법들이 있기 때문에 다년간의 축적된 기술과 현장 경험이 꼭 필요하다. 따라서 본 연구에서는 실제로 행해졌던 방식을 그대로 기술하여 이해를 돕고자 하였다. 본 연구에서 유생시기의 먹이는 중국산 건효모, 홍효모, 염조분 및 국내사 수질정화제품 아쿠아박터(psb)를 사용하였다. 먹이는 아우리쿨라리아 유생 초기에 입과 위가 형성되고 식도가 연동운동을 하기 시작하는 부화 후 3일째 (2019년 5월 30)부터 거의 모든 개체들이 부착판에 부착할 시기인 수정 후 11 일(2019년 6월 08일)까지 공급하였다. 먹이 종류와 공급량은 건효모, 염조는 수조(12톤) 당 10g, 홍효모는 수조(12톤)13g, EM균(아쿠아박터) 수조(12톤)당 500~1,000ml 을 기준으로 설정하였다.

홍효모(红酵母) : 红酵母属(Rhodotorula)의 종으로 자연계에 널리 존재하며, 담홍색의 카로티노이드 색소를 생산한다.

염조분(盐藻粉) : 盐藻(Dunaliella salina)의 건조분말

EM균 : 유용미생물군(Effective Microorganism)의 약칭으로 일반적으로 효소, 유산균, 누룩균, 광합성세균, 방선균 등 80여종의 미생물이 들어 있어 악취제거, 수질정화, 남은 음식물 발효 등에 탁월한 효과가 있다. 이러한 미생물들은 항산화작용 혹은 생리활성물질을 생산한다.

아우리쿨라리아 유생 후기까지는 먹이공급 2시간 전 위 속의 먹이가 15~20개체 이상 있을 때에는 먹이 공급량을 증가시키지 않으며, 그 이하일 경우 소량씩 증가시켜 공급하였다. 그 후 수시로 현미경을 관찰하여 위속에 먹이가 6~7개체 정도 남았을 때 먹이를 공급하였다. 또한 위의 위축이 관찰되었을 경우 EM균의 공급량을 증가하였다. 이를 기초로 건효모와 홍효모는 공급량을 조절하였다. EM균은 수질정화용으로 사용되나 해삼의 경우 먹이 기능도 하기 때문에 필요에 따라 최대 수조당 1,000ml 까지 공급 하였지만, 그 외를 제외하고는 500~1,000ml 사이에서 그 양을 조절하였다. 염조의 경우 유생 초기에 소화가 잘 되지 않기 때문에 하루에 한번 총량적 3개수조에 30g을 공급하였다. 그 후 아우리쿨라리아 유생 후기부터 부착판이 투입되는 돌리올라리아 유생기(수정 후 8일)에는 효모와 홍효모의 경우 먹이농도를 증가시켰으며, 염조는 비슷하거나 조금 증가하였다. EM균은 환수량에 따라 수조당 500~1,000ml를 유지하였다. 부착판의 투입 후 3일 동안에는 효모, 홍효모, 염조 및 EM균의 급이량을 초기먹이 설정량으로 조절하였다. 그 중 염조는 부착판의 투입이 끝난 시점부터 먹이 공급 시마다 꾸준히 공급하였으며, 부착판 투입 4일째부터 그 양을 증가시켰다. 먹이는 하루 1회 공급을 기준으로 하였으며, 필요에 따라 공급횟수를 조절하였다(그림 15~21, 표 4~5). 그리고 유생 공급용 먹이는 아래의 순서대로 제조하였다.

- ① 20 L 플라스틱 용기에 해수를 넣고 염조분을 60 µm 물러가제(300목)에 넣어 담근다.
- ② 다른 용기에 해수를 넣고 건효모와 홍효모를 60 µm 물러가제(300목)에 넣어 담근다.
- ③ ①번과 ②번을 1시간~5시간 동안 실온에서 둔 후 플라스틱 용기 안에서 60 µm 물러가제(300목)를 통과시킨 후 찌꺼기는 버린다.
- ④ ②번 플라스틱 용기에 EM균을 추가한다.
- ⑤ EM균을 추가한 플라스틱 용기에 ①번 염조분을 넣고 실온에서 1시간 동안둔다.
- ⑥ 총 공급 수조수를 계산하여 해수에 풀어 공급한다.



먹이배합

먹이공급



먹이여과

먹이공급

그림 15. 해삼 유생사육용 먹이제조 및 공급.

수산양식 건효모(500 g)	
	○구 성 : 천연효모 및 유화제
	○형 태 : 긴 과립형의 펠렛
	○효능 및 용도 : 계, 새우, 어류 및 기타
	양식과 육모에 사용하며 조류와 배합하여 패류양식에 사용
	○수분≤8%, 회분≤8%, 조단백≥45%, 조섬유≤ 1%
	○성상 : 270억개/g

그림 16. 건효모 제품의 특징

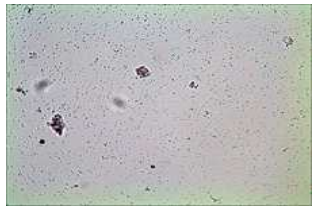
해양 홍효모(1,000 g)	
 홍효모(中) 	○ 제품구성 : 천연 홍효모분 - 사용용도 : 아스타잔틴, 비타민 B 류, 칼슘, 인 등 함량이 높아 유생의 변태 및 생존율 향상 - 개체가 작고 세포벽이 얇아 소화가 쉽다 - 사용범위 : 해삼유생 및 치삼 - 사용방법 및 사용량 유생과 치삼의 사육밀도, 온도 및 섭이량에 따라 다른 미세조류와 혼합 공급 - 직접 사용은 물에 충분히 섞은 다음 60μm 물러가제(300 목)로 거른 후 0.2-2 g/톤 공급 혼합사용은 사료의 0.5~1%의 비율로 사료와 혼합 공급

그림 17. 해양홍효모 제품의 특징

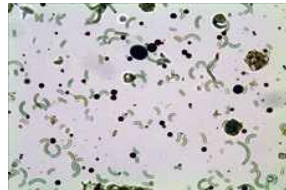
염조분(1kg)	
 염조(上) 	○ 염조분은 <i>Dunaliellasalina</i> 농축분말로 구성 - 유생시기에 1일 1회 공급, 부착후부터 매회 공급 <i>Dunaliellasalina</i> - 개체가 작고 세포벽이 없어 소화 용이 - 고도 불포화 지방산과 β-카로테노이드 함량이 높아 어미의 성숙을 촉진하고 유생의 성장, 변태 및 생존율 향상 - 사용이 편리하고 미세조류 배양수에 의한 유생 사육수조 내 암모니아, 아질산염 및 세균수의 증가 방지 - 단백질 40%, 지방 20~30%, 카로테노이드 2~10%, 다당류 4~6%, α-리놀렌산 5~6%, 리놀렌산 2~2.5%

그림 19. 염조분 제품의 특징

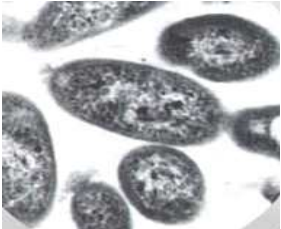
EM 물질(복합수질조절미생물, 500mL)	
 	○ 사용 - 수질개선: 수심 1m당 EM균 250mL를 물에 희석하여 사용 매월 2회 사용 고수온기 또는 수질악화 시 사용 - 수질조절: 고밀도 사육수조의 환수 후 EM균을 2mL/톤 사용 - 수조청소: 물받기 전 100배 희석한 EM균으로 수조 바닥 및 벽면에 뿌림 - 먹이투입구 처리: 먹이 공급전 200배 희석액으로 처리 - 사료 100kg당 EM균 1,000mL를 물에 희석한 후 사료와 혼합공급 - 사료가공: 분말사료 또는 생물사료 100kg당 EM균 500mL 사용: 10~50배 희석액을 사료와 혼합공급 - 물만들기: 25kg의 가축분에 EM균 500mL를 넣어 발효 한 후 실외 양식장에 골고루 뿌림 - 응급처리: 산소부족 시 2,000mL의 EM균을 500배 희석한 후 수조에 골고루 뿌리고 2일 후 다시 한번 사용 - 선도유지: 약취제거 및 신선도유지: 500배의 EM균 희석액을 골고루 뿌림 - EM균 사용 전 3일 사용 후 5일내에 살균소독제의 사용금지

그림 18. EM균 제품의 특징.

해삼다유(영양제, 500g)	
 해삼다유(비타민, 무기염류)	○ 특징 - 해삼의 생장특성 및 영양요구량을 바탕으로 만들어진 해삼 전용 영양제. - 여러 가지 비타민, 영양촉진인자, 무기영양소 및 면역증강인자 등으로 구성된 제품. 본 제품은 사료중에 부족한 영양소를 보완함으로써 해삼생장 과정 중 여러 가지 영양소 결핍증의 예방, 성장촉진 및 질병에 대한 내성을 증가하여 생존율을 향상할 수 있음 - 성분함량 비타민 A 5,000만U, 비타민 D21, 100만U, 비타민 E 20,000만U, 비타민 B1 5,000mg, 비타민 B2 15,200mg, 비타민 B6 2,000mg, 비타민 B12 500mg, 비타민 K3 1,000mg, 비타민 C 2,000mg, 티코틴산 40g, 엽산 2,000mg, 판토텐산 칼슘 200mg, 엽화칼슘 20,000mg, 엽화나트륨 30,000mg (1kg) - 사용방법 및 사용량 물에 충분히 희석한 다음 1g/톤 공급. 혼합사용은 사료의 5%의 비율로 사료

그림 20. 영양제 제품의 특징

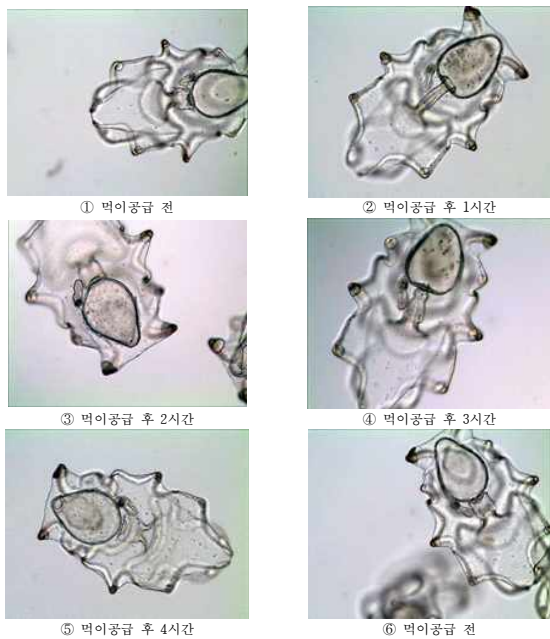


그림 21. 먹이공급 후 경과시간에 따른 해삼 유생의 위 내용물 변화.

표 4. 해삼 유생시기의 일별 먹이 총공급량

공급일	공급 횟수	사육 수량(톤)	공 급 량(g)							비고
			건효모	홍효모	엽조분	EM균(ml)	영양제	스피루리나	해삼사료 (유삼,치삼)	
5.28	1	36	24	24	20	1,500	20	20	300	아우리쿨라리아
5.29	1	36	30	30	30	1,500	30	30	300	아우리쿨라리아
5.30	1	36	30	30	30	1,500	30	30	300	아우리쿨라리아
5.31	1	36	30	30	30	1,500	30	30	300	아우리쿨라리아
6.01	1	36	30	30	30	1,500	30	30	300	아우리쿨라리아
6.02	1	36	30	30	30	1,500	30	30	300	
6.03	1	72	60	60	60	3,000	60	60	600	돌리올라리아/펜탁톨라
6.04	1	72	60	60	60	3,000	60	60	600	건효모증가/홍효모대체
6.05	1	72	60	60	60	3,000	60	60	600	건효모증가/홍효모대체

※ 먹이공급량은 초기 12톤 3개수조에서 출발하여 분조하며 수량이 늘어남.

바. 부착기 유생의 관리

1) 부착기 준비

본 종자생산에서 사용된 해삼의 부착기 기질은 폴리프로필렌(PC) 평판을 사용하였다. 부착기는 부착기틀과 부착판으로 구분되며, 부착판의 크기는 33×33 cm, 부착기틀은 65 × 36cm 크기로 폴리프로필렌(PC) 평판을 72장씩 끼워 준비하였다(그림 22a).

2) 부착기 투입

부착기 투입 시기는 유생 중 돌리올라리아 유생이 1% 이상 관찰될 때 투입하였다. 2019년 6월 3일(수정 후 8일) 유생 사육수조 9개 모두 부착기를 투입하였으며, 한수조당 28개의 부착기를 투입하였다. 총 투입된 부착기는 252개, 부착판은 18,144장 이었다. 부착기는 부착판이 수조바닥과 초기에는 수평이 되게 투입하였다(그림 22b). 이후 분조시 바닥과 수직이 되게 하였다.



그림 22. 부착기 형태 및 부착기 투입.

3) 부착물

수정 후 38일째(부착기 투입 후 29일, 2019년 7월 3일) 각 부착판에 붙어있는 치삼의 개체수를 계측한 결과, 1개의 부착판에 평균 30마리가 확인되었다. 수조 바닥과 벽면에 부착된 것을 제외한 부착판에 수조 당 약 61,000마리, 전체 약 54,4000마리로 30%의 부착률을 보였다.

사. 치삼의 관리

1) 사육환경

부착기 투입 후 4일(수정 후 12일, 2019년 6월 7일)부터 2019년 7월 8일까지 수온, 염분, DO 및 pH는 표 5과 같다. 수온은 18.5~20.9℃이었으며, 염분은 31.6~32.2 psu, 용존산소는 7.59~7.94 mg/L, pH는 7.91~8.08이었다. 유생 사육시와 마찬가지로 배양장 내 모든 창문은 빛이 들어올수 있게하였고 주간에는 전등을 켜 주었다.

2) 부착기 세움 및 환수

부착기를 수중에서 가볍게 흔들었을 때 부착판에 부착된 치삼들이 떨어지지 않게 되면 부착판을 수조 바닥과 수직되게 세운다. 이번 종자생산에서는 부착기 투입 후 17~18일(수정 후 25~26일, 2019년 7월 6~7일)째 수조바닥과 수평으로 설치했던 부착판을 세로로 세움과 동시에 사육수의 첫번째 환수가 이루어졌다. 환수방식은 한칸의 빈수조에 사육수를 채운 후 옆칸의 부착기를 옮기는 방식이며, 이와 같은 옮기는 방식으로 2~3일 간 환수를 하였다. 이후에는 점차적으로 여과해수를 주입하는 방식으로 환수량을 늘려 나갔다. 부착기를 옮기고 난 후 수조바닥과 벽면에 붙어있는 새끼해삼은 60μm 물러가제(300목)로 걸러 물통에 담고 항생제(역가 기준) 5ppm(플로르페니콜 ppm) 약욕 후 부착기 위에 골고루 뿌려주었다. 그 후 부착기 투입 후 39일(수정 후 47일, 2019년 7월 28일)째 수조 청소 후 벽면 및 수조바닥에 붙은 개체들은 동일한 크기의 새로운 분조할 수조로 수용하여 총 9개수조로 증가하였다(그림 23).

표 5. 치삼시기의 수조 내 사육수의 수질 변화

일 시	수온(℃)	염분(PSU)	DO(mg/ l)	PH
2019. 6.7	18.5	32.1	7.90	7.91
6.8	18.6	32.0	7.92	7.93
6.9	18.6	31.9	7.93	7.93
6.10	18.7	31.8	7.94	7.95
6.11	18.4	31.7	7.96	7.95
6.12	18.2	31.7	7.94	7.94
6.13	18.2	31.6	7.86	7.96
6.14	18.2	31.6	7.82	7.97
6.15	18.3	31.7	7.86	7.97
6.16	18.3	31.8	7.85	7.98
6.17	18.5	32.0	7.88	8.01
6.18	18.4	31.8	7.86	8.03
6.19	18.5	31.9	7.92	8.04
6.20	18.6	31.7	7.84	8.02
6.21	19.0	31.8	7.87	8.01
6.22	19.2	32.0	7.80	8.02
6.23	19.3	31.8	7.79	8.02
6.24	19.5	32.1	7.75	8.04
6.25	19.7	31.7	7.76	8.05
6.26	19.8	31.9	7.86	8.04
6.27	20.0	31.8	7.88	8.05
6.28	20.1	32.1	7.82	8.02
6.29	20.2	31.8	7.80	8.00
6.30	20.5	32.0	7.88	8.05
7.01	20.1	32.2	7.86	8.03
7.02	20.4	32.2	7.88	8.03
7.03	20.5	32.1	7.81	8.04
7.04	20.6	32.2	7.63	8.05
7.05	20.5	31.6	7.80	8.04
7.06	20.2	32.0	7.80	8.00
7.07	20.5	31.8	7.85	8.08
7.08	20.9	31.7	7.81	8.06

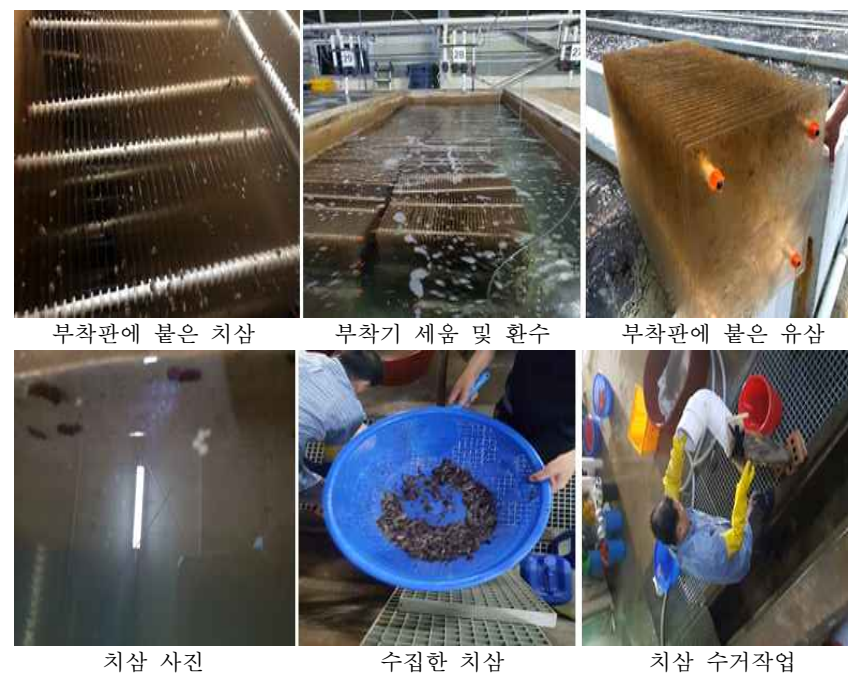


그림 23. 부착기를 이용한 해삼 종자생산 과정.

3) 치삼의 성장 및 변색

부착틀에 부착된 해삼 체장의 성장은 부착기 투입 후 4일(수정 후 12일, 2019년 6월 7일)째 0.52 ± 0.02 mm이었으며, 부착기 투입 후 18일(수정 후 26일)째, 6월 21일)째 0.86 ± 0.14 mm로 성장하였고, 아직 변색이 일어나지 않은 상태였다.

부착기 투입 후 29일(수정 후 37일, 6월 24일)째부터 육안으로 뚜렷한 성장을 확인할 수 있었다. 부착판 1장 당 평균 30개체가 부착되어 있었고, 변색개체는 평균 1~2개체로 변색률은 3.3~6.6% 였다. 변색개체들의 크기는 체장 6.15 ± 1.52 mm 이었으며, 최소 체장 5.20 mm 이상의 개체들부터 변색이 진행되고 있었다. 부착기 투입 후 36일(수정 후 44일, 7월 01일)째 변색개체의 체장은 8.11 ± 2.12 mm, 변색률은 8.8% 이었으며, 미변색개체의 체장은 4.15 ± 1.21 mm로 조사되었다. 부착기 투입 후 50일(수정 후 58일, 7월 7일)째 변색개체의 체장은 8.83 ± 5.15 mm, 체중은 0.13 ± 0.05 g, 변색률은 55.1%로 조사되었다. 반면 미변색개체의 체장은 3.55 ± 0.92 mm이었다(표 6).

표 6. 치삼의 성장

부착기 투입 후 소요일수	부착판 당 개체수	변색개체		미변색 개체 체장(mm)	변색률(%)
		체장(mm)	체중(g)		
3일	260 ± 38			0.52 ± 0.02	0
15일	120 ± 33			0.80 ± 0.11	0
25일	35 ± 15			3.21 ± 1.85	1.1
35일	28 ± 16	8.11 ± 2.12		4.15 ± 1.21	4.2
41일	25 ± 19	8.28 ± 2.22		4.21 ± 2.35	27.6
45일	22 ± 17	8.21 ± 2.08		5.21 ± 2.35	39.9
50일	20 ± 12	8.83 ± 5.15	0.13 ± 0.05	3.55 ± 0.92	55.1

※장당 개체수는 부착판에 부착한 개체(벽면과 바닥 제외)

4) 먹이공급

가) 먹이의 종류 및 공급시간

부착기 투입 후 4일(2019년 6월 1일)째부터 기존에 공급한 먹이 종류 외 새로운 먹이를 순차적으로 첨가하여 공급하였으며, 새로 추가된 먹이는 클로렐라분, 스피루리나, 개구사료, 펄, 감태분, 모자반분, 미역분, 다시마분 이었다. 먹이는 하루 1회(오전 10시) 공급하였다. 해삼개구사료(開口飼料, 开口饲料) : 유생의 소화관이 발달하고 입이 열릴 때 주는 영양이 높은 사료로 특정의 사료조성(해조분과

펄 등)은 정확히 알려지지 않고 있다.

나) 먹이 공급량

부착기 투입 후 4일(2019년 6월 1일)째부터 50일(7월 20일)까지 공급한 먹이 종류별 일별 공급량은 표 7~8과 같다.

치삼의 주사료인 해삼사료, 펄, 새우분, 가리분, 스피루리나, 영양제 등 은 해삼이 성장하면서 종류, 공급비율, 공급량을 달리하였다. 배합사료의 공급량 결정은 해삼의 개체수, 부착판의 잔여 먹이량, 치삼의 성장, 배설물 상태, 수질환경 등에 따라 공급량을 조절하였다.

그리고 해삼사료, 펄, 새우분, 가리비분, 스피루리나, 효모, 염조, 영양제 등의 일자별 공급비율은 표 7~8 같다.

다) 먹이 제조

먹이 제조는 20 L 플라스틱 용기에 해수와 사료를 함께 넣고 1일 이내 발효시킨 후 180 L 타원형 플라스틱 물통 내에서 망목 60 μ m 물러가제(300목)에 사료를 넣고 거른 후 공급하였다(그림 24). 매일 1회 공급시 마다 제조하여 공급하였다.

표7. 치삼의 먹이 종류별 공급량

날짜 (부착기투입후)	횃수	건효모	염조분	홍효모	영양제	새우분	스피루라나	개구사료	펠	가리비분	합계(g)
6.01(3일)	1	30	30	40	30		30	300			460
6.02(4일)	1	30	30	40	30		30	300			460
6.03(5일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.04(6일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.05(7일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.06(8일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.08(9일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.09(10일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.10(11일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.11(12일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.12(13일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.13(14일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.14(15일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.15(16일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.16(17일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.17(18일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.18(19일)	1	60	60	80	60		60	1300			1,620
6.19(20일)	1	60	60	80	60	100	60	1300	200	100	1,920
6.20(21일)	1	90	90	120	90	200	90	2500	500	200	3,680
6.21(22일)	1	90	90	120	90	200	90	2500	500	200	3,680
6.22(23일)	1	90	90	120	90	200	90	2500	500	200	3,680
6.23(24일)	1	90	90	120	90	200	90	2500	500	200	3,680
6.24(25일)	1	90	90	120	90	200	90	2500	500	200	3,680
6.25(26일)	1	90	90	120	90	200	90	2500	500	200	3,680

- 33 -

표7. 치삼의 먹이 종류별 공급량

날짜 (부착기투입후)	횃수	건효모	염조분	홍효모	영양제	새우분	스피루라나	해삼사료 (유삼,치삼)	펠	가리비분	합계(g)
6.26(27일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
6.27(28일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
6.28(29일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
6.29(30일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
6.30(31일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
7.01(32일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
7.02(33일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
7.03(34일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
7.04(35일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
7.05(36일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
7.06(37일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
7.07(38일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
7.08(39일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
7.09(40일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
7.10(41일)	1	90	120	90	90	500	120	2,500	1,000	500	5,010
7.11(42일)	1	120			120	500	200	3,500	1,000	500	5,940
7.12(43일)	1	120			120	500	200	3,500	1,000	500	5,940
7.13(44일)	1	120			120	500	200	3,500	1,000	500	5,940
7.14(45일)	1	120			120	500	200	3,500	1,000	500	5,940

※ 유생사육 수조 12톤 수조 3개 ⇒ 6개 ⇒ 9개 수조로 분조하여 유생사육

표8. 치삼의 사료 종류별 공급비율(%)

날짜 (부착기투입후)	횃수	건효모	염조분	홍효모	영양제	새우분	스피루리나	해삼사료 (유삼,치삼)	펄	가리비분	합계(%)
6.01(3일)	1	6.5	6.5	8.7	6.5	0.0	6.5	65.2	0.0	0.0	100
6.02(4일)	1	6.5	6.5	8.7	6.5	0.0	6.5	65.2	0.0	0.0	100
6.03(5일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.04(6일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.05(7일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.06(8일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.08(9일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.09(10일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.10(11일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.11(12일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.12(13일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.13(14일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.14(15일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.15(16일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.16(17일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.17(18일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.18(19일)	1	3.7	3.7	4.9	3.7	0.0	3.7	80.2	0.0	0.0	100
6.19(20일)	1	3.1	3.1	4.2	3.1	5.2	3.1	67.7	10.4	5.2	100
6.20(21일)	1	2.4	2.4	3.3	2.4	5.4	2.4	67.9	13.6	5.4	100
6.21(22일)	1	2.4	2.4	3.3	2.4	5.4	2.4	67.9	13.6	5.4	100
6.22(23일)	1	2.4	2.4	3.3	2.4	5.4	2.4	67.9	13.6	5.4	100
6.23(24일)	1	2.4	2.4	3.3	2.4	5.4	2.4	67.9	13.6	5.4	100
6.24(25일)	1	2.4	2.4	3.3	2.4	5.4	2.4	67.9	13.6	5.4	100
6.25(26일)	1	2.4	2.4	3.3	2.4	5.4	2.4	67.9	13.6	5.4	100

표8. 치삼의 사료 종류별 공급비율(%)

날짜 (부착기투입후)	횃수	건효모	염조분	홍효모	영양제	새우분	스피루리나	해삼사료 (유삼,치삼)	펄	가리비분	합계(%)
6.26(27일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
6.27(28일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
6.28(29일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
6.29(30일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
6.30(31일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
7.01(32일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
7.02(33일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
7.03(34일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
7.04(35일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
7.05(36일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
7.06(37일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
7.07(38일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
7.08(39일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
7.09(40일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
7.10(41일)	1	1.8	2.4	1.8	1.8	10.0	2.4	49.9	20.0	10.0	100
7.11(42일)	1	2.0	0.0	0.0	2.0	8.4	3.4	58.9	16.8	8.4	100
7.12(43일)	1	2.0	0.0	0.0	2.0	8.4	3.4	58.9	16.8	8.4	100
7.13(44일)	1	2.0	0.0	0.0	2.0	8.4	3.4	58.9	16.8	8.4	100
7.14(45일)	1	2.0	0.0	0.0	2.0	8.4	3.4	58.9	16.8	8.4	100

아. 해삼 종묘생산의 문제점 및 대책

1). 해삼 종묘생산 기술

가) 문제점

① 국내 해삼 종묘생산업은 자체 기술력 부족으로 중국 기술자 의존도가 높으며, 중국 기술자도 기술수준에 따라 종묘생산 능력의 차이가 매우 크다는 것이다.

② 국내 생산인력의 노령화, 종묘생산장 근무환경의 열악에 따른 취업 기피, 저임금 등 국내 생산 노동력의 부족은 갈수록 심화되어 중국 기술인력 의존도는 갈수록 높아질 것으로 예상된다.

③ 중국 기술자(E-7비자: 특정활동비자) 활용 시 생산장 규모와 상관없이 업체당 3명으로 인원이 제한되어 있어 대규모 시설의 경우 노동력 부족으로 생산에 애로가 많다는 것이다.

해삼양식기술자(E-7비자) : 사증발급 안내 메뉴얼(법무부, 2014.6.1)

- 자격요건: ① 수산분야 석사이상,
② 수산분야 학사+해삼양식기술 분야 경력 2년 이상,
③ 해삼양식기술 분야 경력 7년 이상
- 허용인원기준: 1개 업체당 3명 이내(단, 해양수산부와 법무부가 협의하여 달리 정한 경우는 예외)
- 사증발급: 체류기간 상한 2년의 단수사증

나) 대책

① 중국 고급 기술자를 활용한 국내 기술력 향상 및 양식현장에 적합한 해삼 종묘생산 메뉴얼 작성하여 양식어가에 보급함으로써 국내 종묘생산 기반 기술을 확립할 계획이다.

② 종묘생산장 규모에 따라 중국 기술자를 활용시 허용인원기준을 차별화하거나 당초 5명으로 환원이 필요하다.

※ 규모에 따른 허용인원기준(안) : 500평 이하 3명, 500평 이상 5명

③ 국가나 지자체 연구소등에서 적극적인 기술개발 및 보급을 통하여 전복양식이나 넉치양식처럼 산업화를 통한 대중화를 도모할 필요가 있다.

2). 해삼 사료 및 약품

가) 문제점

① 해삼 종묘생산 및 육성용 사료는 국내 연구가 미흡하며, 필요한 배합사료는 국내 수요량이 적어 중국 수입사료에 의존하고 있다.

② 해삼 종묘생산 시 공급되는 사료에는 해조분말이 약 40% 함유되어 있고, 해조분말 종류는 감태분, 지층이분, 모자반분, 미역분, 다시마분 등이다.

③ 해조류 중 지층이분, 모자반분 등에는 비소의 함량이 사료내 유해물질 허용기준치를 초과하여 정상적으로 수입이 불가능한 상태이다.

※ 단미사료 : 비소 허용기준치 40 ppm(사료내 유해물질의 범위 및 허용기준, 농림축산식품부고시, 2014)

④ 약품은 국내 해삼전용으로 개발된 것이 없어 특히 종자생산 시 질병 발생하면 치료에 어려움이 많다.

나) 대책

① 단미사료의 사료내 비소 허용기준(현행 40 ppm→개선 80 ppm)의 변경(농림축산식품부고시) 추진이 필요하다.

※ 국내 지층이 비소 함량 : 73 ppm

② 국립수산물과학원 사료연구센터에서 ' 13년부터 해삼 종묘생산 및 육성용 배합사료개발 연구를 추진 중에 있으며, ' 15년까지 배합사료 개발을 완료하고 사료 회사에 기술을 이전하여 배합사료 생산하여 보급하였으나 종자생산 시 입부위가 허물어 지는 증상 등이 발생하여 시장에 많이 확산되지 못하였으므로 국가연구소나 지방연구소 등에서 새로이 개발·공급 할 필요가 있다.

③ 국내 사료가 개발되기까지 중국산 사료와 약품을 원활하게 수입할 수 있도록 정책적 대책이 필요하다.

④ 국내 어류나 패류양식등에 사용되는 약제중 해삼에 적용가능한 약품을 여러 가지 시험연구를 통하여 사용하는 방안을 강구할 필요가 있으며, 장기적으로는 해삼양성이 산업화 되면 전문적으로 해삼에 사용할 약제가 개발 공급되어야 한다

2. 육상수조식 고밀도 양생기술 개발

가. 중간육성 양식장 조성

사육수 관리는 먹이급여 후 방치시간을 제외하고 하루 약 17시간 이상 사육수의 100% 환수를 진행하였으며, 모든 수조는 배수구 1개를 시설하고 기울기 약 6° 가량 구배를 주어 환수가 원활히 진행되도록 조성하였다(그림 24, 25).

수조별로 적정 산소를 공급하고자 지지대(가로 2.4 m × 세로 4.5 m)에 에어블러워를 연결한 에어스톤(50 mm)을 50 cm 간격으로 시설하였으며, 수조 당 10 ~ 12개씩 시설해 수중 용존산소가 7.0ppm 이상을 유지하도록 하였다(그림 26).



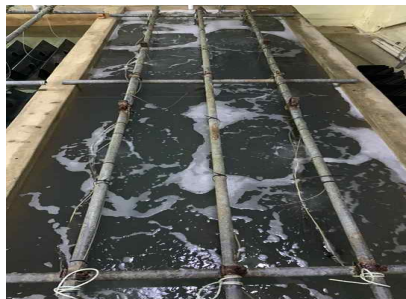
그림 24. 주수 및 에어공급 장치 시설



그림 25. 배수구 시설



그림 26. 에어블러워 및 에어스톤(포기장치) 시설



각 수조별로 해삼사육에 사용하는 부착파판(은신처)의 종류에 따라 셀타 시험구의 경우 전복파판(가로 900mm × 세로 950mm, PE재질)을 50 cm 간격으로 수조 당 10개씩 시설하였으며, 파판 위치를 엇갈리게 배치하여 해수 및 먹이의 순환이 원활하도록 하였다(그림 27).

랏셀망 시험구의 경우, 망지(가로 3600 mm × 세로 800 mm)를 횡렬로 약 50 cm 가량 간격을 두고 수조 당 3개씩 시설하였으며, 공급한 배합사료가 망지 사이를 순환하면서 부착할 수 있도록 충분한 공간을 확보해 주었다(그림 28).

생산동 내 조도는 해삼이 야행성 동물임을 감안하여 500 Lux 미만을 유지하도록 조절하였다.



그림 27. 셀타를 활용한 수조 조성

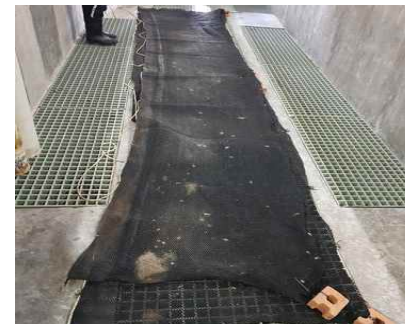


그림 28. 랏셀망을 활용한 수조 조성

나. 해삼종자 입식

’ 18년 11월에 입식한 해삼종자의 개체 평균중량 8 g 으로 크기는 6 g 에서 10 g 이상까지 다양하게 분포하였다.

해삼종자는 개체 중량별로 1 ~ 20 g 내외를 소형개체, 20 ~ 35 g 내외를 중형개체, 35 g 이상을 대형개체로 구분하여 사용하였으며, 수용밀도, 먹이급여 빈도 및 부착기질에 따른 복합 시험조건을 설정하여 육상수조에 입식하였다 (그림 29. 31).

시험구별 해삼종자 입식결과를 표 9.에 나타내었으며, 지속적인 생존율 및 성장도 모니터링을 통하여 최적 양식조건 분석을 위한 기초자료로 활용코자 하였다 (그림 30).

표 9. 육상수조 시험구별 양식조건 및 입식결과

크기	시험구	양식조건	입 식(18. 11. 12.)		
			개체수 (미)	총 중량 (kg)	개체 평균중량 (g)
소형개체	F	밀도 0.7, 랏셀망, 먹이 1일 1회	626	7.43	11.9
	D	밀도 0.5, 전복파판, 먹이 1일 1회	483	6.43	13.3
	E	밀도 1.0, 전복파판, 먹이 1일 1회	930	12.62	13.6
	K	밀도 0.5, 전복파판, 먹이 2일 1회	331	5.37	16.2
	L	밀도 1.0, 전복파판, 먹이 2일 1회	829	9.41	11.4
중형개체	A	밀도 0.5, 전복파판, 먹이 1일 1회	225	6.79	30.2
	B	밀도 1.0, 전복파판, 먹이 1일 1회	484	13.35	27.6
	C	밀도 1.5, 전복파판, 먹이 1일 1회	656	19.43	29.6
	H	밀도 0.5, 전복파판, 먹이 2일 1회	239	6.16	25.8
	I	밀도 1.0, 전복파판, 먹이 2일 1회	447	14.02	31.4
대형개체	J	밀도 1.5, 전복파판, 먹이 2일 1회	357	12.79	35.8
	G	밀도 1.0, 랏셀망, 먹이 2일 1회	238	8.98	37.7

수용밀도에 따른 시험조건은 2012년도 농림수산식품부에서 발간한 해삼시험 연구사업 보고서의 밀도별 해삼의 성장 및 생존율에 관한 연구결과를 참조하여, 수조별 해삼종자 입식량을 0.5 kg/m³, 1.0 kg/m³, 1.5 kg/m³ 구간으로 설정하였다.

먹이 급여빈도에 따른 시험구는 1일 1회 먹이급여 구간과 2일 1회 먹이급여 구간으로 나누어 시험조건을 설정하였다.



그림 29. 해삼 구입 및 무게측정



그림 30. 해삼 크기선별 및 개체 수 측정



그림 31. 시험구별 수조 내 해삼 입식

또한, 부착기질에 따른 시험조건은 육상수조를 활용한 중간종자 대량생산을 목표로 집약적 양식 방법에 적합 은신처를 개발하고자 표 10. 에 제시한 기본구성 및 원리에 따라 시험구를 설정하였다.

우리 지원에서는 모래, 자연석, PE 재질 등을 대상으로 해삼의 섭이활동에 관한 연구를 진행한 바 있으며, 관찰 결과 배설물이 쌓이는 장소가 많을수록 해삼의 먹이터와 이동공간이 협소해진다는 것을 확인할 수 있었고, 배설물이 위치한 자리에서는 먹이활동을 하지 않고 피해서 이동하는 특성을 보였다.

이에, 상기의 연구 결과를 토대로 가장 적합한 부착기질의 재질과 설치 모형을 선정하고자 하였다. 부착기질은 유기물 흡착력이 우수한 PE재질 및 랏셀망을 시험조건으로 선발하였으며, 수조청소를 할 수 있는 경우에는 수평식 부착기질이 유리하지만 장기간 청소를 하지 않고 양성할 경우에는 수직형 부착기질이 유리하다고 판단하여, 이를 수직으로 설치하고 배설물이 쉽게 분리될 수 있는 형태로 제작하였다.

각 시험조건을 복합적으로 설정하여, 실제 육상수조 규모에서 약 12개월의 장기간 동안 해삼 섭이활동 및 성장 패턴에 대하여 관찰하고, 고밀도 해삼양식 가능성에 대한 현장실용화 진단을 목적으로 하였다.

표 10. 부착기질 선발을 위한 기본 구성 및 원리

기 본 구 성 및 원 리
○ 해삼의 부착율이 좋고 배설물의 분리가 용이
○ 자재의 구입, 운송이나 설치가 쉽고 세척이 용이함
○ 해삼 먹이(유기물)의 잔량분석이 육안으로 쉽게 관찰 가능하여 차기 사료급여량을 산정할 수 있어야 함
○ 내구성이 좋아 장기간 사용이 가능하며 가격이 저렴함
○ 해삼이 부착하기 쉽고 이동하기 편리
○ 해삼 포획에 편이하며 표피에 상처가 나지 않아야 함
○ 사육수조 내 해수흐름을 원활하게 하여 사육수 구역에서 발생할 수 있는 오염지역 최소화 함

다. 중간육성 양식장 관리

중간육성 양식장 내 수질환경 관리를 위하여 청소 주기는 수질환경 및 해삼의 활성도에 따라 수시로 조절하고자 하였다. 일반적으로 7일에서 10일 주기로 수조청소를 진행(1일 1회 중량대비 사료급여량 10 %, 1일 1회 사육수의 50% 사이펀 환수) 하였으나, 본 연구(사료 급여량 5 %, 사육수의 100 % 유수식 환수)에서는 청소 중 내장을 뱉어내는 개체가 다수 확인되어, 육안상 수질환경에 영향을 미치지 않을 것으로 사료된 3 ~ 4주 간격으로 수조청소를 실시하였다.

주로 부착기질 및 바닥에 침전 된 펄과 배설물을 제거하기 위하여 수조 청소를 실시하였으며, 청소 시 배수구로 빠져나오는 해삼을 막기 위하여 망지로 배수구를 막아 청소를 진행하였다. 크레인을 이용해 에어브러워가 시설된 지지대를 제거한 후, 파판 및 랏셀망에 부착된 해삼을 전량 수거하였다. 파판, 랏셀망, 수조 바닥을 여과해수로 세척 한 후, 여과수를 받은 수조에 해삼을 입식하였고, 에어브러워 및 에어스톤을 재 시설해 주었다(그림 32-36).



그림 32. 배수구로 빠져나오는 해삼유실 방지



그림 33. 크레인을 이용한 지지대 및 랏셀망 제거



그림 34. 수조 내 부착파판 및 해삼 전량 회수



그림 35. 부착파판 세척 및 수조바닥 청소 작업



그림 36. 해삼입식 및 포기장치 시설

라. 해삼의 양성

1) 배합사료 제조 및 먹이공급

시험구별 먹이공급량은 ‘18년 11월 입식일을 기준으로 ’19년 6월까지의 평균 수온 16 ~ 19℃ 이하로 해삼의 섭이활동 증가하고 운동이 활발해지는 시기 이기로 먹이공급량을 해삼 중량의 5 % 기준으로 조절하여 공급하였다. 농림수산 부에서 발간한 해삼 양식 가이드북의 내용에 따르면 수온이 19℃ 이상이 되는 7 월부터 10월까지의 하면전기(19 ~ 24.5℃)로 해삼의 활동량이 적어지고, 소화관 및 소화력이 위축되는 시기였으므로 급이량을 3 % 내외로 조절하여 공급하였다. 당해 연도 11월부터 12월까지의 파판에 부착된 잔여사료와 원활한 섭이활동 및 배변상태 등이 육안상으로 확인되어, 급이량을 늘렸을 때 수질오염 등의 문제를 초래할 수 있기에 3 % 내의 먹이급이량을 유지하는 중이다(표 11, 그림 37, 38).

		
유삼사료	지층이	뽕
		
삼합일	건위소식소	홍효모
		
매보락	그로우업	스피롤리나

그림 37. 해삼 중간양성을 위한 배합사료 및 첨가제

표 11. 중간종자 양성을 위한 사료 조성 및 배합비율

사료 및 첨가제	배합 비율(%)
유삼사료	70
지층이	17
뽕	8
삼합일	1
건위소식소	1
홍효모	1
매보락	1
그로우업	1
스피룰리나 *	1

* 스피룰리나 : 해삼 사료 영양강화를 위하여 ' 19년 10월부터 해삼 중량대비 1% 추가 급여



그림 38. 배합사료 제조 및 급여 방법

2) 질병 및 수질관리

육상양식장에서 발생할 수 있는 주요 질병요인으로는 크게 하면기 또는 고수 온기에 발생할 수 있는 화반병과 월동기 및 양성기에 발생할 수 있는 괴란종합증으로 분류되며(표. 12), 이와 같은 질병의 관리방법은 2013년 해양수산부 해삼 양식산업 기술개발 연구사업 보고서에서 발췌하였다.

이를 예방하기 위하여 항생제(역가기준)인 플로르페니콜 5 ppm을 이용해 약욕처리를 진행하였으며(그림. 39), 일반적으로 해삼양식 시 요각류 등의 해적생물 구제약품개발이 미흡하여 환수 또는 수작업을 통해 해적생물을 제거해야 하나, 본 연구에서는 양식장 내에서 요각류 등의 해적생물이 발견되지 않았다.

표 12. 육상양식장 주요 질병 및 관리방법

질병 종류	관 리
화반병	- 어린해삼의 하면시기/ 고온기 및 고밀도일 때 - 신체괴란(씩는)병, 강한 전염병 및 폐사율 - 증상 : 활력 및 부착력 감소, 섭식능력 저하 또는 중지, 지속적 신체수축으로 유백색 구형으로 변함, 국부조직 괴란 및 면적 확대, 골편노출, 부착기에 백색 흔적 - 원인 : 세균감염 및 병독 감염, 고밀도 사육, 부적합한 환경인자 - 대책 : 어미관리 철저(수직감염 차단), 해수 2차 여과, 자외선, 소독예방 등
괴란종합증	- 월동묘 및 양성기 발생(1 ~ 3월) - 빠른 전파성(폐사율 90%이상, 급성폐사) - 유해삼이 성삼보다 감염률, 발병률, 폐사율 높음 - 증상 - 초기 : 머리흔들, 입부위 감염, 촉수 검게변화, 내장배출 - 중기 : 신체수축, 체색 푸르스름하게 변함, 돌기의 백색화 및 사라짐 - 말기 : 괴양확대, 백색반점, 폐사후 용화되면서 콧물과 같은 상태 - 원인 : 유해세균 및 병독 감염, 2차 감염(기생충) - 부적합한 사육환경(수온, 염도, pH, 지질악화) 및 사육도구, 사료, 잔여부패물 - 대책 : 적당한 배합비의 양질사료 사용, 성장속도 검사, 배변 및 잔여 사료량 관찰에 따른 사료량 조절, 수질개선제 사용, 사육수온 13℃이상 유지, 밀도조절, 선별분주



그림 39. 해삼 질병발생 및 예방을 위한 수산용의약품

마. 육상수조 시험구별 수질환경 조사

1) 수온

육상수조 시험구별 수온환경을 조사하였으며(그림 40, 41.), 그 결과 2019년 2월의 평균수온이 7.8 ± 0.03 °C로 최저, 2019년 8월의 평균수온이 21.2 ± 0.30 °C로 최고치를 나타내고 있었으며, 전 기간에 걸쳐 수온차이는 13.4 °C까지 나타났다. 양성조건을 달리한 시험구간 수온의 표준편차는 0.60(평균 0.06) 내외를 나타내어 오차범위 내에서 차이가 없는 것으로 나타났으며, 이는 같은 원수를 하루 18시간 이상 환수 해주었기 때문으로 보인다.



그림 40. 육상수조 양식장 수질환경 측정

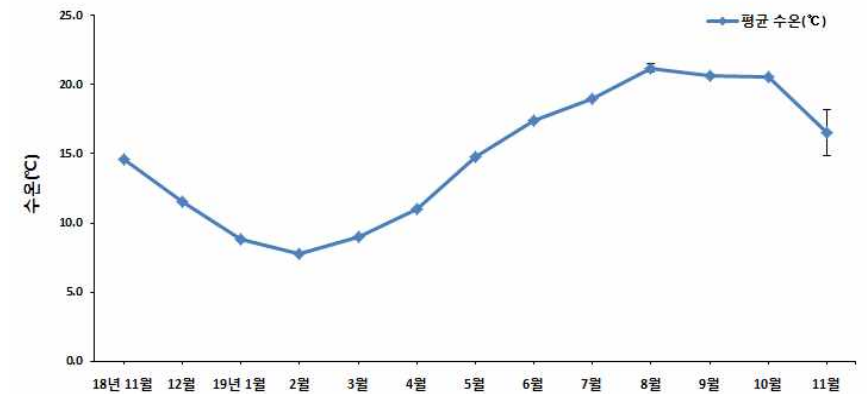


그림 41. 중간육성 시험구 월별 수온 변화추이

2) 염분

육상수조 시험구별 염분을 조사하였으며(그림 42.), 그 결과 2019년 9월 평균 염분이 30.6 ± 0.07 psu로 최저, 2019년 2월 평균염분이 35.3 ± 0.13 psu로 최고치를 나타내고 있었으며, 전 기간에 걸쳐 염분차이는 4.7 psu까지 나타났다. 양성 조건을 달리한 시험구간 염분의 표준편차는 0.02 ~ 1.64(평균 0.19) 내외로 오차범위 내에서 차이가 없는 것으로 나타났다.

표층염분은 주로 강수량, 증발량 및 강물의 유입 등의 영향요인에 의해 변동되며, 우리나라 서남해역의 여름철 평균염분은 30.5 ~ 31.5 psu, 겨울철 평균염분은 33.0 ~ 34.0 psu를 나타내고 있다. 시험구의 측정결과와 비교했을 때, 겨울철인 12월 ~ 2월까지는 평균염분 $34.8 \text{ psu} \pm 0.14$ 를 나타내었고, 여름철인 6 ~ 8월까지는 $31.9 \text{ psu} \pm 0.11$ 을 나타내어 비교적 유사한 수치를 나타내고 있었다.

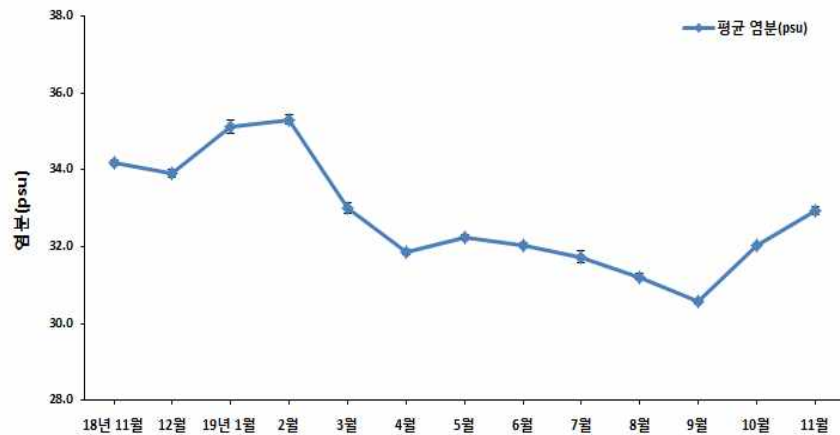


그림 42. 중간육성 시험구 월별 염분 변화추이

3) pH

육상수조 시험구별 pH를 조사하였으며(그림 43.) 그 결과 2019년 3월 8.0으로 최저, 2019년 9월 8.2로 최고치를 나타내고 있었으며, 월별 pH는 평균 8.05 ± 0.08 를 나타내었다. pH meter를 처음 도입한 3월에는 pH 보정과정 중 비교적 편차가 크게 측정되었으며, 생존율 변화가 크게 발생하였던 7부터 10월까지 여름철에는 비교적 표준편차가 큰 것을 확인 할 수 있었다. 전 기간에 걸쳐 pH 차이는 0.18이었으며, 표준편차는 0.06 ~ 0.20(평균 0.08) 내외로 오차범위 내에서 차이가 없는 것으로 나타났다.

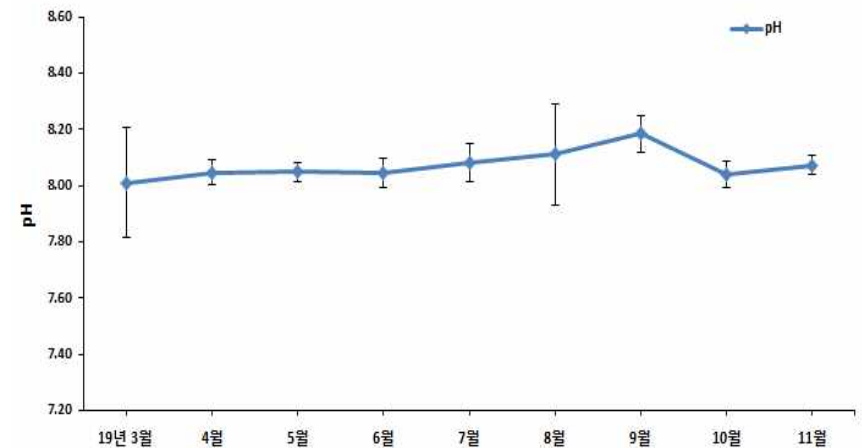


그림 43. 중간육성 시험구 월별 pH 변화추이

4) DO

육상수조 시험구별 용존산소를 측정하였으며(그림 44.) 그 결과 2019년 7월 평균염분이 7.83 ± 0.04 mg/L로 최저, 2019년 2월 평균염분이 9.54 ± 0.01 mg/L로 최고치를 나타내고 있었다. 전 기간에 걸쳐 시험구별 염분 차이를 비교하였을 때, 전반적인 표준편차는 0.01 ~ 0.06(평균 0.03)내외를 나타내었고, 이를 통해 시험구 전반적으로 일정수준의 용존산소를 유지하고 있었다는 것을 확인할 수 있었다.

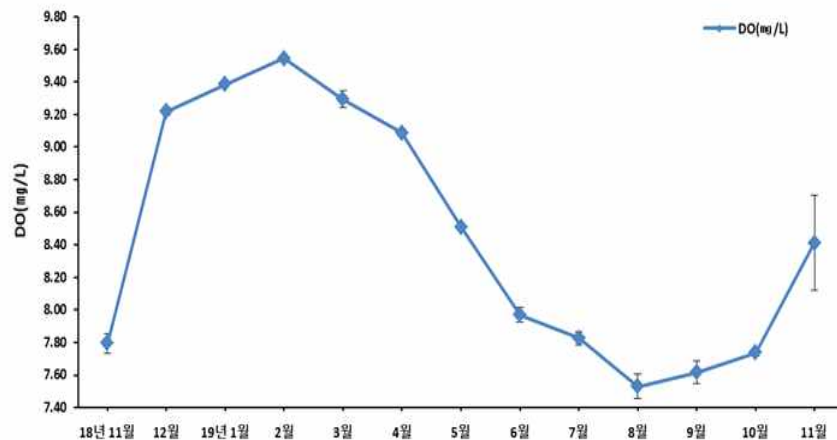


그림 44. 중간육성 시험구 월별 용존산소 변화추이

바. 중간육성 해삼의 양성

1) 크기별 해삼의 성장

본 연구에서는 입식크기에 따른 해삼의 성장도 차이를 비교하여 크기별 해삼의 최적양성 조건을 탐색하고자 하였으며(그림 45-47), 나아가 양식 현장에서 크기별 해삼종자의 성장속도에 따라 선별 및 출하시기를 예측하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다. 이에, 크기별 시험구를 소형개체(평균 개체중량 1 ~ 20 g 내외), 중형개체(20 ~ 35 g 내외), 대형개체(35 g 이상)로 구분하고, 2018년 11월부터 2019년 11월까지 12개월간 크기별 해삼의 성장도 및 생존율 변화추이를 분석하였다.

소형개체 시험구의 성장도 및 생존율 변화추이를 분석결과(그림 48, 49), 전반적으로 입식대비 성장도는 시험구별 최소 9.7 % ~ 최대 236.4 %로 증가하였으며, 생존율은 최소 2.7 ~ 최대 68.3 %를 나타내어 시험구간 성장도 및 생존율에 큰 차이를 나타내고 있었다.

소형개체의 시험구별 성장도 및 생존율을 분석한 결과(표 13, 14), 시험구 F는 '18년 11월 입식 시 평균중량 11.9 g에서 '19년 11월 27.6 g으로 12개월간 약 15.7g 성장하였다. 월별 성장추이는 '18년 12월부터 '19년 5월까지 6개월간 평균중량이 21.3 g으로 입식대비 약 80% 가량 지속적으로 성장하는 추세를 보였으나, 6월 이후 수온이 상승함에 따라 개체중량이 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 시험사업 기간 중 평균수온이 21.2 °C로 가장 높았던 8월에는 시험구의 개체 평균중량이 12.7 g으로 입식했을 당시의 수준으로 감소하였으며, 8월 이후 점차 중량이 증가하는 추세를 나타내었다. 생존율 변화는 4월까지의 약 90%의 생존율을 나타내었고, 평균수온이 11.0°C에서(4월 기준) 14.8 ~ 17.4 °C(5, 6월 기준)로 급격히 상승하는 시기에 폐사율이 29.4 %로 가장 높게 확인되었으며, 최종 생존율은 50.2 %를 나타내었다.

시험구 D는 입식 시 평균중량 13.3 g에서 '19년 11월 24.6 g으로 12개월간 약 11.3g 성장하였다. 월별 성장추이는 '18년 12월부터 '19년 6월까지 7개월간 평균중량이 23.3 g으로 입식대비 약 75 %가량 증가하였으며, 평균수온이 19.0 ~ 21.2 °C로 상승한 7월부터 9월까지는 개체중량이 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 개체중량은 평균수온 20.7 °C를 나타낸 9월에 최소 중량을 나타내었고, 수온이 하강에 따른 10월부터 점차 증가하여 11월에는 최대 중량을 나타내었다. 생존율은 5월까지 약 90%의 생존율을 보였으며, 평균수온이 20 °C 이상을 유지하는 8월 ~ 10월에 생존율이 15.7 % 가량 급격히 감소하는 경향을 보였다. 최종 생존율은 68.3 %로 소형개체를 이용한 시험구 중 가장 높은 생존율을 나타내었다.

시험구 E는 입식 시 평균중량 13.6 g에서 '19년 11월 14.9 g으로 12개월간

약 1.3g 성장하였다. 시험사육 전 기간에 걸쳐 개체 중량변화는 5.5 g 내외로 다른 시험구에 비해 가장 성장도가 낮은 것으로 확인되었다. 생존율은 평균수온이 11.6℃('18년 12월 기준)에서 8.8℃(1월 기준)로 약 2.8℃가량 급격히 감소하는 구간에서 폐사율 13.2%가 발생하였으며, 평균수온이 20℃ 이상을 유지하는 8월 ~ 10월에 약 12.6%가 발생하여 최종 생존율은 60.0%를 나타내었다.

시험구 K는 입식 시 평균중량 16.2 g에서 '19년 11월 24.7 g으로 12개월간 약 8.5 g 성장하였다. 월별 성장추이는 '18년 12월부터 4월까지 1개월을 주기로 평균중량이 증가했다가 감소하는 경향을 나타내었다. 4월 이후 개체평균 중량이 점차 감소하여 7월에는 최하 중량을 나타내었고, 10월부터 수온이 하강하면서 평균중량이 증가해 11월에는 최대 중량을 나타내었다. 생존율은 2월에 14.5%가 급격히 감소하였고, 이후 평균수온이 20℃ 이상을 유지하는 8월 ~ 10월에 39.8%가 감소하여, 최종 생존율은 22.7%를 나타내었다.

시험구 L은 입식 시 평균중량 11.4 g에서 '19년 11월 38.2 g으로 12개월간 약 26.8 g 성장하였다. 월별 성장추이는 입식이후 크게 성장하지 못하고, 4월부터 6월까지 개체중량이 증가하는 추세를 보였다. 이후 개체평균 중량이 소폭 증감하는 경향을 보이다가 10월부터 평균중량이 증가해 11월에는 최대 중량을 나타내었다. 생존율은 2월까지 약 90%의 생존율을 유지하였으나, 4월부터 6월까지 82.2%가 급격히 감소하였고, 이후 생존율은 거의 변화를 나타내지 않았다. 최종 생존율은 2.7%로 소형개체를 이용한 시험구 중 가장 낮은 생존율을 나타내고 있었다.

따라서, 소형개체의 시험구별 성장도 및 생존율을 분석한 결과는 시험구 D에서 입식대비 성장도가 약 75%가량 증가였으며, 최종 생존율은 68.3%로 시험구 중 가장 높은 생존율을 나타내어 소형개체 시험구 중 가장 우수한 조건임이 확인되었다.



그림 45. 수조 내 해삼 전량수거 및 성장도 측정



그림 46. 수조 내 개체 크기 편차

그림 47. 성장도측정 시 벨어낸 해삼내장

표 13. 소형개체 시험구 월별 성장도 분석결과

시험구 월별	개체 평균중량(g)				
	F ¹⁾	D ²⁾	E ³⁾	K ⁴⁾	L ⁵⁾
'18년 11월	11.9	13.3	13.6	16.2	11.4
12월	17.6	14.0	13.6	19.2	12.2
'19년 1월	19.3	15.8	13.4	16.2	13.4
2월	17.9	16.9	14.4	19.0	12.1
3월	19.0	16.9	14.2	17.9	11.5
4월	19.2	18.2	16.5	19.4	12.1
5월	21.3	22.5	19.1	16.4	16.4
6월	17.4	23.3	15.0	12.7	18.2
7월	13.8	17.7	12.5	12.0	13.3
8월	12.7	16.6	13.2	12.5	15.3
9월	14.7	15.2	11.6	15.3	14.1
10월	17.0	17.1	12.1	17.8	19.6
11월	27.6	24.6	14.9	24.7	38.2

1) 밀도 0.7, 밭선향, 먹이 1일 1회,
3) 밀도 1.0, 전복파관, 먹이 1일 1회
5) 밀도 1.0, 전복파관, 먹이 2일 1회

2) 밀도 0.5, 전복파관, 먹이 1일 1회
4) 밀도 0.5, 전복파관, 먹이 2일 1회

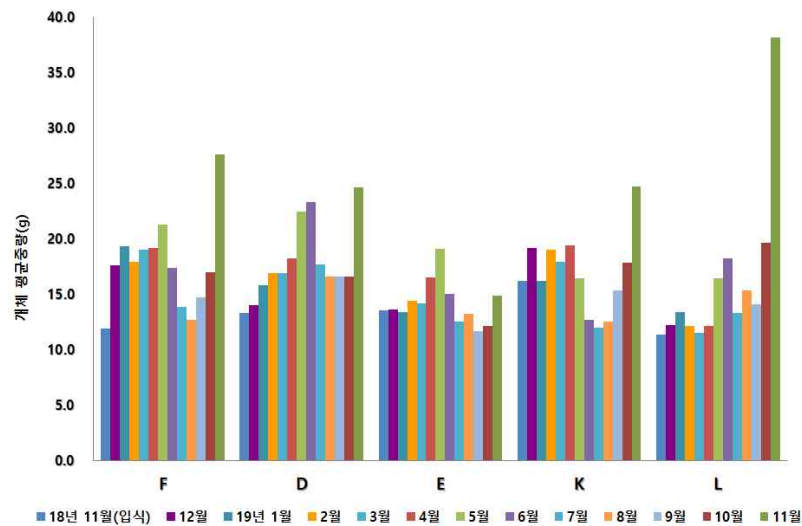


그림 48. 소형개체 시험구 월별 성장추이 분석

표 14. 소형개체 시험구 월별 생존율 분석결과

시험구 월별	생존율(%)				
	F ¹⁾	D ²⁾	E ³⁾	K ⁴⁾	L ⁵⁾
'18년 11월	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
12월	99.4	94.4	98.9	97.9	98.9
'19년 1월	97.6	94.4	85.7	95.2	96.0
2월	95.5	94.2	82.6	80.7	89.5
3월	93.5	93.8	82.0	78.5	86.2
4월	89.9	92.1	78.9	77.6	68.2
5월	72.4	89.2	76.2	72.2	28.6
6월	60.5	87.4	73.9	68.3	4.0
7월	60.2	86.7	73.8	63.7	4.0
8월	52.9	81.4	69.6	49.2	3.9
9월	52.7	80.3	67.4	34.1	3.9
10월	50.6	71.0	61.2	23.9	2.9
11월	50.2	68.3	60.0	22.7	2.7

1) 밀도 0.7, 밭선향, 먹이 1일 1회,
3) 밀도 1.0, 전복파관, 먹이 1일 1회
5) 밀도 1.0, 전복파관, 먹이 2일 1회

2) 밀도 0.5, 전복파관, 먹이 1일 1회
4) 밀도 0.5, 전복파관, 먹이 2일 1회

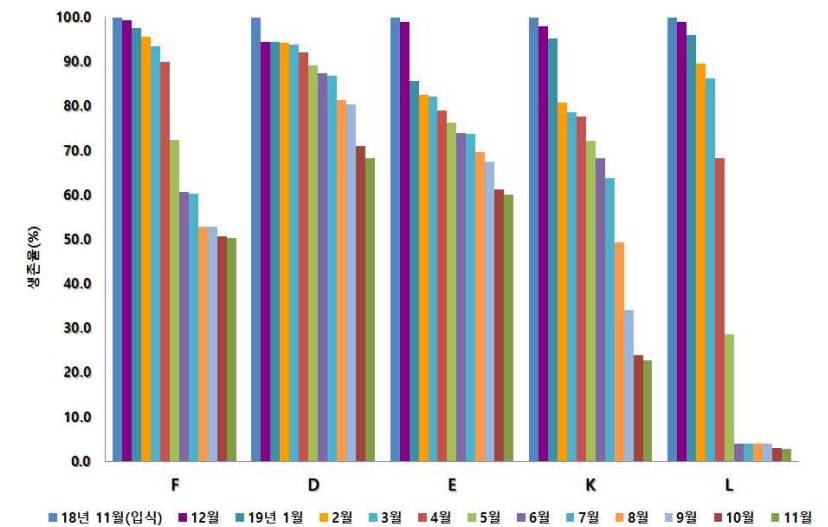


그림 49. 소형개체 시험구 월별 생존추이 분석

중형개체 시험구의 성장도 및 생존율 변화추이를 분석결과(그림 50, 51), 전반적으로 입식대비 성장도는 시험구별 최소 -14.1 % ~ 최대 22.2 % 증가하였으며, 생존율은 최소 39.4 ~ 최대 75.6 %를 나타내어 시험구간 성장도 및 생존율에 큰 차이를 나타내고 있었다.

중형개체의 시험구별 성장도 및 생존율을 분석한 결과(표 15, 16), 시험구 A는 '18년 11월 입식 시 평균중량 30.2 g에서 '19년 11월 36.9 g으로 12개월간 약 6.7 g 성장하였다.

월별 성장추이는 '19년 6월 평균중량이 44.0 g으로 입식대비 약 46 % 성장해 최대 중량을 나타내었으며, 19년 10월 32.2 g으로 입식 당시 수준으로 감소하여 최소 중량을 나타내고 있었다. 생존율 변화는 최종 생존율 75.6 %를 나타내어 중간육성 시험구 중 가장 높은 성장률을 보였다.

시험구 B는 입식 시 평균중량 27.6 g에서 '19년 11월 23.7 g으로 12개월간 평균중량이 약 3.9 g 감소하였다. 월별 성장추이는 '19년 4월 평균중량이 35.2 g으로 입식대비 약 28 % 가량 성장하여 최대 중량을 나타내었으며, 19년 10월 18.5 g으로 입식대비 최소 중량을 나타내었다. 생존율 변화는 최종 생존율 50.4 %를 나타내었다.

시험구 C는 입식 시 평균중량 29.6 g에서 '19년 11월 25.3 g으로 12개월간 평균중량이 약 4.3 g 감소하였다. 월별 성장추이는 '19년 4월 평균중량이 34.0 g으로 입식대비 약 15 % 가량 성장하여 최대 중량을 나타내었으며, 19년 9월 19.5 g으로 입식대비 최소 중량을 나타내었다. 생존율 변화는 최종 생존율 67.8 %를 나타내었다.

시험구 H는 입식 시 평균중량 25.8 g에서 '19년 11월 31.2 g으로 12개월간 평균중량이 약 5.4 g 증가하였다. 월별 성장추이는 '19년 11월 평균중량이 31.2 g으로 입식대비 약 21 % 가량 성장하여 최대 중량을 나타내었으며, 19년 6월 19.5 g으로 입식대비 최소 중량을 나타내었다. 생존율 변화는 최종 생존율 49.4 %를 나타내었다.

시험구 I는 입식 시 평균중량 31.4 g에서 '19년 11월 27.6 g으로 12개월간 평균중량이 약 3.8 g 감소하였다. 월별 성장추이는 평균 중량이 입식대비 낮은 수준을 유지하였으며, 19년 9월 18.1 g으로 입식대비 최소 중량을 나타내었다. 생존율 변화는 최종 생존율 39.4 %를 나타내어 중간육성 시험구 중 가장 낮은 성장률을 보였다.

따라서, 중형개체의 시험구별 성장도 및 생존율을 분석한 결과는 시험구 A에서 입식대비 성장도가 약 46 % 증가하였고, 최종 생존율은 75.6 %로 시험구 중 가장 높은 생존율을 나타내어 가장 우수한 조건임으로 확인되었다.

표 15. 중형개체 시험구 월별 성장도 분석결과

시험구 월별	개체 평균중량(g)				
	A ¹⁾	B ²⁾	C ³⁾	H ⁴⁾	I ⁵⁾
'18년 11월	30.2	27.6	29.6	25.8	31.4
12월	35.0	34.6	27.3	29.0	28.4
'19년 1월	32.3	27.8	29.1	29.1	27.2
2월	34.0	29.9	31.2	28.0	28.6
3월	37.5	31.7	31.9	28.9	25.8
4월	41.2	35.2	34.0	29.2	27.1
5월	42.6	32.1	30.6	24.3	28.7
6월	44.0	27.8	24.4	19.5	22.8
7월	38.1	24.6	22.5	20.1	19.4
8월	36.7	19.4	23.0	22.3	19.6
9월	35.6	20.2	19.5	22.5	18.1
10월	30.2	18.5	23.9	23.5	23.7
11월	36.9	23.7	25.3	31.2	27.6

1) 밀도 0.5, 전복과관, 먹이 1일 1회

2) 밀도 1.0, 전복과관, 먹이 1일 1회

3) 밀도 1.5, 전복과관, 먹이 1일 1회

4) 밀도 0.5, 전복과관, 먹이 2일 1회

5) 밀도 1.0, 전복과관, 먹이 2일 1회

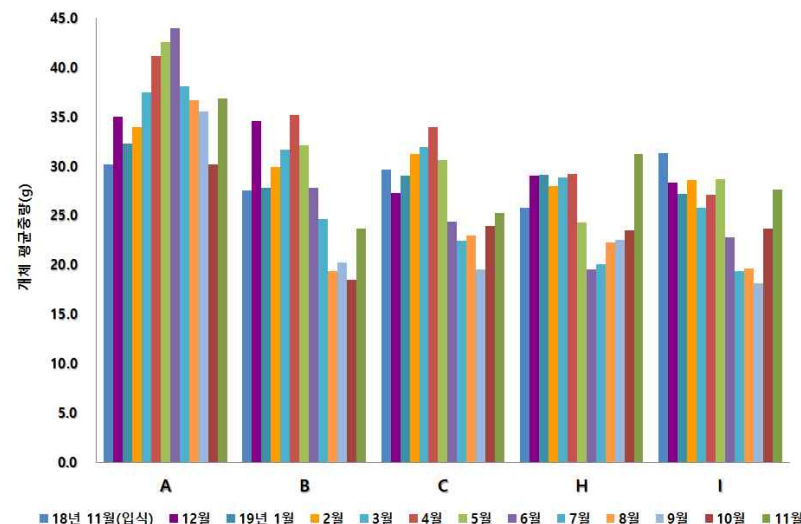


그림 50. 중형개체 시험구 월별 성장추이 분석

표 16. 중형개체 시험구 월별 생존율 분석결과

시험구 월별	생존율(%)				
	A ¹⁾	B ²⁾	C ³⁾	H ⁴⁾	I ⁵⁾
'18년 11월	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
12월	100.0	100.0	100.0	100.0	98.4
'19년 1월	89.3	84.9	83.8	97.1	86.4
2월	83.6	81.0	81.9	89.5	83.0
3월	83.1	80.4	79.7	84.9	83.0
4월	83.1	78.7	79.7	84.9	82.6
5월	81.3	78.3	77.6	84.9	80.3
6월	77.3	78.1	75.5	76.6	77.9
7월	77.3	78.1	75.2	76.6	77.4
8월	77.3	75.0	70.1	71.5	75.4
9월	77.3	68.6	69.4	70.3	57.9
10월	76.4	52.7	67.8	51.5	41.2
11월	75.6	50.4	67.8	49.4	39.4

1) 밀도 0.5, 전복과판, 먹이 1일 1회
 3) 밀도 1.5, 전복과판, 먹이 1일 1회
 5) 밀도 1.0, 전복과판, 먹이 2일 1회

2) 밀도 1.0, 전복과판, 먹이 1일 1회
 4) 밀도 0.5, 전복과판, 먹이 2일 1회

대형개체 시험구의 성장도 및 생존율 변화추이를 분석결과(그림 52, 53), 전반적으로 입식대비 성장도는 시험구별 최소 8.5 % ~ 최대 15.1 % 증가하였으며, 생존율은 최소 10.6 ~ 최대 80.3 %를 나타내어 시험구간 성장도 및 생존율에 큰 차이를 나타내고 있었다.

대형개체의 시험구별 성장도 및 생존율을 분석한 결과(표 17, 18), 시험구 J는 '18년 11월 입식 시 평균중량 35.8 g에서 '19년 11월 25.0 g으로 12개월간 약 10.8 g 감소하였다. 월별 성장추이는 '19년 1월 평균중량이 43.8 g으로 입식대비 약 24 % 성장해 최대 중량을 나타내었으며, 19년 11월 25.0 g으로 입식대비 최소 중량을 나타내었다. 최종 생존율은 10.6 %를 나타내었다.

시험구 G는 입식 시 평균중량 37.7 g에서 '19년 11월 34.8 g으로 12개월간 평균중량이 약 2.9 g 감소하였다. 월별 성장추이는 '19년 1월 평균중량이 52.8 g으로 입식대비 약 40 % 가량 성장하여 최대 중량을

나타내었으며, 19년 8월 26.2 g으로 입식대비 최소 중량을 나타내었다. 최종 생존율은 80.3 %를 나타내었다.

따라서, 대형개체의 시험구별 성장도 및 생존율을 분석한 결과는 시험구 G에서 입식대비 성장도가 약 40 %가량 증가였으며, 최종 생존율은 80.3 %로 시험구 중 가장 높은 생존율을 나타내어 가장 우수한 조건임으로 확인되었다.

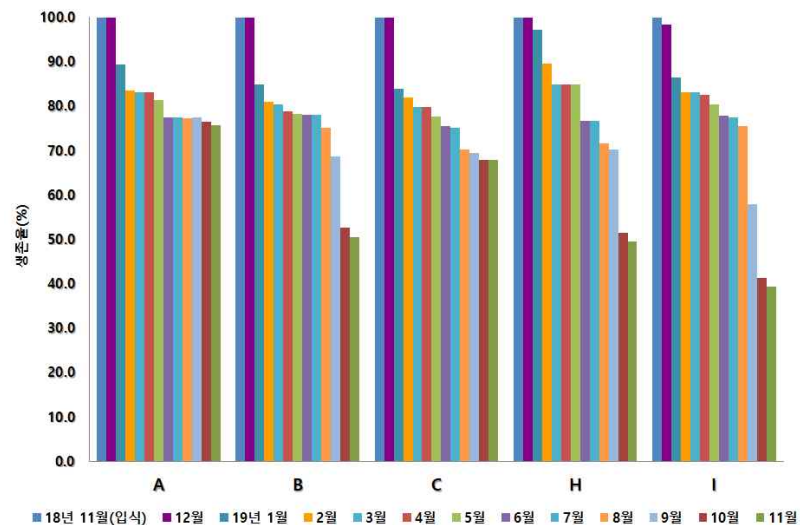


그림 51. 중형개체 시험구 월별 생존추이 분석

표 17. 대형개체 시험구 월별 성장도 분석결과

시험구 월별	개체 평균증량(g)	
	J ¹⁾	G ²⁾
'18년 11월	35.8	37.7
12월	42.9	48.7
'19년 1월	44.3	52.8
2월	40.9	43.9
3월	37.8	42.3
4월	35.9	43.3
5월	36.7	41.8
6월	33.8	34.5
7월	29.6	27.3
8월	27.0	26.2
9월	26.6	29.6
10월	25.5	31.3
11월	25.0	34.8

1) 밀도 1.5, 전복과판, 먹이 2일 1회,

2) 밀도 1.0, 랫셀망, 먹이 2일 1회

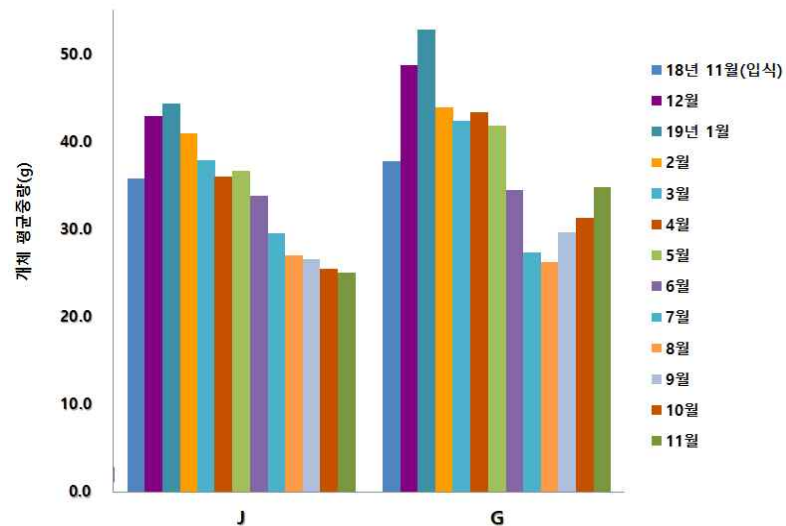


그림 52. 대형개체 시험구 월별 성장추이 분석

표 18. 대형개체 시험구 월별 성장도 분석결과

시험구 월별	생존율(%)	
	J ¹⁾	G ²⁾
'18년 11월	100.0	100.0
12월	99.4	99.6
'19년 1월	98.9	97.1
2월	96.6	97.1
3월	95.8	95.0
4월	92.2	95.0
5월	65.3	94.5
6월	31.7	86.1
7월	26.6	85.3
8월	23.2	84.5
9월	19.0	81.1
10월	11.2	81.1
11월	10.6	80.3

1) 밀도 1.5, 전복과판, 먹이 2일 1회,

2) 밀도 1.0, 랫셀망, 먹이 2일 1회

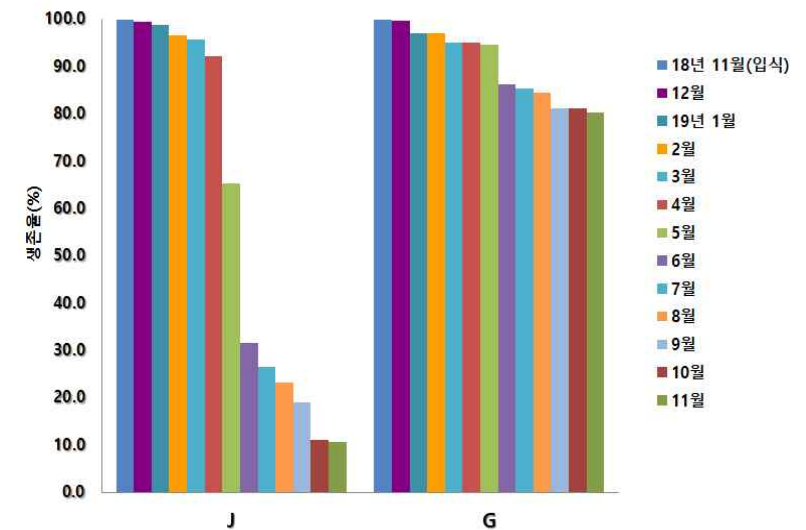


그림 53. 대형개체 시험구 월별 생존추이 분석

2) 입식밀도에 따른 성장

해삼의 육상양성에 있어 수용밀도는 성장이나 생존율을 좌우하는 중요한 요인 중 하나이다. 특히, 해삼과 같이 일정한 공간을 요구하는 생물에 있어서 종자 크기별 적정 사육밀도를 파악하는 것을 매우 중요하며, 이러한 적정 사육밀도를 토대로 우량종자의 대량생산을 가능하게 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 해삼 양생 기구의 적정 입식 밀도를 구명하기 위하여 해삼 양생 기구의 단위 면적당 해삼의 초기 수용 밀도를 달리하고 약 12개월간 해삼의 생존율과 성장률을 조사를 실시하였다.

입식밀도 및 먹이급이 빈도에 따른 소형개체의 성장을 비교하기 위하여 전 연구기간에 걸쳐 조건별 평균성장도를 분석한 결과, 시험구 F는 평균 중량 18.1 g을 나타내었으며, 입식대비 6.2 g 성장하여 약 52.3%의 성장률을 보였다. 시험구 D는 평균 중량 18.2 g을 나타내었으며, 입식대비 4.9 g 성장하여 약 37.1%의 성장률을 보였다. 시험구 E는 평균 중량 14.2 g을 나타내었으며, 입식대비 0.6 g 성장하여 약 4.5%의 성장률을 보였다. 시험구 K는 평균 중량 16.9 g을 나타내었으며, 입식대비 0.7 g 성장하여 약 4.5%의 성장률을 보였다. 시험구 L은 평균 중량 16.4 g을 나타내었으며, 입식대비 5.0 g 성장하여 약 43.6%의 성장률을 보였다. 소형개체 시험구의 경우 동일 먹이급이 조건일 때, 1일 1회 먹이 시험구의 경우, 0.5 kg/m², 0.7 kg/m² 및 1.0 kg/m²의 각 밀도 조건별에서 18.2g > 18.1g > 14.2g의 평균중량을 나타내었고, 2일 1회 먹이 시험구의 경우 0.5 kg/m² 및 1.0 kg/m² 각 밀도 조건별에서 16.9 g > 16.4 g 의 평균중량을 나타내어, 밀도가 낮을 수록 성장도가 높은 경향을 나타내었다.

입식밀도 및 먹이급이 빈도에 따른 중형개체의 성장을 비교하기 위하여 전 연구기간에 걸쳐 조건별 평균성장도를 분석한 결과, 시험구 A는 평균 중량 37.0 g을 나타내었으며, 입식대비 6.8 g 성장하여 약 22.5%의 성장률을 보였다. 시험구 B는 평균 중량 27.1 g을 나타내었으며, 입식대비 0.4 g 감소하여 약 1.7%의 감소율을 보였다. 시험구 C는 평균 중량 26.9 g을 나타내었으며, 입식대비 2.7 g 감소하여 약 9.1%의 감소율을 보였다. 시험구 H는 평균 중량 25.6 g을 나타내었으며, 입식대비 0.2 g 감소하여 약 0.6%의 감소율을 보였다. 시험구 I는 평균 중량 24.8 g을 나타내었으며, 입식대비 6.7 g 감소하여 약 21.2%의 감소율을 보였다. 중형개체 시험구의 경우 동일 먹이급이 조건일 때, 1일 1회 먹이 시험구의 경우, 0.5 kg/m², 1.0 kg/m² 및 1.5 kg/m²의 각 밀도 조건별에서 30.2 g > 18.5 g, 19.5 g의 평균중량을 나타내었고, 2일 1회 먹이 시험구의 경우 0.5 kg/m² 및 1.0 kg/m² 각 밀도 조건별에서 19.5 g > 18.1 g 의 평균중량을 나타내어, 1일 1회 먹이급이 시험구, 1.5 kg/m² 밀도 조건을 제외하고 전반적으로 밀도가 낮을 수록 성장도가 높은 경향을 나타내고 있었다.

입식밀도 및 먹이급이 빈도에 따른 대형개체의 성장을 비교하기 위하여 전 연구기간에 걸쳐 조건별 평균성장도를 분석한 결과, 시험구 J는 평균 중량 33.8 g을 나타내었으며, 입식대비 2.0 g 감소하여 약 5.5%의 감소율을 보였다. 시험구 G는 평균 중량 3.0 g을 나타내었으며, 입식대비 0.3 g 증가하여 약 0.9%의 성장률을 보였다. 대형개체 시험구의 경우, 2일 1회의 동일한 먹이급이 조건일 때, 1.0 kg/m² 및 1.5 kg/m²의 각 밀도 조건별에서 38.0 g > 33.8 g의 평균중량을 나타내어 밀도가 낮을 수록 성장도가 높은 경향을 나타내었다.

3) 먹이급이 빈도에 따른 성장

먹이급이 빈도에 따른 시험구는 1일 1회 먹이급이 구간과 2일 1회 먹이급이 구간으로 나누어 시험조건을 설정하였으며, 약 12개월간 매월 성장도 및 생존율 변화추이를 분석하였다(그림 54, 55).

그 결과, 소형개체의 경우 동일 입식밀도 조건에서 전반적으로 2일 1회 먹이급이구(시험구 K, L)가 1일 1회 먹이급이구(시험구 D, E)에서보다 높은 생존율을 보였으며, 중형개체에서도 동일 입식밀도 조건에서 전반적으로 2일 1회 먹이급이구(시험구 H, I)가 1일 1회 먹이급이구(시험구 A, B)보다 높은 생존율을 나타내었다.

대형개체의 경우 모든 조건이 2일 1회 급이구이기 때문에 해당사항이 없었다.



그림 54. 여름철(7~8월) 1일 1회 먹이급이구 수질환경 점검결과

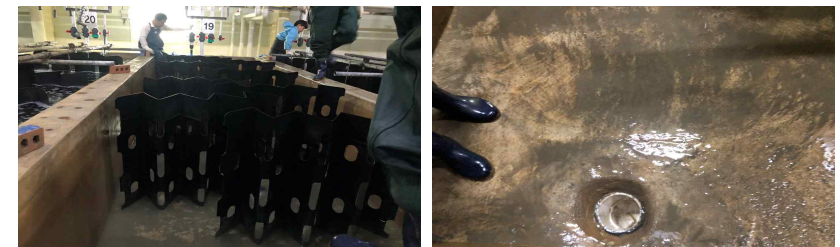


그림 55. 여름철(7~8월) 2일 1회 먹이급이구 수질환경 점검결과

4) 부착기질별 성장

대형개체를 랫셀망에 양성할 경우, 입식밀도 및 먹이급이 빈도가 동일한 조건에 대하여 전복셀타에 양성했던 소형개체(그림 56), 중형개체는 각 2.7 %, 39.4 %의 생존율을 나타내었다. 반면 랫셀망 양성 시험구의 경우 80.3 %로 전 시험구 대비 가장 높은 생존율을 나타내었고, 육안상 돌기나 해삼의 활성화 면에서 가장 우수한 상태를 나타내었다(그림 59). 소형개체를 랫셀망에서 양성할 경우 생존율 27.6 %를 나타내었고, 육안상 표피에 상처가 난 개체가 많이 관찰되어, 상처로 인한 질병감염이 주요 폐사 원인으로 작용하였을 것이라 생각된다(그림 58).



그림 56. 전복셀타를 활용한 해삼 양성



그림 57. 전복셀타의 문제점 및 개선사항



그림 58. 랫셀망을 활용한 소형개체 해삼 양성

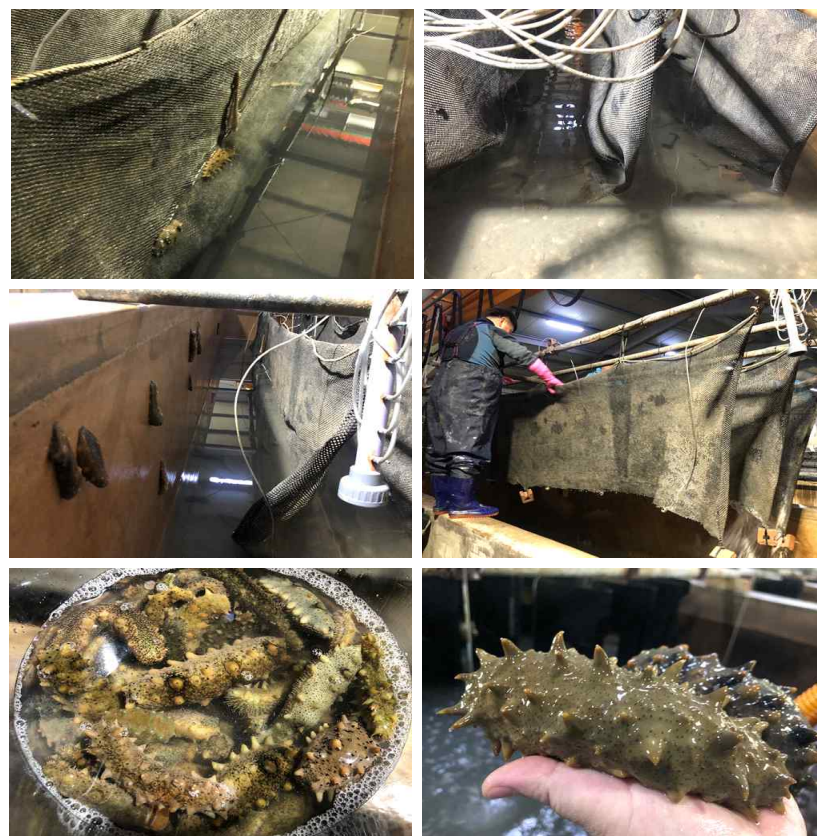


그림 59. 랫셀망을 활용한 대형개체 해삼 양성

사. 중간육성 양식기술 공정도

본 시험에서 도출된 결과를 토대로, 진도권역의 해양환경 및 양성조건에 따른 중간육성 양식기술 공정도를 그림 60.과 같이 제시 해보고자 한다.

중간육성 양식기술 공정도

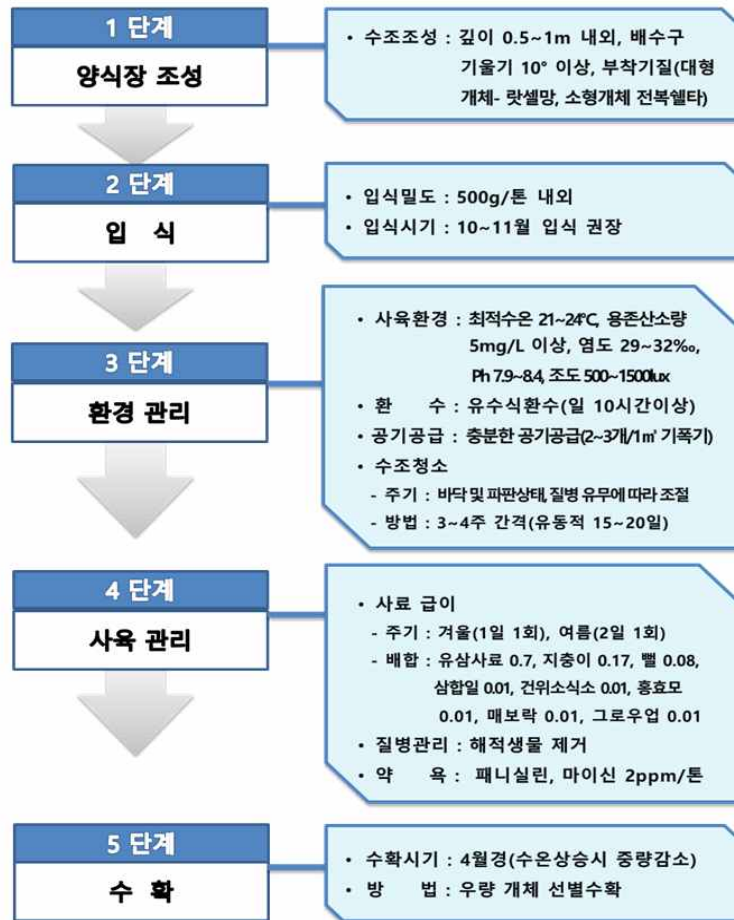


그림 60. 중간육성 양식기술 공정도

아. 결론

크기별 해삼의 성장도 및 생존율 변화추이를 분석결과, 소형개체에서는 전반적으로 입식대비 성장도는 시험구별 최소 9.7 % ~ 최대 236.4 %로 증가하였으며, 생존율은 최소 2.7 ~ 최대 68.3 %를 나타내어 시험구간 성장도 및 생존율에 큰 차이를 나타내고 있었다. 가장 우수했던 시험구는 D조건으로 입식대비 성장도가 약 75 %가량 증가하였고, 최종 생존율이 68.3 %로 가장 높은 생존율을 나타내었다.

중형개체에서는 전반적으로 입식대비 성장도는 시험구별 최소 -14.1 % ~ 최대 22.2 % 증가하였으며, 생존율은 최소 39.4 ~ 최대 75.6 %를 나타내어 시험구간 성장도 및 생존율에 큰 차이를 나타내고 있었다. 가장 우수했던 시험구는 A조건으로 입식대비 성장도가 약 46 %가량 증가였고, 최종 생존율은 75.6 %로 가장 높은 생존율을 나타내었다.

대형개체에서는 전반적으로 입식대비 성장도는 시험구별 최소 8.5 % ~ 최대 15.1 % 증가하였으며, 생존율은 최소 10.6 ~ 최대 80.3 %를 나타내어 시험구간 성장도 및 생존율에 큰 차이를 나타내고 있었다. 가장 우수했던 시험구는 G조건으로 입식대비 성장도가 약 40 %가량 증가였고, 최종 생존율은 80.3 %로 가장 높은 생존율을 나타내었다.

입식밀도 조건에 따른 해삼의 성장을 비교분석 한 결과, 소형개체 시험구의 경우 동일 먹이급이 조건일 때, 1일 1회 먹이 시험구의 경우, 0.5 kg/㎡, 0.7 kg/㎡ 및 1.0 kg/㎡의 각 밀도 조건별에서 18.2g > 18.1g > 14.2g의 평균중량을 나타내었고, 2일 1회 먹이 시험구의 경우 0.5 kg/㎡ 및 1.0 kg/㎡ 각 밀도 조건별에서 16.9 g > 16.4 g의 평균중량을 나타내어, 밀도가 낮을 수록 성장도가 높은 경향을 나타내었다. 중형개체 시험구의 경우 동일 먹이급이 조건일 때, 1일 1회 먹이 시험구의 경우, 0.5 kg/㎡, 1.0 kg/㎡ 및 1.5 kg/㎡의 각 밀도 조건별에서 30.2 g > 18.5 g, 19.5 g의 평균중량을 나타내었고, 2일 1회 먹이 시험구의 경우 0.5 kg/㎡ 및 1.0 kg/㎡ 각 밀도 조건별에서 19.5 g > 18.1 g의 평균중량을 나타내어, 1일 1회 먹이 급이 시험구, 1.5 kg/㎡ 밀도 조건을 제외하고 전반적으로 밀도가 낮을 수록 성장도가 높은 경향을 나타내고 있었다. 대형개체 시험구의 경우, 2일 1회의 동일한 먹이급이 조건일 때, 1.0 kg/㎡ 및 1.5 kg/㎡의 각 밀도 조건별에서 38.0 g > 33.8 g의 평균중량을 나타내어 밀도가 낮을 수록 성장도가 높은 경향을 나타내었다.

먹이급이 빈도에 따른 해삼의 성장을 비교분석 한 결과, 소형개체의 경우 동일 입식밀도 조건에서 전반적으로 2일 1회 먹이급이구(시험구 K, L)가 1일 1회 먹이급이구(시험구 D, E)에서보다 높은 생존율을 보였으며, 중형개체에서도 동일 입식밀도 조건에서 전반적으로 2일 1회 먹이급이구(시험구 H, I)가 1일 1회 먹이급이구(시험구 A, B)보다 높은 생존율을 나타내었다.

부착기질에 따른 해삼의 성장을 비교분석 한 결과, 전복셀타에 양성했던 소형 개체, 중형개체는 각 2.7 %, 39.4 %의 생존율을 나타낸 반면, 랫셀망 양생 시험구의 경우 80.3 %로 전 시험구 대비 가장 높은 생존율을 나타내었으며, 육안상 돌기나 해삼의 활동도 면에서 가장 우수한 상태를 보였다. 소형개체를 랫셀망에서 양생할 경우 생존율 27.6 %를 나타내었고, 육안상 표피에 상처가 난 개체가 많이 관찰되었으며, 상처로 인한 질병감염이 주요 폐사 원인일 것으로 추측 된다.

이상의 결과를 토대로, 소형개체 시험구의 경우 시험구D 조건과 같이 입식밀도를 톤당 500g으로하고, 전복파판을 부착기질로 사용하며 먹이는 1일 1회 급이구로 양성하였을 때 가장 우수했던 것으로 확인되었다. 중형개체 시험구의 경우 시험구A 조건으로 양성하였을 때 가장 우수했던 것으로 확인 되었으며, 이는 소형개체에서 우수하다고 선발된 톤당 500g 입식, 전복파판, 1일 1회급이 조건이었다. 대형개체 시험구의 시험구 G와 같이 입식밀도를 톤당 1,000g으로하고, 랫셀망을 부착기질로 사용하며 먹이는 2일 1회 급이구로 양성하였을 때 가장 우수했던 것으로 확인되었다.

성장 시기는 시험구 간의 차이가 발생하였지만 주로 11월 ~ 12월, 4월 ~ 6월에 비교적 성장도가 크게 증가하는 경향을 보였고, 이때의 평균수온은 11.0 ~ 17.4 °C로 해삼의 활동기에 해당되었다. 반면, 6 ~ 9월에는 개체중량이 급격히 감소하거나 변화가 적은 경향을 보였으며, 이때의 평균수온은 17.4 ~ 20.7 °C로 해삼의 섭이활동이 감소하는 하면전기에 해당되었다. 국립수산물학원의 홈페이지(www.nifs.go.kr)에서 발췌한 기 조사 자료에 의하면 개체중량 10 g의 종자를 입식했을 때, 10월부터 2월까지 겨울철에는 성장 거의 이루어지지 않았고 큰 개체의 폐사 및 섭식불량으로 체장과 전 중량이 감소하는 경향을 나타내었다. 또한, 4월부터 6월까지 약 3개월간 총 중량이 35 g 이상으로 급속히 성장하는 경향을 보여, 본 연구의 조사결과와 비슷한 성장 추이를 나타내고 있었다.

뿐만 아니라, 국립수산물학원의 해삼 생존율 조사결과 저수온기가 끝나가는 2월 하순부터 3월까지 높은 폐사율을 나타내어 약 8개월간 양성한 시험구의 생존율은 최종적으로 55 ~ 60% 내외를 나타내고 있었다.

국립수산물학원의 해삼 월하 양식시험 연구결과, 7월부터 10월까지 여름철 자연수온구의 경우 총 중량이 12.9kg에서 6.9kg으로 44.2 % 가량 급격히 감소하였고, 냉각 시험구의 경우 12.6 kg에서 11.0 kg으로 총 중량이 12.7 % 가량 감소하여 자연수온구와 냉각시험구간의 중량차이는 약 31.5 %를 나타내고 있었다. 이때의 생존율은 두 시험구 모두 100%였다. 본 시험연구 결과와 비교하였을 때, 중간육성 양식장은 냉수대의 영향을 받기 때문에 여름철에 냉각장치를 사용하지 않고도 최고 평균수온이 21.2 °C를 넘지 않았으며, 7월부터 10월까지 4개월간 생존율

이 소폭 감소한 시험구와 비교해 보았을 때, 총 중량이 4 ~ 21.6 % 감소된 점으로 미루어보아 냉수대 해역에서의 중간육성 양식의 가능성과 경제성 및 양식효율성 면에서의 기대효과를 예상해 볼 수 있었다.

해삼은 초기 종자를 입식할 때부터 중간육성 단계까지 대부분 배합사료에 의존하고 있으며, 이 시기에 많은 폐사가 발생하고 있다. 이에, 안정적인 생산량 확보 및 경제성 향상을 도모하기 위해서는 수온, 수질환경 및 생물의 상태 변화에 따라 사료급여량을 유동적으로 조절할 수 있어야 하며, 양질의 배합사료를 사용하는 것이 바람직하다.

그러나, 2014년 국립수산물학원의 해삼 인공종묘생산 가이드북의 내용에 따르면 국내 해삼 종묘생산 및 육성용 사료는 연구가 미흡하고, 해삼 배합사료는 국내 수요량이 적어 현재는 대부분 중국 수입 사료에 의존하고 있는 실정이다. 뿐만 아니라 중국산 사료의 경우 비소함량이 사료 내 유해물질 허용 기준치를 초과하여 정상적으로 수입이 불가능하기 때문에 공급이 불안정하고, 품질의 균일성 및 제품의 안전성이 확보되지 않는다는 문제점이 있다.

국립수산물학원 사료연구센터에서 ' 13년도부터 ' 15년도까지 해삼 종묘생산 및 육성용 배합사료 개발하였으나, 실제 종자생산 어가에 생산 보급하였을 때, 단백질 함량이 높아 섭이 시 해삼의 입이 부르트고 사료를 섭이하지 않아 국내 해삼 양식 어가에서의 선호도가 낮은 편으로 확인되고 있다. 이에, 해삼종자 생산어가에서는 여전히 중국 사료에 대한 의존도가 높은 실정이며, 사료 수급문제로 해삼양식을 포기하는 종자 생산어가들의 사례가 발생하면서 실제 양식현장에서 적용 가능한 국내산 해삼 육성용 배합사료 개발과 이에 관한 연구의 필요성이 더욱 절실히 대두되고 있는 바이다.

이에, 우리 지원에서는 추후 해삼 대량양식 및 산업화를 위하여 국내산 원료를 사용해 수급이 안정적이고, 기존에 개발된 사료에서 단백질 과잉양 및 사료선호도 문제 등이 개선된 해삼사료 연구 개발을 추진할 계획이다. 장기적으로는 자체 개발된 사료를 어가에 보급하고 사료공급량 및 공급빈도에 관한 가이드라인을 제시하여 어업인의 양식기술 안정화 및 자립기반 정착에 기여하고자 한다.

◎ 참고문헌

1. 김연계·임치원·박희연·변한석·박진일·윤호동·목종수·윤나영·이두석·문호성·이문희·박미주·김유아. 2009. 한국 수산물 성분표. 국립수산물과학원, 90p.
2. Dar, M.A. and Ahmad H.O. 2006. The feeding selectivity and ecological role of shallow water holothurians in the red sea. *Geche de mar information bulletin*, 24: 11-21.
3. Liu, S., Dong X. Tian W. and Gao Q. 2010. The effect of different macroalgae on the growth of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. *Aquaculture research*, 2: 1-5.
4. Purcell, S.W., Samyn Y. and Conand C. 2012. Commercially Important Sea Cucumbers of the World. *FAO Species catalogue for fishery purposes*, 6: 86-87.
5. 谢忠明·隋锡林·高绪生. 2009. 海参 海胆增殖技术. 金盾出版社, 259p.
6. 崔相. 1963. なまこの研究(形態・生態・増殖). 東京, 海文堂, 226p.
7. <http://blog.naver.com/wlwl1016?Redirect=Log&logNo=205119196>
8. <http://cafe.naver.com/narwhal/143>
9. <http://china.kita.net/>
10. <http://www.customs.go.kr/kcshome/index.jsp>
11. <http://fao.org/fishery/statistics/en>
12. <http://fs.fips.go.kr/>
13. <http://wenku.baidu.com/view/9b722216c281e53a5802ff2a.html>
14. <http://www.maff.go.jp/>
15. Giraspy, B.(2006), Sea cucumber farming in Australia - paving the way for a sustainable sea cucumber industry, *INFOFISH INTERNATIONAL*, Vol.- No.5 , p15-24
16. QIU XUEYAN(2017), 중국 해삼양식의 양식방법별 경제성 비교, 부경대학교대학원 해양수산경영학과 석사학위논문
17. Tuwo, A.(2006), Status of sea cucumber fisheries and farming in Indonesia, *FAO FISHERIES TECHNICAL PAPER*, Vol.- No.463, p49-56
18. Wang, G., Dong, S., Tian, X., Gao, Q., Wang, F., Xu, K.(2015), Life cycle assessment of different sea cucumber (*Apostichopus japonicus* Selenka) farming systems, *JOURNAL- OCEAN UNIVERSITY OF CHINA*, Vol.14 No.6
19. Xianxian, Z. (2015), On Sea Cucumber Aquaculture Technology Based on Survival Environment, *JOURNAL OF ANHUI AGRICULTURAL SCIENCES*, Vol.41 No.12, p5357-5358
20. 서대철, 이황복, 김영룡, 박은경, 이대섭, 정현욱, 차구용, 정병석, 이순영, 박종
21. 규, 정광석(2015), 트랙형 축제식 해삼양식 기술개발
22. 전제천(2009), 해삼 양식 기술개발, 국립수산물과학원
23. 정재현(2017), 해삼 사료원료별 성장 및 소화생리, 강릉원주대학교 산업대학원 해양생명공학과 석사학위논문
24. 국가통계포털, <http://kosis.kr>, (2018년 11월 20일)
25. 농수산식품유통공사, www.at.or.kr, (2018년 11월 20일)
26. 강석중(2011), 한국 해삼양식산업의 발전을 위한 제도 개선, 아쿠아인포.
27. 공영삼(1981), 충무 한실표에 있어서 갈피의 상태, 통영수산전문대학.
28. 국립수산물과학원(2009), 해삼 양식 기술개발, 2009년도 국립수산물과학원 사업보고서.
29. 국립수산물진흥원 여천 종묘 배양장(1993), 패류 양식 기술 개발 현황과 전망.
30. 교육과학기술부(2011), 고등학교 수산물 유통.
31. 남해 수산 종묘 배양장(1996), 패류 인공 종묘 생산 및 관리.
32. 농림수산식품부(2009), 해삼 가두리양식 실용화 시험.
33. 농림수산식품부(2011), 초밀도 육상순화여과시스템에 의한 해삼양식.
34. 농림수산식품부(2012), 해삼양식 가이드북.
35. 해양수산과학원(2013), 해삼양식 가이드북.
36. 농림수산식품부(2012), 해삼시험연구사업
37. 진도군(2016), 해삼양식 산업화 기술 개발
38. 해양수산부(2013), 해삼 양식산업 기술개발 연구사업
39. 박영제, 전제천(2008), 중국 해삼양식 동향 및 한국해삼양식 개발동향, 한국해삼양식발전전략, 아쿠아인포.
40. 부산 수산 대학(1996), 천해 양식.
41. 월간 수산양식(2013), 홍해삼 대량생산 위한 바다양식 시험 추진.
42. 월간 수산양식(2013), 동해안 해삼양식 생산현황과 거점 육성방안.
43. 제주대학교(1998), 수산양식(하), 대한교과서.
44. 권인영, 문선주, 김태호. (2017). 해삼에서 VIE 추적 조사에 의한 양성 기구의
45. 수용 밀도 및 개체 크기별 해삼 (*Apostichopus japonicus* , Selenka)의 성장 비교. , 53(1), 49-59.
46. 국립해양수산과학원, www.nifs.go.kr, (2020년 1월 2일)

부 록

1. 추진전략

가. 세계 해삼산업의 현황

1) 해삼산업 시장현황 및 전망

- 회귀분석법으로 예측한 중화권의 해삼(*Apostichopus japonicus*) 수요량은 2016년 205,000톤에서 2025년 390,000톤으로 증가, 연 7.42% 성장할 것으로 예측되며, 최근 중국 및 일본의 해삼 생산이 환경오염 등으로 정체되고 있는 상황을 감안하면 한국의 중화권에 대한 해삼 수출전망은 긍정적인 것으로 판단됨
- 중화권에서 선호하는 해삼이 전라남도에서 생산되고 있으며, 진도군 등에 자연적인 해삼 성장에 장점이 있는 냉수대가 형성되어 있고, 대중국 수출을 위한 지리적 여건이 양호함
- 전라남도의 해삼 생산량은 2017년 기준 98톤으로 국내 생산의 4.8%로 다른 지자체와 비교 시 적은 실정으로, 진도군의 간척지를 이용한 트랙형 양식장 조성 시 해삼산업화를 위한 대량 생산의 기반이 마련될 것으로 기대됨

2) 해삼시장 공략 및 마케팅 전략방안

- 신제품 개발 전략 : 국내 해삼 소비량을 늘리기 위해 해삼의 콘드로이친 성분을 활용한 기능성 화장품 개발과 해삼 엑기스, 해삼환, 즉석 냉동식품 등 소비자 섭취 편의성 강화를 위한 다양한 제품 개발이 필요하고, 해삼의 노화방지, 고혈압 치료 효능에 대해 전문가를 이용한 홍보 강화전략이 요구됨
- 가격 전략 : 한국의 청정 돌기해삼에 대한 브랜드화 전략으로 중국 양식해삼보다 높은 가격을 책정하고, 해삼 공사 중심으로 해삼 수출업자 수출금융 지원책을 수립하여 중국 유통업자에 대한 협상력을 강화하는 것이 필요
- 유통 전략 : 국내 해삼 공동물류창고 조성으로 출하시기를 조정하여 대 중국 수출 협상력을 강화하는 것이 필요하고, 중국 시장에 알리바바, T몰 등 인터넷 직판매를 할 수 있는 유통경로 확보
- 조직 전략 : “한국해삼공사”를 설립하여 신제품 개발과 유통 및 수출전략을 총괄할 수 있는 관리 조직 구축이 필요하고, 지자체간 해삼산업 육성을 위해 과당 경쟁을 지양할 수 있는 협력 시스템 구축이 필요함

나. 해삼산업단지 최적지 선정

1) 냉수대 해역 검토

- 2009~2018년 위성자료 조사를 통한 전라남도 해역의 발생위치가 신안군 및 진도군 인근해역으로 판명
- 진도군의 상조도, 하조도, 불무도, 가사도 및 전두리 인근 해역과 신안군의 도

초도, 비금도 및 하의도 인근해역이 평균 수온 22° C로 측정되었고 냉수대가 매년 7~9월에 발생한 것으로 조사됨

- 노화도 및 보길도 인근해역의 평균 수온은 25° C로 측정되어 진도군 인근해역에 비해 상대적으로 약한 냉수대가 형성되었음

2) 해삼의 생리·생태를 고려한 수질환경 모델 제시

- 신안군, 진도군, 해남군 및 완도군내 모든 간척지의 전수조사 (총 896 지점)
- 해삼의 최적 서식기준을 토대로 전라남도내 모든 해양환경측정망의 수온, 염분, 투명도, 용존산소(dissolved oxygen, DO), pH, 화학적산소요구량(chemical oxygen demand, COD) 및 영양염(질산염, 아질산염 및 인산염)별로 각각 상·중·하로 등급을 설정
- 전라남도내 해양환경측정망을 해삼 최적서식기준에 맞춰 평가 ▶ 양식 최적 : 11지점; 양식 가능 : 11지점; 양식 불가 : 82지점

3) 해삼산업단지 조성을 위한 적지판정

- 양식최적으로 분류된 해양환경측정망 지점의 인근 지역인 신안군, 진도군, 해남군 및 완도군에 위치한 89지점의 간척지를 해삼산업단지의 조성 후보지로 결정하였음
- 해삼산업단지 조성 후보지 89지점의 총 면적은 2,625 ha로 신안군의 해삼산업단지 조성 후보지의 면적은 1,350 ha였으며, 진도군, 해남군 및 완도군은 각각 475, 600 및 200 ha로 조사되었음
- 신안군 및 진도군의 해삼산업단지 조성 후보지 중 염전은 36지점, 양식장은 11지점으로 조사되었으며, 논 및 기타용도로 사용되는 후보지는 43지점으로 조사되었음

4) 트랙형 축제식 양식장 표준모델 설정

- 신안군은 현재 해삼산업단지의 조성을 계획 중이고 해삼양식환경의 최적지로 선정된 신안군 도초면 수다리에 위치한 염전(66.0 ha, 660,000 m²)을 부지로 선정, 소형(6.6 ha, 66,000 m²) 및 대형(66.0 ha, 660,000 m²)으로, 소형은 취·배수의 용이함을 위해 해안 인근의 부지를 조성지로 하며, 대형은 선정된 부지 전체를 조성지로 설정함
- 또한, 해삼양식환경의 최적지로 선정되었으며 현재 해삼산업단지의 조성을 위해 간척지 용도의 변경을 고려 중인 진도군 지산면 보전리의 농업보전지역(220 ha, 2,200,000 m²)을 부지로 선정, 중형(30 ha, 300,000 m²) 및 대형(220 ha,

2,200,000 m²)으로, 중형은 취·배수의 용이함을 위해 해안 인근의 부지를 조성지로 하며, 대형은 선정된 부지 전체를 조성지로 설정함

- 신안군 도초도 지역과 진도군 보전지구에 적합한 트랙형 수조의 규격을 조사한 결과, 100×6 m으로 트랙형 수조를 제작해야 트랙형 축제식 양식장의 조성 이 가능한 것으로 조사
- 신안군 도초도 지역의 소형(66,000 m²) 트랙형 축제식 양식장에는 총 74개의 트랙형 수조가 수용되며 대형(660,000 m²) 트랙형 축제식 양식장에는 최대 740개의 수조가 수용 가능함
- 용이한 토목공사를 위해 논 한칸(10,000 m²)을 1개의 블록으로 설정하였으며 블록내 100×6 m 트랙형 수조 12개가 설치 가능하였음
- 진도군 보전지구의 중형(300,000 m²) 트랙형 축제식 양식장에는 30개의 블록으로 구성되었으며, 총 360개의 수조가 수용 가능하였음
- 대형(2,200,000 m²) 트랙형 축제식 양식장에는 총 150개의 블록으로 구성되었으며, 최대 1,800개의 수조가 수용 가능하였음

다. 해삼산업단지의 경제성 및 마케팅 전략

1) 분석 방법

- 진도군 트랙형 축제식 해삼양식 시험사업의 운영결과로부터 도출된 생물학적 자료(입식량, 중량, 생존율 등)와 국성엔지니어링의 표준모델 설계 및 시설비용 산출 자료, 사업계획을 수립했던 한승진 어업인과 전라남도 해양수산기술원 수산종자연구소 서대철 소장 등의 의견을 바탕으로 한 경제적인 자료(시설비 및 생산비, 시장가격 등)를 경제성 분석을 위한 자료로 활용
- 경제성 분석에 있어서는 향후 10년간의 양식기간 동안 현금유입액(양식수익)과 현금유출액(시설비, 생산비)의 현재가치를 계산(할인율 4.5% 가정), 경제성 평가지표인 순현재가치(net present value, NPV), 편익비용비율(benefit-cost ratio, B/C Ratio), 그리고 내부수익률(internal rate of return, IRR) 추정
 - NPV가 영(0)보다 크고, B/C Ratio 1 이상, 그리고 IRR이 할인율(4.5%) 이상이면 경제성이 있는 것으로 평가

2) 분석 자료

- 전라남도 해양수산기술원 진도지원에서 트랙형 축제식 해삼 시험양식 결과, 생산량은 1차년도(2015년) 1.1 kg/m², 2차년도(2016년) 1.2 kg/m², 그리고 3차년도(2018년) 1.0 kg/m²로 조사됨
- 시설비용은 국성엔지니어링의 설계 및 시설비용 산출 자료를 활용하였으며,

규모별로 신안군 소형 해삼 양식장(66,000 m²)은 약 19억원, 신안군 대형 해삼 양식장(660,000 m²)은 약 151억원, 진도군 중형 해삼 양식장(300,000m²)은 약 70억원, 진도군 대형 해삼 양식장(2,200,000 m²)은 약 329억원의 시설비용이 소요됨

- 운영비용은 사업계획을 수립했던 한승진 어업인과 전라남도 해양수산기술원 서대철 소장으로부터 의견을 청취하여 자료로 활용하였으며, 규모별로 신안군 소형 해삼 양식장(66,000 m²)은 연간 약 2.7억원, 신안군 대형 해삼 양식장(660,000 m²)은 연간 약 24.7억원, 진도군 중형 해삼 양식장(300,000m²)은 연간 약 10.2억원, 진도군 대형 해삼 양식장(2,200,000 m²)은 연간 약 51.1억원의 운영비용이 소요됨
- 통계청 양식해삼의 평균 시장가격은 16,000원/kg (2016~2017년 평균) 으로 조사

3) 분석 결과

- 해삼 양식장을 지역별 규모별로 구분하여 신안군의 소형(66,000 m²) 및 대형(660,000 m²) 양식장과 진도군의 중형(300,000 m²) 및 대형(2,200,000 m²) 양식장에 대하여 경제성 분석을 실시함
 - 신안군 소형(66,000 m²) 해삼 양식장의 순현재가치는 1,048,936,330원으로 0보다 크고, 내부수익률은 14.6%로 4.5%보다 크며, 편익비용비율은 1.26으로 1보다 크므로 신안군의 소형 트랙형 축제식 해삼 양식장(66,000 m²)은 경제성이 있는 것으로 평가됨
 - 신안군 대형(660,000 m²) 해삼 양식장의 순현재가치는 15,758,306,047원으로 0보다 크고, 내부수익률은 22.4%로 4.5%보다 크며, 편익비용비율은 1.45로 1보다 크므로 신안군의 대형 트랙형 축제식 해삼 양식장(660,000 m²)은 경제성이 있는 것으로 평가됨
 - 진도군 중형(300,000 m²) 해삼 양식장의 순현재가치는 9,477,146,656원으로 0보다 크고, 내부수익률은 27.1%로 4.5%보다 크며, 편익비용비율은 1.63으로 1보다 크므로 진도군의 중형 트랙형 축제식 해삼 양식장(300,000 m²)은 경제성이 있는 것으로 평가됨
 - 진도군 대형(2,200,000 m²) 해삼 양식장의 순현재가치는 49,282,978,532원으로 0보다 크고, 내부수익률은 29.1%로 4.5%보다 크며, 편익비용비율은 1.67로 1보다 크므로 진도군의 대형 트랙형 축제식 해삼 양식장(2,200,000 m²)은 경제성이 있는 것으로 평가됨
- 경제성에 대한 민감도 분석 결과는 다음과 같음
 - 신안군 소형(66,000 m²) 해삼 양식장이 경제성을 가지기 위해서는 시장가격

이 최소 12,672원/kg, 단위면적당 생산량이 최소 0.79 kg/m² 이상이 되고, 종자가격이 최대 422원/마리 이하가 되어야 하는 것으로 평가됨

- 신안군 대형(660,000 m²) 해삼 양식장이 경제성을 가지기 위해서는 시장가격이 최소 11,000원/kg, 단위면적당 생산량이 최소 0.69 kg/m² 이상이 되고, 종자가격이 최대 533원/마리 이하가 되어야 하는 것으로 평가됨
- 진도군 중형(300,000 m²) 해삼 양식장이 경제성을 가지기 위해서는 시장가격이 최소 9,819원/kg, 단위면적당 생산량이 최소 0.61 kg/m² 이상이 되고, 종자가격이 최대 612원/마리 이하가 되어야 하는 것으로 평가됨
- 진도군 대형(2,200,000 m²) 해삼 양식장이 경제성을 가지기 위해서는 시장가격이 최소 9,572원/kg, 단위면적당 생산량이 최소 0.60 kg/m² 이상이 되고, 종자가격이 최대 629원/마리 이하가 되어야 하는 것으로 평가됨

4) 경제성 분석의 유형별 비교

- 생산된 해삼을 생해삼 형태로 판매하는 경우와 자숙해삼, 건해삼으로 가공하여 판매하는 경우에 대한 경제성 분석 결과는 다음과 같음
 - 신안군 소형(66,000 m²) 해삼 양식장은 생해삼 판매 시 순현재가치가 1,048,936,330원, 자숙해삼 판매 시 순현재가치가 1,994,474,027원, 건해삼 판매 시 순현재가치가 1,962,956,104원으로 자숙해삼으로 판매 시 가장 경제성이 우수한 것으로 분석됨
 - 신안군 대형(660,000 m²) 해삼 양식장은 생해삼 판매 시 순현재가치가 15,758,306,047원, 자숙해삼 판매 시 순현재가치가 25,213,683,012원, 건해삼 판매 시 순현재가치가 24,898,503,780원으로 자숙해삼으로 판매 시 가장 경제성이 우수한 것으로 분석됨
 - 진도군 중형(300,000 m²) 해삼 양식장은 생해삼 판매 시 순현재가치가 9,477,146,656원, 자숙해삼 판매 시 순현재가치가 14,077,059,774원, 건해삼 판매 시 순현재가치가 13,923,729,337원으로 자숙해삼으로 판매 시 가장 경제성이 우수한 것으로 분석됨
 - 진도군 대형(2,200,000 m²) 해삼 양식장은 생해삼 판매 시 순현재가치가 49,282,978,532원, 자숙해삼 판매 시 순현재가치가 72,282,544,124원, 건해삼 판매 시 순현재가치가 71,515,891,937원으로 자숙해삼으로 판매 시 가장 경제성이 우수한 것으로 분석됨
- 해삼 양식업과 벼농사 및 천일염전의 경제성을 비교한 결과는 다음과 같음
 - 신안군 소형(66,000 m²) 해삼 양식장의 부지면적에 해삼양식업을 경영할 경우 이익은 182,527,200원, 벼농사를 경영할 경우 이익은 23,782,836원, 천일염전

을 경영할 경우 이익은 31,310,400원으로 해삼양식업의 이익이 가장 큰 것으로 분석됨

■ 신안군 대형(660,000 m²) 해삼 양식장의 부지면적에 해삼양식업을 경영할 경우 이익은 2,390,981,200원, 벼농사를 경영할 경우 이익은 237,828,360원, 천일염전을 경영할 경우 이익은 313,104,000원으로 해삼양식업의 이익이 가장 큰 것으로 분석됨

■ 진도군 중형(300,000 m²) 해삼 양식장의 부지면적에 해삼양식업을 경영할 경우 이익은 1,381,490,560원, 벼농사를 경영할 경우 이익은 108,103,800원, 천일염전을 경영할 경우 이익은 142,320,000원으로 해삼양식업의 이익이 가장 큰 것으로 분석됨

■ 진도군 대형(2,200,000 m²) 해삼 양식장의 부지면적에 해삼양식업을 경영할 경우 이익은 7,097,177,200원, 벼농사를 경영할 경우 이익은 792,761,200원, 천일염전을 경영할 경우 이익은 1,043,680,000원으로 해삼양식업의 이익이 가장 큰 것으로 분석됨

○ 태양광 발전사업을 접목한 해삼 양식업과 단일 해삼양식업의 경제성을 비교한 결과 모든 규모에서 태양광 발전사업을 접목한 해삼 양식업의 경제성이 우수한 것으로 분석됨

5) 자본 회수기간

○ 자본 회수기간을 분석한 결과, 자본 회수를 위해서 신안군 소형 해삼 양식장은 5.1년, 신안군 대형 해삼 양식장은 3.9년, 진도군 중형 해삼 양식장은 3.4년, 진도군 대형 해삼 양식장은 3.2년이 소요되는 것으로 분석됨

6) 정부 지원에 따른 경제성 변화

○ 정부가 시설비에 대해 50%를 지원할 경우 순현재가치가 신안군 소형 해삼 양식장이 947,045,000원, 신안군 대형 해삼 양식장은 7,571,700,000원, 진도군 중형 해삼 양식장은 3,483,475,000원, 진도군 대형 해삼 양식장은 16,468,750,000원 증가하는 것으로 분석됨

7) 해삼 양식장 조성의 파급효과

○ 생해삼 생산과 양식장 시설 건설, 해삼가공(자숙해삼, 건해삼) 으로 인해 발생하는 생산유발효과, 부가가치유발효과, 취업유발 효과를 규모별로 합산한 결과는 다음과 같음

■ 신안군 소형(66,000 m²) 해삼 양식장의 생산유발효과는 115.2억원(자숙해삼

가공)~115.7억원(건해삼 가공), 부가가치유발효과는 41.6억원(자숙해삼 가공)~41.7억원(건해삼 가공), 취업유발효과는 자숙해삼 가공과 건해삼 가공 모두 114명인 것으로 분석됨

■ 신안군 대형(660,000 m²) 해삼 양식장의 생산유발효과는 477.6억원(자숙해삼 가공)~482.5억원(건해삼 가공), 부가가치유발효과는 169.3억원(자숙해삼 가공)~169.9억원(건해삼 가공), 취업유발효과는 568명(자숙해삼 가공)~570명(건해삼 가공)인 것으로 분석됨

■ 진도군 중형(300,000 m²) 해삼 양식장의 생산유발효과는 271.1억원(자숙해삼 가공)~273.5억원(건해삼 가공), 부가가치유발효과는 96.5억원(자숙해삼 가공)~96.8억원(건해삼 가공), 취업유발효과는 309명(자숙해삼 가공)~310명(건해삼 가공)인 것으로 분석됨

■ 진도군 대형(2,200,000 m²) 해삼 양식장의 생산유발효과는 946.0억원(자숙해삼 가공)~958.0억원(건해삼 가공), 부가가치유발효과는 332.9억원(자숙해삼 가공)~334.2억원(건해삼 가공), 취업유발효과는 1,198명(자숙해삼 가공)~1,203명(건해삼 가공)인 것으로 분석됨

8) 추진 전략

○ 해삼산업단지의 활성화를 위한 제도적 개선방안은 다음과 같음

■ 「간척지의 농어업적 이용 및 관리에 관한 법률」(법률 제14479호) 제5조에서 간척지의 농어업적 이용을 위한 종합계획 및 시행계획을 수립하도록 하고 있고, 간척지의 농어업적 이용을 위한 종합계획 및 시행계획에 어업적 활용 계획이 반영된 간척지는 농지전용과정이 필요하지 않음

■ 이에 따라 해삼산업단지를 조성하고자 하는 간척지에 대해서는 간척지의 농어업적 이용을 위한 종합계획 및 시행계획에 포함되도록 하여야 함

■ 「간척지의 농어업적 이용 및 관리에 관한 법률」의 적용을 받지 않는 간척지에 대해서도 대규모 해삼산업단지 조성이 가능하도록 농지전용허가의 면적제한 규정(신고의 경우 10,000 m², 허가인 경우 300,000 m²) 개정할 필요가 있음

○ 국제적 환경라벨인증(ASC 등)으로 시장가격을 상승시킬 수 있고 중국 등에 대한 시장 확대가 가능함

9) 전라남도 해삼의 경쟁구도 및 차별화 방안

○ 전라남도의 해삼양식은 일반적으로 씨뿌림 방식이며, 진도군에 축제식 시험양식장이 조성되었지만, 대규모 양식장은 조성되지 않음

- 국내 건해삼 제조기술은 경상남도, 강원도 등에서 2~3개의 기업들이 제조하고 있으며, 전라남도의 경우 아직까지 건해삼 제조 기업이 없음
- 건해삼의 경우, 일본의 북해도가 가장 높은 품질을 유지하고 있으며, 일본의 관서산 및 관동산과 중국의 요녕성(대련, 장자도), 산둥성 및 복건성 등의 제품이 비슷한 품질 수준으로 한국의 건해삼보다는 조금 높은 수준의 품질이라고 평가할 수 있음
- 한국의 건해삼 품질은 중국의 대련산과 크게 차이가 나지는 않지만, 대량 생산이 부족하여 지속적인 공급을 하지 못하여, 중국 유통업자들에 의해 매집되어 중국 유통망에 공급되고 있어 한국산 자체 브랜드로 수출을 하는데 어려움이 있음
- 해삼 소비량을 늘리기 위해 달팽이에 있는 해삼의 콘드로이친 성분을 활용한 기능성 화장품 개발과 해삼엑기스, 해삼환, 즉석 냉동식품 등 소비자 섭취 편의성 강화를 위한 다양한 신제품 개발전략이 필요함
- 국내 대량양식 성공을 통한 원료의 안정적인 공급이 되기 전까지는 중·단기적으로는 자숙해삼 및 즉석 냉동해삼 제품에 주력하는 것이 필요함

라. 해삼 가공제품의 성분분석

1) 건해삼의 유효영양 성분 분석에 대한 국내·외 사례

- 국립수산물품질관리원의 한국산 해삼 성분분석에 따르면 열량, 수분, 단백질, 지방, 회분, 탄수화물, 비타민(티아민, 리포플라빈, 니아신), 지방산(포화지방산, 1가불포화지방산, 다가 불포화지방산), 아미노산(글루탐산, 글리신, 아스파르트산), 무기질(칼슘, 인, 철)등으로 유효영양성분이 구분되어 분석 되어 있으며 건해삼에 대하여 열량, 수분, 단백질, 지방, 회분, 탄수화물 당질, 비타민(티아민, 리포플라빈, 니아신), 무기질(칼슘, 인, 철)등으로 구분되어 분석됨
- 박재연(2008)의 건조 중 해삼의 영양성분 변화에서 생해삼, 가열해삼, 건해삼으로 나누어 수분함량, 조단백, 조지방, 탄수화물, vitamin C, vitamin E, 유기산, 유리당, 구성아미노산, 유리아미노산, 포화지방산, 단일불포화지방산, 다가 불포화지방산등으로 구분되어 분석하였으며, 동결건조 시킨 해삼 분말에 대해서도 분석연구가 진행됨
- Bordbar et al. (2011) 연구에서는 황산콘드로이틴, triterpene glycosides (saponins), lectin, 헤파린, cerberosides, gangliosides, bioactive 펩타이드, 스테롤과 오메가-6와 오메가-3 지방산과 같은 해삼에서 분리 된 생물 활성물질들에 대한 분석이 이루어졌음
- Sroyraya et al. (2017) 연구에서는 해삼의 아미노산에 대한 분석이 실시되었

으며 지질, 총 지방산에 대한 분석 또한 이루어짐

- 지역 간 다당류 함량에는 유의한 차이가 없었으며, 단당류의 경우 대련산 해삼의 우론산 함량이 다른 두 지역보다 유의하게 낮았으며 다른 두 원산지 간에 유의한 차이는 없었음

2) 건해삼의 유효영양 성분 분석

- 유효성분 분석결과
 - 조단백은 한국 남해산(남해) 건해삼이 35.04%로 가장 높게 측정되었으며, 서해(보령) 34.72%, 동해(속초) 31.96%, 중국산(대련) 31.62%의 순으로 높았으며 일본산(북해도) 28.89%로 가장 낮게 측정되었음
 - 조지방 함량의 분석결과 일본산이 1.74%로 가장 높았으며 중국산 1.58%, 남해 1.18% 등의 순이며 서해산이 0.41%로 가장 낮게나왔음
 - 조회분의 분석 결과 진도군 샘플이 62.45%로 가장 높았으며 서해 56.94%, 동해 55.9%등의 순으로 나타남
 - 해삼 아미노산 분석결과 아스파르트산, 트레오닌, 세린, 글루탐산, 글리신, 프롤린, 알라닌, 티로신, 아르기닌, 트립토판이 남해산에서 가장 높은 것으로 확인되었음
 - 주요 관심 중금속인 카드뮴이나 납 등을 포함한 검사대상의 중금속 등은 검출되지 않았으나 남해산에서는 미량의 수은이 검출되었음
 - 미량 성분 분석결과 속초산에서 미량의 비소가 검출되었으며 규소, 알루미늄, 마그네슘 등이 높게 검출되었음
 - 일본산에서는 칼륨, 티탄, 브롬, 아연 등이 검출되었으며 중국산에서는 철이 가장 높게 검출되었음
 - 현재 샘플 등에서 검출된 중금속의 양은 식약처의 중금속 허용 기준에 의거하면 미미한 수준인 것으로 판단됨
 - 조사포닌 분석결과 남해산 해삼에서 가장 높은 함량을 나타냈으며 일본산에서 가장 낮은 함량비율을 나타내는 것으로 확인되었음
 - 콜라겐 함량 분석 결과 남해 해삼이 가장 높았으며 일본해삼이 가장 낮은 수치를 보였음
 - 황산콘드로이친 분석결과 역시 남해산에서 가장 높은 함량비율을 나타내었으며 일본산에서 가장 낮은 함량 비율을 나타내었음
- Sample 1의 복원율 분석 결과
 - 8시간 경과 후 60분 가열을 하였을 때 중국은 해삼이 호물해지기 시작하였으며, 일본은 해삼이 호물거리며 돌기가 하얀색으로 매우 팽창하였음. 진도와

서해는 전반적으로 색상과 형체를 유지하며 탱탱하였으며 남해는 표면에 구멍이 많아졌고, 동해는 국내산 해삼중 가장 흐물거렸으며 돌기의 모양이 일정하지 않은 모습을 보임

■ 16시간 경과 후 60분 가열을 하였을 때 중국과 일본 해삼은 돌기가 부풀어 형체를 잃고, 젤리처럼 형태가 변했으며 집었을 때 부서지는 양상을 보여 무게 측정을 중단하였음. 진도와 서해의 해삼은 전반적으로 형태를 유지하며 가장 양호하였고 남해와 동해 해삼은 부서지지는 않지만 중국, 일본과 비슷한 양상을 보임

■ 24시간 경과 후 60분 가열을 하였을 때 진도와 서해는 전반적으로 형체를 유지하였으며 남해는 흐물흐물 해졌고, 동해 해삼은 16시간의 중국, 일본 해삼과 같이 집을 수 없게 됨

■ 복원율은 중국이 460%로 가장 높게 나왔지만 먹을 수 없는 식감이었으며, 대체로 304%~355%정도의 복원율을 보였음

■ 전반적인 형태와 모양은 진도와 서해산 해삼이 가장 잘 유지되었음

○ Sample 2의 복원율 분석 결과

■ 24시간 경과 후 중국과 일본의 건해삼은 돌기가 하얗게 변하고 질감이 물렁하게 변하였으며, 진도와 서해 해삼은 비교적 형태유지가 잘 되고 탄력이 있음. 남해와 동해의 해삼은 돌기가 풀어지려 하며 형태가 일정하지 않은 모습을 보임

■ 40시간 경과 후 중국과 일본의 건해삼은 표면이 거칠어졌으며 돌기가 더 팽창하였으며 진도와 서해의 건해삼은 모양과 색상을 전반적으로 유지하며 돌기가 규칙적이고 탄력 있는 질감임. 남해와 동해는 돌기의 모양이 불규칙하며 표면이 거칠어짐

마. 향후 추진사업 발굴

1) 해삼산업의 필요성 및 전망

- 해삼은 아시아 12개국, 아프리카 9개국, 아메리카 14개국, 오세아니아 15개국 등 총 60개국에서 생산 및 거래되고 있음
- 주요 소비국은 중국, 대만 홍콩, 싱가포르 등으로 중화권 국가에 해삼국제시장이 집중적으로 형성되어 있음
- 우리나라는 수출에 비해 수입규모는 2배 이상이며, 수출량은 감소하는 반면 수입량은 증가하는 추세
- 국내 해삼의 최대 수출국은 중국으로 수출량의 52.9%에 해당함
- 국내 해삼수출에 가장 큰 영향을 미칠 요인은 한·중 FTA 체결로 거의 모든

수산물에 대한 관세가 철폐될 예정

- 우리나라 정부는 “해삼시장 1조원 달성”이라는 목표아래 다양한 계획을 추진하거나 계획 중에 있음
- 해삼산업 조성계획은 2020년까지 도서 주변해면에 인공서식장인 해삼양식단지 50개소를 조성하는 것임
- 이외에도 2014년 “국가별 스타상품 개발 추진을 위한 R&D 사업”을 통해 고부가가치 자숙 또는 건해삼 제품형태로 개발에 집중

2) 국내·외 연구 동향

- 중국 종자업체는 양식을 병행하나 중간 육성단계를 생략하기도 함
- 중간육성업체는 종자업체로부터 종자를 구입·성장시켜 축제식 양식장에 판매
- 일본은 중국의 해삼시장 수요확대에 발맞춰 자국 내 글로벌 수산기업의 대중국 진출을 적극 유도하고 있음
- 국내의 경우, 지자체의 해삼산업 가치 사슬 단계별 기반은 대동소이함
- 국내 해삼관련 연구로 태안군 해삼 양식장 적지조사, 해삼시범연구사업, 해삼선조성을 위한 해삼 양식장 적지조사, 제주 특산 홍해삼을 이용한 가공식품 개발 및 품질고도화연구가 있음

3) 해삼산업의 문제점

- 해삼 수출을 위해서는 굴과 같이 수출용 위생해역 지정 등 제도적 지원이 필요하지만 국내에는 해삼관련 제도가 미비한 실정임
- 안정적인 해삼양식을 위해서는 해삼 양식의 적지선정이 선행되어야 하지만 아직 해삼 양식 적지선정을 위한 정확한 기준 조차 없음
- 중국산 종자의 불법 유입을 막기 위한 제도적 장치가 필요함
- 해삼 종자생산, 중간육성 기술 부족
- 해삼 양식장 관리 및 수확한 해삼의 품질관리 기술 부족
- 해삼의 건조 및 가공 기술 부족

바. 결론 및 제언

- 최적지로 선정된 간척지 89지점별로 트랙형 축제식 양식장 설계 및 시설비 내역을 조사하여 해수의 취수와 트랙형 축제식 양식장으로의 전환이 용이하고 건설비용을 최소화할 수 있는 방법을 강구할 필요가 있음
- 해삼양식의 최적지로 선정된 신안군 및 진도군 지역의 간척지 89지점에 트랙형 축제식 양식장을 각각 건설할 경우 다음과 같이 해삼 생산량 및 생산금액이

증가될 것으로 나타났음

- 진도군 해삼 생산량 : 40 kg (2017년) → 2,851톤으로 증가 예상
- 신안군 해삼 생산량 : 1,257 kg (2017년) → 8,102톤으로 증가 예상
- 해남군 해삼 생산량 : 30 kg (2017년) → 3,600톤으로 증가 예상
- 완도군 해삼 생산량 : 10,000 kg (2017년) → 1,200톤으로 증가 예상
- 전라남도 해삼 생산량 : 98톤(2017년) → 15,753톤으로 증가 예상 (약 160배)
- 전라남도 해삼 생산금액 : 10억원(2017년) → 약 2,500~3,300억원

→ 2017년 생산금액 대비 250~330배 증가 예상됨

- 본 연구에서 제시한 트랙형 축제식 양식장 시설비 및 해삼생산 예상 증가량을 토대로 신안군 및 진도군의 간척지를 트랙형 축제식 양식장으로 전환시 투자비, 해삼생산 예상 증가량 및 수익증대효과를 자세히 분석할 필요가 있음
- 경제성을 확보하기 위해서는 시장가격, 단위면적당 생산량이 상승하도록 하고, 종자가격을 낮추기 위한 노력이 필요함
- 해삼산업단지의 활성화를 위한 제도적 개선방안은 다음과 같음
 - 「간척지의 농어업적 이용 및 관리에 관한 법률」(법률 제14479호) 제5조에서 간척지의 농어업적 이용을 위한 종합계획 및 시행계획을 수립하도록 하고 있고, 간척지의 농어업적 이용을 위한 종합계획 및 시행계획에 어업적 활용계획이 반영된 간척지는 농지전용과정이 필요하지 않음
 - 이에 따라 해삼산업단지를 조성하고자 하는 간척지에 대해서는 간척지의 농어업적 이용을 위한 종합계획 및 시행계획에 포함되도록 하여야 함
 - 「간척지의 농어업적 이용 및 관리에 관한 법률」의 적용을 받지 않는 간척지에 대해서도 대규모 해삼산업단지 조성이 가능하도록 농지전용허가의 면적 제한 규정(신고의 경우 10,000 m², 허가의 경우 30,000 m²) 개정할 필요가 있음
- 국제적 환경라벨 인증을 통해 보다 높은 시장가격을 수취할 수 있고, 중국 등 수출시장을 확대할 수 있으므로 해삼에 대한 국제적 환경라벨 인증을 위한 정책적 고려와 지원이 필요함
- 해삼산업을 90% 이상이 중국 수출에 의존하는 실정으로 중국의 정세 변화에 따라 해삼산업의 흥망이 결정될 수 있어 이러한 단점을 해결하기 위해 해삼의 내수시장 현황을 파악하여 이에 대한 마케팅 전략과 신제품 개발 전략을 수립하여 내수시장을 개척할 필요가 있음
- 현재 비계통 및 무자료 거래(밀매 등)로 판매되는 해삼이 많은 실정으로 정부에서는 이에 대한 단속 및 규제정책을 마련할 필요가 있음
- 가칭 “한국해삼공사”를 통해 국내 해삼 공동물류창고를 조성하여 대 중국 수출 협상력을 강화하는 것이 필요하며, 인터넷 직판매를 할 수 있는 유통경로

를 확보할 필요가 있으며 “한국해삼공사”를 중심으로 해삼수출허브를 구축할 필요가 있음

- 그 외에 국제 해삼시장 개설 및 국제 해삼엑스포의 개최를 통해 해삼산업의 국제화기반을 다질 필요가 있음
- 해삼산업의 대중국 수출 및 국제화 기반을 다진 이후, 인삼산업과의 접목을 통해 해삼·인삼 융·복합 벨리(valley)를 조성하여 해삼산업과 인삼산업간 시너지효과를 극대화할 수 있음
- 해삼 소비량을 늘리기 위해 달팽이에 있는 해삼의 콘드로이친 성분을 활용한 기능성 화장품 개발과 해삼 엑기스, 해삼 환, 즉석 냉동식품 등 소비자 섭취 편의성 강화를 위한 다양한 신제품 개발전략이 필요함
- 국내 대량양식 성공을 통한 원료의 안정적인 공급이 되기 전까지는 중·단기적으로는 자숙해삼 및 즉석 냉동해삼 제품에 주력하는 것이 필요함
- 진도산 “해삼에서는 중금속 및 유해성분이 검출되지 않았기 때문에 전라남도 해삼을 건강하고 안전한 해삼”이라는 이미지로 판매가 가능함
- 해삼 양식 분야에 필요한 향후 추진과제로는 해삼 종자 및 중간육성 전문업체 육성, 전라남도지역 양식적지 조사, 간척지 활용 대단위 해삼 양식단지 조성, ICT 융·복합 해삼 양식 단지 조성 및 전라남도지역 가두리 해삼양식지 조성 이 있음
- 해삼 가공 분야에 필요한 향후 추진과제로는 해삼을 이용한 가공식품 개발 및 품질고도화 연구가 있으며 해삼 마케팅 분야에 필요한 과제로는 해삼산업화 관련 국제 무역동향 조사 및 전라남도지역 해삼 종자 방류사업의 경제적 효과 분석이 있음